

ISSN 0377-9424

# AGRONOMÍA COSTARRICENSE

---

**REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

COLEGIO DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

Volumen 35

2011

Número 1



## REVISORES ESPECIALIZADOS

### Revisores Nacionales

Adolfo Soto  
Adriana Blanco M.  
Adriana Murillo  
Alejandro Esquivel  
Alejandro Rodríguez  
Alexis Rodríguez  
Alexis Vásquez  
Alonso Acuña  
Alfonso Vargas  
Alfredo Alvarado H.  
Allan González  
Álvaro Jiménez C.  
Álvaro Morales  
Álvaro Ramírez  
Álvaro Segura  
Amy Wang Wong  
Ana Abdelnour  
Ana Cecilia Segreda  
Andrés Gatica  
Anthony Rivera  
Antonio Bogantes  
Arturo Brenes A.  
Augusto Rojas B.  
Bernal Herrera  
Bernal Rodríguez  
Carlos Araya  
Carlos Arroyo  
Carlos Astorga  
Carlos Echandi  
Carlos Gauggel  
Carlos Henríquez  
Carlos Jiménez  
Carlos Magno Salazar  
Carlos Méndez  
Carlos Morera B.  
Carlos Navarro  
Carlos Padilla  
Carlos Pomareda  
Carlos Ramírez M.  
Carlos Rodríguez  
Carmela Velásquez  
Carmen González  
Cesar Rodríguez  
Claudia Charpentier  
Claudia Martínez  
Cristina Vargas  
Dagoberto Arias  
Denis Hine  
Diego Berrocal  
Diógenes Cubero  
Douglas Marín  
Edgar Alvarado  
Edgar Gutiérrez  
Edgar Rojas  
Edgar Valverde  
Edgar Vidal  
Edgardo Alpízar  
Eduardo Salas  
Eduardo Soto  
Eladio Chaves  
Elizabeth Arnáez  
Elizabeth Carazo  
Eloy Molina

Emanuel Araya  
Emilio Vargas G.  
Enrique Villalobos  
Eric Guevara  
Eric Mora N.  
Eugenio Corea  
Esteban Loria  
Eugenio González  
Evelyn Rodríguez  
Fabio Blanco  
Federico Albertazzi  
Felipe Arauz C.  
Fermín Subirós R.  
Floria Ramírez  
Francisco Carvajal  
Francisco Ciccio  
Francisco Marín  
Francisco Mesén  
Francisco Romero  
Francisco Saborío  
Franklin Herrera  
Freddy Rojas  
Fulvio Arias  
Gabriela Soto  
Geiner Matamoros  
Geovanny Bermúdez  
Geovanny Carmona  
Gerardina Umaña  
German Rivera  
Gilbert Barrantes  
Gilbert Brenes  
Gilbert Fuentes  
Gilberto Cabalceta  
Gloria Meléndez  
Guillermo Araya  
Guillermo Navarro  
Gustavo Fallas  
Gustavo Quesada  
Héctor Medrano  
Helga Blanco M.  
Hernán Camacho  
Hernán Sancho  
Hugo Aguilar  
Ileana Moreira  
Isabel Carpio M.  
Ismael Hernández  
Israel Garita  
Janina Bonilla  
Jenaro Acuña  
Jenny Reynolds  
Johan Lotz A.  
Jorge Celso Rodríguez  
Jorge Elizondo  
Jorge Herrera  
Jorge León  
Jorge Mora B.  
Jorge Morales  
Jorge Sandoval  
José A. Vargas  
José Rodríguez Z.  
Juan Carlos Hernández  
Juan Carlos Madrigal  
Juan Luis Morales  
Juan R. Navarro

Julieta Carranza  
Julio Arias  
Julio Mata  
Kenneth Madriz  
Laura Solís  
Leslie Medina  
Lidieth Uribe  
Lili Hormann  
Liliana Pazos  
Lolita Durán  
Lorena Flores  
Lorena Uribe  
Lorena Vargas  
Luis Brenes  
Luis Calvo  
Luis Castresana  
Luis Villegas  
Luko Hilje  
Marcela Fernández  
Marco Adamson  
Marco V. Gutiérrez  
Marco V. Sáenz  
Marcos Chaves  
Marcos Moreira  
Marcos Ugalde  
María Isabel González  
María del Mar Gamboa  
María Laura Arias  
Marielos Alfaro  
Mario Araya  
Mario Arias  
Mario Morales  
Mario Piedra  
Mario Saborío  
Mario Samper  
Mario Vargas  
Mario Villatoro  
Marta Bustamante  
Marta Valdéz M.  
Miguel Barquero  
Miguel González A.  
Miguel Obregón  
Miguel Quesada  
Miguel Vallejo  
Milagro Cerdas  
Mildred Linkimer  
Moisés Soto  
Nelly Vásquez  
Norberto Durán  
Norman Rojas  
Olman Murillo  
Olman Quirós  
Oscar Acuña  
Oscar Castro  
Oscar Obando  
Oscar Quesada  
Oscar Rocha  
Patricia Castro  
Patricia Quesada  
Patricia Ramírez  
Quirico Jiménez  
Rafael Arguello  
Rafael Mata  
Rafael Ocampo  
Rafael Salas C.

Rafael Segura  
Rafael Serrano  
Ramiro Alizaga  
Ramón León  
Ramón Mexzón  
Ramsés Hernández  
Raúl Botero  
Renato Jiménez  
Ricardo Radulovich  
Ricardo Russo  
Roberto Azofeifa  
Rodolfo Amador  
Rodolfo Araya  
Rodolfo Quirós  
Rodrigo Alfaro  
Rolando Mora  
Ronald Romero  
Ronald Vargas  
Ronny Viales  
Roque Vaguero  
Rosaura Romero  
Rubén Ortiz  
Ruth de la Asunción  
Ruth León  
Sergio Torres  
Singh B.K.  
Susana Schweizer  
Vera Sánchez  
Victor Cartín  
Victor Jiménez  
Walter Marín M.  
Warren Forsythe  
Werner Rodríguez  
William Hernández

### Revisores Internacionales

Abellino Pitty (Honduras)  
Adriana Escudero (España)  
Carl Jordan (EE.UU.)  
Danilo Pezo (Guatemala)  
Edgar Amezcuita (Colombia)  
Flores Montagnini (EE.UU.)  
Francisco Coll (Cuba)  
Francisco P. Chaimsohn (Brasil)  
Frank J. Smith (EE.UU.)  
Guillermo Reyes (Nicaragua)  
Isis Fernández (Cuba)  
Jack Ewell (EE.UU.)  
Jorge Etchevers (México)  
José Hernández (EE. UU.)  
Juan F. Gallardo (España)  
Kellen Gatti (Colombia)  
Magally Quirós (Venezuela)  
Miguel Marchamalo (España)  
Roberto Ferreira (Brasil)  
Ronald Ochoa (EE.UU.)  
Thomas J. Smyth (EE.UU.)

## AGRONOMÍA COSTARRICENSE

Revista semestral de ciencias agrícolas de la Universidad de Costa Rica, el Colegio de Ingenieros Agrónomos y el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

**VOLUMEN 35**

**2011**

**NÚMERO 1**

### **Obituario**

### **Artículos científicos**

Efecto de la inmersión en agua caliente sobre la secreción de látex por la corona de gajos recién conformados de frutos de banano.

*Maricruz Ramírez, Marco Vinicio Sáenz y Alfonso Vargas* 1-14

Efecto de la inoculación de *Azotobacter chroococcum* y *Glomus intraradices* en el crecimiento y nutrición de plántulas de papaya en fase de vivero.

*Maricela Constantino, Regino Gómez, José David Álvarez, Juan Manuel Pat y Elda Guadalupe Espín* 15-31

Factores formadores y distribución de suelos de la subcuenca del río Pirrís, Talamanca, Costa Rica.

*Miguel Chinchilla, Alfredo Alvarado y Rafael Mata* 33-57

Caracterización y clasificación de algunos Ultisoles de la región de Los Santos, Talamanca, Costa Rica.

*Miguel Chinchilla, Rafael Mata y Alfredo Alvarado* 59-81

Andisoles, Inceptisoles y Entisoles de la subcuenca del río Pirrís, región de Los Santos, Talamanca, Costa Rica.

*Miguel Chinchilla, Rafael Mata y Alfredo Alvarado* 83-107

Capacidad de las tierras para uso agrícola en la subcuenca media-alta del río Pirrís, Los Santos, Costa Rica.

*Miguel Chinchilla, Alfredo Alvarado y Rafael Mata* 109-130

### **Notas técnicas**

Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo “Flor de Mayo”.

*Edwin Javier Barrios-Gómez, Cándido López-Castañeda y Josué Kohashi-Shibata* 131-145

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <p>Efecto de la adición de cal a plantaciones de jaúl (<i>Alnus acuminata</i>) en andisoles de la cuenca alta del río Virilla, Costa Rica.</p> <p><i>Marlon Salazar, Gilberto Cabalceta, Alfredo Alvarado, Manuel Segura y Álvaro Castillo</i></p>                                              | 147-161 |
| <p>Cambio en las características de calidad de 12 híbridos comerciales de zanahoria durante el almacenamiento.</p> <p><i>Fernando Richmond, Carlos H. Méndez y Gerardina Umaña</i></p>                                                                                                          | 163-174 |
| <p>Determinación de la resistencia a la penetración, al corte tangencial, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero, Juan Viñas, Costa Rica.</p> <p><i>Carlos Henríquez, Oscar Ortiz, Keneth Largaespada, Pamela Portugués, Maylin Vargas, Pamela Villalobos y Diego Gómez</i></p> | 175-184 |
| <p>Población de nematodos en forrajes tropicales en dos rangos de altura en el cantón de San Carlos, Alajuela.</p> <p><i>Rodolfo WingChing-Jones y Luis Salazar-Figueroa</i></p>                                                                                                                | 185-195 |

## Obituario



*Dr. Elemer Bornemisza Steiner (1930-2010)*

### ***El químico de los suelos tropicales***

Todos los profesionales costarricenses y aún latinoamericanos que trabajamos en las ciencias del suelo durante la segunda mitad del siglo XX, sin lugar a dudas, conocimos al Dr. Elemer Bornemisza Steiner. Es más, fácilmente es posible asegurar que todos aprendimos algo de él. El académico, el químico, el maestro, el investigador, el escritor, el científico, el gran lector, el amigo... alguna de todas sus facetas ha de haber dejado una o, en los que fuimos más afortunados por tenerlo muy cerca, muchas huellas en nuestro transcurrir.

Su vida se inició el 18 de febrero de 1930 en Arad, Transilvania, una parte de Hungría anexada a Rumanía. Sus primeros años de estudios transcurrieron en esas tierras húngaras, Gyula, Pannonhalma, a las que siempre quiso regresar. A principios de 1945 la familia se trasladó a Austria debido a la ocupación de su país natal por el Ejército Soviético y en Gratz vivió los 5 años de su adolescencia en una Austria de posguerra, graduándose de Bachiller en 1949. En esa época conoció penurias y el duro trabajo primario al que tienen acceso las personas desplazadas por los conflictos.

En 1950 emigró junto a su familia a Costa Rica, que se convertiría en su patria adoptiva, pues su padre obtuvo un trabajo aquí. Por su empeño y decisión, fue admitido al recién fundado programa de Química en la Universidad de Costa Rica (UCR), y en 1955 se graduó como primer Licenciado en Química. Desde su tesis de grado, que la realizó bajo la guía del Dr. Gil Chaverri, su inclinación por los suelos estaba definida: el trabajo se tituló “Categorías de Azufre en Suelos de Costa Rica”, tema que, con la profundidad que todos sus años de experiencia le brindaron, fue el mismo que contempló en el último de sus libros publicados en 1990: “Problemas del Azufre en Suelos y Cultivos de Mesoamérica”.

Entre 1952 y 1955 trabajó en el Laboratorio de Química del Ministerio de Agricultura, que luego fue trasladado a la UCR. De este laboratorio surgió tiempo después el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) del que fue parte desde sus inicios bajo la dirección del Ing. Francisco Carvajal y al que llegó a dirigir algunos años después con la visión que desarrollan los grandes investigadores y los grandes académicos.

Como educador tuvo 2 grandes pasiones: la Universidad de Costa Rica y el Movimiento Scout, sin embargo, sus primeras lecciones las impartió entre 1954 y 1955 en el Colegio Saint Francis como profesor de química. Luego impartió lecciones en la escuela de Química de la UCR, y después de eso, fue la enseñanza de la edafología y de la química de suelos lo que capturó su atención la mayor parte de su vida. Como maestro no se limitaba a enseñar la materia o explicar el por qué de las cosas, sino que también, con su ejemplo, transmitía valores fundamentales como la disciplina, la capacidad analítica, la curiosidad, el valor de la lectura y el rigor científico.

A principios de 1957 se casó con Gudrun Paschka, una hija de inmigrantes alemanes quien lo acompañó solidaria en todas sus aventuras académicas, familiares y humanistas y con quien engendró 4 hijos. Juntos formaron parte del Movimiento Scout y se encargaron durante muchos años de la formación de dirigentes. Gran parte de los amigos de toda su vida los conocieron en esa actividad.

Ese mismo año 1957 obtuvo una beca para estudiar en la Universidad de Florida, Gainesville, graduándose de Master en Agronomía. En 1959 aceptó una oferta de trabajo en Turrialba como Asistente de Química de Suelos en el programa de Energía Nuclear del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas y a los 2 años recibió otra beca de la Fundación Rockefeller con la cual volvió a la Universidad de Florida para obtener su Doctorado en Química de Suelos en 1964. De allí en adelante siempre impulsó la superación académica de quienes le rodeaban buscando becas y oportunidades para cada uno. Muchas veces diría a sus hijos que este título era más importante para él que el nobiliario título de Barón que había heredado.

Al terminar su doctorado regresó al IICA continuando en el programa de Energía Nuclear, y en 1969 el IICA lo trasladó a Lima, Perú para dirigir el programa de Educación Agrícola de la Zona Andina. En adición a este trabajo también colaboró como profesor invitado de la Universidad Agraria La Molina.

En 1973 el IICA y la UCR organizaron un programa de apoyo técnico a la Facultad de Agronomía. El Dr. Bornemisza se trasladó de nuevo a Costa Rica y laboró en este programa durante 3 años, al término del cual se incorporó en forma definitiva como académico de la UCR, donde durante las siguientes 2 décadas impartiría diversos cursos de química de suelos a nivel de pregrado y de maestría y efectuaría la mayor parte de su investigación.

Sus investigaciones científicas se centraron en la Química de Suelos y llegó a ser una autoridad mundial en suelos tropicales. Más de 100 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales,

innumerable cantidad de reseñas de libros de relevancia internacional relacionados con el tema de suelos y 4 libros son su legado concreto para los edafólogos tropicales. Sin embargo, lo que más disfrutó de su vida académica fue guiar a sus tésarios en los trabajos de investigación.

Su interés por formar personas lo llevó también a formar y consolidar instituciones. Fue uno de los primeros directores del Sistema de Estudios de Posgrado de la UCR, de 1978 a 1982. Aquí dio una lucha por mantener un elevado estándar de excelencia académica y el rigor del nivel científico asociado a la enseñanza de posgrado que hoy contribuye al alto prestigio de la UCR a nivel internacional. También fue director del CIA por 2 períodos desde 1984 a 1990, y colaboró con la organización de la Academia Nacional de Ciencias, fungiendo incluso como su primer presidente en 1992.

Sus aportes también llevaron a que lo invitaran a formar parte de la Academia de Ciencias de Hungría, uno de los honores que más satisfacción le trajo en la vida al unir su nacionalidad de origen con su profesión. Fue esta misma Academia la que le ayudó a enfrentar sus problemas coronarios, a finales del siglo pasado que le afectarían por el resto de sus días.

Al pensionarse de la UCR en 1999 se le honró con el título de Profesor Emérito y la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo lo nombró miembro honorario. En sus últimos años tuvo la dicha que su labor fuera reconocida por el Colegio de Ingenieros Agrónomos, la Cámara Nacional de Agricultura y Agroindustria, la Facultad de Ciencias Agroalimentarias, el Colegio de Químicos de Costa Rica, el Centro de Investigaciones Agronómicas, la Escuela de Química, y la propia Universidad de Costa Rica por su trayectoria como investigador en el área agroalimentaria.

El propósito de ir a su oficina semanalmente le prolongó su vida varios años y aunque su actividad académica ya se había terminado, celebró en completa lucidez, con su familia y sus compañeros de trabajo sus 50 años de matrimonio, sus 80 años de vida, y su incorporación a la Academia Costarricense de Genealogía. Como curiosidad histórica, sus hijos cuentan que hacia el final de sus días, reconciliándose con su legendario título nobiliario logró reconstruir el árbol genealógico de la familia Bornemisza hasta alrededor de 1550. Tamaño linaje!

Elemer Bornemisza fue un hombre sabio, honesto, muy recto con sus principios y los que tuvimos la dicha de haber compartido cercanía con él, “tenemos la sospecha” que no habrá Internet actual que logre ofrecer una mejor respuesta que la que él nos hubiera podido dar ante cualquiera que fuera nuestra pregunta sobre la química de los suelos tropicales.

*Floria Bertsch*

En representación de los aprendices del maestro  
Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica





## EFFECTO DE LA INMERSIÓN EN AGUA CALIENTE SOBRE LA SECRECIÓN DE LÁTEX POR LA CORONA DE GAJOS RECIÉN CONFORMADOS DE FRUTOS DE BANANO

Maricruz Ramírez\*, Marco Vinicio Sáenz<sup>1/\*</sup>, Alfonso Vargas\*\*

**Palabras clave:** Banano, poscosecha, tratamiento térmico, látex.

**Keywords:** Banana, postharvest, hot water, treatment, latex.

**Recibido:** 27/11/09

**Aceptado:** 07/03/11

### RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de la temperatura del agua y el tiempo de inmersión sobre la secreción de látex por la corona de gajos recién conformados de frutos de banano, se realizaron 2 experimentos con racimos de 12 semanas de edad (floración-cosecha) del cv. Valery (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish). En el experimento 1 se evaluaron 4 temperaturas del agua: 25, 35, 45 y 55°C y, 4 tiempos de inmersión: 5, 10, 15 y 20 min en conjunto con un tratamiento testigo comercial. En el experimento 2 se evaluó únicamente la temperatura del agua a 45°C y 2 tiempos de inmersión: 10 y 20 min. En este experimento se incluyó un tratamiento testigo comercial (frutos tomados de la línea de empaque de la finca) y otro tratamiento testigo conformado por frutos cuyos gajos fueron empacados inmediatamente después de la separación del racimo (testigo absoluto). En ambos experimentos la inmersión de los frutos en agua caliente se realizó inmediatamente después que las manos fueron seccionadas del racimo y conformadas en gajos. En ambos experimentos no hubo maduración prematura durante el periodo de simulación de transporte que fue de 15 días. En el experimento 1 los tratamientos expuestos a 55°C, presentaron daño severo de

### ABSTRACT

**Effect of immersion in hot water of freshly-cut banana clusters on the latex secretion from the crown.** Aiming to evaluate the effect of hot water treatment on banana latex removal, 2 experiments were carried out using recently-harvested banana fruit (cv. Valery, *Musa* AAA Subgroup Cavendish) of 12 weeks of age (flower to harvest). In the first experiment, 4 water temperatures (25, 35, 45 and 55°C) and 4 immersion times (5, 10, 15 and 20 min) were evaluated; a commercial control (fruit from commercial packing line) was included in the experiment. In the second experiment hot water (45°C) treatments at 2 immersion times (10 and 20 min) were compared with a commercial control and with an absolute control (clusters packaged just after separation from bunch). In both experiments hot water treatments were applied to recently-separated clusters (with fresh latex exudate). Hot water treatments did not induce premature onset of ripening during the transit-simulation period (15 days). In the first experiment, treatments at 55°C induced severe peel damage (discoloration and rotting). In general, hot water treatments did

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: marco.saenz@ucr.ac.cr

\* Laboratorio de Tecnología Poscosecha, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

\*\* Depto. Investigaciones, Corporación Bananera Nacional, Costa Rica.

quemadura en la cáscara. En el experimento 2 no se afectó la firmeza ( $p > 0,2685$ ), aunque hubo diferencias estadísticas en el color de la cáscara ( $p < 0,0145$ ) y en los sólidos solubles ( $p > 0,0001$ ). El tratamiento de inmersión de  $45^{\circ}\text{C}$  por 10 min demostró que puede ser tan efectivo en la remoción del látex de la corona de gajos recién conformados de frutos de banano como el tratamiento comercial, basado en la inmersión sucesiva de los frutos en depósitos de agua circulante y la posterior aplicación de fungicidas y cicatrizantes.

## INTRODUCCIÓN

El látex, tanto en la planta de banano como en el fruto cumple con la función biológica de retrasar y en ocasiones de suprimir el desarrollo de hongos y bacterias que puedan afectar partes de la planta antes de alcanzar su madurez fisiológica o perder su utilidad funcional. Químicamente se considera una suspensión coloidal de diversas organelas como lípidos, luteoides y fragmentos citoplasmáticos (Kallarackal et al. 1986) y dentro de sus constituyentes se encuentran compuestos de fenoles, terpenos, terpenolenos, agua, azúcares y proteínas entre los principales. (Baker et al. 1990).

El látex ha sido observado en todas las partes de plantas de banano in vitro, con excepción de las raíces y se encuentra a presión en los ductos laticíferos, razón por la cual, cuando se cortan uno o más ductos, su contenido es extruído (Sandoval 1989). Su concentración en la planta varía según la sección que se muestree; cuando está fresco y fluido puede lavarse, pero en pocas horas se vuelve pegajoso y finalmente se transforma en una mancha oscura sobre la piel de la fruta (Shillingford 1985). De acuerdo con Banks (1990) los frutos desflorados en el campo cerca del mediodía liberan menos látex y la severidad de la mancha es menor que aquellos donde dicha labor se efectúa en horas tempranas de la mañana. Por ello, añade el mencionado autor, es posible lograr un gran control de la mancha por

not affect firmness ( $p > 0.2685$ ) but affected peel color ( $p < 0.0145$ ) and soluble solids ( $p < 0.0001$ ). Treatment at  $45^{\circ}\text{C}$  for 10 min was as effective as the commercial control (20 to 25 min in delatexing circulating-water tanks, followed by healing (alum) and fungicide sprays after removal from the tank), for latex removal; recoveries of latex during transport simulation were similar.

látex ocasionada por la desflora de los frutos en el campo mediante la ejecución de la labor en horas del mediodía.

La secreción de látex por la corona del gajo, una vez empacado dentro de la caja, es uno de los aspectos poscosecha que más afectan la calidad de la fruta de exportación (Miranda 1986). Su incidencia se ha asociado con factores de calidad de agua, tiempo de desleche, época del año, destino de la fruta y tipo de empaque entre otros (CORBANA 2003). Al respecto, ajustes en el pH del agua indican que la cantidad de látex exudado disminuyó conforme el pH decreció (CORBANA 2003).

El sistema de proceso y empaque de banano utilizado para la exportación en la actualidad, incluye el uso de depósitos con agua circulante para mantener los racimos durante periodos determinados, y favorecer el flujo y la dispersión de látex proveniente principalmente de las heridas provocadas al momento de la confección de los mismos. Al medio se le adicionan diferentes compuestos para mejorar la dispersión y evitar la formación de complejos de látex con la materia orgánica, que puede afectar la fruta o dificultar la eliminación del material (Sáenz 2004). Al respecto, Banks et al. (1988) sugieren un tiempo mínimo de permanencia del gajo en el depósito de agua circulante equivalente a 3,4 min en la época seca y de 4,1 min en la época lluviosa lo que prevendría la mancha de látex en un 99,5% de las manos. Sierra (1993) señala que

en términos generales puede afirmarse que con 10 min de permanencia de los frutos en el agua circulante es suficiente para prevenir la mancha de látex.

Shillingford (1985) demostró que la aplicación inmediata de calor a soluciones frescas de látex logró que este coagulara y con ello una prevención del oscurecimiento causado por la oxidación. En plátano (*Musa AAB*) Salgado et al. (1993) menciona que la inmersión por 1 a 1,5 min a una temperatura del agua de entre 80 a 90°C fue superior a los restantes tratamientos térmicos evaluados. Los mencionados autores añaden que hubo una mejor respuesta del fruto a la remoción manual de la cáscara y se redujo el daño de dicha labor en la pulpa así como la mancha de látex con respecto al testigo. A su vez indican que la inmersión de los frutos en agua caliente redujo levemente la firmeza de la pulpa.

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el efecto de la temperatura del agua y tiempo de inmersión sobre la secreción de látex, incidencia, severidad de enfermedades y variables poscosecha de gajos de banano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 2 experimentos durante abril a junio del 2006 con frutos de banano (*Musa AAA*, cv. Valery) de racimos con 12 semanas (floración- cosecha) y provenientes de una finca comercial ubicada en el Caribe de Costa Rica a 23 msnm.

### Experimento 1: Determinación de la tolerancia de frutos de banano a la inmersión en agua a altas temperaturas

Los racimos fueron cosechados y trasladados inmediatamente al Laboratorio Poscosecha de la Universidad de Costa Rica ubicado en la provincia de San José, cantón de Montes de Oca. Allí fueron desmanados y sus manos conformadas en gajos, los cuales se trataron de acuerdo con el tratamiento asignado.

Los tratamientos estuvieron constituidos por 4 temperaturas de agua 25, 35, 45 y

55°C y 4 tiempos de inmersión: 5, 10, 15 y 20 min. Además se incluyó un testigo en el que los gajos fueron empacados sin exposición a agua caliente.

La aplicación de los tratamientos se efectuó por medio de tanques de acero de 150 l con una cubierta aislante y 2 resistencias de 100 vatios cada uno, equipados con controles de temperatura en grados Fahrenheit con resolución de 1 grado. La temperatura se ajustó con un termómetro digital en grados centígrados. Antes y después de la aplicación de los tratamientos se midió la temperatura de pulpa y de cáscara. Al finalizar cada tratamiento se aplicó una solución de 300 mg.l<sup>-1</sup> de los funguicidas thiabendazole e imazalil (Lotos 40 SL, Laquinsa, Costa Rica) y Alumbre (1% p/v) en las coronas de los bananos incluido el tratamiento testigo.

Los gajos se empacaron en bolsas de polietileno de 0,13 mm de espesor con 4 orificios de 5 mm de diámetro en el fondo de la bolsa y luego en cajas las cuales se colocaron en una cámara de enfriamiento a 14°C para simular transporte durante 10 días luego del cual y antes de la exposición a etileno para inducir la maduración, se evaluaron las siguientes variables: color externo con la escala CIE L\* a\* b\* (donde L\* es la luminosidad con valores desde 0 para negro absoluto y 100 para blanco absoluto, a\* representa la variación entre verde y rojo con valores desde -50 a 0 para verdes y de 0 hasta 50 para rojos y b\* la variación entre azul y amarillo con valores desde -50 a 0 para azules y de 0 a 50 para amarillos), y peso de los frutos (g), medidos respectivamente con un colorímetro Minolta® CR-300 y con una balanza AND® GX-2000. Se evaluó la presencia de áreas oscurecidas (escaldadas) por efecto del tratamiento térmico donde la tolerancia del mercado de banano es 0 presencia de áreas con coloraciones anormales.

El diseño experimental fue factorial con 4 tratamientos de temperatura y 4 tratamientos de tiempos de inmersión. Cada tratamiento constó de 3 repeticiones y cada repetición estaba formada por 5 gajos.

## **Experimento 2: Evaluación de la temperatura máxima segura y el tiempo de inmersión sobre la secreción de látex por la corona en gajos de banano empacados**

Los racimos fueron cosechados y desmanados en la planta empacadora de la finca e inmediatamente sus manos seccionadas y conformadas en gajos, unidades a las que se les aplicaron los tratamientos respectivos. Los tratamientos estuvieron constituidos por una temperatura del agua: 45°C y 2 periodos de inmersión: 10 y 20 min, aplicados en la planta empacadora en los mismos recipientes utilizados para el experimento 1.

Se incluyeron 2 tratamientos adicionales: un testigo comercial conformado por cajas de banano escogidas al azar de la línea de empaque de la finca, y un testigo absoluto constituido por gajos empacados inmediatamente después de ser separados de las manos del racimo y sin tratamiento de remoción de látex.

En el testigo comercial los racimos fueron seccionados y sus manos se colocaron en agua circulante, luego se conformaron en gajos y fueron nuevamente depositados en agua circulante por 10 a 15 min para facilitar la exudación de látex por la corona. Esta fue tratada con una solución de los fungicidas tiabendazol e imazalil aplicados a una dosis de 300 mg.l<sup>-1</sup>, un cicatrizante y astringente (alumbre al 1%). En el testigo absoluto los frutos fueron empacados inmediatamente después de la separación de las manos del racimo y de la conformación de estas en gajos. La inmersión de los frutos en agua caliente se realizó inmediatamente después que las manos fueron seccionadas del racimo y conformadas en gajos. No se efectuó en estos, ni en el testigo absoluto, la aplicación de fungicidas ni cicatrizantes a la corona.

En cada uno de los gajos previamente pesados se colocó, alrededor de la corona del mismo, una sección de tela absorbente, 80% viscosa y 20% polipropileno de un área aproximada de 160 cm<sup>2</sup> previamente pesados y se fijó con una banda de hule de 3 mm de ancho. Luego los gajos se empacaron en cajas de cartón corrugado de 18,4 kg netos que fueron transportadas a

las instalaciones del Laboratorio de Tecnología Poscosecha en el Centro de Investigaciones Agronómicas, para ser almacenados en una cámara de enfriamiento a 14°C para simular transporte durante 6 días.

Una vez finalizada la simulación de transporte se registró el peso de los paños absorbentes secos y el peso de los gajos. Los tratamientos se trasladaron después a una cámara a temperatura ambiente para la aplicación de etileno. Los paños absorbentes se colocaron en un horno de convección (Fisher Scientific ®) a una temperatura de 40°C por un periodo de tiempo de 48 h, hasta peso constante. Luego se determinó el peso seco del látex cuando alcanzaron temperatura ambiente con una balanza digital (AND GX-2000). Para calcular los gramos de látex exudado se utilizó la siguiente fórmula:  $PI = (Ps - Pi) - (Pha)$ . Donde:

Ps=Peso seco final.

Pi=Peso inicial de los paños absorbentes colocados en las coronas de los bananos.

Pha=Peso humedad absorbida por paños absorbentes colocados dentro de las cajas.

PI=Peso de látex.

Se utilizó un diseño irrestricto al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones. Cada repetición estuvo formada por 5 gajos.

En ambos experimentos, la aplicación de etileno fue de 100 µl.l<sup>-1</sup> por 24 h a 20°C que se efectuó en una cámara a temperatura ambiente a 20°C Y 85% Humedad relativa con la ayuda de un generador catalítico (American Ripener Company Inc.) Cuando los tratamientos alcanzaron el grado 5 de maduración para banano, de acuerdo con la escala estándar de color de la cáscara de Von Loesecke (1950), se midieron las siguientes variables: color externo de la cáscara y de la pulpa (CIE L\* a\* b\*), peso del fruto (g), firmeza de la pulpa (N), sólidos solubles (%) e incidencia y severidad de enfermedades (Moho y Pudrición de corona), por medio de la metodología propuesta por Shillingford (1977) para esta última variable 0=sin daño; 1=menos de la cuarta parte de la corona con daño; 2=hasta un 50% de la corona

con daño; 3=+de un 50% de la corona con daño. El color externo e interno del fruto se determinó con un colorímetro electrónico (Chromameter Minolta CR-300). La firmeza de la pulpa se midió tanto en la sección basal como en la apical de cada dedo mediante un penetrómetro Mc Cormick® con cabeza convexa de 5/16". Los sólidos solubles se determinaron por medio de un refractómetro digital (ATAGO Pallete-100) y el peso de los gajos con una balanza AND® GX-2000.

La diferencia entre peso inicial, respecto al peso final de los frutos se expresó en porcentaje como pérdida de peso. Se evaluó la presencia de áreas oscurecidas (escaldadas) por efecto del tratamiento térmico, donde la tolerancia del mercado de banano es 0 presencia de áreas de coloraciones anormales.

La exudación de látex se determinó a través del peso seco de látex atrapado en trozos de material absorbente. Dado que todo el látex producido por la fruta fue colectado, no se presentaron manchas sobre la superficie del fruto.

## RESULTADOS

### Experimento 1: Determinación de la tolerancia de frutos de banano a la inmersión en agua a altas temperaturas

La temperatura de la pulpa y de la cáscara de frutos de banano no alcanzaron el equilibrio con la temperatura del tratamiento térmico aplicado. El tratamiento de 55°C por 5 min obtuvo una temperatura final de pulpa similar a los tratamientos de 45°C por 15 y 20 min (Cuadro 1).

Cuadro 1. Temperatura de la pulpa de frutos de banano sometidos a diferentes temperaturas y tiempos de inmersión en agua caliente.

| Temperatura (°C) |               | Tiempo min |                              |      |      |
|------------------|---------------|------------|------------------------------|------|------|
| Pulpa inicial    | /Agua inicial | 5          | 10                           | 15   | 20   |
|                  |               |            | Temperatura final pulpa (°C) |      |      |
| 20               | 25            | 22,1       | 23,2                         | 23,6 | 24,7 |
| 20               | 35            | 26,4       | 30,4                         | 32,5 | 32,1 |
| 20               | 45            | 33,8       | 38,1                         | 40,9 | 40,9 |
| 20               | 55            | 39,9       | 43,4                         | 47,7 | 52,2 |

Al finalizar la simulación de transporte ningún tratamiento había iniciado el proceso de maduración (Cuadro 2). En dicha etapa, la variable  $L^*$ , que representa la luminosidad de la fruta, mostró diferencias significativas en relación con la temperatura ( $p<0,0001$ ), el tiempo de exposición ( $p<0,0002$ ) y a la interacción de ambos ( $p<0,0001$ ) donde los frutos expuestos a 55°C por tiempos de exposición de 10, 15 y 20 min fueron más oscuros (valores de  $L^*$  menores) que el resto de los tratamientos. La variable  $a^*$ , que representa el cambio de color de verde a rojo, fue significativa con respecto a la temperatura de tratamiento ( $p<0,0001$ ), al tiempo de inmersión ( $p<0,0013$ ) y a la interacción de estos ( $p<0,0001$ ),

los datos muestran que los bananos expuestos a 55°C y a todos los tiempos de exposición fueron menos verdes. La variable  $b^*$  (cambio de azul a amarillo), presentó diferencias significativas entre los tratamientos térmicos ( $p<0,0001$ ), los tiempos de inmersión ( $p<0,0083$ ) y la interacción entre ambos ( $p<0,0007$ ) lo que denota que los bananos expuestos a 55°C por tiempos de 10, 15 y 20 min fueron más amarillos. En conjunto las variables de color muestran que los bananos expuestos a 55°C fueron más oscuros esto es, con síntomas de escaldadura por alta temperatura, menos verdes y más amarillos (síntomas de maduración) que el resto de los tratamientos evaluados.

Cuadro 2. Color (CIE L\*a\*b\*) de la cáscara (medias±error estándar) en frutos de banano (*Musa* AAA, cv. Valery) sometidos a diferentes temperaturas y tiempos de inmersión en agua al finalizar la simulación de transporte (Experimento 1).

| T (°C)  | Tiempo (min) | Variable       |                |               |
|---------|--------------|----------------|----------------|---------------|
|         |              | L*             | a*             | b*            |
| Testigo | 5            | 61,53±0,84 d   | -19,47±0,37 a  | 38,74±0,20 d  |
|         | 10           | 61,53±0,84 d   | -19,47±0,37 a  | 38,74±0,20 d  |
|         | 15           | 61,53±0,84 d   | -19,47±0,37 a  | 38,74±0,20 d  |
|         | 20           | 61,53±0,84 d   | -19,47±0,37 a  | 38,74±0,20 d  |
| 25      | 5            | 58,54±0,98 cd  | -20,00±0,37 a  | 36,22±0,41 d  |
|         | 10           | 57,48±0,26 bcd | -20,43±0,14 a  | 36,17±0,17 cd |
|         | 15           | 58,31±1,91 cd  | -20,13±0,40 a  | 35,42±0,30 cd |
|         | 20           | 59,15±1,55 d   | -20,13±0,30 a  | 35,93±0,47 cd |
| 35      | 5            | 59,79±0,51 d   | -20,29±0,25 a  | 36,79±0,30 d  |
|         | 10           | 56,89±1,16 bcd | -20,45±0,23 a  | 35,63±0,40 cd |
|         | 15           | 57,07±1,04 bcd | -20,55±0,12 a  | 35,75±0,35 cd |
|         | 20           | 57,39±0,76 bcd | -20,82±0,14 a  | 36,17±0,36 cd |
| 45      | 5            | 57,42±1,19 bcd | -20,66±0,29 a  | 36,27±0,23 d  |
|         | 10           | 57,28±0,53 bcd | -20,44±0,16 a  | 35,74±0,27 cd |
|         | 15           | 59,95±1,05 d   | -20,25±0,08 a  | 35,74±0,16 cd |
|         | 20           | 56,64±1,57 bcd | -20,70±0,19 a  | 35,82±0,66 cd |
| 55      | 5            | 59,56±1,16 d   | -17,20±0,68 ab | 35,19±0,21 cd |
|         | 10           | 50,95±2,89 bc  | -12,43±2,18 b  | 28,94±2,26 bc |
|         | 15           | 49,81±4,29 b   | -12,88±3,74 b  | 27,72±4,56 ab |
|         | 20           | 39,27±1,50 a   | -2,87±1,53 c   | 21,09±3,37 a  |

Medias dentro de la misma columna con distinta letra difieren significativamente ( $p < 0,05$ ) según prueba Tukey.

Igualmente en la simulación de transporte los frutos expuestos a 55°C mostraron lesiones visibles en la superficie de la fruta producidas por daño térmico y que se caracterizaron por áreas de color pardo oscuro (Figura 1). Ello no ocurrió en los frutos expuestos a los demás tratamientos térmicos; con excepción del tratamiento que comprendió la inmersión de frutos por 5 min a 55°C, los demás tratamientos con esa temperatura del agua fueron descartados. El tratamiento de

55°C por 5 min se conservó para dar seguimiento visual al desarrollo de su maduración.

La pérdida de peso en el periodo comprendido entre el empaque y el grado 5 de maduración varió ( $p > 0,003$ ) entre tratamientos, con una mayor magnitud de pérdida en aquellos con las temperaturas del agua más altas (35°C y 45°C) con respecto a los de temperaturas más bajas (25°C y testigo) para 10, 15 y 20 min de inmersión (Cuadro 3).





Fig. 1. Frutos de banano (*Musa* AAA cv. Valery) expuestos a diferentes temperaturas y tiempos de inmersión al finalizar el almacenamiento: (a) 25°C x 5 min, (b) 25°C x 10 min, (c) 25°C x 15 min, (d) 25°C x 20 min, (e) 35°C x 5 min, (f) 35°C x 10 min, (g) 35°C x 15 min, (h) 35°C x 20 min, (i) 45°C x 5 min, (j) 45°C x 10 min, (k) 45°C x 15 min, (l) 45°C x 20 min, (m) 55°C x 5 min, (n) 55°C x 10 min, (ñ) 55°C x 15 min, (o) 55°C x 20 min. 34.

Cuadro 3. Porcentaje de pérdida de peso (medias±error estándar) en frutos de banano (*Musa* AAA, cv. Valery) sometido a diferentes temperaturas y tiempos de inmersión en agua al alcanzar grado 5 de maduración (Experimento 1).

| T (°C)  | Tiempo (min)    |               |                |                |
|---------|-----------------|---------------|----------------|----------------|
|         | 5               | 10            | 15             | 20             |
| Testigo | 2,14±0,07 cde   | 2,14±0,07 cde | 2,14±0,07 cde  | 2,14±0,07 cde  |
| 25      | 2,14±0,07 de    | 2,14±0,06 de  | 2,25±0,10 e    | 2,19±0,07 de   |
| 35      | 2,09±0,05 bcde  | 1,87±0,30 abc | 1,94±0,05 abcd | 1,93±0,05 abcd |
| 45      | 2,02±0,10 abcde | 1,86±0,03 ab  | 1,86±0,05 ab   | 1,80±0,05 a    |

Medias dentro de la misma columna con distinta letra difieren significativamente ( $p < 0,05$ ) según prueba Tukey.

El color en la cáscara (Cuadro 4), para las variables  $L^*$   $a^*$   $b^*$  en frutos con grado 5 de maduración no varió entre temperaturas ( $p > 0,0844$ ,  $p > 0,1388$  y  $p > 0,7150$ ; respectivamente), los tiempos ( $p > 0,7869$ ,  $p > 0,6441$  y  $p > 0,9986$ ; respectivamente) ni la misma interacción ( $p > 0,9904$ ,  $p > 0,0705$  y  $p > 0,7321$ ; respectivamente). El color

de la pulpa (datos no mostrados) para las variables  $L^*$   $a^*$   $b^*$  no presentó diferencias entre las temperaturas ( $p > 0,2159$ ,  $p > 0,3026$  y  $p > 0,3174$ , respectivamente), tiempos ( $p > 0,8551$ ,  $p > 0,7067$  y  $p > 0,5186$ ; respectivamente) y la interacción de ambas ( $p > 0,4458$ ,  $p > 0,9742$  y  $p > 0,2513$ ; respectivamente).

Cuadro 4. Color (CIE  $L^*a^*b^*$ ) de la cáscara (medias±error estándar) en frutos de banano (*Musa* AAA, cv. Valery) sometido a diferentes temperaturas y tiempos de inmersión en agua al alcanzar grado 5 de maduración (Experimento 1).

| T (°C)  | Tiempo (min) | Variable     |              |              |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|         |              | L            | a            | b            |
| Testigo | 5            | 75,57±0,39 a | -7,34±0,22 a | 51,44±0,97 a |
|         | 10           | 75,57±0,39 a | -7,34±0,22 a | 51,44±0,97 a |
|         | 15           | 75,57±0,39 a | -7,34±0,22 a | 51,44±0,97 a |
|         | 20           | 75,57±0,39 a | -7,34±0,22 a | 51,44±0,97 a |
| 25      | 5            | 75,16±0,29 a | -7,40±0,43 a | 50,67±1,56 a |
|         | 10           | 74,99±0,81 a | -8,27±0,33 a | 50,59±1,11 a |
|         | 15           | 75,02±0,78 a | -6,96±0,16 a | 51,28±1,45 a |
|         | 20           | 74,68±0,94 a | -7,24±0,23 a | 49,90±0,65 a |
| 35      | 5            | 74,81±0,49 a | -7,50±0,39 a | 49,71±1,30 a |
|         | 10           | 75,49±0,46 a | -7,19±0,26 a | 51,40±0,56 a |
|         | 15           | 74,63±1,35 a | -8,49±0,83 a | 50,75±1,21 a |
|         | 20           | 74,49±1,20 a | -8,51±0,73 a | 52,27±1,15 a |
| 45      | 5            | 75,74±0,37 a | -7,14±0,21 a | 52,07±0,88 a |
|         | 10           | 75,98±0,51 a | -7,23±0,20 a | 50,82±0,83 a |
|         | 15           | 76,63±0,28 a | -7,93±0,27 a | 50,36±0,93 a |
|         | 20           | 75,49±0,70 a | -7,29±0,44 a | 50,18±0,62 a |

Medias dentro de la misma columna con distinta letra difieren significativamente ( $p < 0,05$ ) según prueba Tukey.



La firmeza de la pulpa presentó diferencias entre temperaturas ( $p < 0,0272$ ), pero no para los tiempos de inmersión ( $p > 0,4814$ ) ni para la interacción entre ambos ( $p > 0,8515$ ), en este caso la menor firmeza de pulpa fue registrada para el testigo (8,88 Newtons) en comparación con los tratamientos de agua caliente (9,28 Newtons). Los sólidos solubles no variaron entre temperaturas ( $p > 0,3254$ ), pero si entre tiempos de inmersión ( $p > 0,0251$ ) y la interacción entre ambos ( $p < 0,0001$ ) sin embargo, las diferencias son tan pequeñas (0,7% de sólidos) que no serían percibidas por el consumidor.

El tratamiento testigo mostró los mayores porcentajes de incidencia (Cuadro 5) y severidad de moho en las coronas de los bananos tratados, aún con la aplicación de un tratamiento

poscosecha de fungicida y alumbre que se aplicó a todos los tratamientos.

Las temperaturas del agua de 25°C, 35°C y 45°C no afectaron la maduración de los frutos de banano. Sólo el tratamiento de 55°C por un tiempo de inmersión de 5 min tuvo un retraso en la maduración. Los frutos de este tratamiento alcanzaron el grado 5 de maduración aproximadamente 48 h después y presentaron “manchas de madurez” (Figura 2). Durante las evaluaciones poscosecha del primer ensayo, ninguno de los bananos de los diferentes tratamientos presentó pudrición de la corona.

Se escogió, con base en los resultados, la temperatura de 45°C como la temperatura máxima de las evaluadas, que no ocasionó ningún negativo efecto sobre la apariencia y maduración de las fruta y por tanto sería la temperatura máxima segura a evaluar como método para remoción de látex.

Cuadro 5. Efecto de diferentes aplicaciones de temperatura y tiempo de inmersión en la incidencia de moho en la corona de gajos de banano en color de maduración 5 en el experimento 1.

| Temperatura de<br>tratamiento °C    | Tiempo de exposición (min) |    |    |    |
|-------------------------------------|----------------------------|----|----|----|
|                                     | 5                          | 10 | 15 | 20 |
| Incidencia de moho en la corona (%) |                            |    |    |    |
| Testigo                             | 92                         | 92 | 92 | 92 |
| 25                                  | 7                          | 33 | 13 | 0  |
| 35                                  | 0                          | 7  | 20 | 0  |
| 45                                  | 0                          | 0  | 0  | 0  |

## Experimento 2: Evaluación de la temperatura máxima segura y el tiempo de inmersión sobre la secreción de látex de la corona en gajos de banano empacados

Al finalizar la simulación de transporte ningún tratamiento había iniciado el proceso de maduración ni mostraron síntomas visibles de daños por temperatura (datos no mostrados). Tampoco se observaron diferencias en pérdidas de peso. Al llegar a grado 5 de maduración el porcentaje de pérdida de peso no difirió ( $p > 0,7317$ ) entre tratamientos. En dicha etapa las variables  $L^*$  y  $a^*$  presentaron diferencias ( $p < 0,0145$  y  $p > 0,0247$ ; respectivamente) entre el testigo absoluto y el tratamiento de 45°C y 10 min para el

primer caso y entre el testigo absoluto y los tratamientos de 45°C a 10 y 20 min en el segundo caso. La variable  $b^*$  no difirió ( $p > 0,3304$ ) entre tratamientos (Cuadro 6). Los gajos de banano expuestos a los diferentes tratamientos térmicos y evaluados en grado 5 de maduración mostraron menos color verde residual (valores más cercanos a 0) que el testigo comercial y el testigo absoluto lo que sugiere tendencia a maduración más uniforme.

La firmeza de la pulpa en frutos con grado 5 de maduración (datos no mostrados) no difirió ( $p > 0,2685$ ) entre tratamientos. El porcentaje de sólidos solubles difirió entre los tratamientos térmicos de 45°C por 10 y 20 min (21,32 y 21,70 Brix respectivamente) y los



Fig. 2. Frutos de banano (*Musa* AAA cv. Valery) expuestos a diferentes temperaturas y tiempos de inmersión al grado 5 de maduración según la escala de Von Loesecke: (a) 25°C x 5 min, (b) 25°C x 10 min, (c) 25°C x 15 min, (d) 25°C x 20 min, (e) 35°C x 5 min, (f) 35°C x 10 min, (g) 35°C x 15 min, (h) 35°C x 20 min, (i) 45°C x 5 min, (j) 45°C x 10 min, (k) 45°C x 15 min, (l) 45°C x 20 min, (m) 55°C x 5 min aún en grado 4, (n) Control (ñ) 55°C x 5 min al llegar a grado 5.

testigos absoluto (21,27 Brix) y comercial (22,65 Brix) ( $p < 0,0001$ ) pero al igual que en el experimento 1 la diferencia es de entre 0,95 y 1,38% de sólidos solubles (Brix).

El peso seco (g) de látex exudado varió ( $p < 0,0001$ ) entre los tratamientos (Cuadro 7). El testigo absoluto presentó el mayor valor, dado que no recibió proceso alguno para la eliminación

Cuadro 6. Color (CIE L\*a\*b\*) de la cáscara (medias±error estándar) en frutos de banano (*Musa* AAA, cv. Valery) sometido a diferentes temperaturas y tiempos de inmersión en agua después de la simulación de transporte en el experimento 2.

| Tratamiento       | Variable      |               |              |
|-------------------|---------------|---------------|--------------|
|                   | L*            | a*            | b*           |
| Testigo Comercial | 74,34±0,35 ab | -3,91±0,13 ab | 47,71±0,80 a |
| Testigo Absoluto  | 73,47±0,30 a  | -4,23±0,22 a  | 48,13±0,60 a |
| 45°C x 10 min     | 74,91±0,28 b  | -3,79±0,09 b  | 49,04±0,78 a |
| 45°C x 20 min     | 74,21±0,29 ab | -3,60±0,11 b  | 47,06±0,88 a |

Medias dentro de la misma columna con distinta letra difieren significativamente ( $p<0,05$ ) según prueba Tukey.

Cuadro 7. Peso seco (g) de látex exudado (medias±error estándar) en frutos de banano (*Musa* AAA, cv. Valery) sometido a diferentes temperaturas y tiempos de inmersión en agua y almacenados después de la simulación de transporte para el experimento 2.

| Tratamientos      | Peso seco (g) de latex exudado |
|-------------------|--------------------------------|
| Testigo Comercial | 0,021±0,004 a                  |
| Testigo Absoluto  | 0,343±0,016 b                  |
| 45°C x 10 min     | 0,024±0,004 a                  |
| 45°C x 20 min     | 0,010±0,005 a                  |

Medias dentro de la misma columna con distinta letra difieren significativamente ( $p<0,05$ ) según prueba Tukey.

de látex y se empacó recién seccionados los gajos. Los tratamientos térmicos, de 10 y 20 min mostraron valores estadísticamente iguales al tratamiento comercial de manejo de frutos (permanencia de 20 min en depósitos de agua circulante).

El principal problema fitopatológico en la corona de gajos en grado 5 de maduración fue la presencia de moho (principalmente *Fusarium* sp), que se presentó en los gajos expuestos a temperaturas de 45°C, incluso un 20% de la fruta tratada por 20 min a esa temperatura presentaba un 75% de área en la corona con presencia de moho.

La pudrición de la corona (*Colletotrichum* sp.) y manchas severas de látex se presentaron únicamente en el testigo absoluto. Sin embargo, los gajos con tratamiento térmico presentaron una incidencia del 10% de manchas

por látex leves en los tiempos de exposición de 10 y 20 min.

## DISCUSIÓN

Según Lurie (1998) la temperatura y tiempo de exposición en un tratamiento térmico, pueden aumentar o retrasar la respiración climatérica de los frutos; además de la respiración de los frutos, la salida del dióxido de carbono y vapor agua representan una pérdida de peso en el producto y por tanto una disminución de su valor comercial (Kays 1997).

Los frutos del tratamiento testigo obtuvieron una pérdida de peso menor que los frutos de los tratamientos térmicos dado que la temperatura y el tiempo de inmersión fueron factores

generadores de estrés que aceleraron el proceso metabólico normal (Cuadro 1).

Al evaluar la calidad externa de la fruta, se identificó una tendencia a disminuir la luminosidad o brillantez de la cáscara conforme aumenta la temperatura de inmersión, desde un testigo con una luminosidad natural hasta frutos expuestos a 55°C con lesiones oscuras en la cáscara. Las temperaturas intermedias (25°C, 35°C y 45°C) obtuvieron valores de luminosidad estadísticamente iguales al testigo.

En los tratamientos de 10, 15 y 20 min a 55°C fueron más evidentes las lesiones de la cáscara en los frutos. Este resultado concuerda con el obtenido por Reyes et al. (1998) en frutos de banano del cultivar 'Williams', los cuales presentaron lesiones en un 100% de la cáscara al aplicar tratamientos de 10-20 min de inmersión a una temperatura de 55°C, mientras que un tratamiento de 50°C por 20 min tuvo poco efecto. Los efectos indirectos primarios del estrés causado por la aplicación de altas temperaturas pueden ser la inhibición de la síntesis de pigmentos, la formación de lesiones en la cáscara y degradación de proteínas (Kays 1997).

De acuerdo con Soto (1992), en el grado de maduración 5 se expresa el color ideal para colocar en los exhibidores de los detallistas. Los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en la cáscara y en la pulpa reflejan que las temperaturas aplicadas por los tiempos respectivos no interfieren en el desarrollo del color normal de la pulpa ni el desarrollo normal de la luminosidad, la disminución de color verde y el aumento de color amarillo en la cáscara de los frutos de banano Cavendish.

El tratamiento de 55°C con un tiempo de inmersión de 5 min retrasó la maduración. Esto confirma, tal y como lo informó Lobo et al. (2000) en Dwarf Cavendish- tratados a 50°C por 15 min, que los tratamientos térmicos de inmersión a altas temperaturas producen alteración de la maduración. Resultados similares obtuvo Wall (2004) al aplicar tratamientos de inmersión en agua caliente (48, 49 y 50°C) por tiempos de 15 o 20 min en frutos de banano en los que supone se presentó una alteración de la síntesis de etileno.

En banano, la textura es un atributo compuesto por muchos factores como lo son la turgencia del agua en los tejidos y los componentes estructurales de los tejidos y células y la degradación de almidón (Seymour et al. 1993, Dadzie y Orchard 1996). Los frutos de los tratamientos térmicos mantuvieron una mejor firmeza al momento de llegar a grado 5 de maduración que el tratamiento testigo.

Se ha sugerido que los tratamientos térmicos producen un retraso en la pérdida de firmeza debido a la inhibición de la síntesis de enzimas hidrolíticas de la pared celular como Poligalacturonasa (Lazan et al. 1989 mencionado por Lurie 1998).

En banano se ha reportado que el metabolismo de carbohidratos puede ser alterado por la exposición a temperaturas elevadas, por ejemplo a temperaturas de 40°C la formación de sacarosa se detiene (Lizana 1976 mencionado por Seymour et al. 1993). Sin embargo en este trabajo, no se presentaron diferencias significativas en los sólidos solubles.

La temperatura de 55°C se descartó, por los daños provocados en la cáscara, no obstante, en banano 'Prata-Ana'; Moraes et al. (2006) afirman que un tratamiento de termoterapia de 56°C por 6 min produce una disminución de lesiones en la cáscara. Para la ejecución de este ensayo se utilizó el cultivar 'Valery' (*Musa AAA*), lo cual sugiere que es más sensible que el cultivar 'Prata-Ana' (*Musa AAB*) a los tratamientos térmicos.

Los resultados de incidencia y severidad del moho en las coronas de los bananos tratados demostraron que el tratamiento de 45°C fue el más efectivo como tratamiento físico para combatir el moho en la corona del banano.

A partir de los resultados del primer ensayo, se seleccionaron los tratamientos de 45°C por 10 y 20 min para ser aplicados en el siguiente. Se eligió una temperatura de 45°C al ser la mayor temperatura evaluada que no produjo daño tanto externa como internamente en los frutos de banano. La justificación para los tratamientos elegidos incluye también la ausencia de efectos negativos

en variables como color externo, sólidos solubles, firmeza y las demás variables de calidad.

En el segundo experimento, el porcentaje de pérdida de peso de los tratamientos aplicados indicó que un tratamiento térmico de 45°C aún por 20 min no produce un aumento en la transpiración ni la pérdida de agua en los frutos tratados en empaques con pocas perforaciones donde el riesgo de deshidratación se minimiza.

Al finalizar la simulación de transporte, ningún tratamiento había iniciado el proceso de maduración y se puede afirmar que no se presentó aceleración del mismo. La luminosidad ( $L^*$ ) del testigo absoluto obtuvo el menor valor lo cual indica que la fruta se encontraba más opaca en este momento, que se relacionó principalmente con la mancha producida por el látex segregado durante la simulación de transporte. La luminosidad ( $L^*$ ) más alta fue la del tratamiento de inmersión por 10 min, esta combinación de tiempo por temperatura favoreció la brillantez en los gajos de banano.

En general, el proceso de lavado de frutos elimina residuos de suciedad y agroquímicos presentes en las frutas, pero también elimina parte de las ceras naturales de la cáscara. También se ha descubierto que el agua caliente puede disolver parcialmente las ceras naturales y restos de estas podrían quedarse en el fruto y obstruir estructuras de intercambio gaseoso como los estomas (Shimshon 2005). Esto significaría que 10 min a 45°C no aumenta la solubilidad de las ceras naturales y posiblemente remueve partículas sólidas adheridas, que se traduce en una mayor brillantez de la cáscara de los gajos de banano.

Los valores obtenidos de firmeza indican que esta variable de calidad no se afectó por tratamientos térmicos. Los resultados obtenidos para la variable sólidos solubles, donde no se encontró diferencia estadística entre tratamientos, concuerda con investigaciones con otras musáceas (AAB) llevadas a cabo por Wall (2004), quien no encontró efecto de tratamientos de inmersión en agua caliente sobre el contenido de sólidos solubles, resultado similar al encontrado en éste trabajo.

Los valores de cantidad de látex exudado por el testigo absoluto representarían un valor cercano a la cantidad de látex exudado por un gajo típico de banano 'Valery'. La mayor exudación en el testigo absoluto se debe a que los paños absorbentes se colocaron después de seccionar la mano en el proceso de conformación del gajo. En ese momento la presión de turgencia del fruto era mayor y por tanto la secreción de látex por los canales laticíferos se efectuó con mayor facilidad. En adición, los frutos del tratamiento comercial permanecieron aproximadamente 20 min liberando el látex. En los tratamientos de agua caliente posiblemente se produjo un aumento de la presión interna de las células que contienen el látex (y por tanto su expulsión) y la solubilidad del mismo.

Se debe resaltar que la cantidad de látex exudada por los frutos de bananos tratados con agua caliente por 10 min fue similar al tratamiento comercial, lo que representaría un menor tiempo en el proceso de desleche si se aplicara comercialmente.

De acuerdo con los resultados obtenidos, para frutos de banano del cultivar 'Valery' un tratamiento de inmersión a una temperatura de 45°C por un tiempo mayor a los 10 min es comparable al tratamiento comercial en la disminución de la mancha de látex, además de no afectar variables poscosecha de calidad y por tanto podría considerarse como una alternativa en el manejo de látex en plantas empacadoras. Para esto se necesita profundizar en la metodología de aplicación y en tiempos menores y además estudiar con mayor detalle el efecto de los tratamientos térmicos sobre enfermedades poscosecha como la pudrición de la corona y el moho dado que los resultados obtenidos en éste trabajo no muestran un efecto positivo claro sobre dichas variables.

## LITERATURA CITADA

- BAKER D., KALLARACKAL J., MILBURN J. 1990. Water Relations of the Banana. II. Physicochemical Aspects of the Latex and Other Tissue Fluids. Aust. J. Plant. Physiol. 17:69-77.



- BANKS N.H. 1990. Factors affecting the severity of deflowering latex stain on banana bunches in the Windward Islands. *Tropical Agriculture*. 67(2):111-114.
- BANKS N.H., JOSEPH M., BORTON C.A. 1988. Optimization of latex draining time in the postharvest handling of field packed Windward Islands bananas, pp. 393-398. In \*\*\*ed. *Memorias VIII Reunión ACORBAT*. 1987. Medellín, Colombia.
- CORPORACIÓN BANANERA NACIONAL. 2003. Informe Anual. p. 96-97.
- DADZIE B., ORCHARD J. 1996. Post-Harvest Criteria and Methods for Routine Screening of Banana/Plantain Hybrids. *International Network for the Improvement of Banana and Plantain*. Montpellier, France. 75 p.
- KALLARACKAL J., GARLICK P.R., MILBURN J.A. 1986. Characterization of the structural inclusions in the latex of banana (*Musa* sp.). *Can. J. Bot.* 64:2591-2601.
- KAYS S. 1997. Postharvest physiology of perishable plant products. Exon Press. 532 p.
- LOBO M.G., POMARM., MARRRERO A. 2000. Simulación de la cadena comercial del plátano de Canarias, pp. 215-218. In: *Post-recolección de Frutos y Hortalizas*. V Simposio Nacional y II Ibérico. Tenerife.
- LURIE S. 1998. Review: Postharvest heat treatments. *Postharv. Biol. and Technol.* 14, 257-269.
- MIRANDA J. 1986. Nueva tecnología en el control de las manchas de látex en bananos y equipo de empaque. Informe mensual UPEB 10(78-79):57-59.
- MORAES W., ZAMBOLIM L., LIMA J.R., DO VALE F., SALOMAO L. 2006. Termoterapia e Quimioterapia de Banana 'Prata-Ana' Asociadas à Temperatura de Armazenamiento no Controle de Podridões em Pós-Colheita. *Fitopatol. Bras.* 31(1), jan-fev.
- REYES M., NISHIJIMA W., PAULL R. 1998. Control of crown rot in 'Santa Catarina Prata' and 'Williams' banana with hot water treatments. *Postharvest Biology and Technology* 14:71-75.
- SÁENZ M.V. 2004. Situación internacional y perspectivas para el manejo poscosecha de fruta de banano: Un enfoque de Tecnología Comercial, pp. 161-171. In: *ACORBAT publicación especial, XVI Reunión Internacional ACORBAT 2004*, Oaxaca, México.
- SALGADO T., FUNEZ P., MEDLICOTT A.P. 1993. Los efectos del tratamiento con agua caliente sobre el pelado del plátano, pp. 43-43. In: *Programa de banano y plátano. Informe técnico 1992*. Fundación hondureña de Investigación Agrícola. La Lima, Honduras.
- SANDOVAL J. 1989. Estudio de la anatomía y morfología de plantas de *Musa* in vitro en condiciones de aclimatación y en el campo. *Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza*. Turrialba, Costa Rica. 175 p.
- SEYMOUR G., TAYLOR J., TUCKER G. 1993. *Biochemistry of fruit ripening*. 1<sup>st</sup> edition. Chapman & Hall. 454 p.
- SHILLINGFORD C. 1977. Control of banana fruit rot and of fungi that contaminate washing water. *Trop. Sci.* 19(4):197-203.
- SHILLINGFORD C. 1985. Control de la mancha de látex. Informe mensual UPEB. Panamá. 9 (71):39-41.
- SHIMSHON B. 2005. *Environmentally Friendly Technologies for Agricultural Produce Quality*. CRC Press. 534 p.
- SIERRA S. 1993. Procesamiento de la fruta en la planta empacadora, pp. 573-631. In: *El cultivo del banano, producción y comercio*. Medellín, Colombia.
- SOTO M. 1992. *Banano cultivo y comercialización*. San José, Costa Rica. 674 p.
- VON LOESECKE H. 1950. *Bananas*. 2<sup>nd</sup> edition. InterScience, New York.
- WALL M. 2004. Ripening behaviour and quality of 'Brazilian' bananas following hot water immersion to desinfest surface insects. *HortScience* 39(6):1349-1353.

## EFFECTO DE LA INOCULACIÓN DE *Azotobacter chroococcum* Y *Glomus intraradices* EN EL CRECIMIENTO Y NUTRICIÓN DE PLÁNTULAS DE PAPAYA EN FASE DE VIVERO

Maricela Constantino\*, Regino Gómez<sup>1</sup>\*, José David Álvarez\*,  
Juan Manuel Pat\*, Elda Guadalupe Espín\*\*

**Palabras clave:** Biofertilizantes, *Glomus intraradices*, rizobacterias, inoculación de semillas, materia orgánica.  
**Keywords:** Biofertilizer, *Glomus intraradices*, rhizobacteria, seed inoculation, organic matter.

**Recibido:** 30/08/10

**Aceptado:** 07/03/11

### RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la etapa y el número de aplicaciones de los biofertilizantes (*Azotobacter chroococcum* y *Glomus intraradices*), sobre el crecimiento, biomasa y nutrición de papaya en fase de vivero. También se estudió el efecto de la materia orgánica y su interacción con los biofertilizantes aplicados. Se realizaron 2 experimentos; en el primero se aplicaron 2 inoculaciones, en semillas y después en plántulas, 30 días después de la emergencia. En el segundo se aplicó una inoculación simple en plántulas, 30 días después de la emergencia. Estos experimentos se realizaron utilizando un diseño factorial 5x4 (5 tipos de sustratos x 4 tipos de biofertilizantes). Todos los tratamientos fueron aplicados como inoculantes simples o combinados (*A. chroococcum* y *G. intraradices*) para un total de 20 tratamientos, con un diseño completamente al azar. La doble inoculación (semilla y plántula) promovió un mayor crecimiento y biomasa en el cultivo, en comparación con la inoculación simple (solo en plántulas), cuando se adicionó una dosis intermedia de materia orgánica (25 a 35%) y se aplicó *G. intraradices* como simple inoculante. Sin embargo, la inoculación

### ABSTRACT

**Effect of time of inoculation of *Azotobacter* and mycorrhizal fungi on growth and content nutrient of papaya seedlings in nursery phase.** The effect of time of inoculation (at sowing or after seedling emergence) and the number of applications using 2 biofertilizer (*Azotobacter chroococcum* and *Glomus intraradices*) were tested on growth, biomass and nutrition of papaya, at the nursery phase. The effect of organic matter and its interaction with the biofertilizers also was evaluated. Two experiments were realized; in the first one 2 inoculations were applied, on seeds and afterwards on seedlings, 30 days post emergency. In the second experiment a single inoculation was applied on seedlings, 30 days post emergence. These experiments were performed using a 5x4 factorial design (5 substrates x 4 biofertilizer types). All treatments were applied as single or combined inoculants (*A. chroococcum* and *G. intraradices*) for a total of 20 treatments, in a completely randomized design. The double inoculation (seed and seedling) promoted higher growth and biomass of the crop than single inoculation (only seedlings), when organic matter was added at an intermediate dose (25 or 35%) and

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: regomez@ecosur.mx

\* El Colegio de la Frontera Sur. Carretera Villahermosa-Reforma km 15,5. Ranchería Guineo, sección II. CP 86280. Villahermosa, Tabasco, México.

\*\* Instituto de Biotecnología. Universidad Autónoma de México. Av. Universidad Número 2001, Col. Chamilpa C.P. 62210. Cuernavaca, Morelos C.P. 62250. México.



simple o combinada no modificó el contenido de nutrientes en las plántulas de papaya.

*G. intraradices* was applied as a single inoculant. However, the single or double inoculation did not modify the nutrient content in papaya seedlings.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de papaya requiere un suelo fértil y rico en materia orgánica, debido a su rápido crecimiento (Rodríguez 1984). La incorporación de materia orgánica y biofertilizantes son algunas de las prácticas que se han aplicado en la preparación de sustratos empleados en los viveros (Verma et al. 2008). La materia orgánica actúa como una fuente esencial de nutrientes para las plantas y mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Mokwunye et al. 1996).

Existen diversos trabajos donde la aplicación de biofertilizantes en la etapa de vivero ha incrementado el porcentaje de germinación, el crecimiento, desarrollo y salud de las plántulas de papaya, que mejoran la calidad y reducen el tiempo de permanencia de las plántulas en el vivero. Dentro de los microorganismos que han sido empleados como biofertilizantes en el cultivo de papaya se encuentran: *Azospirillum brasilense* y *Glomus claroideum* (Alarcon et al. 2002), *Trichoderma viridae* y *Azotobacter chroococcum* (Cupull et al. 2002), *Trichoderma harzianum* y hongos micorrízicos (Mesa et al. 2006, Wasy et al. 2010). También es importante mencionar que las plántulas pre-inoculadas con micorrizas son más tolerantes al estrés que sufren al trasplante en comparación a las plantas no micorrizadas o plantas inoculadas al momento del trasplante (Valdés et al. 1993, Waterer y Coltman 1988).

Los métodos de biofertilización más empleados han sido la aplicación en semillas, la inmersión de plántulas y la aplicación en el suelo (Hegde 1992, Sharma et al. 2008), el método de aplicación dependerá del tipo de cultivo. La formulación del inóculo, el método de aplicación y el almacenamiento del producto son críticos para

el éxito de los productos biológicos (Chen 2006). Asimismo, el momento de la inoculación (en la siembra o en la emergencia de las plántulas, o varios días después de la aparición de 1 a 4 hojas verdaderas), también parece ser crucial en determinar la colonización exitosa de los inoculantes microbianos e influenciar el crecimiento de las plantas (Bashan 1986).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la biofertilización y la materia orgánica en el crecimiento, biomasa y nutrición de plántulas de papaya. También se determinó el mejor momento de la inoculación de los biofertilizantes, en el cultivo de la papaya en fase de vivero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la etapa comprendida de marzo a junio de 2009, en el campo experimental de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa, ubicada en la Ranchería Guineo Segunda Sección, Municipio Centro, Tabasco, México.

Para evaluar el efecto de los biofertilizantes y la materia orgánica en el crecimiento y nutrición de plántulas de papaya en fase de vivero, se realizaron 2 experimentos: en el primer experimento se aplicó una doble inoculación de los biofertilizantes primero en las semillas y 30 días después de la emergencia de las plántulas. En el segundo experimento se aplicó una simple inoculación a plántulas de papaya con 30 días de crecimiento. Cada experimento se realizó de forma independiente. El primer experimento se desarrolló de marzo a mayo y el segundo experimento de abril a junio.

**Material microbiológico:** En los experimentos se utilizó la cepa de *Azotobacter*

*chroococcum*, aisladas por el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT) de la Habana, Cuba y reproducidas en los laboratorios de ECOSUR. Para la formulación del inoculante líquido, *A. chroococcum* fue cultivado en medio líquido Ashby enriquecido con  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (3 g.l<sup>-1</sup>) y extracto de levadura (0,1 g.l<sup>-1</sup>), manteniéndose con agitación orbital (150 rpm) a 30°C por 60 h, hasta obtener una concentración de  $1 \times 10^9$  unidades formadoras de colonias por ml (ufc.m.l<sup>-1</sup>). El inóculo micorrízico empleado fue *Glomus intraradices*, con una concentración de 1050 esporas en 100 g de Tezontle, que incluye raíces de alfalfa con un 85% de colonización, proporcionado por el área de Microbiología de El Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

**Sustratos:** Se utilizaron 2 tipos de sustratos: a) sustrato con composta hecha con residuos de hojarasca (suelo: composta, con base en peso/peso, en 4 diferentes proporciones porcentuales 100:0, 88:12, 75:25, 50:50%, y b) sustrato con

cascarilla de cacao, previamente seca y tamizada; la proporción fue hecha con base en peso/peso y se hizo en proporción porcentual 30:35:35 de arena:suelo:cascarilla de cacao. Después de realizar las mezclas se esterilizaron en autoclave a 1,5 atm por 2 h, por 3 días consecutivos. El sustrato con cascarilla de cacao es utilizado en diversos viveros de papaya de Tabasco, por ser un material disponible en la región. Las características físicas y químicas del suelo y los sustratos se describen en el Cuadro 1.

**Material vegetal:** Se emplearon semillas de papaya cv. Maradol previamente desinfectadas en una solución de peróxido de hidrogeno al 10% por 3 min y posteriormente fueron lavadas 3 veces con agua destilada estéril. En seguida, se aplicó un tratamiento de pre-germinación que consistió en la inmersión de las semillas en agua destilada estéril a temperatura alternada de 15-35°C por 24 y 4 h respectivamente. Inmediatamente después las semillas fueron tratadas conforme a los experimentos descritos a continuación.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo y los sustratos utilizados en los experimentos: Composta (12, 25, 50%) y sustrato con cascarilla de cacao (CC).

| Sustratos                   | Suelo            | Sustrato Composta |                  |        | Sustrato Cascarilla Cacao |
|-----------------------------|------------------|-------------------|------------------|--------|---------------------------|
|                             |                  | C12%              | C25%             | C50%   | CC35%                     |
| Textura                     | Franco arcilloso | Franco arcilloso  | Franco arcilloso | Franco | Franco arcillo arenoso    |
| Arcilla (%)                 | 40               | 37                | 28               | 23     | 25                        |
| Limo (%)                    | 38               | 39                | 40               | 29     | 21                        |
| Arena (%)                   | 22               | 24                | 32               | 48     | 54                        |
| Materia orgánica (%)        | 2,4              | 5,0               | 6,5              | 16,4   | 11,2                      |
| C/N                         | 23,89            | 18,67             | 24,88            | 21,56  | 19,29                     |
| pH                          | 7,8              | 7,4               | 7,2              | 7,2    | 6,1                       |
| N Total (%)                 | 0,1              | 0,2               | 0,3              | 0,9    | 0,6                       |
| P (mg.kg <sup>-1</sup> )    | 22,39            | 446,38            | 513,90           | 566,49 | 66,04                     |
| K (cmol.kg <sup>-1</sup> )  | 0,9              | 1,88              | 4,14             | 5,55   | 2,64                      |
| Ca (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | 16,00            | 22,87             | 22,75            | 14,38  | 29,44                     |
| Mg (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | 6,4              | 7,25              | 14,10            | 14,14  | 10,20                     |
| Na (cmol.kg <sup>-1</sup> ) | 0,13             | 0,65              | 1,26             | 1,02   | 0,46                      |

**Experimento 1: Evaluación de la doble inoculación de los biofertilizantes.** La aplicación de los biofertilizantes en semillas se realizó inmediatamente después del tratamiento pre-germinativo, de acuerdo con los tratamientos establecidos (Cuadro 2). Para el tratamiento con *Azotobacter* las semillas se sumergieron por una hora en el inoculante líquido bacteriano. Posteriormente, las semillas se sembraron en charolas de germinación con 24 cavidades, sembrándose una semilla por cavidad y se empleó una charola por tratamiento. Las charolas fueron llenadas con el sustrato cascarilla de cacao.

El inóculo de *G. intraradices* se aplicó directamente en el sustrato, 3 g por cavidad justo antes de la siembra de la semilla. En los tratamientos con las mezclas de *A. chroococcum* + *G. intraradices*, las semillas se sumergieron por una hora en el biofertilizante bacteriano y

posteriormente se sembró a razón de una semilla por cavidad, donde previamente se había inoculado cada cavidad con 3 g de *G. intraradices*. A los 30 días después de la emergencia de las plántulas, se realizó la segunda inoculación en el trasplante en macetas plásticas de 1,5 kg. Cada maceta fue llenada con los respectivos sustratos. La inoculación de *A. chroococcum* se hizo directamente al sistema radical, con la aplicación de 5 ml.plántula<sup>-1</sup>, mientras que la aplicación de *G. intraradices* se hizo con 3 g.plántula<sup>-1</sup>, también al sistema radical. Para el tratamiento combinado de *A. chroococcum* y *G. intraradices*, primero se aplicaron los 3 g de inóculo micorrízico y después los 5 ml.plántula<sup>-1</sup> del inoculante bacteriano. Las plántulas se mantuvieron bajo una temperatura entre 26 y 38°C y una humedad relativa promedio de 45%, con riego diario durante 60 días.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos experimentales.

| Factores |                                                | Tratamientos |                         |
|----------|------------------------------------------------|--------------|-------------------------|
| Factor B |                                                | Factor A     |                         |
| Niveles  | Biofertilizantes                               | Niveles      | Sustratos               |
| 1        | <i>Azotobacter chroococcum</i>                 | 1            | Composta 0%             |
|          |                                                | 2            | Composta 12%            |
|          |                                                | 3            | Composta 25%            |
|          |                                                | 4            | Composta 50%            |
|          |                                                | 5            | Cascarilla de cacao 35% |
| 2        | <i>Glomus intraradices</i>                     | 1            | Composta 0%             |
|          |                                                | 2            | Composta 12%            |
|          |                                                | 3            | Composta 25%            |
|          |                                                | 4            | Composta 50%            |
|          |                                                | 5            | Cascarilla de cacao 35% |
| 3        | <i>G. intraradices</i> + <i>A. chroococcum</i> | 1            | Composta 0%             |
|          |                                                | 2            | Composta 12%            |
|          |                                                | 3            | Composta 25%            |
|          |                                                | 4            | Composta 50%            |
|          |                                                | 5            | Cascarilla de cacao 35% |
| 4        | Testigo                                        | 1            | Composta 0%             |
|          |                                                | 2            | Composta 12%            |
|          |                                                | 3            | Composta 25%            |
|          |                                                | 4            | Composta 50%            |
|          |                                                | 5            | Cascarilla de cacao 35% |

**Experimento 2: Evaluación de inoculación simple de los biofertilizantes.** En la inoculación simple, los biofertilizantes fueron aplicados directamente en el sistema radical de

las plántulas con 30 días de crecimiento. Para la obtención de las plántulas, las semillas recibieron el tratamiento pre-germinativo descrito en el experimento 1. Posteriormente, las semillas

fueron sembradas en charolas de germinación llenas con el sustrato con cascarilla de cacao y se dejaron crecer por 30 días, bajo las condiciones ambientales de vivero descritas anteriormente. Después de este tiempo, las plántulas fueron trasplantadas a macetas de 1,5 kg con los respectivos sustratos en cada tratamiento.

La biofertilización de las plántulas se realizó al momento del trasplante en el sistema radical, de acuerdo con cada uno de los tratamientos (Cuadro 2). La biofertilización simple y combinada de *A. chroococcum* y *G. intraradices* se realizó de igual forma que se hizo en la segunda aplicación del primer experimento.

**Diseño de experimento:** En los 2 experimentos se aplicó un diseño factorial 5x4 con arreglo completamente al azar, evaluándose 2 factores: el Factor A: Sustrato. Se utilizaron 5 sustratos (composta al 0, 12, 25 y 50% y cascarilla de cacao al 35%, correspondientes a 5 niveles). El Factor B: Biofertilizante. Se utilizaron 2 biofertilizantes, la mezcla y un testigo sin biofertilizar (*A. chroococcum*, *G. intraradices*, *A. chroococcum* + *G. intraradices* y un Testigo, correspondientes a 4 niveles). Para dar un total de 20 tratamientos con 3 repeticiones cada uno (Cuadro 2).

**Variables de crecimiento y nutrición evaluadas.** Las variables de crecimiento evaluadas a los 90 días después de la emergencia fueron: altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), biomasa fresca (g) y biomasa seca (g). El diámetro se midió en la base del tallo (unión del tallo con la raíz). La altura de las plantas se midió de la base del tallo hasta el ápice. El peso seco de las plantas se evaluó después de la deshidratación en estufa a 60°C durante 72 h y posteriormente se pesaron en una balanza de precisión. Para el análisis de los nutrientes, el contenido de N fue determinado por el método semi-micro Kjeldahl (Bremner 1969). El contenido de P y K fueron determinados por  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  y fueron medidos por el método espectrofotométrico con la

mezcla vanadomolibdica y espectrometría de absorción atómica respectivamente.

**Variables microbiológicas evaluadas.** La población de *A. chroococcum* se determinó al pesar 10 g de suelo rizosférico por planta y se agregó en un matraz con 100 ml de agua destilada estéril, por medio de una serie de diluciones de  $10^{-1}$  a  $10^{-5}$ . Se inocularon por triplicado 100  $\mu\text{l}$  de las 3 últimas diluciones en cajas de petri con medio de cultivo Burk-sacarosa (BS) adicionado con Acido Nalidixico ( $20 \mu\text{g.ml}^{-1}$  de medio de cultivo). El porcentaje de colonización micorrízica se evaluó por medio del método de clareo y tinción de Phillips y Hayman (1978).

**Análisis estadístico.** Se realizó un ANOVA factorial y la comparación de medias se realizó con la prueba de Rangos múltiples de Duncan ( $p < 0,05$ ). Para conocer la posible variabilidad de los resultados obtenidos entre la doble y la simple biofertilización, se realizó la comparación de las medias con la prueba t de student para 2 muestras independientes. Los análisis se realizaron con el software estadístico STATISTICA versión 8.0.

## RESULTADOS

**Efecto de inoculación simple y combinada de los biofertilizantes y su interacción con la materia orgánica en la población de *A. chroococcum* y en la colonización de *G. intraradices***

**Experimento 1:** A los 90 días después de la siembra, con doble biofertilización se observó que la población de *A. chroococcum* fue mayor a menor contenido de materia orgánica, siendo los tratamientos Ac+C12 y Gi+Ac+C12 los que registraron una concentración bacteriana significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) a los demás tratamientos. Además, la población de *A. chroococcum* fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) cuando se aplicó sin combinación con *G. intraradices* (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de la doble y simple biofertilización y la materia orgánica en la población de *A. chroococcum* y en la colonización de *G. intraradices*.

| Tratamientos | Población de rizobacterias (ufc g.suelo <sup>-1</sup> ) |                      | Colonización micorrízica (%) |        |
|--------------|---------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------|--------|
|              | Doble                                                   | Simple               | Doble                        | Simple |
| Ac+C0        | 3,78X10 <sup>5</sup>                                    | 4,46X10 <sup>4</sup> | -                            | -      |
| Ac+C12       | 4,29X10 <sup>5</sup>                                    | 1,60X10 <sup>4</sup> | -                            | -      |
| Ac+C25       | 1,37X10 <sup>5</sup>                                    | 1,39X10 <sup>4</sup> | -                            | -      |
| Ac+C50       | 7,96X10 <sup>4</sup>                                    | 2,46X10 <sup>4</sup> | -                            | -      |
| Ac+CC        | 9,41X10 <sup>4</sup>                                    | 1,39X10 <sup>4</sup> | -                            | -      |
| Gi+C0        | -                                                       | -                    | 31,44                        | 26,20  |
| Gi+C12       | -                                                       | -                    | 35,63                        | 29,69  |
| Gi+C25       | -                                                       | -                    | 51,02                        | 34,01  |
| Gi+C50       | -                                                       | -                    | 57,59                        | 38,40  |
| Gi+CC        | -                                                       | -                    | 61,58                        | 41,06  |
| Gi+Ac+C0     | 3,31X10 <sup>5</sup>                                    | 2,42X10 <sup>4</sup> | 24,16                        | 20,13  |
| Gi+Ac+C12    | 4,23X10 <sup>5</sup>                                    | 3,31X10 <sup>4</sup> | 39,47                        | 32,89  |
| Gi+Ac+C25    | 3,61X10 <sup>4</sup>                                    | 1,92X10 <sup>4</sup> | 56,69                        | 37,79  |
| Gi+Ac+C50    | 2,24X10 <sup>4</sup>                                    | 1,67X10 <sup>4</sup> | 54,94                        | 36,63  |
| Gi+Ac+CC     | 1,47X10 <sup>4</sup>                                    | 1,77X10 <sup>4</sup> | 39,47                        | 26,32  |

Medias seguidas por diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p<0,05$ ). n.s=no significativo, a  $p<0,05$ .

La evaluación de la infección micorrízica en raíces de papaya con doble biofertilización, señala que los tratamientos Gi+CC, Gi+C50 y Gi+Ac+C25, fueron los que registraron un mayor porcentaje de colonización micorrízica (61,58; 57,59; 56,69 y 54,94%). En general, la aplicación simple de *G. intraradices* registró una mayor colonización en comparación a cuando se aplicó en combinación con *A. chroococcum* (Cuadro 3).

**Experimento 2:** En la simple biofertilización, no se encontraron diferencias significativas en la concentración de *A. chroococcum* en ninguno de los tratamientos evaluados, por lo que ni la adición de materia orgánica ni la aplicación combinada con *G. intraradices*, tuvieron un efecto en su población (Cuadro 3). De igual forma, no se encontraron diferencias significativas en la población de *Azotobacter* al aplicar una doble o una simple biofertilización (de acuerdo con la prueba t de Student,  $p>0,05$ ). (Cuadro 3).

En la simple biofertilización, se observó una mayor colonización micorrízica a mayores dosis de materia orgánica adicionada. Los tratamientos Gi+CC, Gi+C50, Gi+Ac+C25 y Gi+Ac+C50 registraron los valores más altos de colonización, mientras que en los tratamientos sin adición de materia orgánica se observaron los valores más bajos de colonización micorrízica (Cuadro 3). Por otra parte, también se encontró que la colonización micorrízica fue significativamente mayor cuando se aplicó una doble inoculación (de acuerdo con la prueba t de Student,  $p<0,05$ ).

#### **Experimento 1: Efecto de la doble inoculación de los biofertilizantes y su interacción con la materia orgánica en el crecimiento, biomasa y nutrición vegetal**

La altura promedio de las plántulas fue de 26,0 cm y fue significativamente afectada por la interacción entre el sustrato y el tipo de biofertilizante ( $p<0,05$ ). Las plántulas de los tratamientos Gi+C25 presentaron la mayor altura (29,6 cm) (Cuadro 4). El efecto independiente del factor A (sustrato) en la altura, fue significativamente

diferente ( $p<0,05$ ), las plántulas crecidas en los sustratos con 50 y 25% de composta (C50 y C25) presentaron la mayor altura (27,2 y 27,0 cm, respectivamente) (Cuadro 5). Al evaluar el efecto independiente del factor B (biofertilizantes), se observó que la aplicación de *Azotobacter* afectó negativamente la altura de las plántulas en comparación a los demás tratamientos (Cuadro 6).

El diámetro de tallo promedio fue de 13,1 mm y fue significativamente afectado por la interacción entre el sustrato y el tipo de biofertilizante ( $p<0,05$ ). Las plantas crecidas en el tratamiento Gi+CC, resultaron con un mayor diámetro (15,2 mm) y fueron significativamente mayor a los demás tratamientos ( $p<0,05$ ) (Cuadro 4). El efecto independiente del factor A (sustrato) en el diámetro del tallo, presentó diferencias significativas ( $p<0,05$ ). Las plántulas con mayor diámetro se registraron con la adición del sustrato CC (13,9 mm) (Cuadro 5). En cuanto al efecto del factor B (biofertilizante), el mayor diámetro del tallo se observó con la inoculación combinada de HMA y *Azotobacter* (Gi+Ac) (13,5 mm) (Cuadro 6).

La aplicación de materia orgánica incrementó la acumulación de biomasa fresca, obteniéndose en promedio 33,6 g.plántula<sup>-1</sup>, y fue significativamente afectada por la interacción entre el sustrato y el biofertilizante ( $p<0,05$ ). Las plántulas crecidas en el tratamiento Gi+CC, acumularon la mayor biomasa fresca (47,0 g) (Cuadro 4). Asimismo, el efecto independiente del factor A (materia orgánica) en la biomasa fresca, presentó diferencias significativas ( $p<0,05$ ), pero el mayor efecto se debió a la adición del sustrato CC (37,7 g) (Cuadro 5). De igual forma, el efecto independiente del factor B (biofertilizante) afectó significativamente la biomasa fresca ( $p<0,05$ ), pero el mayor efecto se debió a la aplicación simple de HMA (Gi) (35,7 g) (Cuadro 6).

La biomasa seca promedio obtenida fue de 3,74 g.plántula<sup>-1</sup> y fue significativamente afectada por la interacción entre la materia orgánica y el biofertilizante ( $p<0,05$ ). Las plántulas crecidas en los tratamientos Gi+CC y Ac+CC, acumularon la mayor biomasa seca (4,60 y 4,55 g, respectivamente) (Cuadro 4). Asimismo, el



Cuadro 4. Efecto de la interacción de la materia orgánica y Biofertilizantes en el crecimiento, biomasa y nutrición de la papaya, evaluados a los 90 días después de la emergencia; con una doble biofertilización (en semilla y a los 30 días después de la emergencia).

| Tratamientos | Parámetros crecimiento y biomasa |                        |                    |                  | Parámetros de nutrición |        |       |      |
|--------------|----------------------------------|------------------------|--------------------|------------------|-------------------------|--------|-------|------|
|              | Altura (cm)                      | Diámetro de tallo (mm) | Biomasa fresca (g) | Biomasa seca (g) | N (%)                   | P (%)  | K (%) |      |
| Ac+C0        | 20,6                             | h                      | 11,7               | i                | 26,9                    | j      | 0,10  | 1,30 |
| Ac+C12       | 22,4                             | gh                     | 12,8               | efgh             | 28,3                    | hij    | 0,22  | 2,91 |
| Ac+C25       | 24,1                             | efg                    | 13,0               | defgh            | 28,8                    | ghij   | 0,28  | 2,24 |
| Ac+C50       | 23,4                             | fg                     | 13,1               | bc               | 28,0                    | ij     | 0,32  | 1,67 |
| Ac+CC        | 23,3                             | fg                     | 13,8               | bcd              | 36,7                    | bc     | 0,27  | 2,18 |
| Gi+C0        | 24,6                             | defg                   | 12,1               | hi               | 31,6                    | defghi | 0,21  | 2,18 |
| Gi+C12       | 25,1                             | def                    | 13,1               | cdefg            | 32,6                    | defg   | 0,23  | 2,76 |
| Gi+C25       | 29,6                             | a                      | 12,5               | fghi             | 35,2                    | bcd    | 0,22  | 2,51 |
| Gi+C50       | 27,9                             | abc                    | 12,5               | fghi             | 32,1                    | defgh  | 0,25  | 2,63 |
| Gi+CC        | 28,5                             | abc                    | 15,2               | a                | 47,0                    | a      | 0,30  | 2,35 |
| Gi+Ac+C0     | 26,7                             | bcd                    | 12,8               | efgh             | 30,8                    | efghij | 0,19  | 2,24 |
| Gi+Ac+C12    | 28,8                             | ab                     | 13,4               | cdef             | 34,5                    | bcdef  | 0,19  | 2,33 |
| Gi+Ac+C25    | 28,0                             | abc                    | 13,7               | bcde             | 34,8                    | bcde   | 0,26  | 2,25 |
| Gi+Ac+C50    | 28,9                             | ab                     | 14,4               | ab               | 37,0                    | b      | 0,30  | 2,44 |
| Gi+Ac+CC     | 25,1                             | def                    | 13,3               | cdefg            | 32,8                    | cdefg  | 0,28  | 2,38 |
| T+C0         | 25,1                             | def                    | 12,0               | ghi              | 27,2                    | j      | 0,16  | 2,19 |
| T+C12        | 26,8                             | bcd                    | 12,7               | defgh            | 29,4                    | ghij   | 0,24  | 2,02 |
| T+C25        | 26,2                             | ced                    | 13,0               | bcd              | 30,5                    | fghij  | 0,27  | 2,09 |
| T+C50        | 28,5                             | ab                     | 13,1               | defgh            | 32,4                    | defgh  | 0,29  | 1,89 |
| T+CC         | 26,9                             | bcd                    | 13,4               | ab               | 34,5                    | bcdef  | 0,28  | 2,45 |

Medias seguidas por diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p < 0,05$ ). Los códigos de los tratamientos están dados en el Cuadro 2.

Cuadro 5. Efecto independiente de la materia orgánica en el crecimiento, biomasa y nutrición de la papaya, evaluados a los 90 días después de la emergencia de las plántulas; con una doble biofertilización (en semilla y a los 30 días después de la emergencia).

| Tratamientos | Parámetros de crecimiento y biomasa |   |                        |   |                    |   |                  |    | Parámetros de nutrición |    |       |    |       |    |
|--------------|-------------------------------------|---|------------------------|---|--------------------|---|------------------|----|-------------------------|----|-------|----|-------|----|
|              | Altura (cm)                         |   | Diámetro de tallo (mm) |   | Biomasa fresca (g) |   | Biomasa seca (g) |    | N (%)                   |    | P (%) |    | K (%) |    |
| C0           | 24,3                                | c | 12,1                   | c | 29,1               | c | 3,3              | d  | 1,98                    | c  | 0,17  | d  | 1,10  | b  |
| C12          | 25,8                                | b | 13,0                   | b | 31,2               | b | 3,5              | cd | 2,50                    | a  | 0,22  | c  | 1,38  | a  |
| C25          | 27,0                                | a | 13,0                   | b | 32,3               | b | 3,9              | b  | 2,27                    | ab | 0,26  | b  | 1,26  | ab |
| C50          | 27,2                                | a | 13,3                   | b | 32,4               | b | 3,7              | bc | 2,16                    | bc | 0,29  | a  | 1,45  | a  |
| CC           | 26,0                                | b | 13,9                   | a | 37,7               | a | 4,3              | a  | 2,34                    | ab | 0,28  | ab | 1,39  | a  |

Medias seguidas por diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p<0,05$ ). Los códigos de los tratamientos están dados en el Cuadro 2.

Cuadro 6. Efecto independiente del tipo de Biofertilizante en el crecimiento, biomasa y nutrición de la papaya, evaluados a los 90 días después de la emergencia de las plántulas; con una doble biofertilización (en semilla y a los 30 días después de la emergencia).

| Tratamientos | Parámetros de crecimiento y biomasa |   |                        |   |                    |   |                  |   | Parámetros de nutrición |    |       |      |       |   |
|--------------|-------------------------------------|---|------------------------|---|--------------------|---|------------------|---|-------------------------|----|-------|------|-------|---|
|              | Altura (cm)                         |   | Diámetro de tallo (mm) |   | Biomasa fresca (g) |   | Biomasa seca (g) |   | N (%)                   |    | P (%) |      | K (%) |   |
| Ac           | 22,8                                | b | 12,9                   | b | 29,8               | c | 3,4              | b | 2,06                    | c  | 0,24  | n.s. | 1,20  | b |
| Gi           | 27,1                                | a | 13,1                   | b | 35,7               | a | 4,2              | a | 2,49                    | a  | 0,24  | n.s. | 1,49  | a |
| Gi+Ac        | 27,5                                | a | 13,5                   | a | 34,0               | b | 4,0              | a | 2,33                    | ab | 0,24  | n.s. | 1,16  | b |
| Testigo      | 26,7                                | a | 12,8                   | b | 30,8               | c | 3,4              | b | 2,13                    | bc | 0,25  | n.s. | 1,42  | a |

Medias seguidas por diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p<0,05$ ). Los códigos de los tratamientos están dados en el Cuadro 2.

efecto independiente del factor A (sustrato) en la biomasa seca fue significativo ( $p<0,05$ ). La adición del sustrato CC, registró el mayor contenido de biomasa seca (4,25 g) (Cuadro 5). En cuanto al efecto del factor B (biofertilizante), también se encontraron diferencias significativas en la biomasa seca ( $p<0,05$ ), pero el mayor efecto se debió a la inoculación simple de HMA (Gi) y en

combinación con *Azotobacter* (Gi+Ac), con valores de 4,18 y 3,96 g, respectivamente (Cuadro 6).

El contenido promedio de nitrógeno en tejido vegetal fue de 2,25% y fue afectado significativamente por la interacción entre el sustrato y el biofertilizante ( $p<0,05$ ). Las plántulas crecidas en los tratamientos Ac+C12 y Gi+C12, registraron los mayores contenidos de nitrógeno vegetal

(2,91 y 2,76%, respectivamente) (Cuadro 4). El efecto independiente del factor A (sustrato) también fue significativo ( $p < 0,05$ ). Las plántulas crecidas en los sustratos con composta al 12%, sustrato CC y composta al 25% (C12, CC y C25), obtuvieron los mayores contenidos de nitrógeno (2,50, 2,34 y 2,27%, respectivamente) (Cuadro 5). De igual forma, el efecto independiente del factor B (biofertilizante) fue significativo ( $p < 0,05$ ), pero el mayor efecto se debió a la aplicación simple de HMA y su combinación con *Azotobacter* (Gi y Gi+Ac) (2,49 y 2,33%, respectivamente) (Cuadro 6).

El contenido promedio de fósforo fue de 0,24%, y también fue afectado significativamente por la interacción entre el sustrato y el biofertilizante ( $p < 0,05$ ). Las plántulas crecidas en los tratamientos Ac+C50, Gi+CC y Gi+Ac+C50, mostraron los mayores contenidos de fósforo vegetal (0,32, 0,30 y 0,30%, respectivamente) (Cuadro 4). El efecto independiente del factor A (sustrato) también fue significativo ( $p < 0,05$ ), pero el mayor efecto se debió a la aplicación de composta al 50% y sustrato CC (C50 y CC) (0,29 y 0,28%, respectivamente) (Cuadro 5). En contraste, el efecto independiente del factor B (biofertilizante) no fue significativamente diferente ( $p = 0,8501$ ) (Cuadro 6).

El contenido promedio de potasio fue de 1,32%. No se encontró una interacción significativa entre el tipo de sustrato y el biofertilizante ( $p = 0,1122$ ). El efecto independiente del factor A (sustrato) si fue significativo ( $p < 0,05$ ) en el cual, la no adición de materia orgánica disminuyó el contenido de potasio en las plántulas, en comparación con los tratamientos que si recibieron materia orgánica (Cuadro 5). El efecto independiente del factor B (biofertilizante), también resulto significativo ( $p < 0,05$ ), aunque la aplicación de *Azotobacter* solo y en combinación con HMA (Ac y Gi+Ac) disminuyó los contenidos de potasio vegetal, con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 6).

### **Experimento 2. Efecto de la simple inoculación de Biofertilizantes y su interacción con la materia orgánica en el crecimiento, biomasa y nutrición en plántulas de papaya**

La altura promedio de las plántulas que recibieron una simple biofertilización en etapa de plántula fue 22,2 cm y fue significativamente menor ( $p < 0,05$ ) a las que recibieron una doble biofertilización (experimento 1).

La altura de las plántulas en la simple biofertilización fue significativamente afectada por la interacción del sustrato y el biofertilizante ( $p < 0,05$ ). Las plántulas crecidas en el sustrato Gi+C25 y Ac+C25, fueron más altas que en los demás tratamientos (29,3 y 28,4 cm, respectivamente) (Cuadro 7). El efecto independiente del factor A (sustrato) fue significativo ( $p < 0,05$ ), pero el mayor efecto se debió a la aplicación de composta al 25% (25,5 cm) (Cuadro 8). El efecto independiente del factor B (biofertilizantes) también fue significativo ( $p < 0,05$ ), pero la aplicación independiente de HMA (Gi) registró la mayor altura con respecto a los otros tratamientos (24,7 cm) (Cuadro 9).

El diámetro promedio del tallo de las plántulas que recibieron una simple biofertilización fue 8,2 mm, y es significativamente menor ( $p < 0,05$ ) a las que recibieron una doble biofertilización.

En la simple biofertilización, el diámetro de tallo de las plántulas fue significativamente afectada por la interacción del sustrato y el biofertilizante ( $p < 0,05$ ). Las plántulas crecidas en los Gi+CC, registraron el mayor diámetro de tallo (10,4 mm) (Cuadro 7). El efecto independiente del factor A (sustrato) fue significativo ( $p < 0,05$ ), pero el mayor efecto se debió a la aplicación de sustrato CC y composta al 25% (9,0 y 8,7 mm, respectivamente) (Cuadro 8). El efecto independiente del factor B (biofertilizantes) fue significativo ( $p < 0,05$ ), donde la aplicación sola y combinada de HMA con *Azotobacter* (Gi y Gi+Ac), incrementaron significativamente el diámetro de tallo con respecto a los demás tratamientos (8,8 y 8,5 mm, respectivamente) (Cuadro 9).

La acumulación promedio de biomasa fresca y seca de las plántulas que recibieron una simple biofertilización fue significativamente menor a las que recibieron una doble biofertilización ( $p < 0,05$ ).

Cuadro 7. Efecto de la interacción entre la materia orgánica y el biofertilizante en el crecimiento, biomasa y nutrición de la papaya, evaluados a los 90 días después de la emergencia; con una simple biofertilización (30 días después de la emergencia).

| Tratamientos | Parámetros de crecimiento y biomasa |                           |                       |                     | Parámetros de nutrición |          |          |      |      |     |      |     |      |      |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|----------|----------|------|------|-----|------|-----|------|------|
|              | Altura<br>(cm)                      | Diámetro de tallo<br>(mm) | Biomasa fresca<br>(g) | Biomasa seca<br>(g) | N<br>(%)                | P<br>(%) | K<br>(%) |      |      |     |      |     |      |      |
| Ac+C0        | 20,2                                | fgh                       | 7,2                   | fg                  | 6,9                     | hi       | 1,1      | hi   | 1,76 | h   | 0,11 | i   | 1,23 | n.s. |
| Ac+C12       | 18,9                                | h                         | 7,5                   | ef                  | 7,8                     | ghi      | 1,3      | fgh  | 3,17 | cd  | 0,16 | ghi | 1,08 | n.s. |
| Ac+C25       | 28,4                                | ab                        | 9,0                   | bc                  | 16,6                    | b        | 2,0      | b    | 2,90 | de  | 0,23 | ef  | 1,23 | n.s. |
| Ac+C50       | 20,5                                | fgh                       | 7,6                   | ef                  | 11,2                    | de       | 1,5      | def  | 1,54 | hi  | 0,33 | bc  | 1,37 | n.s. |
| Ac+CC        | 22,3                                | ef                        | 8,4                   | bcde                | 15,7                    | b        | 1,9      | bc   | 3,20 | cd  | 0,36 | abc | 1,86 | n.s. |
| Gi+C0        | 20,2                                | fgh                       | 7,3                   | fg                  | 8,7                     | fgh      | 1,2      | fgh  | 1,15 | i   | 0,17 | ghi | 1,12 | n.s. |
| Gi+C12       | 21,6                                | efg                       | 7,8                   | ef                  | 9,4                     | efg      | 1,4      | efg  | 1,75 | h   | 0,17 | ghi | 1,37 | n.s. |
| Gi+C25       | 29,3                                | a                         | 9,0                   | bcd                 | 17,5                    | b        | 2,0      | bc   | 3,02 | cde | 0,26 | de  | 1,57 | n.s. |
| Gi+C50       | 27,1                                | bc                        | 8,2                   | bcdef               | 15,5                    | b        | 1,7      | cd   | 1,23 | i   | 0,38 | ab  | 1,88 | n.s. |
| Gi+CC        | 25,1                                | cd                        | 10,4                  | a                   | 24,0                    | a        | 2,5      | a    | 3,70 | ab  | 0,41 | a   | 1,65 | n.s. |
| Gi+Ac+C0     | 20,1                                | fgh                       | 8,0                   | cdef                | 9,3                     | efg      | 1,2      | gh   | 2,35 | fg  | 0,18 | fgh | 1,38 | n.s. |
| Gi+Ac+C12    | 20,8                                | fgh                       | 9,0                   | bcd                 | 10,9                    | de       | 1,3      | efgh | 2,73 | ef  | 0,22 | efg | 1,39 | n.s. |
| Gi+Ac+C25    | 22,3                                | ef                        | 9,1                   | bc                  | 13,2                    | c        | 1,3      | fgh  | 3,38 | bc  | 0,31 | cd  | 1,53 | n.s. |
| Gi+Ac+C50    | 21,9                                | efg                       | 9,1                   | bc                  | 13,5                    | c        | 1,5      | def  | 3,34 | bc  | 0,34 | bc  | 1,70 | n.s. |
| Gi+Ac+CC     | 19,5                                | gh                        | 9,1                   | b                   | 13,4                    | c        | 1,6      | def  | 3,82 | a   | 0,39 | ab  | 1,50 | n.s. |
| T+C0         | 15,9                                | i                         | 6,5                   | g                   | 4,8                     | j        | 0,8      | j    | 1,18 | i   | 0,14 | hi  | 1,05 | n.s. |
| T+C12        | 18,5                                | h                         | 6,5                   | g                   | 6,5                     | ij       | 0,8      | ij   | 1,49 | hi  | 0,16 | ghi | 1,01 | n.s. |
| T+C25        | 22,2                                | ef                        | 7,7                   | ef                  | 10,7                    | def      | 1,2      | fgh  | 2,71 | ef  | 0,19 | fgh | 1,31 | n.s. |
| T+C50        | 23,6                                | de                        | 8,0                   | def                 | 11,9                    | cd       | 1,5      | def  | 3,38 | bc  | 0,37 | abc | 1,57 | n.s. |
| T+CC         | 26,6                                | bc                        | 8,0                   | def                 | 16,4                    | b        | 1,9      | bc   | 2,28 | g   | 0,41 | a   | 1,89 | n.s. |

Medias seguidas por diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p<0,05$ ).

Los códigos de los tratamientos están dados en el Cuadro 2.

Cuadro 8. Efecto independiente de la materia orgánica en el crecimiento, biomasa y nutrición de la papaya, evaluados a los 90 días después de la emergencia; con una simple biofertilización (30 días después de la emergencia).

| Tratamientos | Parámetros de crecimiento y biomasa |   |                     |   |                    |   |                  |   | Parámetros de nutrición |   |       |   |       |    |
|--------------|-------------------------------------|---|---------------------|---|--------------------|---|------------------|---|-------------------------|---|-------|---|-------|----|
|              | Altura (cm)                         |   | Diámetro tallo (mm) |   | Biomasa fresca (g) |   | Biomasa seca (g) |   | N (%)                   |   | P (%) |   | K (%) |    |
| C0           | 19,1                                | c | 7,3                 | c | 7,4                | e | 1,0              | d | 1,61                    | d | 0,15  | d | 1,19  | c  |
| C12          | 19,9                                | c | 7,7                 | c | 8,6                | d | 1,2              | c | 2,28                    | c | 0,18  | d | 1,21  | c  |
| C25          | 25,5                                | a | 8,7                 | a | 14,5               | b | 1,6              | b | 3,00                    | b | 0,25  | c | 1,41  | bc |
| C50          | 23,3                                | b | 8,2                 | b | 13,0               | c | 1,5              | b | 2,37                    | c | 0,35  | b | 1,63  | ab |
| CC           | 23,4                                | b | 9,0                 | a | 17,4               | a | 2,0              | a | 3,25                    | a | 0,39  | a | 1,72  | a  |

Medias seguidas por diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p<0,05$ ). Los códigos de los tratamientos están dados en el Cuadro 2.

Cuadro 9. Efecto independiente del tipo de Biofertilizante en el crecimiento, biomasa y nutrición de la papaya, evaluados a los 90 días después de la emergencia; con una doble biofertilización (30 días después de la emergencia).

| Tratamientos | Parámetros de crecimiento y biomasa |    |                     |   |                    |   |                  |   | Parámetros de nutrición |   |       |   |       |      |
|--------------|-------------------------------------|----|---------------------|---|--------------------|---|------------------|---|-------------------------|---|-------|---|-------|------|
|              | Altura (cm)                         |    | Diámetro tallo (mm) |   | Biomasa fresca (g) |   | Biomasa seca (g) |   | N (%)                   |   | P (%) |   | K (%) |      |
| Ac           | 22,1                                | b  | 7,9                 | b | 11,6               | b | 1,6              | b | 2,51                    | b | 0,24  | b | 1,35  | n. s |
| Gi           | 24,7                                | a  | 8,5                 | a | 15,0               | a | 1,8              | a | 2,17                    | c | 0,28  | a | 1,52  | n. s |
| Gi+Ac        | 20,9                                | c  | 8,8                 | a | 12,1               | b | 1,3              | c | 3,12                    | a | 0,29  | a | 1,50  | n. s |
| Testigo      | 21,4                                | bc | 7,3                 | c | 10,1               | c | 1,2              | c | 2,21                    | c | 0,25  | b | 1,37  | n. s |

Medias seguidas por diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p<0,05$ ). Los códigos de los tratamientos están dados en el Cuadro 2.

En la simple biofertilización, la biomasa seca y fresca de las plántulas fueron afectadas significativamente por la interacción del sustrato y los biofertilizantes. Las plántulas crecidas en los tratamientos Gi+CC, registraron la mayor biomasa en fresco y seco (biomasa fresca=23,99 g, biomasa seca=2,52 g) (Cuadro 7). El efecto independiente del factor A (sustrato) fue significativo, pero el mayor efecto

en la biomasa fresca y seca se observó con la adición de sustrato CC (biomasa fresca=17,37 g y biomasa seca=1,99 g) (Cuadro 8). En el factor B (biofertilizante), la aplicación simple de HMA (Gi) registró la mayor acumulación de biomasa fresca y seca (biomasa fresca=15,0 g, biomasa seca=1,76 g) y fue significativamente mayor a los demás tratamientos ( $p<0,05$ ) (Cuadro 9).

El contenido promedio de nitrógeno en las plántulas con simple biofertilización fue de 2,5%, pero no fue significativamente diferente ( $p=0,972$ ) al contenido de N registrado en las plántulas con doble biofertilización.

En la biofertilización simple, el contenido de N fue significativamente afectado por la interacción del sustrato y el biofertilizante ( $p<0,05$ ). Las plántulas crecidas en los tratamientos Gi+Ac+CC y Gi+CC, obtuvieron los mayores contenidos de nitrógeno en tejido vegetal (3,82 y 3,70%, respectivamente) (Cuadro 7). El efecto independiente del factor A (sustrato) fue significativo, pero el mayor efecto se debió a la adición de sustrato CC (3,24%) (Cuadro 8). Al evaluar el efecto independiente del factor B (biofertilizante), se observó que la inoculación combinada de HMA y *Azotobacter* (Gi+Ac), incrementaron significativamente el contenido de nitrógeno con respecto a los otros tratamientos (3,12%) (Cuadro 9).

El contenido promedio de fósforo en tejido vegetal, en las plántulas con simple biofertilización fue de 0,26% pero no es significativamente diferente al contenido de P en las plántulas con doble biofertilización ( $p=0,909$ ).

En la simple biofertilización, el contenido de P fue afectado significativamente por la interacción del sustrato y el biofertilizante. Las plántulas crecidas en el tratamiento Gi+CC, registraron el mayor contenido de P (0,41%) (Cuadro 7). El efecto independiente del factor A (sustrato) fue significativo, donde el mayor efecto se debió a la adición de sustrato CC (0,40%) (Cuadro 8). En cuanto al efecto del factor B (biofertilizantes), la inoculación de HMA combinada con *Azotobacter* (Gi+Ac), y la inoculación sola de HMA (Gi), promovieron la mayor acumulación de P en tejido vegetal (0,29 y 0,28%, respectivamente) (Cuadro 9).

El contenido promedio de potasio en tejido vegetal en las plántulas con simple biofertilización fue de 1,43% pero no es significativamente diferente ( $p=0,067$ ) al contenido de K en las plántulas con doble biofertilización.

En la simple biofertilización, el contenido de K no fue afectado significativamente por

la interacción del sustrato y el biofertilizante ( $p=0,4837$ ). En contraste, el efecto independiente del factor A (sustrato) fue significativo ( $p<0,05$ ), pero el mayor efecto se debió a la adición de sustrato CC y composta al 50% (CC y C50) (Cuadro 8). De igual forma, el efecto del factor B (biofertilizante) no fue significativo en el contenido de potasio vegetal ( $p=0,3500$ ). En los 2 experimentos (doble y simple inoculación), los mejores resultados correspondieron a la aplicación de 35% de cascarilla de cacao mas la inoculación de *G. intraradices* de forma independiente.

## DISCUSIÓN

La mayoría de las investigaciones se han dirigido a evaluar solamente una aplicación de biofertilizantes, aunque también se han realizado diversos trabajos en los que se han aplicado inoculaciones sucesivas (Albrecht et al. 1981, Millet et al. 1984, Nowak et al. 2004), pero de acuerdo con Bashan (1986), la aplicación de múltiples inoculaciones tiene un efecto mínimo en el crecimiento vegetal, debido a que muchos de los sitios de inoculación en las raíces ya han sido ocupados por las bacterias.

En contraste, los resultados aquí obtenidos demostraron que la doble inoculación incrementó el crecimiento y la biomasa vegetal en comparación con la inoculación simple de plántulas. Aunque, esto pudo deberse a que en la doble inoculación la primera aplicación de los biofertilizantes se hizo a las semillas y en la inoculación simple los biofertilizantes se aplicaron en las raíces 30 días después de la emergencia; y de acuerdo con Kalpunik et al. (1985) y Bashan (1986), la respuesta de las plantas es más alta cuando las semillas han sido inoculadas, pero es menor cuando las plántulas son inoculadas.

El efecto sinérgico de las PGPR y los HMA sobre el crecimiento vegetal, toma de nutrientes y rendimiento de varios cultivos han sido reportados (Brown y Carr 1984, Veeraswamy et al. 1992, Alarcón et al. 2002, Singh et al. 2004). Aunque, algunos efectos negativos pueden ser obtenidos (Staley et al. 1992, Alarcón et al. 2002); debido



a la actividad fisiológica de la bacteria, la cual podría mostrar cierta inhibición sobre el establecimiento y la efectividad fúngica (Paulitz y Linderman 1989). La inoculación de papaya con *A. chroococcum* y *G. intraradices* en este estudio, registró un efecto sinérgico solo en algunos de los parámetros evaluados. La respuesta sinérgica del hospedero podría ser principalmente debido a la producción de fitohormonas o reguladores del crecimiento por estos microorganismos más que por pequeños incrementos en la disponibilidad en N y P (Barea et al. 1975, Vessey 2003).

La reducida respuesta de la inoculación simple de *Azotobacter* en el crecimiento y nutrición de papaya, estuvo influenciado por el momento de inoculación y por el tipo de sustrato. En el experimento 1, donde la rizobacteria se aplicó en semillas y 30 días después de la emergencia de las plántulas, se registró una mayor biomasa seca y contenido de fósforo en comparación al experimento 2, donde la rizobacteria fue aplicada solo en plántulas 30 días después de la emergencia (Cuadro 6). Esto se pudo deber a que la rizobacteria no fue adicionada hasta que las plántulas habían pasado la etapa más receptiva, en la que *Azotobacter* afecta el crecimiento vegetal (Brown y Burlingham 1968).

Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por Kapulnik et al. (1985), quienes encontraron que la inoculación de semillas de trigo con *Azospirillum* fue más eficiente que cuando se inocularon plantas, 20 días después de la emergencia, que indica además, que la rizobacteria afectó a las semillas principalmente en la germinación y menos en la etapa de colonización de raíces.

Por otra parte, el cultivo de papaya ha sido considerado como una planta dependiente de la inoculación micorrízica (Jaizme-Vega y Azcon 1995, Sukhada 1989) y de la materia orgánica (Rodríguez 1984) lo cual explicaría los efectos benéficos obtenidos en este trabajo de la interacción entre la materia orgánica y la inoculación de HMA. Resultados similares han sido encontrados en diversos estudios, en el incremento del crecimiento vegetal y biomasa fresca y seca de tallos

y raíces (Khade y Rodríguez 2009a), aumento en el contenido total de potasio y fósforo en el tejido vegetal (pecíolo) (Khade y Rodríguez 2009b), así como también, incrementos en la actividad enzimática de la fosfatasa ácida en raíz (Alarcón 2002). Los incrementos en la biomasa fresca obtenidos en este trabajo podrían ser debido a fitohormonas como auxinas, las cuales se incrementan en plantas inoculadas con micorrizas (Barker y Tagu 2000, Fitze et al. 2005). Mientras que el aumento en la biomasa seca puede deberse a la eficiencia de los HMA en suministrar nutrientes a las plantas.

Es bien conocido que la colonización de los HMA pueden ser tanto incrementados (Gryndler et al. 2006, Albertser et al. 2006) como disminuidos (Calvet et al. 1992, Ravnskov et al. 2006) por la adición de enmiendas orgánicas. Por otra parte, de acuerdo con Osorio et al. (2002), la aplicación de enmiendas orgánicas y la inoculación de HMA incrementaron el crecimiento de plántulas de café, pero este crecimiento fue severamente disminuido cuando no se adicionaron enmiendas al suelo, presentándose bajos contenidos de materia orgánica, pH y una baja disponibilidad de P, B, Ca, Mg y K. Esto concuerda con los resultados encontrados en este estudio, ya que las plántulas que crecieron en los sustratos con adición de materia orgánica y fueron inoculadas con *G. intraradices*, mejoraron los parámetros de crecimiento, biomasa y nutrición en comparación cuando no se adicionó materia orgánica al sustrato. Pero el mejor tratamiento fue aquel en el que se adicionó un 35% de cascarilla de cacao como materia orgánica, lo cual pudo deberse a que este sustrato presentó un contenido moderado de fósforo (66,04 mg.kg<sup>-1</sup>) en relación con los demás sustratos a los que también se les adicionaron materia orgánica (Cuadro 1). De acuerdo con Kahiluoto et al. (2000), incrementos en el suministro de P disminuyen la colonización y la efectividad de la colonización micorrízica. Debido a los beneficios en la traslocación de nutrientes que realizan los HMA, en diversas ocasiones a niveles moderados de fósforo se han

obtenido mejoras sustanciales en la nutrición de las plantas (Thompson 1987, Yao et al. 2001).

Por otra parte, la aplicación de composta al 12% y sustrato con cascarilla de cacao, estimularon el mayor contenido de nitrógeno en tejido vegetal, lo cual puede deberse a que estos sustratos presentaron una relación C/N menor de 20 (Cuadro 1), y de acuerdo con Day y Shaw (2001) los tratamientos con relaciones C/N<10 permiten una mayor liberación de nutrimentos que aquellos con valores >20, pues se considera que la relación C/N ha sido utilizada como un índice de la velocidad de descomposición de los abonos y la posterior mineralización de los nutrientes.

Según Bianciotto y Bonfante (2002), el establecimiento de la inoculación de PGPR en la rizósfera puede ser afectado por la co-inoculación de HMA. Los resultados aquí obtenidos demostraron que la población de *A. chroococcum* no se vio afectada por la aplicación combinada con *G. intraradices* (Cuadro 3), pero si por la materia orgánica adicionada. También se ha observado que la respuesta de la planta a la inoculación con HMA dependerá del nivel de fertilidad del suelo, de la planta hospedera y del hongo (Sharda y Rodríguez 2008). Asimismo, conforme a los porcentajes de colonización micorrízica encontrados y con los resultados obtenidos en el crecimiento y en la nutrición de las plantas, puede establecerse que el beneficio de la simbiosis se expresó aún en presencia de dosis elevadas de P.

## CONCLUSIÓN

La doble biofertilización esto es, en semilla y plántula, estimuló el crecimiento y biomasa de las plántulas en comparación a la simple biofertilización. Asimismo, la mejor opción para iniciar la biofertilización en el cultivo de la papaya es la inoculación directa a las semillas con *A. Chroococcum* y *G. Intraradices*. La adición combinada de cascarilla de cacao al 35% más la inoculación de *G. intraradices*, registró la mejor interacción sobre el crecimiento y la biomasa de las plántulas de papaya, aunque, la incorporación de composta al 25% con *G. intraradices*, también

puede ser empleada como un tratamiento alternativo cuando no se disponga de cascarilla de cacao. En las condiciones establecidas en este trabajo, se encontró un efecto sinérgico entre los factores de crecimiento y contenidos de fósforo en planta.

## LITERATURA CITADA

- ALARCÓN A., DAVIS F.T. Jr., EGILA J.N., FOX T.C., ESTRADA-LUNA A.A., FERRERA-CERRATO R. 2002. Short term effects of *Glomus claroideum* and *Azospirillum brasilense* on growth and root acid phosphatase activity of *Carica papaya* L. under phosphorus stress. Rev. Latinoam. Microbiol. 44:31-37.
- ALBERTSER A., RAVNSKOV S., GREEN H., JENSEN D.F., LARSEN J. 2006. Interactions between the external mycelium of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and other soil microorganisms as affected by organic matter. Soil Biol Biochem 38:1008-1014.
- ALBRECHT S.L., OKON Y., LONNQUIST J., BURRIS R.H. 1981. Nitrogen fixation by corn-*Azospirillum* associations in a temperate climate. Crop Science 21:301-306.
- BAREA J.M, AZCON R., HAYMAN D.S. 1975. Possible synergistic interactions between Endogynes and phosphate-solubilizing bacteria in low phosphate soils, pp. 409-417. In: F.E. Sanders, B. Mose, P.B. Tinker PB (eds). Endomycorrhizas. Academic Press, London.
- BARKER S.J., TAGU D. 2000. The roles of auxins and cytokinins in mycorrhizal symbioses. Journal of Plant Growth Regulation.19:144-154.
- BASHAN Y. 1986. Significance of timing and level of inoculation with rhizosphere bacteria of inoculation with rhizosphere bacteria on wheat plants. Soil Biol. Biochem. 18:297-301.
- BROWN M.E., BURLINGHAMS K. 1968. Production of plant growth substances by *Azotobacter chroococcum*. Journal of General Microbiology 53, 135-144.
- BROWN M.E., CARR G.R. 1984. Interactions between *Azotobacter chroococcum* and vesicular-arbuscular mycorrhiza and their effects on plant growth. Journal of Applied Bacteriology. 56:429-437.

- CALVET C., ESTAUN V., CAMPRUBI A. 1992. Germination, early mycorrhizal growth and infectivity of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus in organic substrates. *Symbiosis* 14:405-411.
- CHEN J.H. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizer and/or biofertilizer for crops growth and soil fertility. International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use. Land Development Department Bangkok, Thailand.
- CUPULL S.R., GUERRA P.G., CUPULL S.M.C., FERRER V.M., PÉREZ N.C. 2002. Efecto de *Trichoderma viride* y *Azotobacter chroococcum* en la estimulación de la germinación y el desarrollo de posturas de *Carica papaya* Lin. *Centro Agrícola* 4:30-33.
- DAY M., SHAW K. 2001. Biological, chemical and physical processes of composting, pp. 18-22. In: P. Stofella y B. Kahn (eds). *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Lewis, U.S.A.
- FITZE D., WIEPNING A., KALDORF M., LUDWIG-MÜLLER J. 2005. Auxins in the development of an arbuscular mycorrhizal symbiosis in maize. *J Plant Physiol.* 162:1210-1219.
- GRYNDLER M., LARSEN J., HRŠELOVÁ H., ŘEZÁČOVÁ V., GRYNDLEROVÁ H., KUBÁT J. 2006. Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment. *Mycorrhiza* 16:159-166.
- HEGDE S.V., BRAHMAPRAKASH G.P. 1992. A dry granular inoculant of Rhizobium for soil application. *Plant Soil* 144:309-311.
- JAIZME-VEGA M.C., AZCON R. 1995. Responses of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 5:213-217.
- KAHILUOTO H., KETOJA E., VESTBERG M. 2000. Promotion of utilization of arbuscular mycorrhiza through reduced fertilization 1. Biossays in a growth chamber: Plant and soil. 227:191-206.
- KAPULNIK Y., GAFNY R., OKON Y. 1985. Effect of *Azospirillum* spp. inoculation on root development and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> uptake in wheat (*Triticum aestivum* cv. Miriam) in hydroponic systems. *Can. J. Bot.* 63:627-631.
- KHADE S.W., RODRIGUES B.F. 2009b. Studies on effects of arbuscular Mycorrhizal (Am.) Fungi on mineral Nutrition of *Carica papaya* L. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.* 37:183-186.
- KHADE W.S., RODRIGUES B.F. 2009a. Studies on arbuscular mycorrhization of papaya. *African Crop Science Journal.* 17:155-165.
- MESA R.J.R., GÓMEZ C.J.L., RODRÍGUEZ C.O., PARETS S.E., SOTO O.R. 2006. Efecto de *Trichoderma* y micorrizas en la producción de posturas de *Carica papaya* L. *Centro Agrícola.* 3:75-81.
- MILLET E., AVIVI Y., FELDMAN M. 1984. Yield response of various wheat genotypes to inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Plant and Soil* 80:261-266.
- MOKWUNYE A.U., DE JAGER A., SMALING E.M.A. 1996. Restoring and Maintaining the Productivity of West African Soil: Key to sustainable Development. (eds.) In: *Miscellaneous Fertilizer Studies* N°. 14.
- NOWAK J., NOWAK J., SHARMA V.K., A'HEARN E. 2004. Endophyte enhancement of transplant performance in tomato, cucumber and sweet pepper. *Acta Hort. (ISHS)* 631:253-263.
- OSORIO N.W., ALZATE J.M., RAMIREZ G.A. 2002. Coffee seedling growth as affected by mycorrhizal inoculation and organic amendment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33:1425-1434.
- PAULITZ T.C., LINDERMAN R.G. 1989. Interactions between fluorescent pseudomonas and VA mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 113:37-45.
- RAVNSKOV S., JENSEN B., KNUDSEN I.M.B., BODKER L., JENSEN D.F., KARLINSKI L., LARSEN J. 2006. Soil inoculation with the biocontrol agent *Clonostachys rosea* and the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* results in mutual inhibition, plant growth promotion and alteration of soil microbial communities. *Soil Biol Biochem* 38:3453-3462.
- RODRÍGUEZ H. 1984. Nutrición en frutales. *Psidium guajaba* y *Carica papaya*. Boletín de reseñas. Cítricos y otros frutales. CIDA. MINAGRI. Cuba. pp. 27-51.
- SHARMA A., PARMAR D.K., KUMAR P., SINGH Y., SHARMA R.P. 2008. *Azotobacter* soil amendment integrated with cow manure reduces need for NPK fertilizers in Sprouting Broccoli. *Internal Journal of vegetable Science.* 14:273-285.

- SINGH R., BEHL R.K., SINGH K.P., JAIN P., NARULA N. 2004. Performance and gene effects for wheat yield under inoculation of arbuscular mycorrhiza fungi and *Azotobacter chroococcum*. Plant and Soil Environ. 50:409-415.
- STALEY T.E., LAWRENCE E.G., NANCE E.L. 1992. Influence of a plant growth-promoting pseudomonas and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on alfalfa and birdsfoot trefoil growth and nodulation. Biol Fertil Soils 14:175-180.
- SUKHADA M. 1989. Response of papaya (*Carica papaya* L.) to VAM fungal inoculation. In: *Mycorrhizae for Green Asia* (A. Mahadevan, N. Raman and K. Natarajan) Madras, Alamer Printing works. Royapettah, Madras.
- THOMPSON J.P. 1987. Decline of vesicular-arbuscular mycorrhizae in Long Fallow Disorder of field crops and its expression in phosphorus deficiency of sunflower. Australian Journal of Agriculture Research. 38:847-867.
- VALDÉS M., REZA-ALEMÁN F., FURLAN V. 1993. Response of *Leucaena esculenta* to endomycorrhizae and Rhizobium inoculation. World J Microbiol Biotechnol. 9:97-99.
- VEERASWAMY J., PADMAVATHI T., VENKATESWARLU K. 1992. Interaction effects of *Glomus intraradices* and *Azospirillum lipoferum* on sorghum. Indian J. Microbiol. 32:305-308.
- VERMA R.K., JAMALUDDIN, DADWAL V.S., THAKUR A.K. 2008. Economics of biofertilizer application on production of planting propagules of teak in a commercial nursery. Indian Forester. 134:923-929.
- VESSEY J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil 255:571-586.
- WASY A.A., SHYAMALAMMA S., NACHE G.V. 2010. Effect of bio-inoculants on nursery establishment of papaya cv. Solo. Acta Hort. (ISHS) 851:389-394.
- WATERER D.R., COLTMAN R.R. 1988. Phosphorus concentration and application interval influence growth and mycorrhizal infection of tomato and onion transplants. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 113:704-708.
- YAO Q., LI X.L., FENG G., CHRISTIE P. 2001. Influence of extrametrical hyphae on mycorrhizal dependency of wheat genotypes. Communications in soil Science and Plant Analysis. 32:3307-3317.



## FACTORES FORMADORES Y DISTRIBUCIÓN DE SUELOS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIRRÍS, TALAMANCA, COSTA RICA<sup>1</sup>

*Miguel Chinchilla<sup>2/\*</sup>, Alfredo Alvarado<sup>\*\*</sup>, Rafael Mata<sup>\*\*</sup>*

**Palabras clave:** Clasificación suelos, Ultisoles, Andisoles, Inceptisoles, Entisoles, Los Santos, Talamanca.

**Keywords:** Soil classification, Ultisols, Andisols, Inceptisols, Entisols, Los Santos, Talamanca.

**Recibido:** 03/06/10

**Aceptado:** 21/03/11

### RESUMEN

Se estudió la génesis de los suelos en el nivel medio alto de la subcuenca del río Pirrís, en la región conocida como Los Santos. El área estudiada fue cercana a 25000 ha, con elevaciones de 1078 a 3140 m, un rango de precipitación promedio anual de 1954 a 2233 mm y un tiempo geológico que varía desde el Holoceno hasta el Oligoceno. Se identificaron 4 grandes unidades: 1) los suelos recientes derivados de cenizas volcánicas (partes altas del relieve); 2) suelos desarrollados sobre superficies geológicas antiguas: terrazas antiguas, Cordillera de Talamanca, Fila Brunqueña (partes medias del relieve); 3) suelos desarrollados sobre y alrededor de los intrusivos de las partes medias altas y 4) los suelos derivados de materiales aluviales recientes de los fondos de valle (partes bajas del relieve). Los suelos desarrollados sobre la unidad de superficies antiguas del Plioceno al Oligoceno poseen horizonte argílico; los suelos formados sobre intrusivos del Pleistoceno al Mioceno superior, presentan un mayor contenido de cuarzo; los suelos desarrollados de aluviones del Holoceno no tienen horizonte argílico y los de cenizas pueden presentar horizonte cámbico e incluso argílicos enterrados. En el área se hallaron 6 consociaciones y 22

### ABSTRACT

**Soil-forming factors and soils distribution of the middle-upper Pirrís River watershed, Talamanca, Costa Rica.** This study emphasizes on the soil-forming factors and soils distribution of the middle-upper Pirrís River watershed, Talamanca, Costa Rica, a region locally known as Los Santos. This area covers around 25 000 ha, at elevations from 1078 to 3140 m, and a range of yearly average rainfall from 1954 to 2233 mm. Geologically, rocks of the area represent a period span from Holocene to Oligocene. Four major soil units were identified: 1) recent soils developed from volcanic ash (high elevation sections); 2) soils developed from old geologic parent materials of the Talamanca Range and the Brunqueña Hills (middle elevation sections); 3) soils developed on and around intrusive volcanic buildings (medium to high elevation sections of the landscape); and 4) soils developed from recent alluvial materials deposited on valley floors (lower positions of the landscape). Soils developed on the older materials from the Pliocene to the Oligocene, present an argillic horizon as a final result of weathering and soil formation. Soils from Pleistocene to Upper Miocene intrusive materials, present a

1 Este trabajo forma parte de la tesis de maestría del primer autor.

2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: mchinchillaa@ice.go.cr

\* Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica.

\*\* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

asociaciones. Los principales órdenes de suelos en estas unidades corresponden a Ultisoles, Andisoles, Inceptisoles y Entisoles, distribuidos en 4 subórdenes, 6 grandes grupos, 12 subgrupos y 9 familias.

## INTRODUCCIÓN

Los factores formadores de suelo son agentes, fuerzas, condiciones o combinación de estos, que actúan sobre un material original para transformarlo en suelo y de acuerdo con Buol et al. (1989) se reconocen: material parental, relieve, clima, organismos, tiempo. Por la interacción de sub factores del clima, por ejemplo viento, temperatura y lluvia, se determinan procesos que finalmente pueden definir propiedades para cada tipo de suelo a través de procesos conocidos como transformaciones, translocaciones, pérdidas y adiciones. Con la génesis de suelos se conoce el origen, distribución espacial en el terreno, taxonomía, morfología, propiedades fisicoquímicas, mineralógicas, grado de meteorización, litologías de donde se desarrollaron y cuál factor formador ha sido determinante en la evolución del suelo. Al sur del Valle Central de Costa Rica, en el nivel medio alto de la subcuenca del río Pirrís, con coordenadas 9°36' y 9°43' latitud norte y 83°51' y 84°06' longitud oeste (IGN 1962, IGN 1963, IGN 1989, IGN 1994) se halla el área de estudio en una extensión de 245 km<sup>2</sup>, 10 km de ancho, 30 km de largo. Esta subcuenca drena sus aguas en el Océano Pacífico (Figura 1) y forma parte del plan de expansión eléctrica de Costa Rica. En ella se caracterizan los aspectos de pedogénesis, geología, topografía, clima, uso de la tierra y socioeconómicos como parte de un Plan de Manejo de Cuenca.

higher quartz content. Soils developed from recent alluvial deposits present a cambic horizon, but not an argillic horizon and the volcanic ash materials may present a cambic horizon or a buried argillic horizon. Six soil consociations and 22 soil associations were described in the area. Mayor soil orders in the region are Ultisols, Andisols, Inceptisols and Entisols, including 4 suborders, 6 great groups, 12 subgroups and 9 soil families.



Fig. 1. Ubicación de la Cuenca del río Pirrís.

Aunque en la subcuenca se han realizado investigaciones en taxonomía (Sancho y Núñez 1985, ICAFE -CIA 2000) y de fertilidad de suelos (Chaves et al. 2009), la génesis del suelo no se ha estudiado. Por tal motivo se realiza la presente investigación, con el objetivo general de cartografiar y clasificar los suelos ubicados aguas arriba del sitio de presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís y los objetivos específicos de 1) identificar los factores formadores de suelos, 2) clasificar taxonómicamente los suelos de acuerdo con el USDA y, 3) confeccionar un mapa fisiográfico de suelos a nivel de semidetalle.



## FACTORES FORMADORES DE SUELOS

### Factor clima

**1. Precipitación:** En la cuenca media alta del río Pirrís, la precipitación tiene valores

promedio que varían en el rango de 1954 a 2233 mm anuales, con un período seco de diciembre a marzo y otro lluvioso de mayo a octubre; los meses de transición son abril y noviembre (ICE 2007). La precipitación máxima se presenta en setiembre con una disminución de las lluvias en julio (Figura 2).

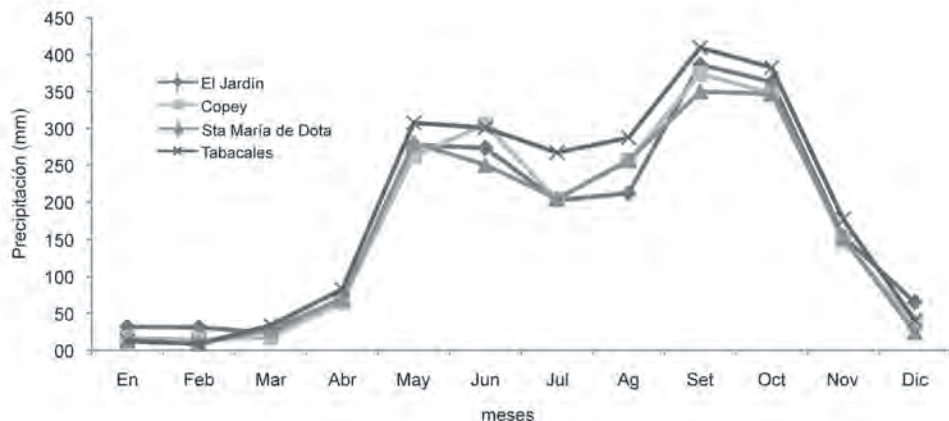


Fig. 2. Precipitación media mensual en 4 estaciones localizadas en el área de estudio. Datos del C.S. Estudios básicos, ICE.

Según el sistema de clasificación de Köppen, la zona tiene un clima templado lluvioso (Cw'a) con un invierno boreal seco, donde las lluvias del mes más lluvioso del verano boreal son por lo menos 10 veces mayores que las del mes más seco en el invierno boreal (ICE 2007).

### 2. Temperatura

**Temperatura del aire:** En el área de estudio se mide la temperatura del aire en 3 estaciones meteorológicas. La estación Copey de Dota se encuentra a 1880 m de elevación y desde 1991 muestra un promedio anual de temperatura de 16,86°C, un máximo de 18,60°C y el mínimo de 15,61°C. La estación Carrizales se localiza a 1740 m, en la parte media de la subcuenca y posee un incremento cercano a 1°C en la temperatura del aire respecto con Copey. La estación Sitio de

Presa del P. H. Pirrís, con 1130 m de elevación y un registro de enero de 1999 a junio 2004 y de enero 2006 a la fecha, presentó un aumento de la temperatura máxima, mínima y promedio anual de entre 2,11 y 3,27°C en relación con Copey. Los datos de temperatura promedio para los períodos de registro de las 3 estaciones se presentan en la Figura 3.

De acuerdo con Bolaños y Watson (1993) la temperatura media anual en la parte alta de la cuenca puede alcanzar 6°C. Solano y Villalobos (2001) consideran que toda la región alcanza una temperatura máxima mensual de 20°C y la mínima de 8°C. En el sistema de clasificación de Köppen, la temperatura media del mes más frío es inferior de 18°C, pero superior a los -3°C y en el mes más caluroso la temperatura sobrepasa los 22°C (ICE 2007).

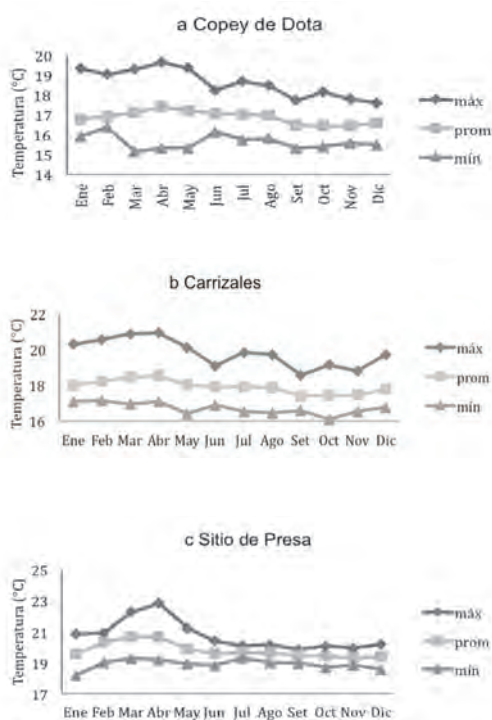


Fig. 3. Comportamiento de la temperatura media mensual (a) Copey de Dota; (b) Carrizales; (c) Sitio de Presa. Fuente: Elaboración propia a partir de información del C.S. Estudios Básicos del ICE.

**Temperatura del aire en el interior del bosque:** Al interior del bosque, la temperatura más alta del aire ocurre al medio día y varía de acuerdo con la altitud y época del año. A 2000 m alcanza 18,7°C en el período seco y 16,4°C en el lluvioso, mientras que a 2700 m, la temperatura del período seco es de 14,5°C y de 12,7°C en el lluvioso. Lo anterior indica que el promedio de temperatura disminuye en 4,0°C en 700 m (3,7°C para período lluvioso y 4,2°C para período seco) y representa un declive de 0,57°C por cada 100 m en este rango de elevación del terreno con bosque (Kappelle et al. 1995).

**Temperatura del suelo:** Van Uffelen (1993), encontró que la temperatura del suelo a 50 cm de profundidad registra valores de alrededor de 9-10°C para elevaciones entre 2900 y 3100 m.

Kappelle et al. (1995) describen la relación entre la altitud (1500-3400 m) y la temperatura del suelo a 30 cm de profundidad (19,8-8,0°C) con una tendencia exponencial decreciente en función de la elevación del terreno (Figura 4).

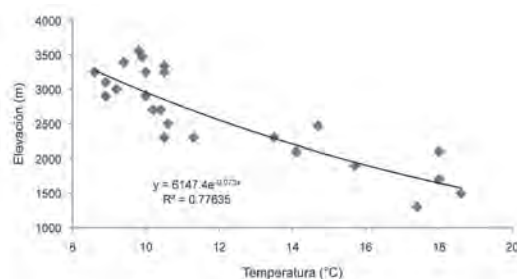


Fig. 4. Temperatura del suelo en relación con la altitud. Fuente: Datos de Van Uffelen (1991) y Kappelle et al. (1995).

**3. Humedad relativa en el interior del bosque:** Entre los 2000 y 2700 m de altura, la humedad relativa en el bosque alcanza valores superiores a 85%. Entre el período lluvioso y el seco, la menor humedad relativa se presenta al medio día del período seco. Durante el período lluvioso son menores las fluctuaciones de humedad relativa (Kappelle et al. 1995).

**4. Viento:** Las estaciones meteorológicas de la cuenca media y alta, no cuentan con registros históricos de velocidad y dirección del viento. Sin embargo, se conoce que en la troposfera y estratosfera, hay un predominio de vientos provenientes del Este durante casi todo el año (Alvarado y Fernández 2001). De acuerdo con ICE (2007) para esta área hay que considerar la influencia de flujos de viento importantes como son los “oestes sinópticos” y los “oestes ecuatoriales”, consecuencia de la presencia de disturbios de origen ciclónico (huracanes, tormentas tropicales y ondas en los estes) en el mar Caribe. En la estación meteorológica Damas, ubicada en la parte baja de la cuenca, el viento tiene una dirección predominante Sur (Muñoz 2002).

**5. Balance hídrico:** Datos de precipitación y evaporación en Copey de Dota y Carrizales de León Cortés muestran un déficit de humedad en el suelo durante los meses de baja pluviosidad (diciembre a abril), con evaporación más reducida en las partes más altas de la Cordillera de Talamanca, como se observa en la estación Cerro de la Muerte del ICE. La Figura 5 muestra balances hídricos en Copey de Dota, Carrizales de León Cortés y en la estación Cerro de la Muerte (cercana a la parte alta de la cuenca y con una vegetación de páramo).

En el Cerro de la Muerte la evaporación y la precipitación calculadas con datos climáticos muestran que la primera es mayor que la segunda

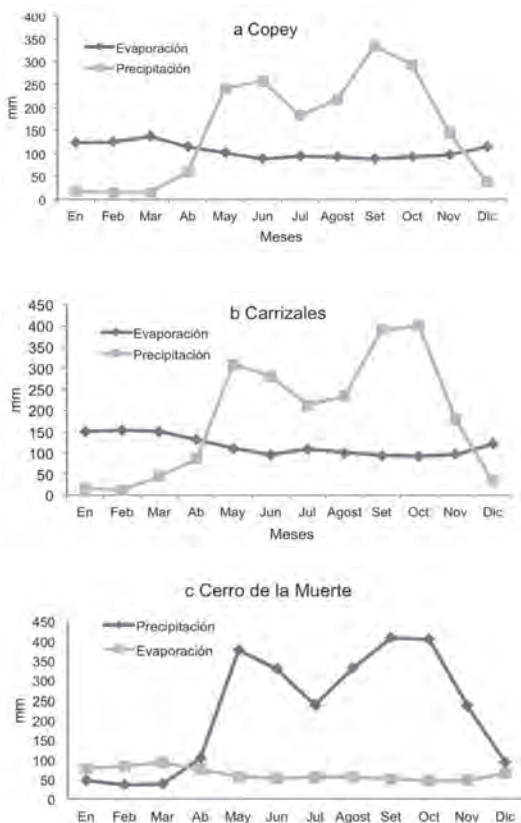


Fig. 5. Balance hídrico de las estaciones (a) Copey; (b) Carrizales y (c) Cerro de la Muerte. Fuente: Datos suministrados por el C.S. Estudios Básicos del ICE.

durante enero a marzo, lo que coincide con la ocurrencia de incendios en la región durante esta época (Williamson et al. 1986, Horn y Sabdford 1992) y corrobora que en el páramo, Copey y Carrizales el régimen de humedad de suelo es ústico.

### Factor cobertura vegetal

Kappelle y Juárez (1995) y Kappelle et al. (1995), proponen para el área una zonificación de la región por piso altitudinal, y se hizo la diferencia a 2300 m de altitud el Montano Bajo del Montano Alto. De acuerdo con Camacho y Orozco (1998) y el INBio (2001), los bosques Montanos Altos de Costa Rica, han sido comúnmente llamados robledales (*Quercus*), e incluyen el *Q. costarricensis* (roble negro), *Q. copeyensis* (roble blanco), *Q. oocarpa* (roble blanco) y *Q. seemanii* (roble encino). Edafológicamente, Blazer y Camacho (1991) asocian los bosques mixtos de encino con suelos Placandepts y los bosques de encinos blancos con Dystrandeps. Kappelle y Juárez (1995) hallaron en el bosque montano, contenidos de materia orgánica altos (12,1 a 20,4%), pH en agua bajo (4,2 a 4,8) y porcentajes de saturación de bases muy bajo (3 a 7%). Datos similares reportan Sancho y Núñez (1985) en un suelo Humic "Alic" Dystrustepts a 2500 m de elevación cubierto por encinos (*Q. seemanii*), donde el pH en agua es de 4,4 a 5,0 y en KCl de 3,3 a 4,0, la saturación de acidez muy alta (94 y 96%) y alto en materia orgánica (9%). Varios autores (Blazer y Camacho 1991, Kappelle y Juárez 1995, INBio 2001), reportan suelos ácidos (pH 3,3 a 6,0) en el bosque Montano, con especies del género *Chusquea* (*C. longifolia*, *C. talamancensis* y *C. tormentosa*). Widmer (1998) indica que los suelos bajo cobertura de *C. talamancensis* son significativamente más ricos en materia orgánica, una relación C/N más alta, más ácidos, con mayor contenido de acidez intercambiable y mayor porcentaje de saturación de acidez, que los suelos bajo cobertura de *C. longifolia* y *C. tormentosa*. La *C. longifolia* usualmente se presenta en suelos con valores de pH intermedios de las otras 2 especies. De acuerdo con Kappelle y

Juárez (1995) y Camacho y Orozco (1998), otros árboles importantes en el bosque montano de Costa Rica son especies de Araliaceae (*Schefflera rodriguesiana*), Cunoniaceae (*Weinmannia pinnata*), Ericaceae (*Vaccinium consanguineum*), Lauraceae (*Ocotea pitierii* y *Ocotea austinii*), Magnoliaceae (*Magnolia sororum*), Styracaceae (*Styrax argenteus*), Theaceae (*Cleyera theioides*) y Winteraceae (*Drimys granadensis*). El INBio (2001) indica que entre 1200 y 2100 msnm del bosque Montano, también hay otras especies como cedro maría (*Calophyllum brasiliense*) y el

tirrá (*Ulmus mexicana*) y que entre 2100 y 3100 msnm, se encuentra además el cipresillo (*Podocarpus macrotachyus*).

Al utilizar el sistema de clasificación de las zonas de vida de Holdridge, que utiliza características de clima (temperatura y precipitación) y pisos altitudinales (Bolaños y Watson 1993), se encuentra que el área de estudio tiene bosque pluvial Montano (bp-M), bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB); bosque muy húmedo Premontano (bmh-P) y bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) (Figura 6).

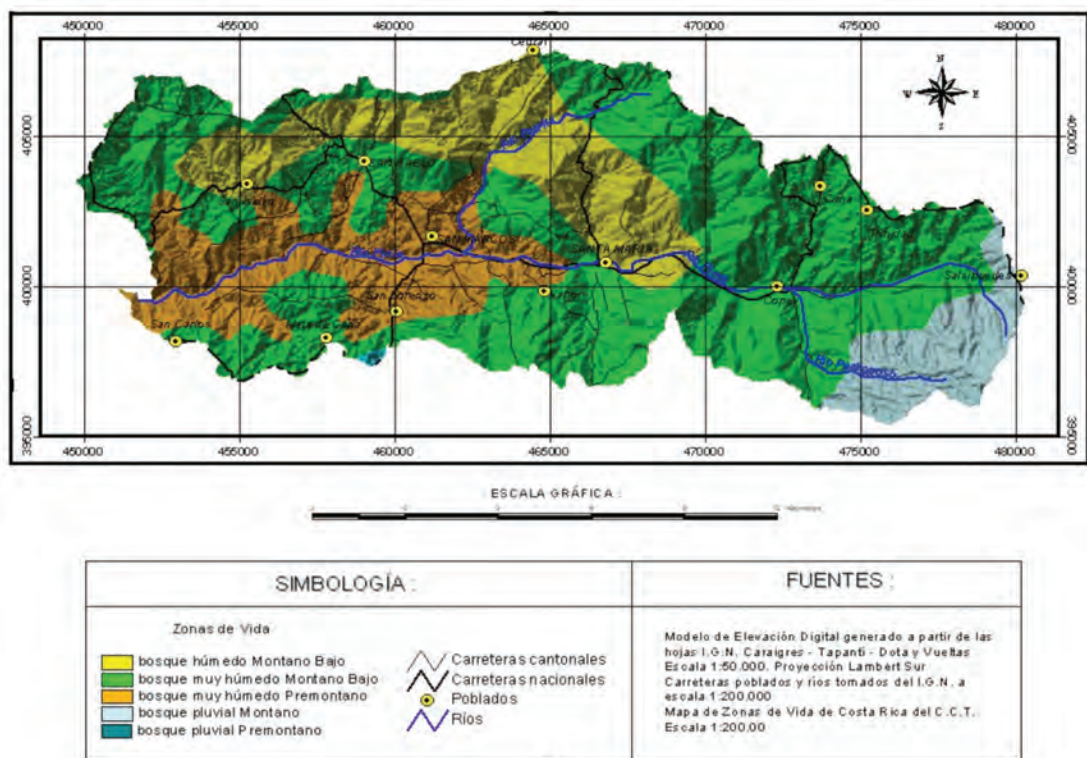


Fig. 6. Zonas de Vida en la subcuenca media alta del río Pirrís.

**1. Bosque Pluvial Montano (bp-M):** Esta zona de vida presenta limitantes para muchas actividades de uso de la tierra y se considera como poco atractiva para asentamientos humanos. Las temperaturas son bajas (6-12°C), el rango de precipitación promedio anual varía entre 2200 y 4500 mm y tiene un período seco de 0 a 2 meses

de duración. La vegetación es de altura baja a mediana (10 a 30 m), siempre verde y con epífitas (Bolaños y Watson 1993). En esta zona de vida se encuentran los poblados de Salsipuedes y Tres de Junio (IGN 1963). El uso actual de la tierra en esta zona de vida son los bosques intervenidos y el páramo, no obstante, hay pequeños parches



de pastos con árboles (ICE 2007). El bosque montano alto y el páramo costarricense han sido datados a partir de polen, esporas y carbón ( $^{14}\text{C}$ ) provenientes de sedimentos del Lago las Morenas y del Lago Chirripó. La vegetación en el páramo fue estimada en una edad cercana a los 10 000 años (Horn y League 2005). A menor elevación, muestras de polen y carbón recolectadas en La Chonta a 2310 y Trinidad a 2700 m de elevación, Islebe et al. (1996) indican un desarrollo postglacial del bosque Montano de *Quercus* durante el Holoceno temprano (9500-7000 años), Holoceno medio (7000-4500 años) y Holoceno tardío (4500-1500 años).

## 2. Bosque Muy Húmedo Montano Bajo

**(bmh-MB):** Esta zona de vida ocupa un área importante de la zona de estudio. Se caracteriza por tener alta humedad y neblina. La vegetación es siempreverde, sus árboles son de altura moderada (25 a 35 m) y con epífitas. La temperatura media anual varía entre 12 y 17°C. La precipitación promedio anual oscila entre 1850 y 4000 mm y tiene de 0 a 4 meses secos (Bolaños y Watson 1993). En la parte alta, al este de la cuenca, se ubican las comunidades: El Jardín, La Chonta, Cañón, Macho Gaff, La Cima, Trinidad, Río Blanco, Pedregoso, Copey, Florida (IGN 1962, 1963). El uso actual de la tierra está dedicado a bosques intervenidos, ganadería de leche, frutales de altura, mora, hortalizas y cultivo de truchas (ICE 2007). En el sector sur de la parte media de la cuenca, se encuentran las comunidades Higueronal, El Vapor y Mata de Caña. La Esperanza y San Carlos (IGN 1962, 1994) están en el límite con el bosque muy húmedo premontano (Bolaños y Watson 1993). El uso de la tierra es principalmente cultivo del café y áreas con pastos (ICE 2007). En el sector central se localizan los poblados de San Pedro, San Pablo, Carrizales, Llano Bonito y San Rafael cuya actividad principal es el cultivo del café. El poblado de Santa María de Dota (IGN 1962, 1989, 1994) se encuentra en el límite de esta zona de vida con el bosque muy húmedo premontano (Bolaños y Watson 1993). En el sector norte, se ubican las comunidades

de San Francisco, Bajo Gamboa y Cedral (IGN 1989), con usos de la tierra de pastos y aguacate (ICE 2007).

## 3. Bosque Muy Húmedo Premontano

**(bmh-P):** Esta zona de vida domina el sector central de la parte media de la cuenca del río Pirrís, donde se ubican las comunidades de San Marcos, Guadalupe, Rodeo, San Lorenzo, San Cayetano, Salado, San Rafael Abajo, San Jerónimo y Santa Juana (IGN 1994). La vegetación natural es siempre verde, con algunas especies deciduas durante la estación seca y cantidad moderada de epífitas (Bolaños y Watson 1993). El uso actual de la tierra en el área de estudio es café, con presencia de parches de bosque intervenido, charrales y pastos (ICE 2007). Este bioclima tiene un rango de precipitación anual entre 2000 y 4000 mm y una temperatura que varía entre 17 y 24°C (Bolaños y Watson 1993).

## 4. Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB)

**(bh-MB):** Se le ubica en la parte media de la cuenca, hacia el sector norte, donde se encuentran las comunidades de San Rafael, Canet, Rosario y San Isidro (IGN 1963, 1989). El uso actual de la tierra en este bioclima es café, plantaciones forestales, bosque intervenido y pastizales (ICE 2007). La vegetación natural consiste de un bosque siempreverde con presencia de especies caducifolias en la época seca. El rango de precipitación varía entre 1400 a 2000 mm como promedio anual, con un período seco de entre 2,0 y 4,5 meses. El promedio de temperatura anual oscila de 12 a 17°C (Bolaños y Watson 1993).

## Factor material parental

La historia geológica de la Cordillera de Talamanca se remonta al Mioceno (Drummont et al. 1995), sin embargo, la mayoría de los suelos del macizo son relativamente jóvenes debido a varios factores que han posibilitado la formación de paleosoles (Harris 1971a, Driese et al. 2007). Entre los factores que coadyuvaban a que los suelos sean jóvenes se pueden mencionar, erupciones de cenizas volcánicas periódicas durante el

Holoceno (Harris 1971b), la glaciación en la parte más alta de la Cordillera (Orvis y Horn 2005) y las quemas periódicas de la cobertura vegetal (Williamson et al. 1986, Horn y Sandford 1992) que junto al relieve empinado del páramo y la elevada precipitación pluvial favorecen la erosión de los suelos. En áreas depresionales, los suelos son igualmente jóvenes, debido al acumulo de materiales acarreados por los ríos y que se depositan al cambiar la pendiente del terreno.

En la zona de estudio, varios autores (Mora et al. 1985, Denyer y Arias 1991, ICE 2007) han reportado importantes extensiones de litologías volcánicas (Grifo Alto) y sedimentarias (Térraba) con superficies menores de litologías intrusivas (grupo Comagmático Talamanca) y de sedimentos no consolidados del Cuaternario (Figura 7). La unidad Grifo Alto está compuesta por lavas de composición basáltico andesíticas, tobas estratificadas e ignimbritas, así como de conglomerados volcanoclasticos altamente silificados, ubicados

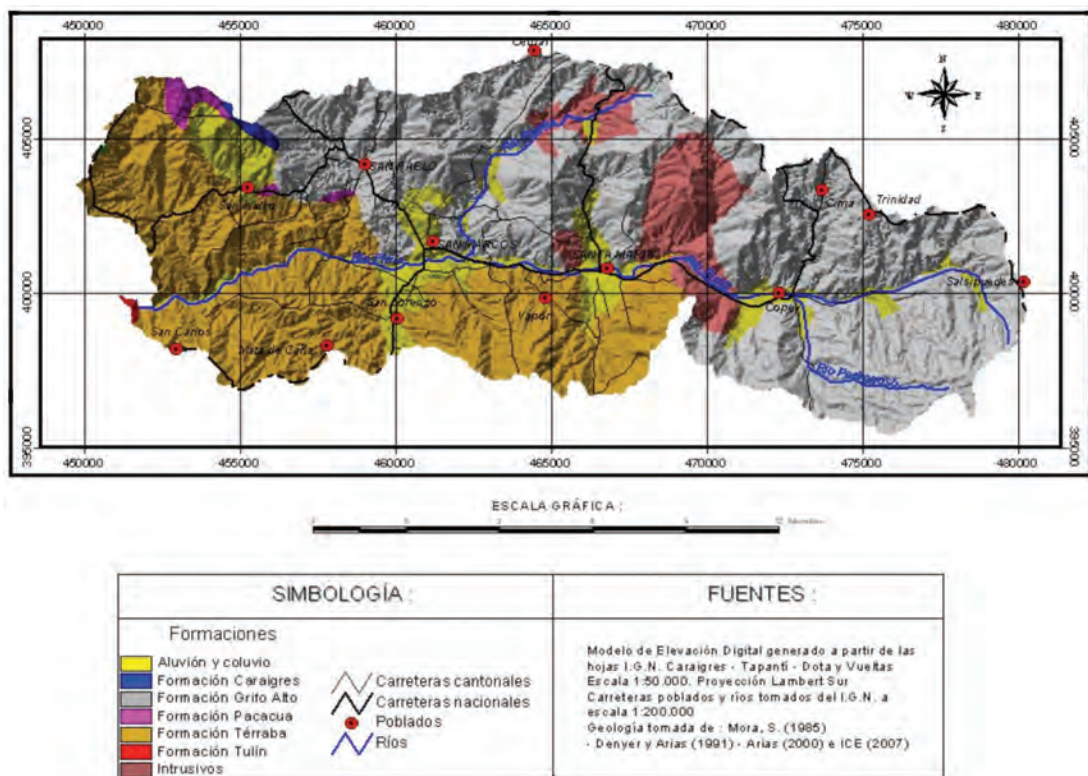


Fig. 7. Mapa Geológico de la subcuenca media alta río Pirrís.

principalmente en los cerros Abejónal, Trinidad y San Pedro (ICE 2007); esta unidad se ubica en el Plioceno y según van Uffelen (1993) está representada por lavas provenientes de cráteres muy erosionados y depósitos piroclásticos depositados sobre estructuras geológicas más antiguas.

Linkimer y Aguilar (2000), indican que la unidad Térraba consiste en una secuencia de lutitas, limolitas y areniscas calcáreas de color gris oscuro a negro del Oligoceno a Mioceno Inferior por su contenido faunístico (Cuadro 1). El Grupo Comagmático Talamanca es una manifestación

Cuadro 1. Cronoestratigrafía de la zona de estudio.

| Era       | Sub-Era     | Época       | Edad Ma       | Formación                        |
|-----------|-------------|-------------|---------------|----------------------------------|
| Cenozoico | Cuaternario | Holoceno    | Actual-0,0118 | Depósito recientes               |
|           |             | Pleistoceno | 0,0118-1,8    | Depósito recientes               |
|           | Terciario   | Plioceno    | 1,8 – 5,0     | Grifo Alto, Intrusivos Talamanca |
|           |             | Mioceno     | 5,0-23,0      | Intrusivos Talamanca             |
|           |             | Oligoceno   | 23,0-34,0     | Térraba                          |

de intrusivos que incluye monzonitas, monzodioritas, latíandesitas, diabasas, gabros y granodioritas del Mioceno al Plioceno (Mora et al. 1985). Existen depósitos recientes en las pocas zonas planas, correspondientes con las áreas urbanas de San Marcos, Santa María y Copey; esos terrenos se reconocen como aluviones y coluvios del Cuaternario con edad no mayor a 1,8 Ma (ICE 2007).

## Factor relieve

**1. Unidades Geomorfológicas:** El área de estudio se enmarca mayormente dentro 2 unidades geomórficas: 1) de origen tectónico–erosivo y 2) de sedimentación aluvial (ICE s.f).

**Tectónico y erosivo:** Se divide en 2 subunidades llamadas Cordillera de Talamanca y Fila Brunqueña. La subunidad Cordillera de Talamanca se caracteriza por tener valles profundos con laderas de fuerte pendiente y divisoras angostas. La forma de la Cordillera es compleja por estar influenciada por la presencia de fallas y pliegues, lo mismo que la diversidad de rocas; su origen se debió a una sedimentación marina que ocurrió hasta el Mioceno Medio, luego se inició un ascenso y plegamiento durante el Mioceno Medio al Superior, posteriormente un Plutonismo con magmas ácidos y básicos que originan las intrusiones, el cual es posible se prolongara hasta el Plioceno. El cantón de Dota se localiza en la zona comprendida por el poblado San Joaquín, las filas Pangolín y Quebrada Seca, y el sector de Cedral, excluyendo el área próxima a la ciudad de Santa

María y Copey. En el cantón de Tarrazú se localiza en el sector aledaño al poblado de Santa Rosa, así como la zona comprendida por el poblado de San Pedro, cerro Trinidad y límite norte del cantón. El cantón de Dota, ocupa el sector Noreste, poblados de Cedral y fila San Lucas.

La subunidad Fila Brunqueña presenta una orientación de acuerdo con la dirección estratigráfica de las rocas sedimentarias que la forman, la pendiente es fuerte con un pequeño escalón entre los 400 y 500 m de elevación, su sistema de drenaje se aproxima al dendrítico, muy poco desarrollado y algo afectado por fracturas; las diferencias de relieve son grandes (100 a 200 m) entre el fondo de valle y la cima; su origen se debe al levantamiento de un bloque de corteza desde el fondo oceánico, el cual ascendió a lo largo de fallas, inclinándose en las últimas etapas hacia el noreste; la erosión fluvial terminó de modelar la subunidad. El cantón de Dota se localiza en la ladera sur de fila Pangolín. El cantón de Tarrazú se localiza en la zona comprendida por los poblados de Salado, Naranjillo y los límites sur y oeste del cantón. El cantón de Dota se localiza en la zona comprendida por el poblado de Carrizal.

**Sedimentario coluvio aluvial:** Su origen se debe en gran medida al relleno efectuado por el río Pirrís, el cual es muy antiguo. Corresponde a una superficie plana, afectada en mayor o menor grado por un micro relieve de viejos canales fluviales o por la erosión posterior. Esta unidad se puede diferenciar en edad de sedimentación.



La más reciente está compuesta por bloques de aluviones sanos de rocas volcánicas e intrusivas dentro de una matriz franco arenosa a arcillosa y las más antiguas la conforman coluvios con los bloques muy meteorizados inmersos en una matriz arcillosa. En el cantón de Dota, esta unidad constituye 2 áreas separadas y está representada por la planicie aluvial de Dota, que se ubica en el sector aledaño a la ciudad de Santa María y al poblado de Copey. En el cantón de Tarrazú, está representada por la planicie aluvial de San Marcos y se localiza en la zona comprendida por los poblados de San Lorenzo, La Sabana, Guadalupe y el Rodeo. En el cantón de León Cortés se sitúa en el sector aledaño a la ciudad de San Pablo y al poblado de Montes de Oro.

**2. Fisiografía:** En la zona se pueden diferenciar 1) las laderas del Terciario (Cordillera

de Talamanca y Fila Brunqueña), 2) las terrazas medias en piedemonte del Cuaternario, relacionadas con la tectónica de alzamiento de Talamanca (sedimentos coluvio aluvial antiguos) y 3) los sedimentos no consolidados del Cuaternario que conforman las terrazas medias del aluvión subreciente (ICE s.f); a esta unidad pertenecen las terrazas a lo largo del río Pirrís, donde se localizan importantes poblaciones como Copey, Santa María de Dota, San Marcos de Tarrazú y San Pablo de León Cortés y sus actividades agrícolas (ICE s.f).

**3. Relieve y drenaje natural:** En el nivel alto de la subcuenca, el rango de elevación varía de 1078 a 3140 m en 30 km (Figura 8). Los relieves dominantes son los fuertemente ondulados (63% del terreno), acompañados de relieves ondulados que ocupan el 23% del área. En la unidad

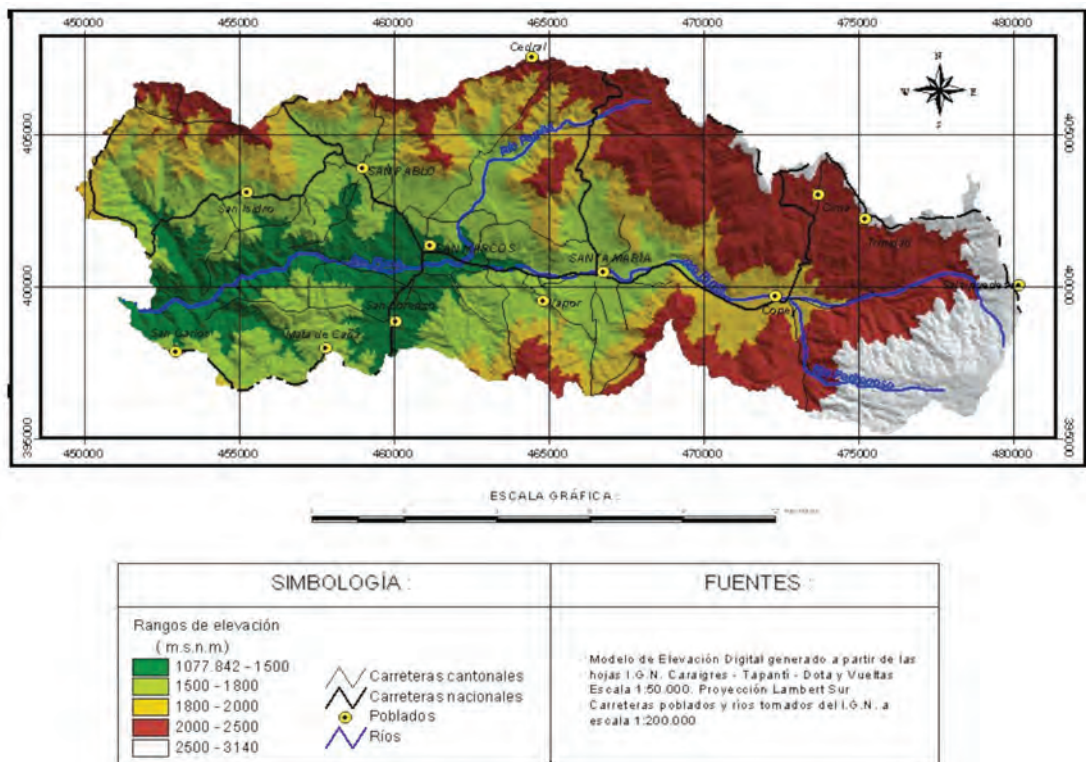


Fig. 8. Pisos altitudinales en la subcuenca media alta del río Pirrís.

de sedimentación coluvio aluvial reciente las pendientes son menores a 15% y representan el 4% del área estudiada (IGN 1962, 1963, 1989, 1994).

En relación con el drenaje natural, el río Pirrís tiene rumbo Este-Oeste (Figura 8), nace con el nombre del río Blanco en el cantón de Dota, sus afluentes son los ríos Pedregoso, San Rafael y las quebradas Palmital, Loaiza, Chontal, Yugo y Rivas. Estos cursos de agua aparecen en la fila Dota y los cerros Vueltas y San Francisco, con rumbos sureste a noroeste, este a oeste y norte a sur. También se encuentra en este sector de la subcuenca de la laguna Chonta. A la altura del cantón de Tarrazú, al río Pirrís se le une el río Parrita Chiquito con su afluente el río Martínez, así como las quebradas Zapotal, Salado, La Cruz y Monterrey. En este sector los cursos de agua presentan un rumbo noreste-suroeste y sureste-noroeste. En el cantón de León Cortés, se unen el río San Pablo y las quebradas San Rafael, San Isidro y Delicias. Estas quebradas tienen rumbo norte-sur y sureste- noroeste, mientras que el río Pirrís va de este a oeste (ICE s.f.).

### Factor Tiempo

Con  $^{14}\text{C}$ , Harris (1971a) establece que el horizonte superficial de los suelos de la Cordillera de Talamanca a 2485 m de altura poseen una edad de  $590 \pm 95$  años (ceniza volcánica), mientras que los horizontes B arcillosos del subsuelo datan desde  $8620 \pm 140$  (28-42 cm profundidad) a  $20\,000 \pm 400$  (183-187 cm profundidad). Driese et al. (2007), mediante análisis de isótopos estables de carbono a muestras de un suelo a 2507 m de elevación de la misma región, datan las partes medias y bajas de los horizontes Bt2b (75-107 cm profundidad) y 2Bwb (107-162 cm profundidad) en  $36\,620 \pm 650$  y más de  $43\,640$  años antes del presente. Al estudiar los suelos de los abanicos aluviales coalescentes del pie de monte de la Cordillera de Talamanca (900-1000 msnm), Kesel y Spicer (1985) encontraron que los suelos más recientes tienen una edad de 45 000 años estimados con  $^{14}\text{C}$ , mientras que los más antiguos tienen más de 65 000 años. Los últimos datos coinciden con estudios de meteorización

de un basalto recolectado en la cuenca alta del río General realizado por Pelt et al. (2008), al emplear cronometría uranio-torio. Con base en lo anterior, se concluye que los Andisoles y los horizontes superficiales de otros suelos con influencia de cenizas volcánicas tienen una edad de aproximadamente 600 años en el horizonte superior (Holoceno), aunque otros pueden haberse formado a partir de cenizas volcánica más viejas proveniente de los esqueletos volcánicos “Piedra del Fuego” y “Sinsal” descritos originalmente por Barquero y Sáenz (1987) y luego confirmados por van Uffelen (1993). Los suelos o subsuelos arcillosos encontrados en los Ultisoles, Inceptisoles, Alfisoles y Oxisoles, son mucho más antiguos y su formación data de 9000 a 65 000 años dependiendo de la profundidad a la que se determine la edad (Pleistoceno). Harris (1971b), menciona como posible fuente de origen de las cenizas en Talamanca la Cordillera Volcánica Central (probablemente el macizo Irazú-Turrialba), basado en que la mineralogía de las cenizas de la región presenta un 42 y 62% de hornablenda e hiperstena, respectivamente, minerales típicos de las cenizas andesíticas del vulcanismo moderno del país, en contraste con la mineralogía dacítica de las rocas plutónicas y volcánicas y las rocas intrusivas (metamórficas y sedimentarias) que conforman el basamento de la Cordillera (Drummond et al. 1995). La deposición de las cenizas pudo ocurrir durante los períodos invernales (noviembre a mayo), cuando los vientos de la troposfera alta y la estratosfera baja (unos 5,5 km de altitud) tienen dirección este dominante, de manera que los vientos de la troposfera baja, de dirección sureste, redistribuyen la ceniza en esa dirección cuando esta comienza a caer (Alvarado y Fernández 2001), siempre y cuando las erupciones de ceniza volcánica alcancen la altura necesaria.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**1. Recopilación y análisis de información básica:** Se recopiló información de factores formadores (geología, clima, vegetación, relieve, tiempo) y de estudios de suelos existentes,

además del material cartográfico básico del área de estudio: hojas topográficas Vueltas (1962), Tapantí (1963), Caraigres (1989) y Dota (1994), escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional y fotografías aéreas del proyecto Carta 2003, escala 1:40 000.

**2. Mapeo preliminar:** Se confeccionó un mapa preliminar fisiográfico de suelos a partir de la fotointerpretación y de la información de sistemas geográficos existentes. Este mapa sirvió de base para la selección e ubicación de puntos de muestreo y establecimiento de unidades de mapeo durante la etapa de campo.

**3. Trabajo de campo:** El trabajo de campo se realizó en las unidades de mapeo establecidas en el mapa base y en donde se definieron sitios de muestreo. Para facilidad de orientación se utilizaron los caminos. Se llevaron a cabo las siguientes observaciones:

**Barrenada simple en levantamiento libre:** Son perforaciones de 120 cm de profundidad, realizadas con barreno (tipo holandés) en los sitios previamente ubicados en el terreno. Este tipo de observación se usó también para delimitar en el campo las unidades cartográficas. En estas observaciones se señaló la ubicación, se separaron los distintos horizontes genéticos que componen el perfil del suelo y se caracterizó en cuanto a su nomenclatura genética, textura, color, presencia de estratos compactos y permeabilidad, también se describieron otras características importantes como pendiente y uso actual.

**Observación detallada:** Por cada 20 observaciones con barreno, se realizaron pequeñas fosas de 50 cm de ancho, 50 cm de largo y 50 cm de profundidad, donde se detalló el estrato superficial y parte del subsuelo. Posteriormente se continúa con el barreno hasta 120 cm como si fuera una barrenada simple.

**Apertura de calicatas:** Las calicatas son fosas de alrededor 100 cm de ancho, 150 cm de

largo y 150 cm de profundidad, ubicadas en sitios representativos de las principales unidades cartográficas de los suelos. Como parte del proceso investigativo se abrieron y describieron 19 calicatas y se acudió a 32 calicatas descritas por otros autores en la zona de estudio. Su estudio permite caracterizar morfológicamente el perfil del suelo por horizontes genéticos (color, textura, estructura, consistencia en húmedo y mojado, porosidad, contenido de raíces, límite y pH) y tomar las muestras de suelos para el análisis físico, químico y mineralógico. Además permiten anotar características importantes como coordenadas, ubicación, fisiografía, presencia o ausencia de rocas, uso actual, drenaje, erosión, etc. (USDA-NRCS 2002).

#### 4. Clasificación de Suelos

**Criterios de mapeo:** El mapa de suelos, mediante las unidades de mapeo, muestra la distribución geográfica de los suelos; estas unidades presentan características similares de uso y manejo. La unidad taxonómica para el presente estudio fue la Familia, como unidad de mapeo se utiliza la Consociación y la Asociación. La primera, considera la agrupación de por lo menos el 70% de una unidad taxonómica y como máximo un 30% de impurezas que son denominadas inclusiones (suelos de otra unidad taxonómica) y la segunda, se presenta cuando se reúnen 2 o más unidades taxonómicas debidamente identificadas, pero que por razones de escala o nivel del estudio no se han separado todavía. Además, las unidades cartográficas, presentan subdivisiones denominadas fases, basadas en aspectos del punto de vista de manejo tales como topografía (pendiente), pedregosidad superficial y erosión. Para fijar los límites en el campo y determinar el concepto de unidad de mapeo, se consideró la relación existente entre las características: profundidad efectiva, textura superficial, textura subsuperficial, drenaje, pendiente, riesgo de inundación, pedregosidad y desarrollo genético.

**Criterios de clasificación taxonómica:** Los suelos se clasificaron taxonómicamente con base en la taxonomía USDA (Soil Survey Staff

2006). Para ello se tomó en consideración los factores edafogenéticos que participan en la formación del suelo. La clasificación es en órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos y familia.

**5. Elaboración de mapas:** A partir de las unidades de mapeo establecidas en el mapa base, las observaciones con barreno permitieron definir los límites de los suelos encontrados: el cartografiado general y las áreas se realizaron con el Sistema de Información Geográfica Arc-View, 3.3.

**6. Métodos de análisis físicos y químicos utilizados en el laboratorio de suelos Centro de Investigaciones Agronómicas de la UCR:**

En el laboratorio, una parte de las muestras se seco al aire y se tamizó en una criba de 2 mm. Se determinó el pH en H<sub>2</sub>O con determinación potenciométrica en relación suelo/agua 1:2,5 (Jackson 1958 en Henríquez et al. 1995), la acidez intercambiable, el Ca y Mg por extracción con cloruro de potasio 1 M (Briceño y Pacheco 1984), el P, K, Zn, Mn, Cu, Fe con Olsen modificado pH 8,5 (Henríquez et al. 1995), la materia orgánica con el método de Walkley y Black (1938); la capacidad de intercambio catiónico por extracción con acetato de amonio (NH<sub>4</sub>OAc 1N) pH 7 (Henríquez et al. 1995), los cationes intercambiables (Ca, Mg, K, Na) por extracción con acetato de amonio y determinación espectrofotometría de absorción atómica (Henríquez et al. 1995); el hierro y aluminio en extracción con oxalatos de amonio y la retención de fosfatos con el método Blakemore et al. (1987). La textura de suelo por el método de Bouyoucos (Forsythe 1985), la densidad aparente con muestra volumétrica (Blacke 1965 en Forsythe 1985), la densidad de partículas con el método del Picnómetro (Blacke 1965 en Forsythe 1985), la retención de humedad con ollas de presión de Richards (1941) y la conductividad hidráulica con el método de cilindro de metal (Henríquez y Cabalceta 1999). Consistencia de suelos método de Atterberg y Casagrande (1948) en Lambe y Whitman (1998). Con lo anterior, se realizó la

clasificación taxonómica de los suelos a nivel de subgrupo (Soil Survey Staff 2006) y se interpretó la fertilidad según los criterios de Bertsch (1998).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la región estudiada se identificaron 2 unidades geomorfológicas: tectónica-erosiva y de sedimentación; 5 grandes paisajes; 4 paisajes y 3 subpaisajes (Cuadro 2).

Se identificaron 29 unidades cartográficas, de las cuales 6 son consociaciones, 22 asociaciones y una tierra miscelánea (Cuadro 3 y Figura 9).

Se identificaron 4 órdenes de suelos (Cuadro 4). Los Ultisoles con régimen de humedad ústico, ocupan el 38% del área estudiada. Estos suelos se formaron a partir de materiales parentales de origen: 1) sedimentario marino, 2) volcánico andesítico-basáltico y 3) coluvial; las edades de estos materiales va del Pleistoceno al Oligoceno. Los perfiles que poseen acumulación de materia orgánica se clasificaron dentro del suborden Humults y los que no cumplen este requisito como Ustults. Se ubicaron en 5 grandes grupos: Haplustults, Paleustults, Haplohumults, Palehumults, Rhodustults y en 9 subgrupos: Typic Haplustults, Aquic Haplustults, Typic Paleustults, Andic Haplohumults, Aquic Haplohumults, Aquandic Haplohumults, Ustic Haplohumults, Andic Palehumults y Typic Rhodustults. Los Ultisoles con cenizas volcánicas en superficie se clasificaron como del subgrupo Andic. A nivel de familia y por clases granulométricas, la clasificación es arcillosa y arcillosa muy fina, la clase mineralógica caolinítica y el régimen de temperatura isotérmico, a excepción de la unidad cartográfica La Virgen-Abejónal que es isomésico.

Otros suelos con horizonte cámbico y de evolución incipiente son del orden de los Inceptisoles que representan el 23% de la superficie cartografiada. Se han formado en: 1) áreas de rocas ígneas; 2) alrededor de las litologías intrusivas y 3) sobre depósitos aluviales recientes. El régimen de humedad ústico los ubica en el suborden Ustepts. El bajo contenido de bases los clasifica en el gran grupo Dystrustepts. Los subgrupos

Cuadro 2. Fisiografía de los Suelos en la Cuenca Media Alta del río Pirrís.

| Unidades Geomorfológicas   | Gran paisaje                                                                           | Paisaje fisiográfico                                                   | Sub paisaje                  | Unidad Cartográfica                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tectónico-erosivo          | Cordillera de Talamanca con litologías volcánicas y vulcano-sedimentaria del Terciario | Montañas erosivas con deposición de ceniza volcánica en régimen ústico | Lomas, laderas y colinas     | Asociación Trinidad<br>Consociación Cedral Trinidad<br>Asociación Cañón-La Cima<br>Asociación Cerro Vueltas                                                                                                                                                                        |
|                            |                                                                                        | Montañas erosivas en régimen ústico                                    | Lomas, laderas y colinas     | Asociación Vara Blanca<br>Asociación San Pedro<br>Asociación Cerro Trinidad<br>Asociación La Virgen-Abejonal<br>Consociación La Cachimba<br>Asociación Carrizales<br>Asociación Pedregoso                                                                                          |
| Tectónico-erosivo          | Cordillera de Talamanca con litología intrusiva del Terciario                          | Montañas erosivas en régimen ústico                                    | Laderas                      | Asociación Intrusivos                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Tectónico-erosivo          | Fila Brunqueña con litología sedimentaria del Terciario                                | Montañas erosivas en régimen ústico                                    | Lomas, laderas y colinas     | Asociación San Isidro<br>Asociación Llano Bonito<br>Consociación Santa Rosa<br>Asociación Higueronal-La Bandera<br>Asociación Llano La Piedra-El Vapor<br>Asociación Guadalupe-La Pastora<br>Asociación Zapotal-La Esperanza<br>Asociación Mata de Caña<br>Consociación San Carlos |
| Sedimentos no consolidados | Planicie coluvial del Cuaternario                                                      | Terraza erosionada por viejos canales fluviales con régimen ústico     | Colinas                      | Asociación San Lorenzo<br>Asociación San Marcos<br>Asociación El Balar                                                                                                                                                                                                             |
| Sedimentos no consolidados | Planicie aluvial del Holoceno                                                          | Terraza reciente con régimen ústico                                    | Terraza en valle fondo plano | Consociación Guzmán<br>Asociación San Rafael-Santa María<br>Consociación Bajo San Juan<br>Asociación Copey<br>Tierras Misceláneas                                                                                                                                                  |

Cuadro 3. Unidades cartográficas y taxonómicas en la zona de estudio.

| Unidad cartográfica                | Símbolo | Unidad taxonómica                                                                                        | ha      | %     |
|------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|
| Asociación Trinidad-Salsipuedes    | Tri-Sa  | Andic Dystrustepts, media, amorfo, isomésico;<br>Dystric Haplustands, media, amorfo, isomésico           | 1481,77 | 6,04  |
| Consociación Cedral Trinidad       | Ce-Tri  | Dystric Haplustands, media, amorfo, isomésico;<br>Andic Dystrustepts, media, amorfo, isomésico           | 2487,10 | 10,14 |
| Asociación Cañón - La Cima         | Ca-Ci   | Humic Haplustands, media, amorfo, isomésico;<br>Andic Dystrustepts, media, amorfo, isomésico             | 204,55  | 0,83  |
| Asociación Cerro Vueltas           | Vue     | Andic Dystrustepts, media, amorfo, isomésico;<br>Dystric Haplustands, media, amorfo, isomésico           | 2300,33 | 9,38  |
| Asociación Vara Blanca             | VB      | Typic Haplustults, arcillosa fina, isotérmico; Aquic Haplohumults; arcillosa muy fina, Isotérmico        | 428,23  | 1,75  |
| Asociación San Pedro               | SP      | Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico;<br>Typic Haplustults, arcillosa muy fina, isotérmico  | 561,89  | 2,29  |
| Asociación Cerro Trinidad          | Tri     | Typic Dystrustepts francosa fina, isomésico; Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isomésico            | 877,24  | 3,58  |
| Asociación La Virgen-Abejónal      | Vi-Ab   | Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isomésico;<br>Andic Dystrustepts, francosa fina, isomésico        | 462,98  | 1,89  |
| Consociación La Cachimba           | Cach    | Andic Haplohumults, arcillosa muy fina, isotérmico                                                       | 164,87  | 0,67  |
| Asociación Carrizales              | Car     | Typic Paleustults, arcillosa fina, isotérmico; Typic Haplustults, arcillosa fina, isotérmico             | 564,42  | 2,30  |
| Asociación Pedregoso               | Pe      | Typic Ustorthents, francosa fina, isomésico; Humic "Alic" Dystrustepts, francosa fina, isomésico         | 1086,74 | 4,43  |
| Asociación Intrusivos              | Int     | Andic Dystrustepts; Typic Ustorthents                                                                    | 2920,21 | 11,90 |
| Asociación San Isidro              | SI      | Typic Haplustults, arcillosa fina, isotérmico; Typic Paleustults; arcillosa fina, Isotérmico             | 1334,93 | 5,44  |
| Asociación Llano Bonito            | Llabo   | Typic Haplustults, arcillosa muy fina, isotérmico;<br>Typic Ustorthents, francosa fina, isotérmico       | 1296,38 | 5,28  |
| Consociación Santa Rosa            | Sro     | Typic "Alic" Dystrustepts, francosa fina, isomésico                                                      | 887,24  | 3,62  |
| Asociación Higueronal - La Bandera | Hi-Ba   | Andic Haplohumults, arcillosa muy fina, isotérmico;<br>Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico | 1128,62 | 4,60  |



Cuadro 3. Unidades cartográficas y taxonómicas en la zona de estudio (continúa).

| Unidad cartográfica                   | Símbolo | Unidad taxonómica                                                                                                                    | ha      | %    |
|---------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------|
| Asociación Llano La Piedra - El Vapor | Lla-Va  | Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico; Ustic Haplohumults, arcillosa muy fina, isotérmico                                | 357,69  | 1,46 |
| Asociación Guadalupe-La Pastora       | Gua-Pa  | Andic Palehumults, arcillosa fina, isotérmica; Typic Rhodustults, arcillosa fina, kaolínica con mala cristalización, isotérmica      | 1334,66 | 5,44 |
| Asociación Zapotal - La Esperanza     | Za-Es   | Aquic Haplustults arcillosa muy fina, isotérmico; Typic "Aquic" Paleustults, arcillosa muy fina, isotérmica                          | 942,26  | 3,84 |
| Asociación Mata de Caña               | MC      | Andic Haplohumults, arcillosa fina, kaolínica con mala cristalización, isotérmica; Aquic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico | 742,4   | 3,03 |
| Consociación San Carlos               | SC      | Andic Haplohumults, arcilloso muy fino, isotérmico                                                                                   | 328,03  | 1,34 |
| Asociación San Lorenzo                | SL      | Ustic Haplohumults, arcillosa fina, kaolínica, isotérmica                                                                            | 414,05  | 1,69 |
| Asociación San Marcos                 | SM      | Aquic Palehumults, arcillosa fina, kaolínica, isotérmico; Kanhaplic Haplustults, arcillosa muy fina, isotérmico                      | 1060,98 | 4,32 |
| Asociación El Balar                   | Bal     | Aquandic Haplohumults, arcillosa fina, kaolínica, isotérmica; Aquic Palehumults, arcillosa fina, kaolínica, isotérmica               | 251,21  | 1,02 |
| Consociación Guzmán                   | Guz     | Fluventic Haplustepts, francosa fina, isotérmica                                                                                     | 88,82   | 0,36 |
| Asociación San Rafael - Santa María   | SR-SM   | Typic "Andic" Ustifluvents, francosa gruesa, isotérmico; Fluventic Dystrustepts, francosa fina, isotérmica                           | 302,29  | 1,23 |
| Consociación Bajo San Juan            | BSJ     | Fluventic Dystrustepts, francosa fina, isotérmica                                                                                    | 87,99   | 0,36 |
| Asociación Copey                      | Co      | Typic "Andic" Ustifluvents, francosa gruesa, isotérmica; Humic Dystrustepts, arcillosa fina, isotérmica                              | 190,58  | 0,78 |
| Tierras Misceláneas                   | Mis     | Typic Ustifluvents, esquelética-arenosa, isotérmico                                                                                  | 248,20  | 1,01 |

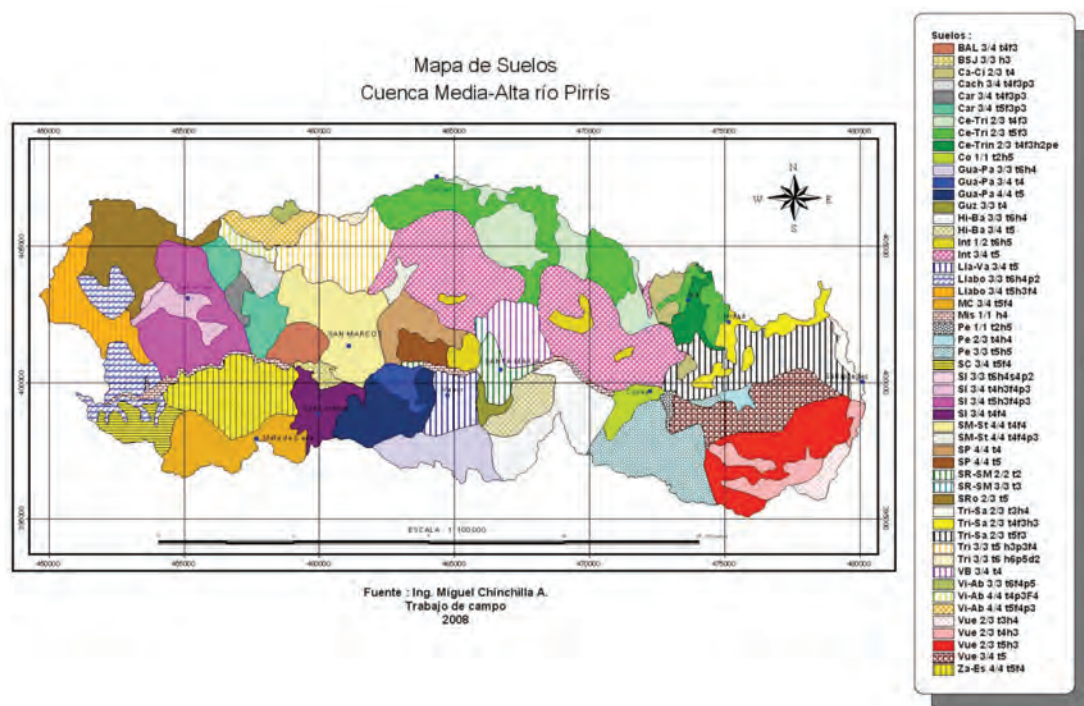


Fig. 9. Mapa de suelos del nivel medio alto en la subcuenca río Pirrís.

Cuadro 4. Ordenes de suelos en la subcuenca media alta.

| Orden de suelo | ha     | %   |
|----------------|--------|-----|
| Ultisoles      | 9287   | 38  |
| Andisoles      | 4062   | 17  |
| Inceptisoles   | 5799   | 23  |
| Entisoles      | 5388   | 22  |
| Total          | 24 537 | 100 |

encontrados son Andic, Fluventic y Typic. A nivel de familia, la clasificación por clases granulométricas es Francosa fina, con régimen de temperatura isomésico e isotérmico en función de la altitud a la que se encuentren.

En niveles altos de la subcuenca la deposición de cenizas volcánicas permitieron la formación de suelos: del orden de los Andisoles (17% del área), los que presentan una capa de 35 cm con propiedades ándicas y en ocasiones horizontes argílicos sepultados. Los horizontes que están encima del argílico son

frágiles, vulnerables a erosionarse y deslizarse. El régimen de humedad ústico los clasifica en el suborden Ustands. En general son del gran grupo Haplustands y en función de su contenido de bases de los subgrupos Dystric y Humic. A nivel de familia, la clasificación por clase granulométrica es medial, la mineralógica amorfa y por temperatura isomésicos.

Los Entisoles (22% del área estudiada) están localizados en fondos de valle de aluviones recientes y en superficies erosionadas con fuerte pendiente de las litologías sedimentarias, ígneas e intrusivas. Son suelos con muy poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéticos que pertenecen a los subórdenes Fluvents y Orthents. De acuerdo con su régimen de humedad ústico son del gran grupo Ustifluvents, Ustorthents y fueron ubicados en el subgrupo Typic. A nivel de familia, la clase granulométrica es Francosa fina, con régimen de temperatura isomésico e

isotérmico en función de la altitud a la que se encuentren. La Figura 9 muestra el mapa de suelos a escala 1:50 000.

Los valores promedios, mínimo y máximo de las principales características químicas de los suelos de la subcuenca se resumen en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Valores químicos de algunas variables químicas en todos los suelos de la subcuenca del río Pirrís.

|                         | pH H <sub>2</sub> O | M.O<br>% | C.O<br>% | Ca    | Mg<br>cmol(+).kg <sup>-1</sup> | K<br>cmol(+).kg <sup>-1</sup> | Na   |
|-------------------------|---------------------|----------|----------|-------|--------------------------------|-------------------------------|------|
| <b>Horizontes A</b>     |                     |          |          |       |                                |                               |      |
| Máximo                  | 6,40                | 25,12    | 14,57    | 27,70 | 6,34                           | 2,20                          | 0,32 |
| Media                   | 5,18                | 8,52     | 4,94     | 6,72  | 1,64                           | 0,53                          | 0,12 |
| Mínimo                  | 4,10                | 0,65     | 0,38     | 0,10  | 0,11                           | 0,10                          | 0,10 |
| <b>Horizontes A y B</b> |                     |          |          |       |                                |                               |      |
| Máximo                  | 6,90                | 12,50    | 7,25     | 34,90 | 39,67                          | 1,03                          | 1,48 |
| Media                   | 5,31                | 1,57     | 0,80     | 4,37  | 1,15                           | 0,22                          | 0,15 |
| Mínimo                  | 4,00                | 0,10     | 0,00     | 0,05  | 0,02                           | 0,03                          | 0,10 |

En el horizonte A el valor promedio de materia orgánica es de 8,52%, con mínimos y máximos de 0,65 y 25,12%, respectivamente. La materia orgánica disminuye con la profundidad del suelo, de manera que en los horizontes B y C son de 1,57%, con un valor máximo de 12,50% y otro mínimo de 0,10%. En la Figura 10 se nota que el 47% de las muestras del horizonte A tienen materia orgánica de entre 5 y 10%, valor considerado como óptimo, y que el 71% de los horizontes B y C poseen valores menores a 2%, considerados como bajos.

El contenido promedio de Ca intercambiable en el horizonte A es de 6,72 cmol(+).kg<sup>-1</sup>,

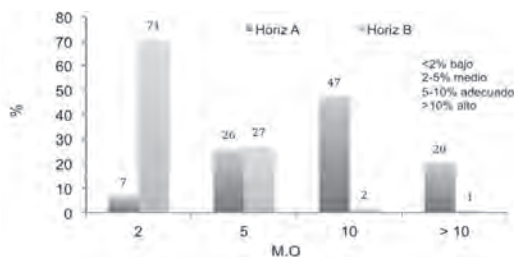


Fig.10. Materia orgánica (%) en la subcuenca río Pirrís.

con valores máximos y mínimos de 27,70 y 0,10 cmol(+).kg<sup>-1</sup> suelo. En los horizontes B y C el Ca intercambiable el valor promedio de esta variable es 4,37 cmol(+).kg<sup>-1</sup> suelo, extremos de 34,9 y 0,05 cmol(+).kg<sup>-1</sup> suelo.

El valor promedio de Mg intercambiable en el horizonte A es de 1,64 cmol(+).kg<sup>-1</sup>, con valores máximos y mínimos de 6,34 y 0,11 cmol(+).kg<sup>-1</sup> suelo. En los horizontes B y C el Mg intercambiable el valor promedio de esta variable es 1,04 cmol(+).kg<sup>-1</sup> suelo, extremos de 5,47 y 0,02 cmol(+).kg<sup>-1</sup> suelo.

El valor promedio de K intercambiable en el horizonte A es de 0,50 cmol(+).kg<sup>-1</sup>, con valores máximos y mínimos de 2,20 y 0,10 cmol(+).kg<sup>-1</sup> suelo. En los horizontes B y C el K intercambiable el valor promedio de esta variable es 0,22 cmol(+).kg<sup>-1</sup> suelo, extremos de 1,30 y 0,03 cmol(+).kg<sup>-1</sup> suelo.

El contenido promedio de Na intercambiable en el horizonte A es de 0,12 cmol(+).kg<sup>-1</sup>, con valores máximos y mínimos de 0,32 y 0,10 cmol(+).kg<sup>-1</sup> suelo. En los horizontes B y C el Na intercambiable el valor promedio de esta variable

es  $0,15 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  suelo, extremos de  $0,50$  y  $0,01 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  suelo.

El valor promedio de la Suma de Bases en el horizonte A es de  $8,46 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , con valores máximos y mínimos de  $35,68$  y  $0,47 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  suelo. En los horizontes B y C el valor promedio de esta variable es  $5,92 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  suelo, extremos de  $38,41$  y  $0,40 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  suelo.

En relación con el % Saturación de Bases, en el horizonte A, el valor promedio es de  $22,15$  (bajo), el valor máximo  $94\%$  y el mínimo  $1,88\%$ . Como se muestra en la Figura 11, un  $66\%$  de las muestras de los horizontes A y el  $78\%$  de los horizontes B y C, poseen la saturación de bases menor a  $20\%$ .

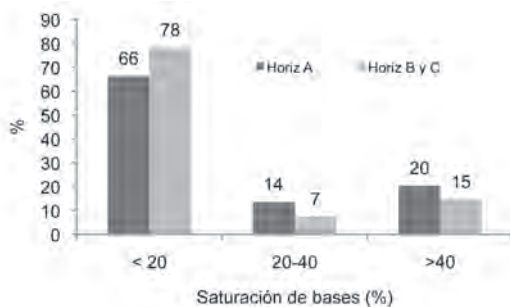


Fig. 11. Porcentaje de saturación de bases en la subcuenca río Pirrís.

El valor promedio de la Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC) en el horizonte A es de  $40 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , con valores máximos y mínimos de  $74$  y  $14 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  suelo. En los horizontes B y C el valor promedio de esta variable es  $31 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  suelo, extremos de  $29$  y  $18 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  suelo.

El valor promedio de pH en el horizonte A es de  $5,2$  valor considerado como fuertemente ácido, con valores máximos y mínimos de  $6,4$  y  $4,1$ . En los horizontes B y C el valor promedio de esta variable es  $5,3$ , con extremos de  $7,1$  y  $4,0$ . En la Figura 12 para pH en agua, el  $76\%$  de las muestras del horizonte A tienen un pH menor a  $5,5$  y de estas, el  $42\%$  es menor a pH  $5,0$ . El  $68\%$  de los horizontes B y C tienen un pH menor a  $5,5$ .

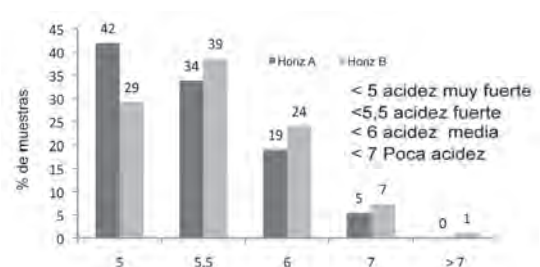


Fig. 12. pH en la subcuenca río Pirrís.

El valor promedio de la Acidez Intercambiable en el horizonte A es de  $2,47 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ , con valores máximos y mínimos de  $27,7$  y  $0,15 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$  suelo. En los horizontes B y C el valor promedio de esta variable es  $4,60 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$  suelo, extremos de  $28,3$  y  $0,19 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$  suelo. La acidez intercambiable mayor a  $1 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ , considerada como muy alta, ocurre en un  $67\%$  de las muestras de los horizontes A, B y C. Solo un  $11\%$  de horizontes A y  $14\%$  de horizontes B y C muestran valores óptimos de acidez inferiores a  $0,3 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$  (Figura 13).

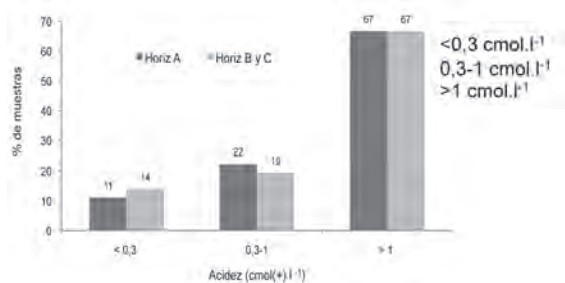


Fig. 13. Acidez de suelos en la Subcuenca río Pirrís.

En relación con el % Saturación de Acidez en el horizonte A, el valor promedio es de  $36,5$ , el valor máximo  $95\%$  y el mínimo  $0,76\%$ . El índice de saturación de acidez fue alto en el  $47\%$  de los horizontes A, B y C. Los valores menores a  $30\%$  fueron encontrados en un  $53\%$  de las muestras, y solo el  $24\%$  de los horizontes A tuvieron una saturación de acidez menor a  $10\%$  (Figura 14).

El valor promedio de Retención de P en el horizonte A es de  $82\%$ , con valores máximos y mínimos de  $98$  y  $55\%$ . En los horizontes B y C el valor promedio de la Retención de P es de  $56\%$ , con extremos de  $80$  y  $42\%$ .

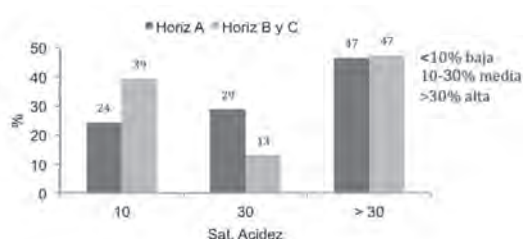


Fig. 14. Saturación de acidez en suelos de la subcuenca río Pirrís.

Entre las principales propiedades físicas de los suelos, se consideran la Densidad Aparente y la Densidad de Partículas, con las cuales se puede calcular la Porosidad del suelo. En la región bajo estudio estas propiedades variaron de la siguiente manera:

El valor promedio de la Densidad Aparente ( $D_a$ ) en el horizonte A es de  $0,91 \text{ Mg.m}^{-3}$ , con valores máximos y mínimos de  $1,34$  y  $0,52 \text{ Mg.m}^{-3}$ . En los horizontes B y C el valor promedio de la  $D_a$  es de  $1,16$ , con extremos de  $1,44$  y  $0,77 \text{ Mg.m}^{-3}$ .

El valor promedio de la Densidad de Partículas ( $D_p$ ) en el horizonte A es de  $2,56 \text{ Mg.m}^{-3}$ , con valores máximos y mínimos de  $2,87$  y  $1,73 \text{ Mg.m}^{-3}$ . En los horizontes B y C el valor promedio de la  $D_p$  es de  $2,46$ , con extremos de  $3,79$  y  $1,67 \text{ Mg.m}^{-3}$ .

## CONCLUSIONES

En el Cuadro 6 se resume la forma en que los diferentes factores afectan la génesis de los suelos en la cuenca media-alta del río Pirrís.

Los suelos desarrollados sobre deposiciones de cenizas volcánicas son recientes. Sobre este material parental piroclástico de deposición reciente (700 años) actúa el clima. La dispersión de las cenizas hasta la subcuenca ocurren por la acción del viento del noreste que circula a elevaciones de entre  $1750$  y  $4000 \text{ m}$  dentro de la troposfera entre los meses de Diciembre a Febrero (Alvarado y Fernández 2001). De acuerdo con el Soil Survey Staff (2006) clasifican en el orden Andisol, pueden presentar horizonte

cámbico formado por alteración de cenizas. Por efecto del relieve y la precipitación se erosionan las capas superficiales, exponiendo algunas veces una discontinuidad cronológica expresada como un horizonte argílico.

Los suelos desarrollados a partir de terrazas recientes, son en general de poco desarrollo morfológico con secuencia de horizontes tipo A/C y A/Bw/C. El principal factor formador de los suelos son las deposiciones de aluviones provenientes de los ríos Pirrís y Pedregoso en un tiempo geológico reciente (11 mil años al presente), sobre los que actúa el clima en un relieve casi plano. En este paisaje se han clasificado los órdenes Entisoles e Inceptisoles con presencia de grava de diverso tamaño en el subsuelo y pedregosidad superficial en algunos sectores.

Cerca de los materiales intrusivos ácidos de la Cordillera de Talamanca, cuya edad varía de  $8,5$ - $11 \text{ Ma}$  (Kussmaul 1987), se desarrolló una aureola de metamorfismo de contacto con un intenso proceso de alteración hidrotermal de la roca preexistente. Las rocas intrusivas como la granodiorita, presentan contenidos importantes de cuarzo, plagioclasas sódicas, menor cantidad de feldespatos alcalinos y pequeñas cantidades de hornablenda y biotitas. Por su parte las monzodioritas exhiben plagioclasas, poco feldespato potásico y menos de  $5\%$  de cuarzo. Las monzonitas tienen igual cantidad de feldespatos y plagioclasas con poco contenido de hornablenda y, o, piróxenos (Le Maitre 2002). Las rocas resultantes del metamorfismo de contacto tienen composición silíceas con contenido importante de óxidos de hierro y manganeso. La granulometría del anillo alrededor de la roca intrusiva es fina (ICE 2002). En estas áreas el material parental y el relieve han sido fundamentales como factores formadores de suelo. Los suelos formados en este paisaje se han clasificado en 2 órdenes: Entisoles e Inceptisoles. Los Entisoles son de muy escaso desarrollo morfológico (A/R). Los Inceptisoles tienen más desarrollo con secuencia de horizontes es tipo A/Bw/C; A/Bw/2BC/Cr y se han formado alrededor de las litologías intrusivas, en relieves fuertemente ondulados. Son pedregosos,

Cuadro 6. Factores ambientales para la formación de suelos.

| Paisaje                                                                                     | Material parental                                                         | Edad geológica                                                                                                                                                      | Clima                         | Relieve                                 | Cobertura vegetal                                                                                 | Orden suelos            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Laderas con deposiciones de cenizas sobre litología volcánica en la Cordillera de Talamanca | Genizas volcánicas provenientes de la Cordillera Volcánica Central        | Holoceno. 590±95 años (superficie) y Pleistoceno Superior a 1,50 m de profundidad (36 620±650 y >43 640 años <sup>14</sup> C antes del presente)                    | ústico, isomésico             | Ondulado a fuertemente ondulado (>15%)  | Robledales ( <i>Quercus</i> spp). Vegetación Páramo. Ciprecillo ( <i>Podocarpus macrotachyu</i> ) | Andisoles               |
| Terrazas subcrecientes del llenado de los ríos Pirrís y Pedregoso                           | Aluviones                                                                 | Holoceno con edad menor a 11 000 años                                                                                                                               | ústico, isotérmico            | Plano a ligeramente ondulado (<15%)     | Cedro, Tirrá, Guarumo, Burío ¿?                                                                   | Entisoles, Inceptisoles |
| Terrazas levantadas por la tectónica de Talamanca con erosión de drenajes antiguos          | Coluvios                                                                  | Pleistoceno con edad entre 11 000 años y 1,8 Ma. Suelos de abanicos aluviales del pie de monte de la Cordillera de Talamanca tienen 45 000 a 65 000 años de carbono | ústico, isotérmico            | Ondulado (15 a 30%)                     | Cedro, Tirrá, Guarumo, Burío ( <i>Apeiba tibourbou</i> ), Capulín ( <i>Muntingia calaburia</i> )  | Ultisoles               |
| Laderas con litologías volcánicas de la Cordillera de Talamanca (Grifo Alto)                | Lavas basálticas, andesíticas a andesítica basáltica. Rocas piroclásticas | Plioceno (5,0-1,8 M a)                                                                                                                                              | ústico, isomésico, isotérmico | Ondulado a escarpado (>15%)             | Robledales Cedro maria ( <i>Calophyllum brasiliense</i> ), Tirrá ( <i>Ulmus mexicana</i> )        | Ultisoles, Inceptisoles |
| Laderas con litologías intrusivas y materiales con alteración hidrotermal de Talamanca      | Monzonitas, monzodioritas, granodioritas, diabasas, lavas                 | Intrusivos Mioceno Superior al Pleistoceno (23- 5 M.a)                                                                                                              | ústico, isomésico,            | Fuertemente ondulado a escarpado (>30%) | Robledales                                                                                        | Inceptisoles, Entisoles |
| Laderas con litologías sedimentarias Fila Brunquena (Formación Térraba)                     | Areniscas, limonitas y arcillolitas                                       | Oligoceno a Mioceno Inferior (34 a 23 M.a)                                                                                                                          | ústico, isotérmico            | Ondulado a escarpado (>15%)             | Cedro, Tirrá, Burío, Burío, Capulín Guarumo, ( <i>Cecropia obtusifolia</i> )                      | Ultisoles               |



poco profundos, ácidos, amarillos. Procesos de formación de estos Inceptisoles son la iluviación, lixiviación, lavado, formación de humus, descomposición, síntesis y erosión superficial.

Los suelos Ultisoles de esta parte de la Cordillera de Talamanca y Fila Brunqueña se hallan sobre litologías volcánicas (lavas basálticas, andesíticas, andesitas basálticas) y sedimentarias (lutitas, areniscas de grano fino a medio). Químicamente, estas rocas volcánicas del Plioceno son intermedias en cuanto al contenido de sílice (cuarzo) y muestran olivinos, piróxenos, feldespatos, plagioclasas cálcicas (rocas basálticas) a plagioclasas de carácter intermedio y sódicas (Andesitas). Las rocas sedimentarias (lutitas, areniscas de grano fino a medio) son de origen marino del Oligoceno al Mioceno Medio. En algunos sectores de rocas sedimentarias pueden presentar grietas rellenas por arcillas que de acuerdo con el análisis difractométrico, son esmectitas y caolines mal cristalizados (ICE 2005). La meteorización de estos materiales parentales produce abundantes óxidos de hierro (hematita y limonita) que proporcionan colores rojos y amarillos a los suelos de la región.

En general, la textura superficial de los suelos en la subcuenca es 69% moderadamente fina a fina, 28% media y 3% gruesa. En el subsuelo el 96% es arcilloso, el 2% es de textura mediana y el 2% es de granulometría gruesa.

El régimen climático presenta 2 períodos: uno seco de diciembre a marzo y otro lluvioso de mayo a octubre, hay una transición entre el período seco y lluvioso en abril y noviembre. Las regiones climáticas dominantes son el régimen de humedad de suelo ústico y el régimen de temperatura de suelo isomésico e isotérmico.

La elevación sobre el nivel del mar determina la cobertura vegetal de la subcuenca. La vegetación natural tiene una zonificación por piso altitudinal cerca de los 2300 m de altura y que separa el bosque Montano Bajo y Montano Alto. Los bosques Montanos Altos son llamados robledales (*Quercus*), aunque incluyen especies del género *Chusquea* y cipresillo (*Podocarpus*

*macrotachyus*). Algunos árboles importantes en el montano bajo son el cedro maría (*Calophyllum brasiliense*) y el tirrá (*Ulmus mexicana*). La zonación agroecológica también está delimitada por la elevación sobre el nivel del mar. Por encima de los 1800 m se observa ecoturismo de montaña, potreros, frutales de altura, hortalizas, flores, piscicultura y extracción artesanal de carbón, mientras que la parte media se usa con plantaciones de café.

Los principales tipos de relieve son las tierras montañosas de fuerte pendiente, con áreas de relieve suave que ocupan valles y terrazas de poca extensión.

Las principales unidades geológicas son del Terciario con litologías volcánicas (Grifo Alto), sedimentarias (Térraba), superficies menores de intrusivos (grupo Comagmático Talamanca) y de sedimentos no consolidados del Cuaternario.

La edad de formación por tipo de depósito que da origen al suelo varía entre el Holoceno y el Paleoceno Inferior a Mioceno Medio.

## RECOMENDACIONES

A partir de las conclusiones expuestas, se hacen las siguientes recomendaciones:

Los promedios de las características químicas de los suelos de la cuenca muestran suelos ácidos de acuerdo con lo siguiente: pH bajo a moderadamente ácido, aluminio intercambiable alto, bajo porcentaje de saturación de bases, deficientes en calcio, magnesio, potasio, fósforo, zinc, lo que se traduce en fertilidad actual baja. Consecuentemente la fertilización sostenida y el encalado periódico deben constituir prácticas corrientes de manejo aplicadas en forma controlada, adaptadas al tipo de uso de la tierra y los pastizales.

En relación con los contenidos de aluminio presente en la cuenca, se recomienda la implementación de parcelas de encalado que indiquen la dosis de cal más eficiente en relación con la respuesta del cultivo y el Al en el suelo.

## LITERATURA CITADA

- ALVARADO L.F., FERNÁNDEZ W. 2001. Climatología de la atmósfera libre sobre Costa Rica. *Tópicos de Meteorología y Oceanografía* 8(2):89-115.
- BARQUERO H., SÁENZ R. 1987. Mapa de aparatos de Costa Rica. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica. Universidad Nacional s.p.
- BERTSCH F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- BLAKEMORE L.C., SEARLE P.L., DALY B.K. 1987. Method for chemical analysis of soil. *Soil Bureau Scientific*, N°. 2. pp. 45-46.
- BLASER J., CAMACHO M. 1991. Estructura, composición y aspectos silviculturales de un bosque de robles (*Quercus* spp.) del piso montano en Costa Rica. Proyecto CATIE/COSUDE, Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales N°. 1. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- BOLAÑOS R.A., WATSON V. 1993. Mapa ecológico de Costa Rica: según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge. San José, CR, Centro Científico Tropical. 1:200 000. Color. (San José CR-2CM-5; Quepos CR-2CM-7).
- BRICEÑO J.A., PACHECO R. 1984. Métodos analíticos para el estudio de suelos y plantas. San José, UCR. 137 p.
- BUOL S., HOLE F.D., McCRAKEN R.J. 1989. Soil genesis and classification. 3ª ed. Iowa State University Press, Ames. USA. 446 p.
- CAMACHO M., OROZCO L. 1998. Patrones fenológicos de doce especies arbóreas del bosque montano de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 46(3):533-542.
- CHAVES V.M., UREÑA J.L., GUZMAN J.A., ALPIZAR Y., NÚÑEZ A. 2009. Caracterización de la fertilidad de los suelos dedicados al cultivo de café en Costa Rica: II- Los Santos Norte, Aserrí, Acosta, Desamparados, Cartago, Guarco. Heredia, Costa Rica. Instituto del Café de Costa Rica. 45 p.
- DENYER P., ARIAS O. 1991. Estratigrafía de la región central de Costa Rica. *América Central. Revista Geológica de América Central* 12:1-59.
- DRIESE S.G., ORVIS K.H., HORN S.P., LI Z., JENNINGS D.S. 2007. Paleosol evidence for Quaternary uplift and the climate and ecosystem changes in the Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 248:1-23.
- DRUMMONT M.K., BORDELON M., de BOER J.Z., DEFANT M.J., BELLON H., FEIGENSON M.D. 1995. Igneous petrogenesis and tectonic setting of plutonic and volcanic rocks of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica-Panamá, Central American Arc. *American Journal of Science* 295:875-919.
- FORSYTHE W. 1985. Física de suelos: manual de laboratorio. San José, CR, IICA. 212 p.
- HARRIS S.A. 1971a. Podsol development on volcanic ash deposits in the Talamanca range, Costa Rica. In *Paleopedology: origin, nature and dating of paleosols*. Halsted Press. New York, USA. pp. 191-209.
- HARRIS S.A. 1971b. Quaternary vulcanicity in the Talamanca range of Costa Rica. *Canadian Geographer* 15(2):141-145.
- HENRÍQUEZ C., BERTSCH F., SALAS R. 1995. Fertilidad de suelo: Manual de laboratorio. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 64 p.
- HENRÍQUEZ C., CABALCETA G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 112 p.
- HORN S.P., LEAGUE B.L. 2005. Registros de sedimentos lacustres de la vegetación del Holoceno e historia del fuego en el páramo de Costa Rica. *Páramos de Costa Rica*, pp. 253-273. M. Kappelle, S.P. Horn (eds). Editorial INBio. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.
- HORN S.P., SANDFORD R.L. 1992. Holocene fires in Costa Rica. *Biotropica* 24(3):354-361.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica), CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas). 2000. Caracterización de suelos cafetaleros en la región de los Santos. En Prensa.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). s.f. Descripción área de influencia PH Pirrís. San José, CR, UEN PSA. sp.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2002. Proyecto Hidroeléctrico Pirrís: Sitio de Presa. San José, CR, UEN PSA. v.1. 213 p.

- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2005. Excavación de la Presa. Informe Geológico-Geotécnico de Avance N° 1. San José, CR, UEN PSA. 54 p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2007. Estudio de amenazas naturales y antrópicas en la cuenca del Río Pirrís. San José, CR, UEN PSA. 83 p.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1962. Hoja cartográfica Vueltas (3344 IV). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50 000. Color.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1963. Hoja cartográfica Tapantí (3345 III). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50 000. Color.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1989. Hoja cartográfica Caraigres (3345 II). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50,000. Color.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1994. Hoja cartográfica Dota (3344 I). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50,000. Color.
- INBIO (Instituto Nacional de Biodiversidad) 2001. Caracterización de la vegetación de la cuenca del río Savegre. Informe Técnico. Costa Rica. 118 p.
- ISLEBE G.A., HOOGHIEEMSTRA H., van't VEER R. 1996. Holocene vegetation and water level history in two bogs of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Vegetatio* 124(2):155-171.
- KAPPELLE M., JUÁREZ M.E. 1995. Agroecological zonation along an altitudinal gradient in the montane belt of the Los Santos Forest Reserve in Costa Rica, pp. 215-247 In: *Ecology of nature and recovering Talamanca montane Quercus Forests*, CR. University of Amsterdam.
- KAPPELLE M., van UFFELEN J.G., CLEEF A.M. 1995. Altitudinal zonation of montane Quercus forest along two transects in the Chirripó National Park, Costa Rica, pp. 55-106. In: *Ecology of nature and recovering Talamanca montane Quercus forest*, Costa Rica. University of Amsterdam.
- KESEL R.H., SPICER B.E. 1985. Geomorphological relationships and ages of soils on alluvial fans in the río General valley, Costa Rica. *Catena* 12:149-166.
- KUSSMAUL S. 1987. Petrología de las rocas intrusivas neógenas de Costa Rica. *Rev. Geol. Amer. Central* 7:83-111.
- LAMBE W., WHITMAN R. 1998. *Mecánica de suelos*. México DF, Editorial Limusa. 563 p.
- Le MAITRE R.W. 2002 (ed.). *Igneous rocks: a classification and glossary of terms*. 2 ed. Cambridge University Press. 236 p.
- LINKIMER L., AGUILAR T. 2000. Estratigrafía sedimentaria, pp. 42-63. In: P Denyer, S Kussmaul (eds.). *Geología de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- MORA S., VALVERDE R., BRENES G. 1985. Análisis geológico-geomorfológico de la Cuenca del Río Pirrís (Parrita). Cartago, CR, ITCR. 44 p.
- MUÑOZ A.C. 2002. Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. *Top. Meteor. Oceanog.* 9(1):1-13.
- ORVIS K.H., HORN S.P. 2005. Los glaciares cuaternarios y el clima del cerro Chirripó, Costa Rica. Instituto nacional de Biodiversidad. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica, pp. 185-213.
- PELT E., CHABEAUX F., INNOCENT C., NAVARRE A.K., SAK P.B., BRANTLEY S.L. 2008. Uranium-thorium chronometry of weathering rinds: rock alteration rate and paleo-isotopic record of weathering fluids. *Earth and Planetary Science Letters* 276:98-105.
- SANCHO F., NUÑEZ J. 1985. Estudio de suelos. Secciones I y II de la Cuenca del Río Parrita. San José, CR, UCR. 167 p.
- RICHARDS L.A. 1941. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. *Soil Science* 51:377-386.
- SOIL SURVEY STAFF 2006. *Soil taxonomy: A Basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Tenth ed. Washington DC, USDA. 341 p.
- SOLANO J., VILLALOBOS R. 2001. Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climáticos de Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanog.* 8(1):26-39.
- USDA-NRCS (National Soil Survey Center; Natural Resource Conservation Service; US Department of Agriculture). 2002. *Field book for describing and sampling soils*. Lincoln, Nebraska, USA. s.p.
- VAHRSON G. 1991. Taller de erosión de suelos. Resultados, comentarios y recomendaciones. *Agronomía Costarricense*. 15 (1/2):197-203.

- van UFFELEN J.G. 1993. A geological, geomorphological and soil transect study of the Chirripó massif and adjacent areas, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Maestría, Wageningen University, Wageningen. 72 p.
- WALKLEY A., BLACK C.A. 1938. An examination of Degtjareffs method for determining soil organic matter and proponed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37:29-38.
- WIDMER Y. 1998. Soil characteristics and *Chusquea* bamboos in the *Quercus* forests of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Bulletin of the Geobotanical Institute ETH. V64. pp. 3-14.
- WILLIAMSON G.B., SCHATS G.E., ALVARADO A., REDHEAD C.S., STERNER R.W. 1986. Effects of repeated fire on tropical paramo vegetation. Tropical Ecology 27(1):62-69.



## CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ALGUNOS ULTISOLES DE LA REGIÓN DE LOS SANTOS, TALAMANCA, COSTA RICA<sup>1</sup>

*Miguel Chinchilla<sup>2/\*</sup>, Rafael Mata<sup>\*\*</sup>, Alfredo Alvarado<sup>\*\*</sup>*

**Palabras clave:** Clasificación suelos, Ultisoles, Los Santos, Talamanca.

**Keywords:** Soil classification, Ultisols, Los Santos, Talamanca.

**Recibido:** 03/06/10

**Aceptado:** 15/03/11

### RESUMEN

Se caracterizaron y clasificaron 26 suelos del orden de los Ultisoles en la parte media de la subcuenca del río Pirrís. Los suelos se desarrollan en relieves ondulados a fuertemente ondulados, a partir de materiales del Pleistoceno al Oligoceno y de origen: 1) sedimentario marino, 2) volcánico andesítico-basáltico y 3) coluvial, bajo una vegetación natural de bosque muy húmedo a húmedo y un régimen de humedad ústico. Los suelos son profundos, tienen horizonte argílico, texturas finas a muy finas, reacción ácida a fuertemente ácida y pueden poseer un horizonte con concreciones de manganeso, asociadas a los antiguos niveles de agua de la cuenca del río Pirrís y un material geológico rico en este elemento. El contenido de arcilla, la CIC, la densidad aparente y real varían con el material parental, mientras que el contenido de bases y la fijación de fósforo son indiferentes de la litología sobre el que se desarrollan. Por taxonomía se reconocieron 2 subórdenes: Humults y Ustults. Cinco grandes grupos: Haplustults, Paleustults, Haplohumults, Palehumults, Rhodustults. Nueve subgrupos: Typic Haplustults, Aquic Haplustults, Typic Paleustults, Andic Haplohumults, Aquic Haplohumults, Aquandic Haplohumults, Ustic

### ABSTRACT

**Characterization and classification of Ultisols of Los Santos, Talamanca, Costa Rica.** Twenty-six soil profiles were characterized and classified as Ultisols in the middle-upper watershed of Pirrís River. These soils developed on Pleistocene to Oligocene undulated to strongly undulated mountainous landscapes, on: 1) marine sediments, 2) volcanic andesitic-basaltic materials and 3) colluvial materials, all of them covered by natural vegetation of wet to very wet tropical forest in an ustic soil moisture regime. The soils are deep, possess an argillic horizon and are of fine to very fine texture. Soil reaction is acid to strongly acid and may possess a horizon high in manganese concretions associated to ancient water levels of the Pirrís River watershed, on geologic materials high in manganese content. Clay content, CEC, particle density and bulk density of the soils vary with parent material, while base content and phosphorus fixation are not so related. According to Soil Taxonomy, 2 suborders were recognized: Humults and Ustults. Five great groups: Haplustults, Paleustults, Haplohumults, Palehumults, Rhodustults; and 9 subgroups: Typic Haplustults, Aquic Haplustults, Typic Paleustults, Andic Haplohumults, Aquic Haplohumults, Aquandic Haplohumults, Ustic

1 Este trabajo forma parte de la tesis de maestría del primer autor.  
2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: mchinchillaa@ice.go.cr

\* Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica.  
\*\* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.



Haplohumults, Andic Palehumults, Typic Rhodustults. Los subgrupos Andic y Aquandic exhiben, en los horizontes superficiales, deposiciones de cenizas volcánicas de una edad cercana a los 700 años. Los subsuelos arcillosos encontrados en Ultisoles de Talamanca, son mucho más antiguos que su horizonte suprayacente y su formación data de 9000 a 65 000 años.

Haplohumults, Aquandic Haplohumults, Ustic Haplohumults, Andic Palehumults, Typic Rhodustults. The Andic and Aquandic subgroups exhibit, in superficial horizons, depositions of volcanic ash materials dated around 700 years of age. Buried clayey subsoils of Talamanca Ultisols are much older than their over laying horizon, being dated as old as 9000 to 65 000 years of age.

## INTRODUCCIÓN

En la Cordillera de Talamanca, solevantada durante el Mioceno Superior y todo el Plioceno (Bergoing 2007), se ha reportado la existencia de Ultisoles, Entisoles, Andisoles, Espodosoles, Inceptisoles e Histosoles (Macías 1969, Harris 1971 a, b, Holdridge et al. 1971, Martini y Macías 1974, Otárola y Alvarado 1977, López 1978, Landaeta 1977, Landaeta et al. 1978, Alvarado et al. 1982, Sancho y Núñez 1985, Blaser y Camacho 1991, van Uffelen 1991, Solórzano 1997, ICAFE-CIA 2000, Kappelle y van Uffelen 2005, Gómez y Chinchilla 2005, Winowiecki 2008). La mayoría de estos suelos se forman por pérdida de sílice y bases de cenizas volcánicas (Andisoles), la acumulación de arcilla con óxidos de Fe y Al a través de la latolización (Ultisoles) y en menor cuantía por la translocación al horizonte B de óxidos de Fe y Al (Espodosoles y Placudands) o la acumulación de materia orgánica sobre la superficie y entre los intersticios de la rocas (Histosoles).

Los Ultisoles representan el 21% del territorio costarricense (Mata 1991), se forman con alta temperatura ambiente, sobre casi cualquier material parental, con la precipitación superando la evapotranspiración y un movimiento vertical de agua a través del perfil de suelo que permite lixiviación de bases (Na, K, Ca Mg), remoción de sílice y acumulación de hierro y aluminio (Wilding et al. 1983). Su principal característica es la formación de un horizonte argílico con

bajo contenido de bases y acumulación de arcilla iluviada (Soil Survey Staff 2006). El color de estos suelos se debe básicamente al grado de hidratación del Fe con tonalidades pardo rojizo o rojizo en su estado oxidado y pardo amarillento y amarillento en su forma hidratada.

En la Cordillera de Talamanca, los Ultisoles se encuentran principalmente en laderas empinadas de la parte alta y media de la cordillera y sobre terrazas antiguas de los ríos que la drenan (Macías 1969, Kesel y Spicer 1985, Mata y Ramírez 1999, Cubero 2002, Gómez y Chinchilla 2005, Driese et al. 2007, Pelt et al. 2008, Winowiecki 2008).

Driese et al. (2007) indican la presencia de horizontes arcillosos y ácidos (Btb), en áreas de suelos formados sobre cenizas volcánicas de Talamanca, producto de la pérdida de bases y sílice en este ambiente húmedo y frío. Cuando el grado evolutivo de los suelos es mayor, aunque se hayan formado a partir de cenizas volcánicas o cuando la ceniza volcánica se ha erosionado, los suelos se clasifican como Humic Hapludults o Ultic Haplustalfs (Mata y Ramírez 1999).

El objetivo general del presente trabajo fue ampliar la información de los Ultisoles modales en la subcuenca del río Pirrís. Los objetivos específicos definidos inicialmente son: 1) Cartografiar los Ultisoles situados aguas arriba del sitio de presa; 2) Describir sus perfiles modales desde el punto de vista morfológico, físico y químico;

3) Clasificarlos por taxonomía y 4) Elaborar un mapa de Ultisoles a nivel de semidetalle.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales y métodos utilizados en el trabajo de Ultisoles fueron incluidos y descritos con detalle en el artículo de Chinchilla et al. (2011). En general el trabajo campo en la subcuenca incluyó 421 observaciones con barreno, 30 observaciones en microcalicatas y se realizó la apertura de 53 calicatas, de las cuales 19 fueron costeadas por el ICE. La descripción y muestreo de las calicatas se hizo de acuerdo con el USDA-NRCS (2002). La clasificación de los suelos en órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos y familia se realizó con los lineamientos del Soil Survey Staff (2006). El cartografiado general y las áreas se realizaron con el Sistema de Información Geográfica Arc-View, versión 3.3. Para el cartografiado y clasificación de Ultisoles en la región de los Santos se utilizaron 26 perfiles: 9 fueron descritos por el ICE (2006), 10 por Sancho y Nuñez (1985) y 7 por el ICAFÉ-CIA (2000).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan y discuten los resultados más relevantes de los Ultisoles de la región bajo estudio. Para mayor detalle, se refiere al lector a la tesis de maestría del primer autor, disponible en la biblioteca de la Universidad de Costa Rica.

**1. Generalidades:** Los Ultisoles ocupan la mayor extensión de terreno en el nivel medio de la subcuenca. Se han desarrollado en laderas de origen tectónico erosivo (pendientes 30 y 60%) de la Cordillera de Talamanca y de la Fila Brunqueña y sobre terrazas antiguas (pendientes de 15 a 30%) relacionadas con el levantamiento tectónico de Talamanca, compartiendo áreas menores con suelos de los órdenes de los Inceptisoles y Entisoles que también están ubicados en laderas de las formaciones Grifo Alto y Térraba. Los Ultisoles tienen una génesis sobre 3 litologías de edad

diferente: sedimentaria de origen marino (lutitas y areniscas de grano fino y medio) y edad Oligoceno a Mioceno Inferior (34 a 23 Ma); volcánica (lavas basálticas, andesíticas a andesítica basáltica y rocas piroclásticas) del Plioceno (5,5 -1,9 Ma) y coluvial del Pleistoceno con edad entre 11 000 años y 1,8 Ma (ICE 2007). La cobertura vegetal natural se incluye en 3 zonas de vida, a saber el Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB), el Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-P) y el Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB) y un uso actual de café. La precipitación muestra un período seco y otro lluvioso. Los suelos reportados en la literatura para esta unidad incluyen los siguientes subgrupos: Typic, Ustic y Orthoxic Tropohumults, Typic, Ustic y Ustoxic Humitropepts, Ustic y Oxic Dystropepts, Typic Ustropepts (Sancho y Nuñez 1982), Andic Haplohumults y Humic Hapludults (ICAFE-CIA 2000).

Las características más importantes para el diagnóstico de los Ultisoles son la presencia de un horizonte argílico o de un horizonte cándico, acompañado por una saturación de bases (por suma de cationes) inferior a 35% a una profundidad de 125 cm por debajo del límite superior del horizonte argílico o cándico o hasta una profundidad de 180 cm desde la superficie del suelo (Soil Survey Staff 2006). Una amplia variedad de materiales parentales permiten su formación ya que pueden desarrollarse a partir de materiales bajos en bases y minerales de alteración con suficiente arcilla para formar un horizonte argílico, o bien a partir de materiales parentales con alto contenido de minerales meteorizables (Wilding et al. 1983). El proceso pedogenético más importante en la formación de los Ultisoles es la migración de arcilla desde la parte superficial hasta el horizonte iluvial Bt (Soil Survey Staff 2006), además de meteorización y lavado de bases, desilicación, formación de arcillas, acumulación de sesquióxidos, desarrollo de color de suelo y melanización por adición o pérdida de materia orgánica. La mayoría de los Ultisoles se forman a partir materiales de parentales del Pleistoceno o más antiguas (Wilding et al. 1983). La edad de suelos desarrollados al sur de Costa

Rica, sobre los abanicos aluviales de pie de monte de la Cordillera de Talamanca (900-1000 msnm.), fue estimada con  $^{14}\text{C}$  en 45 000 años, mientras que los más antiguos tienen más de 65 000 años (Kesel y Spicer 1985). Criterios de humedad del perfil y contenido de materia orgánica permiten subdividir a los Ultisoles en 5 subórdenes (Boul et al. 1989).

**2. Clasificación:** En la cuenca media del río Pirrís los 27 perfiles de Ultisoles se agruparon en 2 subórdenes: 1) Humults, suborden

más abundante y que presenta acumulaciones importantes de materia orgánica y 2) Ustults, definidos por el largo período seco de su régimen de humedad. A nivel de grandes grupos se encontraron Haplustults, Paleustults, Haplohumults y Palehumults, diferenciables entre sí por el contenido de arcilla en profundidad y los Rhodustults por lo brillante y puro de su color rojo (Keys to Soil Taxonomy 2006). La ubicación de Ultisoles en el área de estudio, se presenta en la Figura 1, en la cual se nota la dominancia de los Humults y los Ustults.

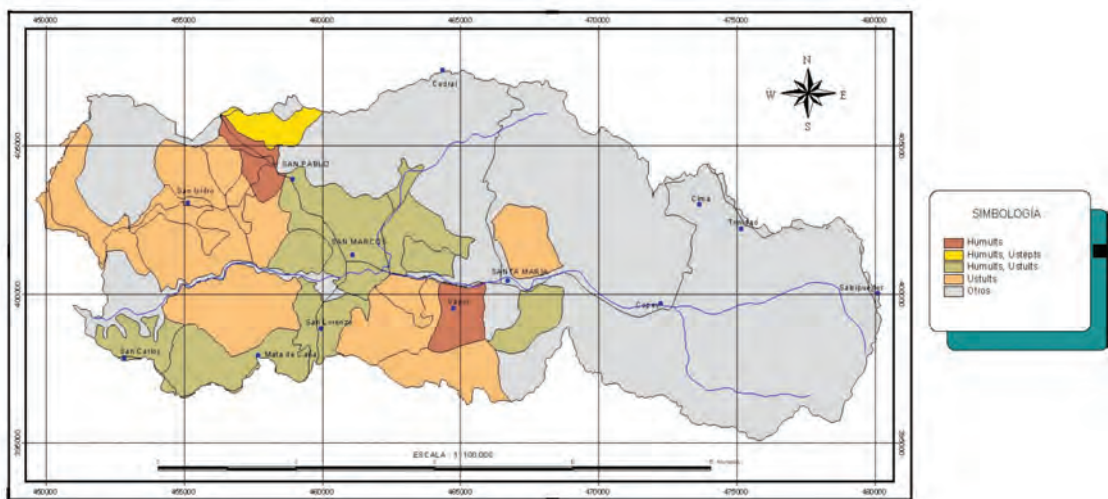


Fig. 1. Ubicación de Ultisoles en la Subcuenca del río Pirrís.

**3. Morfología:** Los Ultisoles estudiados son profundos a muy profundos, con secuencia de horizontes A/Bt, A/Bt/BC, A/Bt/BC/C y A/Bt/C. El proceso de iluviación es evidente al observarse revestimientos arcillosos (cutanes) localizados en las superficies de los pedos del horizonte Bt. En la parte inferior del horizonte Bt, en algunos suelos se observa una movilización de Fe en diferente estado de hidratación, expresada como manchas rojas y amarillas. En los materiales coluviales se encontró horizontes B con concreciones (Bc) ó nódulos de Mn, posiblemente asociados con paleo niveles del río Pirrís, o de aguas subterráneas en un material geológico alto en este elemento. El

horizonte A es comúnmente menor a 30 cm, con matiz 10 YR a 7,5 YR, value entre 3 y 4 y croma de 1 a 4. Cuando se presenta un horizonte AB, este tiene espesores entre 9 y 26 cm, matiz 10 YR-7,5 YR-5 YR, value de 3 a 4 y croma de 3 a 6. El horizonte Bt se puede subdividir en Bt1, Bt2, Bt2, Bt4, que alcanzan espesores de 13 a 128 cm, de matiz predominante 7,5YR-5YR-2,5YR, valor 4 a 6 y croma de 4 a 8. El color pardo de los horizontes superficiales tiene relación con el contenido de material orgánica y los rojos-amarillos en el subsuelo con los contenidos de óxidos de hierro en diferente estado de hidratación (Cuadro 1 y Figura 2).

Cuadro 1. Características morfológicas de suelos desarrollados sobre superficies antiguas. (Continúa).

| Material parental | Clasificación taxonómica | Horizonte | (cm)<br>prof. | Color munsell         |
|-------------------|--------------------------|-----------|---------------|-----------------------|
| Coluvial          | Kanhaplic                | A         | 0-29          | 7,5 YR 4/4            |
|                   | Haplustults              | Bt1       | 29-56         | 7,5 YR 4/6            |
|                   | 23                       | Bt2       | 56-147        | 5 YR 4/6              |
|                   |                          | C         | 147-200       | 5 YR 4/6              |
|                   | Typic "Aquic"            | A         | 0-30          | 7,5 YR 4/4            |
|                   | Paleustults              | Bt1       | 30-140        | 7,5 YR 5/6            |
|                   | 21                       | Bt2       | 140-180       | 5 YR 5/8              |
|                   | Aquic                    | Ap        | 0-12          | 7,5 YR 3/4            |
|                   | Palehumults              | AB        | 12-38         | 7,5 YR 4/4            |
|                   | 42                       | Bt1       | 38-166        | 5 YR 4/6              |
|                   | Aquandic                 | Ap        | 0-20          | 10 YR 3/3             |
|                   | Haplohumults             | A2        | 20-28         | 7,5 YR 4/6            |
|                   | 43                       | Bc        | 28-44         | 7,5 YR 4/6            |
|                   |                          | Bt1       | 44-65         | 5 YR 5/8              |
|                   |                          | BC        | 65-81         | 2,5 YR 4/8            |
|                   |                          | C         | 81-150        | 2,5 YR 4/8            |
|                   | Aquic                    | Ap        | 0-15          | 10 YR 3/4             |
|                   | Haplohumults             | AB        | 15-27         | 10 YR 4/3             |
|                   | 45                       | Bt1       | 27-63         | 7,5 YR 5/6            |
|                   |                          | Bt2       | 63-105        | 10 YR 6/8; 2,5 YR 5/8 |
|                   |                          | BC        | 105-145       | 10 YR 6/8             |
| Volcánico         | Andic                    | Ap        | 0-21          | 10YR 3/1              |
|                   | Palehumults              | Bt1       | 21-45         | 7,5 YR 4/6            |
|                   | 4                        | Bt2       | 45-69         | 5 YR 5/6              |
|                   |                          | Bt3       | 69-150        | 5 YR 5/8              |
|                   | Andic                    | Ap        | 0-17          | 10 YR 2/1             |
|                   | Palehumults              | AB        | 17-26         | 10 YR 3/3             |
|                   | 50                       | Bt1       | 26-50         | 10 YR 4/4             |
|                   |                          | Bt2       | 50-100        | 10YR 5/6              |
|                   |                          | Bt3       | 100-150       | 10 YR 5/8             |
|                   | Andic                    | Ap        | 0-30          | 10 YR 2/2             |
|                   | Haplohumults             | Bt1       | 30-75         | 5 YR 4/6              |
|                   | 5                        | Bt2       | 75-110        | 2,5 YR 4/6            |
|                   |                          | Bt3       | 110-150       | 10 YR 4/8             |
|                   | Aquic                    | A         | 0-20          | 10 YR 4/4             |
|                   | Haplohumults             | Bt1       | 20-32         | 10 YR 5/6             |
|                   | 13                       | Bt2       | 32-128        | 10 YR 6/8             |
|                   |                          | C         | 128-205       | 10 YR 6/8             |

Cuadro 1. Características morfológicas de suelos desarrollados sobre superficies antiguas. (Continúa).

| Material parental | Clasificación | Horizonte | (cm)    | Color munsell         |
|-------------------|---------------|-----------|---------|-----------------------|
| Volcánico         | Aquandic      | A         | 0-20    | 7,5 YR 3/2            |
|                   | Haplohumults  | Bt1       | 20-40   | 10 YR 5/6             |
|                   | 22            | Bg2       | 40-67   | 10 YR 4/2; 7,5 YR 5/6 |
|                   |               | C1        | 67-xx   | 7,5 YR 5/6            |
|                   | Typic         | Ap        | 0-11    | 10 YR 4/4             |
|                   | Haplustults   | Bt1       | 11-25   | 5 YR 5/8              |
|                   |               | Bt2       | 25-73   | 2,5 YR 5/8            |
|                   |               | BC        | 73-105  | 2,5 YR 4/8            |
|                   |               | C         | 105-150 | 2,5 YR 5/8            |
|                   | Typic         | Ap        | 0-19    | 10YR 3/6              |
|                   | Haplustults   | Bt1       | 19-56   | 5 YR 4/4              |
|                   |               | Bt2       | 56-93   | 5 YR 4/4              |
|                   |               | BC        | 93-150  | 10 YR 6/8             |
|                   | Typic         | Ap        | 0-20    | 7,5 YR 5/6            |
|                   | Haplustults   | Bt1       | 20-50   | 5 YR 5/8              |
|                   |               | Bt2       | 50-145  | 7,5 YR 5/8            |
|                   | Typic         | Ap        | 0-8     | 7,5 YR 2,5/3          |
|                   | Paleustults   | AB        | 8-24    | 7,5 YR 4/6            |
|                   |               | Bt1       | 24-70   | 2,5 YR 4/8            |
|                   |               | Bt2       | 70-115  | 2,5 YR 4/6            |
|                   |               | Bt3       | 115-155 | 2,5 YR 4/6            |
| Sedimentario      | Andic         | Ap        | 0-11    | 10 YR 6/6             |
|                   | Haplohumults  | Bt1       | 11-24   | 2,5 YR 3/6            |
|                   |               | Bt2       | 24-54   | 2,5 YR 4/6            |
|                   |               | Bt3       | 54-108  | 2,5 YR 5/6            |
|                   |               | Bt4       | 108-150 | 2,5 YR 3/8            |
|                   | Andic         | Ap        | 0-23    | 10 YR 2/1             |
|                   | Haplohumults  | Bt1       | 23-61   | 5 YR 3/4              |
|                   |               | Bt2       | 61-87   | 7,5 YR 4/6            |
|                   |               | BC        | 87-150  | 7,5 YR 5/6            |
|                   | Andic         | Ap        | 0-13    | 10 YR 3/4             |
|                   | Haplohumults  | AB        | 13-25   | 7,5 YR 4/4            |
|                   |               | Bt1       | 25-57   | 7,5 YR 5/8            |
|                   |               | Bt2       | 57-104  | 7,5 YR 6/8            |
|                   |               | Bt3       | 104-130 | 5 YR 5/8              |
|                   |               | BC        | 130-145 | 7,5 YR 5,5/8          |

Cuadro 1. Características morfológicas de suelos desarrollados sobre superficies antiguas.

| Material parental | Clasificación taxonómica | Horizonte | (cm) Prof. | Color munsell |
|-------------------|--------------------------|-----------|------------|---------------|
| Sedimentario      | Ustic                    | A         | 0-17       | 5 YR 3/3      |
|                   | Haplohumults             | Bt1       | 17-40      | 5 YR 4/6      |
|                   | 12                       | Bt2       | 40-130     | 2,5 YR 4/6    |
|                   |                          | Bt3       | 130-200    | 5 YR 4/6      |
|                   | Andic                    | Ap        | 0-18       | 10 YR 2/2     |
|                   | Palehumults              | AB        | 18-28      | 10 YR 3/3     |
|                   | 38                       | Btc1      | 28-46      | 7,5 YR 4/6    |
|                   |                          | Bt2       | 46-90      | 5 YR 5/6      |
|                   |                          | Bt3       | 90-120     | 5 YR 5/8      |
|                   | Andic                    | A         | 0-22       | 7,5 YR 4/4    |
|                   | Palehumults              | Bt1       | 22-45      | 7,5 YR 5/6    |
|                   | 27                       | Bt2       | 45-98      | 5 YR 5/8      |
|                   |                          | Bt3       | 98-170     | 2,5 YR 5/8    |
|                   |                          | C         | 170-xx     | 2,5 YR 5/6    |
|                   | Ustic                    | A         | 0-20       | 5 YR 3/4      |
|                   | Palehumults              | Bt1       | 20-45      | 5 YR 4/6      |
|                   | 26                       | Bt2       | 45-165     | 2,5 YR 4/8    |
|                   |                          | BC        | 165-xx     | 5 YR 5/8      |
|                   | Aquic                    | A         | 0-26       | 10 YR 4/4     |
|                   | Palehumults              | Bt1       | 26-65      | 7,5 YR 5/6    |
|                   |                          | Bt2       | 65-185     | 2,5 YR 4/8    |
|                   | Typic                    | Ap        | 0-23       | 10 YR 3/3     |
|                   | Haplustults              | Bt1       | 23-59      | 10 YR 3/6     |
|                   | 8                        | Bt2       | 59-95      | 10 YR 6/8     |
|                   |                          | BC        | 95-150     |               |
|                   | Aquic                    | Ap        | 0-15       | 10 YR 3/3     |
|                   | Haplustults              | Bt1       | 15-45      | 10 YR 4/6     |
|                   | 40                       | Bt2       | 45-66      | 10 YR 5/6     |
|                   |                          | Bt3       | 66-123     | 5 YR 5/8      |
|                   |                          | BC        | 123-180    | 5 YR 5/8      |
|                   | Typic                    | Ap        | 0-10       | 7,5 YR 3/4    |
|                   | Rhodustults              | AB        | 10-20      | 5 YR 4/6      |
|                   | 41                       | Bt1       | 20-70      | 2,5 YR 3/8    |
|                   |                          | BC        | 70-150     | 10 YR 7/6     |
|                   | Andic                    | A         | 0-42       | 7,5 YR 4/4    |
|                   | Palehumults              | Bt1       | 42-64      | 7,5 YR 5/6    |
|                   | 25                       | Bt2       | 64-100     | 5 YR 4/6      |
|                   |                          | Bt3       | 100-160    | 5 YR 5/8      |





Fig. 2. Suelos sobre materiales volcánicos terciarios (a) Perfil 50, Andic Palehumults (b) Perfil 39, Typic Paleustults. Suelos sobre materiales coluviales antiguos (c) Perfil 45, Aquic Haplohumults. (d) Perfil 42, Aquic Palehumults (e) Perfil, Aquandic Haplohumults. Suelos sobre materiales sedimentarios terciarios (f) Perfil 40, Aquic Haplustults (g) Perfil 44, Andic Haplohumults. (h) Perfil 38, Andic Palehumults. (i) Perfil 41, Typic Rhodustults.

**4. Distribución del tamaño de partículas:** El contenido de arcilla se incrementa desde el horizonte A hacia el horizonte B, para luego decrecer con la profundidad hasta el horizonte C. En general, el horizonte A es de textura arcillosa (promedio 35-45% de arcilla, máximo 71% y mínimo 12%). El poco contenido de arcilla en algunos horizontes A se asocia con el material

parental de origen volcánico (cenizas) depositado en la superficie de los suelos y que es de textura gruesa. Pocos horizontes A tienen contenidos de arcilla mayor a 60%. El horizonte Bt es de textura fina a muy fina, más de 60% de arcilla, con un máximo de 80% y mínimos de 35% (Figura 3 y Cuadro 2).

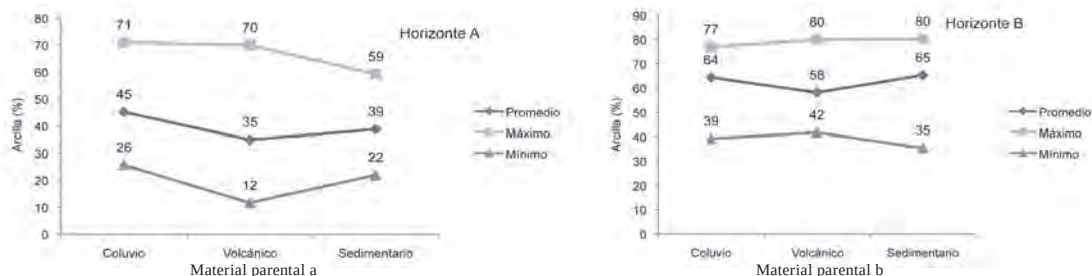


Fig. 3. Porcentaje de arcilla en el horizonte A (a) y horizonte Bt (b) de Ultisoles desarrollados sobre diferentes superficies geológicas.

Cuadro 2. Características físicas de suelos desarrollados sobre superficies antiguas. (Continúa).

| Material parental | Clasificación taxonómica | Horizonte | Prof. (cm) | Textura (%) |      |         | Clase textural | Mg.m <sup>-3</sup> D. aparente | Mg.m <sup>-3</sup> D. real | % Porosidad |
|-------------------|--------------------------|-----------|------------|-------------|------|---------|----------------|--------------------------------|----------------------------|-------------|
|                   |                          |           |            | Arena       | Limo | Arcilla |                |                                |                            |             |
| Coluvial          | Kanhaplic                | A         | 0-29       | 16          | 24   | 60      | A              | nd                             | 2,27                       | nd          |
|                   | Haplustults              | Bt1       | 29-56      | 9           | 17   | 74      | A              | nd                             | 2,72                       | nd          |
|                   | 23                       | Bt2       | 56-147     | 9           | 38   | 53      | A              | nd                             | 2,43                       | nd          |
|                   |                          | C         | 147-200    | 7           | 37   | 56      | A              | nd                             | 2,39                       | nd          |
|                   | Typic "Aquic"            | A         | 0-30       | 12          | 17   | 71      | A              | nd                             | 2,12                       | nd          |
|                   | Paleustults              | Bt1       | 30-140     | 6           | 17   | 77      | A              | nd                             | 2,30                       | nd          |
|                   | 21                       | Bt2       | 140-180    | 15          | 10   | 75      | A              | nd                             | 2,30                       | nd          |
|                   | Aquic                    | Ap        | 0-12       | 40          | 18   | 42      | A              | 1,32                           | 2,70                       | 51          |
|                   | Palehumults              | AB        | 12-38      | 32          | 17   | 51      | A              | 1,02                           | 2,70                       | 62          |
|                   | 42                       | Bt1       | 38-166     | 23          | 17   | 61      | A              | 0,84                           | 2,90                       | 71          |
|                   |                          | Ap        | 0-20       | 47          | 28   | 26      | FA a           | 1,00                           | 2,50                       | 60          |
|                   | Aquandic                 | A2        | 20-28      | 44          | 18   | 38      | FA             | 1,10                           | 2,65                       | 59          |
|                   | Haplohumults             | Bc        | 28-44      | 41          | 20   | 39      | FA             | 1,26                           | 2,80                       | 55          |
|                   | 43                       | Bt1       | 44-65      | 13          | 15   | 72      | A              | 1,32                           | 2,80                       | 53          |
|                   |                          | BC        | 65-81      | 21          | 15   | 64      | A              | 1,22                           | 2,80                       | 56          |
|                   |                          | C         | 81-150     | 31          | 13   | 57      | A              | 1,17                           | 2,70                       | 57          |
|                   |                          | Ap        | 0-15       | 51          | 20   | 29      | FA a           | 0,90                           | 2,61                       | 66          |
|                   | Aquic                    | AB        | 15-27      | 26          | 20   | 54      | A              | 1,04                           | 2,87                       | 64          |
|                   | Haplohumults             | Bt1       | 27-63      | 31          | 20   | 49      | A              | 1,26                           | 2,69                       | 53          |
|                   | 45                       | Bt2       | 63-105     | 24          | 20   | 57      | A              | 1,23                           | 2,78                       | 56          |
|                   |                          | BC        | 105-145    | 29          | 17   | 54      | A              | 1,15                           | 2,90                       | 60          |
| Volcánico         | Andic                    | Ap        | 0-21       | 26          | 23   | 51      | A              | 0,91                           | 2,10                       | 57          |
|                   | Palehumults              | Bt1       | 21-45      | 18          | 14   | 69      | A              | 0,95                           | 2,34                       | 59          |
|                   | 4                        | Bt2       | 45-69      | 28          | 6    | 66      | A              | 0,95                           | 2,37                       | 60          |
|                   |                          | Bt3       | 69-150     | 29          | 6    | 66      | A              | 1,10                           | 2,24                       | 51          |
|                   | Andic                    | Ap        | 0-17       | 49          | 40   | 12      | F              | 0,62                           | 2,30                       | 73          |
|                   | Palehumults              | AB        | 17-26      | 40          | 18   | 43      | A              | 0,95                           | 2,70                       | 65          |
|                   | 50                       | Bt1       | 26-50      | 20          | 18   | 62      | A              | 1,16                           | 2,80                       | 59          |
|                   |                          | Bt2       | 50-100     | 23          | 13   | 64      | A              | 1,09                           | 2,70                       | 60          |
|                   | Andic                    | Ap        | 0-30       | 36          | 23   | 41      | A              | 0,94                           | 2,10                       | 55          |
|                   | Haplohumults             | Bt1       | 30-75      | 18          | 15   | 67      | A              | 0,99                           | 2,31                       | 57          |
|                   | 5                        | Bt2       | 75-110     | 13          | 13   | 74      | A              | 1,07                           | 2,42                       | 56          |
|                   |                          | Bt3       | 110-150    | 35          | 23   | 42      | A              | 1,35                           | 2,44                       | 45          |
|                   | Aquic                    | A         | 0-20       | 56          | 30   | 14      | Fa             | nd                             | 2,33                       | nd          |
|                   | Haplohumults             | Bt1       | 20-32      | 26          | 30   | 44      | A              | nd                             | 2,29                       | nd          |
|                   | 13                       | Bt2       | 32-128     | 14          | 19   | 67      | A              | nd                             | 2,45                       | nd          |
|                   |                          | C         | 128-205    | 12          | 27   | 61      | A              | nd                             | 2,65                       | nd          |

Cuadro 2. Características físicas de suelos desarrollados sobre superficies antiguas (Continúa).

| Material parental | Clasificación taxonómica | Horizonte | Prof. (cm) | Textura (%) |      |         | Clase    | Mg.m <sup>-3</sup> | Mg.m <sup>-3</sup> | %         |
|-------------------|--------------------------|-----------|------------|-------------|------|---------|----------|--------------------|--------------------|-----------|
|                   |                          |           |            | Arena       | Limo | Arcilla | textural | D. aparente        | D. real            | Porosidad |
| Volcánico         | Aquandic                 | A         | 0-20       | 37          | 36   | 27      | FA       | nd                 | 2,05               | nd        |
|                   | Haplohumults             | Bt1       | 20-40      | 19          | 34   | 47      | A        | nd                 | 2,10               | nd        |
|                   | 22                       | Bg2       | 40-67      | 9           | 24   | 67      | A        | nd                 | 2,63               | nd        |
|                   |                          | C1        | 67-xx      | nd          | nd   | nd      | nd       | nd                 | nd                 | nd        |
|                   | Typic                    | Ap        | 0-11       | 44          | 29   | 28      | FA       | 0,99               | 2,39               | 59        |
|                   | Haplustults              | Bt1       | 11-25      | 23          | 29   | 48      | A        | 1,09               | 2,45               | 56        |
|                   | 9                        | Bt2       | 25-73      | 18          | 24   | 58      | A        | 1,12               | 2,48               | 55        |
|                   |                          | BC        | 73-105     | 35          | 21   | 44      | A        | 1,13               | 2,46               | 54        |
|                   |                          | C         | 105-150    | 51          | 29   | 20      | F        | 1,11               | 2,46               | 55        |
|                   | Typic                    | Ap        | 0-19       | 23          | 37   | 40      | A        | 0,99               | 2,33               | 58        |
|                   | Haplustults              | Bt1       | 19-56      | 18          | 34   | 48      | A        | 1,26               | 2,52               | 50        |
|                   | 10                       | Bt2       | 56-93      | 25          | 32   | 43      | A        | 1,21               | 2,60               | 53        |
|                   |                          | BC        | 93-150     | 15          | 43   | 42      | AL       | 1,07               | 2,51               | 57        |
|                   | Typic Haplustults        | Ap        | 0-20       | 8           | 22   | 70      | A        | nd                 | 2,11               | nd        |
|                   | Haplustults              | Bt1       | 20-50      | 5           | 15   | 80      | A        | nd                 | 2,27               | nd        |
|                   | 19                       | Bt2       | 50-145     | 4           | 35   | 69      | A        | nd                 | 2,25               | nd        |
|                   | Typic                    | Ap        | 0-8        | 56          | 22   | 22      | FA a     | 0,89               | 2,50               | 64        |
|                   | Paleustults              | AB        | 8-24       | 49          | 142  | 37      | Aa       | 0,88               | 2,50               | 65        |
|                   | 39                       | Bt1       | 24-70      | 31          | 12   | 57      | A        | 1,04               | 2,56               | 59        |
|                   |                          | Bt2       | 70-115     | 32          | 12   | 56      | A        | 1,15               | 2,73               | 58        |
|                   |                          | Bt3       | 115-155    | 29          | 14   | 57      | A        | nd                 | 2,80               | nd        |
| Sedimentario      | Andic                    | Ap        | 0-11       | 42          | 23   | 35      | FA       | 1,06               | 2,27               | 53        |
|                   | Haplohumults             | Bt1       | 11-24      | 11          | 19   | 70      | A        | 0,93               | 2,37               | 61        |
|                   | 1                        | Bt2       | 24-54      | 3           | 20   | 77      | A        | 1,24               | 2,58               | 52        |
|                   |                          | Bt3       | 54-108     | 7           | 25   | 68      | A        | 1,28               | 2,52               | 49        |
|                   |                          | Bt4       | 108-150    | 29          | 27   | 44      | A        | 1,28               | 2,60               | 51        |
|                   | Andic                    | Ap        | 0-23       | 43          | 34   | 23      | F        | 0,74               | 2,24               | 67        |
|                   | Haplohumults             | Bt1       | 23-61      | 12          | 28   | 60      | A        | 0,92               | 2,52               | 63        |
|                   | 6                        | Bt2       | 61-87      | 10          | 17   | 73      | A        | 1,04               | 2,58               | 60        |
|                   |                          | BC        | 87-150     | 32          | 16   | 52      | A        | 1,02               | 2,57               | 60        |
|                   | Andic                    | Ap        | 0-13       | 51          | 25   | 24      | FA a     | 0,84               | 2,45               | 66        |
|                   | Haplohumults             | AB        | 13-25      | 66          | 5    | 29      | FA a     | 0,94               | 2,70               | 65        |
|                   | 44                       | Bt1       | 25-57      | 29          | 19   | 52      | A        | 1,17               | 2,66               | 56        |
|                   |                          | Bt2       | 57-104     | 16          | 27   | 57      | A        | 1,22               | 2,64               | 54        |
|                   |                          | Bt3       | 104-130    | 21          | 32   | 47      | A        | 1,35               | 2,84               | 52        |
|                   |                          | BC        | 130-145    | nd          | nd   | nd      | nd       | nd                 | nd                 | nd        |
|                   | Ustic                    | A         | 0-17       | 31          | 19   | 50,     | A        | nd                 | 2,00               | nd        |
|                   | Haplohumults             | Bt1       | 17-40      | 13          | 11   | 76      | A        | nd                 | 2,40               | nd        |
|                   | 12                       | Bt2       | 40-130     | 11          | 23   | 66      | A        | nd                 | 2,35               | nd        |
|                   |                          | Bt3       | 130-200    | 13          | 29   | 58      | A        | nd                 | 2,50               | nd        |

Cuadro 2. Características físicas de suelos desarrollados sobre superficies antiguas.

| Material<br>parental | Clasificación<br>taxonómica | Horizonte | Prof. (cm) | Textura (%) |      |         | Clase    | Mg.m <sup>-3</sup> | Mg.m <sup>-3</sup> | %         |
|----------------------|-----------------------------|-----------|------------|-------------|------|---------|----------|--------------------|--------------------|-----------|
|                      |                             |           |            | Arena       | Limo | Arcilla | textural | D. aparente        | D. real            | Porosidad |
| Sedimentario         | Andic                       | Ap        | 0-18       | 48          | 28   | 24      | FAa      | 1,02               | 2,66               | 62        |
|                      | Palehumults                 | AB        | 18-28      | 28          | 19   | 53      | A        | 0,98               | 2,70               | 64        |
|                      | 38                          | Btc1      | 28-46      | 18          | 18   | 64      | A        | 1,13               | 2,80               | 60        |
|                      |                             | Bt2       | 46-90      | 11          | 20   | 69      | A        | 1,29               | 2,74               | 53        |
|                      |                             | Bt3       | 90-120     | nd          | nd   | nd      | nd       | nd                 | nd                 | nd        |
|                      | Andic                       | A         | 0-22       | 20          | 24   | 56      | A        | nd                 | 2,10               | nd        |
|                      | Palehumults                 | Bt1       | 22-45      | 19          | 17   | 64      | A        | nd                 | 2,12               | nd        |
|                      | 27                          | Bt2       | 45-98      | 11          | 27   | 62      | A        | nd                 | 2,20               | nd        |
|                      |                             | Bt3       | 98-170     | 13          | 21   | 66      | A        | nd                 | 2,64               | nd        |
|                      |                             | C         | 170-xx     | 20          | 21   | 59      | A        | nd                 | 2,20               | nd        |
|                      | Ustic                       | A         | 0-20       | 29          | 22   | 49      | A        | nd                 | 2,07               | nd        |
|                      | Palehumults                 | Bt1       | 20-45      | 13          | 16   | 71      | A        | nd                 | 1,97               | nd        |
|                      | 26                          | Bt2       | 45-165     | 7           | 22   | 71      | A        | nd                 | 1,67               | nd        |
|                      |                             | BC        | 165-xx     | 20          | 34   | 46      | A        | nd                 | 2,08               | nd        |
|                      | Aquic                       | A         | 0-26       | 33          | 21   | 46      | A        | nd                 | 2,16               | nd        |
|                      | Palehumults                 | Bt1       | 26-65      | 13          | 13   | 74      | A        | nd                 | 2,70               | nd        |
|                      | 20                          | Bt2       | 65-185     | 10          | 15   | 75      | A        | nd                 | 2,30               | nd        |
|                      | Typic                       | Ap        | 0-23       | 13          | 28   | 59      | A        | 0,96               | 2,20               | 56        |
|                      | Haplustults                 | Bt1       | 23-59      | 12          | 17   | 71      | A        | 1,08               | 2,42               | 55        |
|                      |                             | Bt2       | 59-95      | 5           | 19   | 76      | A        | 1,23               | 2,50               | 51        |
|                      |                             | BC        | 95-150     | 13          | 27   | 60      | A        | 1,15               | 2,50               | 54        |
|                      | Aquic                       | Ap        | 0-15       | 40          | 15   | 45      | A        | 1,01               | 2,50               | 60        |
|                      | Haplustults                 | Bt1       | 15-45      | 15          | 17   | 68      | A        | 1,25               | 2,66               | 53        |
|                      | 40                          | Bt2       | 45-66      | 9           | 16   | 75      | A        | 1,29               | 2,71               | 52        |
|                      |                             | Bt3       | 66-123     | 5           | 15   | 80      | A        | 1,27               | 2,65               | 52        |
|                      |                             | BC        | 123-180    | 5           | 17   | 78      | A        | 1,31               | 2,59               | 49        |
|                      | Typic                       | Ap        | 0-10       | 45          | 26   | 29      | FA a     | 0,94               | 2,55               | 63        |
|                      | Rhodustults                 | AB        | 10-20      | 42          | 20   | 38      | FA       | 0,95               | 2,55               | 63        |
|                      | 41                          | Bt1       | 20-70      | 22          | 25   | 53      | A        | 1,12               | 2,60               | 57        |
|                      |                             | BC        | 70-150     | 35          | 30   | 35      | FA       | 1,07               | 2,59               | 59        |
|                      | Typic “Paralithic”          | A         | 0-18       | 57          | 20   | 23      | FAa      | nd                 | 2,20               | nd        |
|                      | Ustorthents                 | C1        | 18-82      | 55          | 18   | 27      | FAa      | nd                 | 2,49               | nd        |
|                      | 17                          | C2        | 82-145     | nd          | nd   | nd      | nd       | nd                 | nd                 | nd        |
|                      | Andic                       | A         | 0-42       | 42          | 36   | 22      | F        | nd                 | 1,73               | nd        |
|                      | Palehumults                 | Bt1       | 42-64      | 10          | 18   | 72      | A        | nd                 | 2,16               | nd        |
|                      | 25                          | Bt2       | 64-100     | 6           | 14   | 80      | A        | nd                 | 2,23               | nd        |
|                      |                             | Bt3       | 100-160    | 4           | 20   | 76      | A        | nd                 | 2,25               | nd        |

**5. Densidad aparente (Da):** Los Ultisoles tienen un ámbito de variación de la Da ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ) que tiende a aumentar con la profundidad (Cuadro 2). Todos los horizontes estudiados, tienen valores de 0,62 a 1,35  $\text{Mg.m}^{-3}$ , con promedios en horizontes A de 0,95 y en el horizonte B de 1,15, lo que los ubica dentro del ámbito reportado para suelos de Costa Rica por Alvarado y Forsythe (2005). En superficie la Da tiende a ser menor debido al mayor contenido de materia orgánica y en algunas ocasiones, por propiedades ándicas, mientras que en el subsuelo la Da aumenta por el enriquecimiento de arcilla iluviada en el horizonte argílico. Este horizonte con acumulo de arcilla, se encuentra a cierta profundidad del perfil de suelo a menos que haya sido erosionado y esté expuesto (Soil Survey Staff 1999). La Da de 0,62 a 0,99  $\text{Mg.m}^{-3}$  del horizonte A se atribuye a la materia orgánica, materiales parentales de cenizas volcánicas y presencia de compuestos órgano-minerales de los subgrupos Andic y del suborden Humults. Los valores más altos de Da (0,90 a 1,32  $\text{Mg.m}^{-3}$ ) se encontraron en los suelos sobre materiales coluviales y los valores intermedios en suelos derivados de materiales sedimentarios (0,74 a 1,06  $\text{Mg.m}^{-3}$ ). En general, la Da del horizonte B es mayor que la encontrada en el horizontes A y tiende a aumentar al profundizar el perfil (Figura 3). Algunos horizontes argílicos presentan un valor ligeramente inferior que 1,0 probablemente debido a un mayor contenido de materia orgánica cerca de la superficie, que redundaría en mayor actividad biológica, mayor contenido de raíces y valores de densidad más baja a la que ocurre en los intervalos de mayor profundidad. Se encontró una relación exponencial negativa entre la Da y la porosidad (Figura 4).

**6. Densidad real o de partículas (Dp):** Comúnmente se asume una Dp para suelos

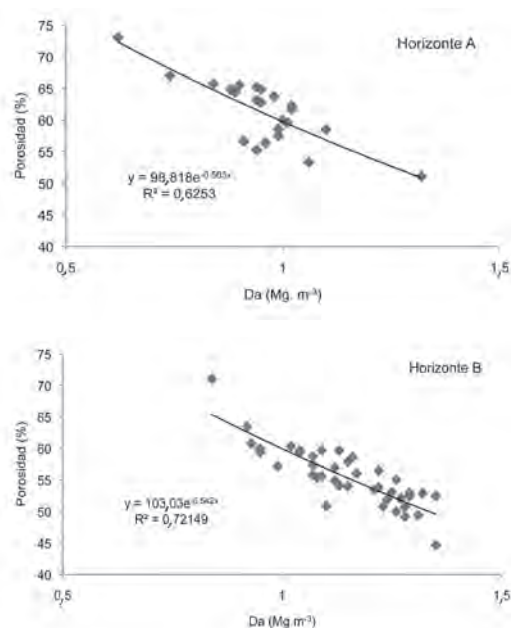


Fig. 4. Relación entre la Da y la porosidad en Ultisoles desarrollados sobre superficies geológicas antiguas.

minerales de 2,65  $\text{Mg.m}^{-3}$  y para el humus de 1,37  $\text{Mg.m}^{-3}$  (Porta et al. 1994). Debido a que la Dp de todos los horizontes osciló entre 2,0 y 2,8  $\text{Mg.m}^{-3}$  (Cuadro 2), se podría asumir que en los Ultisoles fuertemente meteorizados, domina la Dp de la fracción mineral del suelo, mientras que los valores más bajos se pueden asociar a un mayor contenido de materia orgánica cerca de la superficie.

**7. Porosidad:** El porcentaje total de poros de la superficie es ligeramente mayor que el del subsuelo, variando de 51 a 73% en el horizonte A y entre 44 y 71% en el horizonte B (Cuadro 2). Los promedios de porosidad de los suelos desarrollados sobre los diferentes materiales parentales, varían de 59,5 a 61,8% para el horizonte A y de 54,9 y 58,8% en el horizonte B (Figura 5). Esto se atribuye a que la microporosidad del horizonte

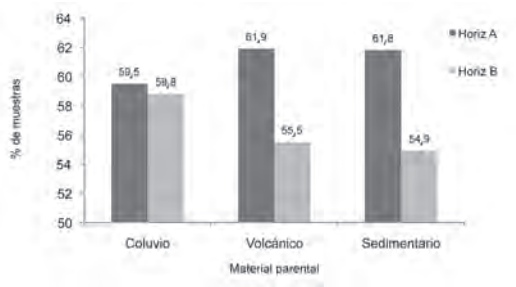


Fig. 5. Porosidad (%) en horizontes A y B de Ultisoles sobre diferente material parental.

B, contribuye con una cantidad de poros menor que la macro porosidad de los horizontes A. El mayor porcentaje de poros en la superficie se debe al mayor contenido de materia orgánica, mayor actividad biológica, mayor contenido de raíces y valores de Da más bajos a los que ocurren en los intervalos a mayor profundidad.

**8. Reacción del suelo (pH en H<sub>2</sub>O, KCl y NaF):** No se observa una diferencia importante en los datos de pH obtenidos en Ultisoles desarrollados sobre los diferentes materiales parentales (Cuadro 3). En general, la reacción del suelo es ácida en todos los suelos analizados, con excepción del perfil 26 que presenta valores de pH de 6,0 a 7,1. En el horizonte A se obtuvo un mínimo de 4,1 en Ultisoles de origen coluvial (Perfil 45 Aquic Haplohumults), un máximo de 6,1 sobre material de origen sedimentario (Perfil 26 Ustic Haplohumults), con un promedio general de 4,9. En suelos derivados de material sedimentario, el horizonte Bt3 del perfil 1 (Andic Haplohumults) presentó un pH 4,0 y el valor máximo de pH 6,9; en el horizonte Bt2 del perfil 26 (Ustic Haplohumults), el pH promedio en el subsuelo es de 5,4. Los perfiles que tienen pH en KCl, tienen la misma tendencia que el pH en agua, solo que con valores aproximadamente menores en una unidad. El valor de pH en NaF osciló entre 8,2 y 11,2 en el horizonte A y de 9,1 a 10,0 en el horizonte B, lo que confirma la presencia de

materiales parentales de origen volcánico, tanto en superficie como en el subsuelo.

**9. Capacidad de intercambio de cationes (CIC):** Los Ultisoles bajo estudio (Cuadro 3) presentan una CIC media y alta. Sin considerar el horizonte genético Bt, la CIC de suelo promedio más baja se encontró en los coluvios (25 cmol(+).kg<sup>-1</sup>), seguida de los suelos sobre el sedimentario (39 cmol(+).kg<sup>-1</sup>) y en los volcánicos (41 cmol(+).kg<sup>-1</sup>). En general, la CIC media en la superficie es de 35 cmol(+).kg<sup>-1</sup>, mientras que en el subsuelo alcanza los 29 cmol(+).kg<sup>-1</sup>. Los mayores valores de CIC (71,5) se registran en el horizonte A de un Andic Haplohumults (perfil 6) desarrollado sobre sedimentario con deposición de cenizas volcánicas y los menores (17,82 cmol(+).kg<sup>-1</sup>) en un Typic "Aquic" Paleustults (perfil 21) desarrollado sobre coluvios. Esta variabilidad se atribuye al tipo de arcilla, materia orgánica, óxidos de hierro, aluminio y por la presencia de propiedades ándicas en muchos de los perfiles. Se encontraron relaciones lineales negativas entre la CIC y el contenido de arcilla en los suelos desarrollados sobre coluvios ( $R^2=0,8006$ ) y materiales sedimentarios ( $R^2=0,5903$ ). No hay relación de ningún tipo entre estas mismas variables en los suelos desarrollados sobre material volcánico, lo que parece deberse a una alta variabilidad en la mineralogía de la fracción fina de estos suelos. En la Figura 6 se observa que con porcentajes mayores de arcilla, la CIC de los suelos es menor, lo que se considera ocurre por una diferente composición mineralógica, donde los coloides exhiben un avanzado estado de meteorización.

**10. Cationes intercambiables:** En los Ultisoles se encontró una suma de bases baja, atribuible a un material parental bajo en minerales meteorizables, pequeñas cantidades de minerales alterables y lavado de bases (Cuadro 3). Indiferente del horizonte y del material parental, el rango de variabilidad es amplio y varía de



Cuadro 3. Características químicas de suelos desarrollados sobre superficies antiguas. (Continúa).

| Material parental | Clasificación taxonómica | cm      | H <sub>2</sub> O | KCL  | NaF | CIC | Ca   | Mg    | K    | Na   | S.B  | St.B  | Al    | Fe   | Al+1/<br>2Fe | Ret P | CO   |
|-------------------|--------------------------|---------|------------------|------|-----|-----|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|--------------|-------|------|
|                   |                          | Prof.   | pH               |      |     |     |      |       |      |      |      |       |       |      | %            |       |      |
| Coluvial          | Kanhaplic                | A       | 0-29             | 5,6  | 4,6 | 9,6 | 20   | 0,40  | 0,51 | 0,13 | 0,18 | 1,22  | 6,13  | nd   | nd           | nd    | 3,0  |
|                   | Haplustults              | Bt1     | 29-56            | 5,6  | 4,8 | 9,4 | 18   | 0,70  | 0,87 | 0,08 | 0,18 | 1,83  | 10,34 | nd   | nd           | nd    | 0,4  |
|                   | 23                       | Bt2     | 56-147           | 5,6  | 4,4 | 9,6 | 17   | 0,50  | 0,67 | 0,08 | 0,18 | 1,43  | 8,51  | nd   | nd           | nd    | 0,2  |
|                   | C                        | 147-200 | 5,6              | 4,4  | 9,7 | 18  | 0,40 | 0,51  | 0,05 | 0,23 | 1,19 | 6,50  | nd    | nd   | nd           | nd    | nd   |
|                   | Typic "Aquic"            | A       | 0-30             | 5,8  | 5,1 | 9,5 | 18   | 0,80  | 0,38 | 0,65 | 0,18 | 2,01  | 11,29 | nd   | nd           | nd    | 1,0  |
|                   | Paleustults              | Bt1     | 30-140           | 5,7  | 4,2 | 9,6 | 25   | 0,30  | 0,16 | 0,15 | 0,18 | 0,79  | 3,12  | nd   | nd           | nd    | 0,06 |
|                   | 21                       | Bt2     | 140-180          | 5,7  | 4,7 | 9,8 | 22   | 0,30  | 0,28 | 0,30 | 0,18 | 1,06  | 4,73  | nd   | nd           | nd    | 0,4  |
|                   | Aquic                    | Ap      | 0-12             | 4,70 | nd  | nd  | 24   | 0,79  | 0,11 | 0,14 | nd   | 1,04  | 4,27  | 0,27 | 0,11         | 0,33  | 71   |
|                   | Palehumults              | AB      | 12-38            | 5,00 | nd  | nd  | 20   | 0,30  | 0,10 | 0,07 | nd   | 0,47  | 2,38  | 0,39 | 0,19         | 0,49  | 73   |
|                   | 42                       | Bt1     | 38-166           | nd   | nd  | nd  | 27   | 0,46  | 0,18 | 0,23 | nd   | 0,87  | 3,19  | nd   | nd           | nd    | 0,4  |
|                   | Aquandic                 | Ap      | 0-20             | 4,80 | nd  | nd  | 32   | 3,11  | 0,62 | 0,63 | nd   | 4,36  | 13,71 | 0,71 | 1,13         | 1,28  | 66   |
|                   | Haplohumults             | A2      | 20-28            | 4,80 | nd  | nd  | 23   | 2,78  | 0,53 | 0,31 | nd   | 3,62  | 15,84 | 0,53 | 0,74         | 0,90  | 65   |
|                   | 43                       | Bc      | 28-44            | nd   | nd  | nd  | 19   | 3,05  | 0,65 | 0,32 | nd   | 4,02  | 20,86 | 0,55 | 0,9          | 1,00  | 66   |
|                   |                          | Bt1     | 44-65            | nd   | nd  | nd  | 22   | 5,65  | 1,14 | 0,52 | nd   | 7,31  | 33,00 | 0,32 | 0,21         | 0,43  | 51   |
|                   |                          | BC      | 65-81            | nd   | nd  | nd  | 29   | 3,08  | 0,86 | 0,49 | nd   | 4,43  | 15,44 | 0,31 | 0,2          | 0,41  | 62   |
|                   | C                        | 81-150  | nd               | nd   | nd  | nd  | 26   | 1,40  | 0,62 | 0,40 | 0,05 | 2,47  | 9,67  | nd   | nd           | nd    | 0,5  |
| Volcánico         | Aquic                    | Ap      | 0-15             | 4,1  | nd  | 8,7 | 34   | 2,23  | 0,44 | 0,35 | 0,02 | 3,04  | 9,04  | nd   | nd           | nd    | 4,5  |
|                   | Haplohumults             | AB      | 15-27            | 4,3  | nd  | 9,6 | 28   | 2,62  | 0,80 | 0,19 | nd   | 3,61  | 12,69 | nd   | nd           | nd    | 2,4  |
|                   | 45                       | Bt1     | 27-63            | nd   | nd  | 9,8 | 25   | 2,04  | 0,54 | 0,27 | nd   | 2,85  | 11,51 | nd   | nd           | nd    | 1,1  |
|                   |                          | Bt2     | 63-105           | nd   | nd  | 9,8 | 22   | 2,02  | 0,53 | 0,17 | nd   | 2,72  | 12,61 | nd   | nd           | nd    | 0,5  |
|                   |                          | BC      | 105-145          | nd   | nd  | 9,9 | 34   | 2,03  | 0,58 | 0,17 | 0,03 | 2,81  | 8,33  | nd   | nd           | nd    | 0,3  |
|                   | Andic                    | Ap      | 0-21             | 5,9  | nd  | nd  | 63   | 10,20 | 3,30 | 0,54 | 0,03 | 14,07 | 22,20 | 1,10 | 0,65         | 1,43  | 95   |
|                   | Palehumults              | Bt1     | 21-45            | 5,6  | nd  | nd  | 36   | 3,69  | 1,25 | 0,30 | 0,02 | 5,26  | 14,78 | 0,75 | 0,40         | 0,95  | 5,7  |
|                   | 4                        | Bt2     | 45-69            | 6,0  | nd  | nd  | 47   | 3,38  | 0,50 | 0,08 | 0,02 | 3,98  | 8,52  | 0,68 | 0,27         | 0,82  | 95   |
|                   |                          | Bt3     | 69-150           | 4,8  | nd  | nd  | 54   | 2,87  | 1,02 | 0,13 | 0,19 | 4,21  | 7,83  | 0,65 | 0,14         | 0,72  | 98   |
|                   | Andic                    | Ap      | 0-17             | 4,5  | nd  | nd  | 54   | 3,13  | 0,37 | 0,23 | 0,02 | 3,75  | 6,91  | 1,44 | 1,18         | 2,03  | 100  |
|                   | Palehumults              | AB      | 17-26            | 4,2  | nd  | nd  | 27   | 1,45  | 0,15 | 0,11 | 0,01 | 1,72  | 6,33  | 0,78 | 0,80         | 1,18  | 84   |
|                   | 50                       | Bt1     | 26-50            | nd   | nd  | nd  | 24   | 1,29  | 0,20 | 0,06 | 0,01 | 1,56  | 6,38  | 0,46 | 0,46         | 0,69  | 87   |
|                   |                          | Bt2     | 50-100           | nd   | nd  | nd  | 28   | 1,26  | 0,18 | 0,06 | 0,04 | 1,54  | 5,57  | nd   | nd           | nd    | 76   |
|                   |                          | Bt3     | 100-150          | nd   | nd  | nd  | nd   | nd    | nd   | nd   | nd   | nd    | nd    | nd   | nd           | nd    | 1,27 |
|                   |                          |         |                  |      |     |     |      |       |      |      |      |       |       |      |              |       | 1,0  |
|                   |                          |         |                  |      |     |     |      |       |      |      |      |       |       |      |              |       | nd   |
|                   |                          |         |                  |      |     |     |      |       |      |      |      |       |       |      |              |       | nd   |

Cuadro 3. Características químicas de suelos desarrollados sobre superficies antiguas. (Continúa).

| Material parental | Clasificación taxonómica | Horz         | cm Prof. | H <sub>2</sub> O |       | KCL pH | NaF  | cmol(+).kg <sup>-1</sup> |       |       |      |      | %     |                      |       |      |      |      |      |     |
|-------------------|--------------------------|--------------|----------|------------------|-------|--------|------|--------------------------|-------|-------|------|------|-------|----------------------|-------|------|------|------|------|-----|
|                   |                          |              |          | Ca               | Mg    |        |      | K                        | Na    | S.B.  | St.B | Al   | Fe    | Al+/ <sub>2</sub> Fe | Ret P | CO   |      |      |      |     |
| Volcánico         | Andic                    | Ap           | 0-30     | nd               | nd    | nd     | nd   | 56                       | 4,58  | 1,13  | 0,32 | 0,08 | 6,11  | 10,82                | 0,98  | 0,37 | 1,17 | 90   | 3,9  |     |
|                   |                          | Haplohumults |          | Bt1              | 30-75 | nd     | nd   | nd                       | 31    | 1,00  | 0,31 | 0,15 | 0,06  | 1,52                 | 4,83  | 0,88 | 0,45 | 1,11 | 99   | 1,3 |
|                   |                          | 5            | Bt2      | 75-110           | 4,9   | nd     | nd   | nd                       | 42    | 1,03  | 0,33 | 0,06 | 0,12  | 1,54                 | 3,66  | 0,75 | 0,46 | 0,98 | 98   | 0,7 |
|                   |                          | Bt3          | 110-150  | 5,5              | nd    | nd     | nd   | nd                       | 46    | 4,45  | 0,63 | 0,22 | 0,07  | 5,37                 | 11,62 | 1,40 | 1,27 | 2,04 | 89   | 0,2 |
|                   |                          | Aquic        | A        | 0-20             | 5,6   | 4,3    | 9,6  | 9,6                      | 26    | 0,95  | 0,66 | 0,38 | 0,32  | 2,31                 | 9,06  | nd   | nd   | nd   | nd   | 4,9 |
|                   | Haplohumults             | Bt1          | 20-32    | 5,4              | 4,5   | 9,4    | 9,4  | 17                       | 1,50  | 0,38  | 0,23 | 0,18 | 2,29  | 13,55                | nd    | nd   | nd   | nd   | 1,5  |     |
|                   |                          | 13           | Bt2      | 32-128           | 5,3   | 4,3    | 9,5  | 9,5                      | 21    | 0,90  | 1,15 | 0,10 | 0,18  | 2,33                 | 11,04 | nd   | nd   | nd   | nd   | 0,6 |
|                   |                          | C            | 128-205  | 5,5              | 4,1   | 9,6    | 9,6  | 21                       | 0,40  | 0,38  | 0,33 | 0,18 | 1,29  | 6,17                 | nd    | nd   | nd   | nd   | 0,9  |     |
|                   |                          | Aquandic     | A        | 0-20             | 5,4   | 4,6    | 10,6 | 10,6                     | 39    | 10,00 | 1,05 | 0,53 | 0,18  | 11,76                | 30,23 | nd   | nd   | nd   | nd   | 8,4 |
|                   | Haplohumults             | Bt1          | 20-40    | 5,4              | 4,6   | 9,6    | 9,6  | 18                       | 12,00 | 1,08  | 0,45 | 0,23 | 13,76 | 77,30                | nd    | nd   | nd   | nd   | 1,6  |     |
|                   |                          | 22           | Bg2      | 40-67            | 5,1   | 4,3    | 9,1  | 9,1                      | 21    | 12,50 | 1,70 | 0,28 | 0,18  | 14,66                | 70,14 | nd   | nd   | nd   | nd   | 1,6 |
|                   |                          | C1           | 67-xx    | nd               | nd    | nd     | nd   | nd                       | nd    | nd    | nd   | nd   | nd    | nd                   | nd    | nd   | nd   | nd   | nd   | nd  |
|                   |                          | Typic        | Ap       | 0-11             | 4,3   | nd     | nd   | nd                       | 59    | 2,90  | 0,36 | 0,36 | 0,12  | 3,74                 | 6,38  | 0,42 | 0,70 | 0,77 | 72   | 2,6 |
|                   | Haplustults              | Bt1          | 11-25    | 4,9              | nd    | nd     | nd   | nd                       | 48    | 5,37  | 1,68 | 0,16 | 0,17  | 7,38                 | 15,46 | 0,24 | 0,26 | 0,37 | 92   | 0,2 |
|                   |                          | 9            | Bt2      | 25-73            | 5,1   | nd     | nd   | nd                       | 41    | 5,30  | 1,12 | 0,06 | 0,23  | 6,71                 | 16,50 | 0,26 | 0,25 | 0,39 | 90   | 0,2 |
|                   |                          | BC           | 73-105   | 5,0              | nd    | nd     | nd   | nd                       | 51    | 3,33  | 0,87 | 0,88 | 0,27  | 5,35                 | 10,59 | 0,35 | 0,38 | 0,54 | 97   | 0,0 |
|                   |                          | C            | 105-150  | 4,4              | nd    | nd     | nd   | nd                       | 48    | 1,73  | 0,60 | 0,09 | 0,33  | 2,75                 | 5,71  | 0,29 | 0,24 | 0,41 | 88   | 0,0 |
|                   | Typic                    | Ap           | 0-19     | 4,8              | nd    | nd     | nd   | nd                       | 49    | 4,83  | 1,42 | 0,54 | 0,27  | 7,06                 | 14,45 | 0,38 | 0,45 | 0,61 | 78   | 4,2 |
|                   |                          | Haplustults  | Bt1      | 19-56            | 4,9   | nd     | nd   | nd                       | 33    | 2,39  | 0,88 | 0,32 | 0,29  | 3,88                 | 11,71 | 0,26 | 0,17 | 0,35 | 95   | 0,2 |
|                   |                          | 10           | Bt2      | 56-93            | 4,7   | nd     | nd   | nd                       | 35    | 2,56  | 0,60 | 0,24 | 0,18  | 3,58                 | 10,36 | 0,18 | 0,07 | 0,22 | 91   | 0,2 |
| BC                |                          | 93-150       | 4,4      | nd               | nd    | nd     | nd   | 38                       | 1,47  | 0,36  | 0,80 | 0,14 | 2,77  | 7,33                 | 0,27  | 0,05 | 0,30 | 87   | nd   |     |
| Typic             | Ap                       | 0-20         | 4,6      | 4,2              | 9,5   | 9,5    | nd   | 20                       | 0,30  | 0,62  | 0,10 | 0,18 | 1,20  | 6,03                 | nd    | nd   | nd   | nd   | 2,7  |     |
|                   | Haplustults              | Bt1          | 20-50    | 5,6              | 4,3   | 9,4    | 9,4  | 21                       | 0,30  | 0,78  | 0,10 | 0,27 | 1,45  | 7,04                 | nd    | nd   | nd   | nd   | 0,4  |     |
|                   | 19                       | Bt2          | 50-145   | 5,6              | 4,6   | 9,4    | 9,4  | 20                       | 0,20  | 1,40  | 0,15 | 0,18 | 1,93  | 9,85                 | nd    | nd   | nd   | nd   | 0,06 |     |
|                   | Typic                    | Ap           | 0-8      | 4,7              | nd    | nd     | nd   | 38                       | 3,42  | 1,36  | 0,38 | nd   | 5,16  | 13,49                | 0,85  | 0,53 | 1,12 | 72   | 6,9  |     |
| Paleustults       | AB                       | 8-24         | 5        | nd               | nd    | nd     | nd   | 21                       | 0,79  | 0,37  | 0,19 | nd   | 1,35  | 6,34                 | 0,59  | 0,26 | 0,72 | 81   | 1,8  |     |
|                   | 39                       | Bt1          | 24-70    | nd               | nd    | nd     | nd   | 25                       | 1,76  | 0,59  | nd   | nd   | 2,35  | 9,42                 | 0,39  | 0,26 | 0,52 | 89   | 0,6  |     |
|                   | Bt2                      | 70-115       | nd       | nd               | nd    | nd     | nd   | 29                       | 1,68  | 0,28  | 0,03 | nd   | 1,99  | 6,96                 | nd    | nd   | nd   | nd   | 0,2  |     |
|                   | Bt3                      | 115-155      | nd       | nd               | nd    | nd     | nd   | 32                       | 0,93  | 0,28  | 0,08 | nd   | 1,29  | 4,07                 | nd    | nd   | nd   | nd   | 0,06 |     |

Volcánico

Cuadro 3. Características químicas de suelos desarrollados sobre superficies antiguas (Continúa).

| Material Parental | Clasificación Taxonómica | Horz    | cm Prof. | H <sub>2</sub> O |     | KCL | NaF  | cmol(+).kg <sup>-1</sup> |      |      |      |       | %     |      |      |      |              |       |
|-------------------|--------------------------|---------|----------|------------------|-----|-----|------|--------------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|--------------|-------|
|                   |                          |         |          | pH               |     |     |      | CIC                      | Ca   | Mg   | K    | Na    | S,B   | St.B | Al   | Fe   | Al+1/<br>2Fe | Ret P |
| Sedimentario      | Andic                    | Ap      | 0-11     | 4,4              | nd  | nd  | 66   | 3,18                     | 1,03 | 0,71 | 0,28 | 5,20  | 7,82  | 1,76 | 0,56 | 2,04 | 78           | 5,8   |
|                   | Haplohumults             | Bt1     | 11-24    | 4,3              | nd  | nd  | 55   | 0,95                     | 0,67 | 0,27 | 0,20 | 2,09  | 3,80  | 1,72 | 0,49 | 1,97 | 87           | 3,0   |
|                   |                          | Bt2     | 24-54    | 4,2              | nd  | nd  | 41   | 0,85                     | 0,19 | 0,05 | 0,07 | 1,16  | 2,83  | 0,88 | 0,12 | 0,94 | 96           | 0,8   |
|                   |                          | Bt3     | 54-108   | 4,0              | nd  | nd  | 47   | 0,51                     | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,63  | 1,34  | 0,79 | 0,09 | 0,84 | 100          | 0,5   |
|                   |                          | Bt4     | 108-150  | 6,6              | nd  | nd  | 49   | 0,77                     | 0,29 | 0,06 | 0,04 | 1,16  | 2,38  | 0,74 | 0,13 | 0,81 | 100          | 0,00  |
|                   | Andic                    | Ap      | 0-23     | 4,9              | nd  | nd  | 72   | 3,43                     | 1,36 | 0,50 | 0,09 | 5,38  | 7,52  | 0,82 | 0,91 | 1,28 | 93           | 7,2   |
|                   | Haplohumults             | Bt1     | 23-61    | 5,4              | nd  | nd  | 37   | 2,25                     | 0,58 | 0,61 | 0,10 | 3,54  | 9,53  | 0,71 | 1,05 | 1,24 | 96           | 1,6   |
|                   |                          | Bt2     | 61-87    | 5,7              | nd  | nd  | 33   | 2,30                     | 0,74 | 0,67 | 0,13 | 3,84  | 11,55 | 0,48 | 0,72 | 0,84 | 97           | 0,2   |
|                   | 6                        | BC      | 87-150   | 4,7              | nd  | nd  | 41   | 1,36                     | 0,46 | 0,98 | 0,14 | 2,94  | 7,17  | 0,66 | 0,97 | 1,15 | 100          | 0,2   |
|                   | Andic                    | Ap      | 0-13     | 4,3              | nd  | nd  | 45   | 2,00                     | 0,25 | 0,62 | 0,01 | 2,88  | 6,36  | 0,97 | 1,23 | 1,59 | 73           | 5,1   |
| Sedimentario      | Haplohumults             | AB      | 13-25    | 4,2              | nd  | nd  | 36   | 1,29                     | 0,08 | 0,40 | nd   | 1,77  | 4,88  | 0,95 | 1,02 | 1,46 | 90           | 3,0   |
|                   |                          | Bt1     | 25-57    | nd               | nd  | nd  | 32   | 1,39                     | 0,12 | 0,47 | nd   | 1,98  | 6,21  | 0,54 | 0,52 | 0,80 | 75           | 0,9   |
|                   | Bt2                      | 57-104  | nd       | nd               | nd  | 33  | 1,30 | 0,09                     | 0,17 | nd   | 1,56 | 4,79  | 0,41  | 0,18 | 0,50 | 62   | 0,4          |       |
|                   | Bt3                      | 104-130 | nd       | nd               | nd  | 31  | 1,25 | 0,09                     | 0,07 | nd   | 1,41 | 4,58  | nd    | nd   | nd   | nd   | 0,2          |       |
|                   | BC                       | 130-145 | nd       | nd               | nd  | nd  | nd   | nd                       | nd   | nd   | nd   | nd    | nd    | nd   | nd   | nd   | nd           |       |
|                   | Ustic                    | A       | 0-17     | 5,0              | 4,3 | 9,8 | 21   | 0,30                     | 0,54 | 0,13 | 0,23 | 1,20  | 5,74  | nd   | nd   | nd   | nd           | 4,5   |
|                   | Haplohumults             | Bt1     | 17-40    | 5,2              | 4,4 | 9,4 | 16   | 0,20                     | 0,28 | 0,08 | 0,23 | 0,79  | 5,03  | nd   | nd   | nd   | nd           | 1,7   |
|                   |                          | Bt2     | 40-130   | 5,5              | 4,3 | 9,8 | 21   | 0,25                     | 0,12 | 0,05 | 0,23 | 0,65  | 3,14  | nd   | nd   | nd   | nd           | 0,3   |
|                   | 12                       | Bt3     | 130-200  | 5,5              | 4,2 | 9,8 | 19   | 0,35                     | 0,26 | 0,08 | 0,27 | 0,96  | 5,11  | nd   | nd   | nd   | nd           | nd    |
|                   | Andic                    | Ap      | 0-18     | 5,7              | nd  | nd  | 40   | 4,61                     | 1,23 | 0,62 | 0,01 | 6,47  | 16,19 | 1,16 | 0,81 | 1,57 | 89           | 3,8   |
| 38                | Palehumults              | AB      | 18-28    | 5,7              | nd  | nd  | 29   | 5,03                     | 1,34 | 0,34 | 0,01 | 6,72  | 23,13 | 0,69 | 0,67 | 1,03 | 87           | 1,5   |
|                   |                          | Bt1     | 28-46    | nd               | nd  | nd  | 28   | 5,87                     | 1,12 | 0,31 | 0,06 | 7,36  | 26,49 | 0,41 | 0,51 | 0,67 | 81           | 0,6   |
|                   | Bt2                      | 46-90   | nd       | nd               | nd  | 30  | 6,89 | 1,40                     | 0,19 | 0,03 | 8,51 | 27,94 | nd    | nd   | nd   | nd   | 0,5          |       |
|                   | Bt3                      | 90-120  | nd       | nd               | nd  | nd  | nd   | nd                       | nd   | nd   | nd   | nd    | nd    | nd   | nd   | nd   | nd           |       |

Sedimentario

Cuadro 3. Características químicas de suelos desarrollados sobre superficies antiguas.

| Material<br>parental       | Clasificación<br>taxonómica | cm      |        | H <sub>2</sub> O | KCl  | NaF  | cmol(+).kg <sup>-1</sup> |       |      |      | %    |       |       |      |      |              |       |      |
|----------------------------|-----------------------------|---------|--------|------------------|------|------|--------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|--------------|-------|------|
|                            |                             | Horz    | Prof.  |                  |      |      | Cl/C                     | Ca    | Mg   | K    | Na   | S.B   | St.B  | Al   | Fe   | Al+1/<br>2Fe | Ret P | CO   |
| Sedimentario               | Andic<br>Palehumults<br>27  | A       | 0-22   | 5,6              | 4,7  | 9,2  | 26                       | 10,00 | 2,33 | 0,25 | 0,18 | 12,76 | 49,27 | nd   | nd   | nd           | nd    | 5,6  |
|                            |                             | Bt1     | 22-45  | 5,5              | 4,5  | 10,0 | 25                       | 1,30  | 1,12 | 0,18 | 0,18 | 2,78  | 11,26 | nd   | nd   | nd           | nd    | 1,9  |
|                            |                             | Bt2     | 45-98  | 5,5              | 4,3  | 9,8  | 27                       | 0,30  | 0,72 | 0,13 | 0,18 | 1,33  | 4,89  | nd   | nd   | nd           | nd    | 1,4  |
|                            |                             | Bt3     | 98-170 | 5,5              | 4,2  | 9,8  | 24                       | 0,30  | 0,54 | 0,13 | 0,18 | 1,15  | 4,75  | nd   | nd   | nd           | nd    | 0,4  |
|                            | C                           | 170-xx  | 5,4    | 4,1              | 9,8  | 28   | 0,20                     | 0,26  | 0,18 | 0,18 | 0,82 | 2,93  | nd    | nd   | nd   | nd           | 0,2   |      |
|                            | Ustic<br>Palehumults<br>26  | A       | 0-20   | 6,1              | 5,0  | 8,2  | 25                       | 12,50 | 1,66 | 0,58 | 0,18 | 14,92 | 59,21 | nd   | nd   | nd           | nd    | 4,4  |
|                            |                             | Bt1     | 20-45  | 6,8              | 6,2  | 9,6  | 23                       | 5,00  | 1,56 | 0,30 | 0,18 | 7,04  | 30,88 | nd   | nd   | nd           | nd    | 0,4  |
|                            |                             | Bt2     | 45-165 | 6,9              | 6,3  | 9,8  | 21                       | 7,50  | 1,49 | 0,30 | 0,27 | 9,56  | 41,93 | nd   | nd   | nd           | nd    | 1,0  |
|                            |                             | BC      | 165-xx | 7,1              | 6,5  | 9,2  | 14                       | 5,00  | 1,12 | 0,05 | 0,23 | 6,40  | 44,44 | nd   | nd   | nd           | nd    | 1,2  |
|                            | Aquic<br>Palehumults<br>20  | A       | 0-26   | 5,2              | 4,2  | 9,1  | 26                       | 1,30  | 0,54 | 0,23 | 0,18 | 2,25  | 8,82  | nd   | nd   | nd           | nd    | 5,6  |
|                            |                             | Bt1     | 26-65  | 5,5              | 4,4  | 9,5  | 22                       | 1,80  | 0,29 | 0,05 | 0,18 | 2,32  | 10,36 | nd   | nd   | nd           | nd    | 1,2  |
|                            |                             | Bt2     | 65-185 | 5,4              | 4,1  | 9,7  | 31                       | 0,80  | 0,19 | 0,08 | 0,18 | 1,25  | 3,98  | nd   | nd   | nd           | nd    | nd   |
|                            |                             | Ap      | 0-23   | 4,7              | nd   | nd   | 61                       | 3,81  | 1,58 | 0,59 | 0,10 | 6,08  | 9,94  | 0,44 | 0,60 | 0,74         | 81    | 4,7  |
|                            | Haplustults<br>8            | Bt1     | 23-59  | 4,3              | nd   | nd   | 52                       | 0,64  | 0,24 | 0,07 | 0,15 | 1,10  | 2,12  | 0,37 | 0,25 | 0,50         | 84    | 0,3  |
|                            |                             | Bt2     | 59-95  | 4,1              | nd   | nd   | 64                       | 0,26  | 0,21 | 0,06 | 0,18 | 0,71  | 1,12  | 0,28 | 0,10 | 0,33         | 90    | 0,00 |
|                            |                             | BC      | 95-150 | 4,2              | nd   | nd   | 50                       | 0,53  | 0,12 | 0,11 | 0,20 | 0,96  | 1,94  | 0,32 | 0,10 | 0,37         | 94    | 0,00 |
| Ap                         |                             | 0-15    | 4,6    | nd               | 8,9  | 25   | 0,22                     | 0,14  | 0,20 | 0,05 | 0,61 | 2,40  | nd    | nd   | nd   | nd           | 2,8   |      |
| Haplustults<br>40          | Bt1                         | 15-45   | 4,6    | nd               | 9,2  | 26   | 0,11                     | 0,07  | 0,08 | 0,01 | 0,27 | 1,03  | nd    | nd   | nd   | nd           | 0,6   |      |
|                            | Bt2                         | 45-66   | nd     | nd               | 9,2  | 27   | 0,09                     | 0,08  | 0,05 | 0,01 | 0,23 | 0,86  | nd    | nd   | nd   | nd           | 0,3   |      |
|                            | Bt3                         | 66-123  | nd     | nd               | 9,1  | 32   | 0,20                     | 0,11  | 0,08 | 0,01 | 0,40 | 1,24  | nd    | nd   | nd   | nd           | 0,2   |      |
|                            | BC                          | 123-180 | nd     | nd               | 9,0  | 35   | 0,12                     | 0,12  | 0,12 | 0,01 | 0,37 | 1,07  | nd    | nd   | nd   | nd           | nd    |      |
| Typic<br>Rhodustults<br>41 | Ap                          | 0-10    | 4,8    | nd               | 8,9  | 40   | 2,57                     | 1,64  | 0,88 | nd   | 5,09 | 12,83 | nd    | nd   | nd   | nd           | 4,7   |      |
|                            | AB                          | 10-20   | 4,7    | nd               | 9,2  | 33   | 1,94                     | 1,68  | 0,73 | nd   | 4,35 | 13,11 | nd    | nd   | nd   | nd           | 1,8   |      |
|                            | Bt1                         | 20-70   | 4,9    | nd               | 9,7  | 40   | 3,34                     | 3,27  | 1,03 | nd   | 7,64 | 18,96 | nd    | nd   | nd   | nd           | 0,4   |      |
|                            | BC                          | 70-150  | 4,5    | nd               | 9,7  | 44   | 0,74                     | 1,24  | 0,56 | nd   | 2,54 | 5,78  | nd    | nd   | nd   | nd           | 0,06  |      |
| Andic<br>Palehumults<br>25 | A                           | 0-42    | 5,4    | 4,7              | 11,2 | 39   | 0,10                     | 0,23  | 0,18 | 0,23 | 0,74 | 1,88  | nd    | nd   | nd   | nd           | 9,1   |      |
|                            | Bt1                         | 42-64   | 5,5    | 4,3              | 9,2  | 21   | 0,20                     | 0,21  | 0,23 | 0,18 | 0,82 | 3,85  | nd    | nd   | nd   | nd           | 2,3   |      |
|                            | Bt2                         | 64-100  | 5,8    | 4,5              | 9,5  | 23   | 0,20                     | 0,21  | 0,05 | 0,18 | 0,64 | 2,74  | nd    | nd   | nd   | nd           | 2,5   |      |
|                            | Bt3                         | 100-160 | 5,6    | 4,2              | 9,6  | 19   | 0,20                     | 0,28  | 0,05 | 0,50 | 1,03 | 5,36  | nd    | nd   | nd   | nd           | 1,8   |      |

Sedimentario

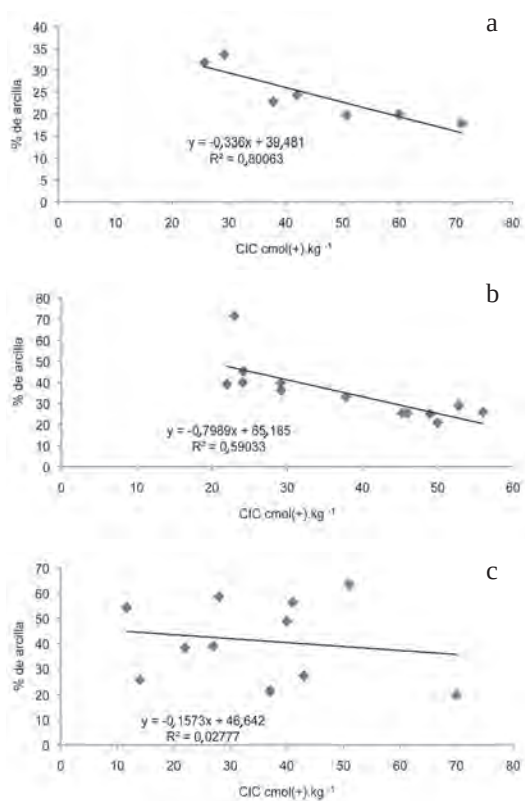


Fig. 6. Efecto del porcentaje de arcilla en la CIC (cmol(+).kg<sup>-1</sup>) en suelos desarrollados a partir de (a) material coluvial, (b) sedimentario y (c) volcánico.

14,92 cmol(+).kg<sup>-1</sup> de suelo en el horizonte A del perfil 27 (Andic Palehumults) a 0,23 cmol(+).kg<sup>-1</sup> en el horizonte Bt2 del perfil 40. En general los suelos sobre coluvios tienen valores menores a 4,4 cmol(+).kg<sup>-1</sup> y de estos, solo en el horizonte Bt del perfil 43 (Aquandic Haplohumults) tiene 7,31 cmol(+).kg<sup>-1</sup>, como resultado del acúmulo de bases lixiviadas desde la superficie. En estos suelos, el valor más bajo de 0,47 se encontró a 12 cm de profundidad, en el horizonte AB de un Aquic Palehumults. En relación con los suelos ubicados sobre material volcánico, la mayoría poseen suma de bases menor a 7,0. Valores mayores a 10 y menores a 15 se hallaron únicamente en el horizonte A del perfil 9 (Andic Palehumults) y en todo el perfil 22. Con algunas excepciones, los suelos localizados sobre

superficies sedimentarias, presentan una suma de bases menor a 4. Un pequeño número de muestras oscilan entre 5 y 9. Los valores máximos de 12 y 14 se encontraron en los horizontes A de los perfiles 26 y 27 (Andic y Ustic Palehumults). El valor mínimo de estos suelos es de 0,23 y se encontró en el horizonte Bt2 del perfil 40 (Aquic Haplohumults). Aunque los datos de cationes intercambiables parecen bajos, los mismos se consideran válidos, ya que en su gran mayoría fueron hechos en los laboratorios del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, por metodologías certificadas internacionalmente.

### 11. Porcentaje de retención de fósforo:

Las reacciones de fijación de fósforo son elevadas en casi todos los suelos estudiados (Cuadro 3). Indiferente del horizonte y del material parental, existen valores promedios de fósforo adsorbido cercanos a 78%, con mínimos de 50% y valores de retención de hasta 100%. Para los Ultisoles estudiados, esto se atribuye a que los fosfatos tienen alta afinidad con el Al y el Fe presentes, con los que forman precipitados insolubles. En suelos con propiedades ándicas, la retención se atribuye a minerales como la alófana, imogolita y a complejos humus-aluminio.

## CONCLUSIONES

Los Ultisoles son el orden de suelos que ocupa la mayor superficie del área estudiada de la subcuenca (9289 ha, 38%). Están distribuidos en 16 unidades cartográficas, 14 asociaciones y 2 consociaciones (Cuadro 4). Con los Ultisoles coexisten Inceptisoles y Entisoles que ocupan áreas menores; los Inceptisoles se presentan principalmente en la unidad volcánica Grifo Alto.

Los Ultisoles se formaron a partir de materiales parentales del Pleistoceno o más antiguos y en relieves ondulados a fuertemente ondulados. Dos subórdenes fueron reconocidos: Humults y Ustults. Los Humults tienen cantidades mayores de materia orgánica. A nivel de subgrupo se encontraron Haplustults, Paleustults,

Cuadro 4. Unidades cartográficas y clasificación de Ultisoles en la subcuenca media y alta.

| Unidad Cartográfica                   | Símbolo | Unidad Taxonómica                                                                                                                      | ha       | %    |
|---------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|
| Asociación Vara Blanca                | VB      | Typic Haplustults, arcillosa fina, isotérmico; Aquic Haplohumults; arcillosa muy fina, Isotérmico                                      | 428,23   | 1,75 |
| Asociación San Pedro                  | SP      | Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico; Typic Haplustults, arcillosa muy fina, isotérmico.                                  | 561,89   | 2,29 |
| Asociación La Virgen-Abejonal         | Vi-Ab   | Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isomésico; Andic Dystrustepts, francosa fina, isomésico.                                        | 462,98   | 1,89 |
| Consociación La Cachimba              | Cach    | Andic Haplohumults, arcillosa muy fina, isotérmico                                                                                     | 164,87   | 0,67 |
| Asociación Carrizales                 | Car     | Typic Paleustults, arcillosa fina, isotérmico; Typic Haplustults, arcillosa fina, isotérmico                                           | 564,42   | 2,30 |
| Asociación San Isidro                 | SI      | Typic Haplustults, arcillosa fina, isotérmico; Typic Paleustults; arcillosa fina, Isotérmico                                           | 1334,93  | 5,44 |
| Asociación Llano Bonito               | Llabo   | Typic Haplustults, arcillosa muy fina, isotérmico; Typic Ustorthents, francosa fina, isotérmico                                        | 1296,38  | 5,28 |
| Asociación Higueronal - La Bandera    | Hi-Ba   | Andic Haplohumults, arcillosa muy fina, isotérmico; Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico                                  | 1.128,62 | 4,60 |
| Asociación Llano La Piedra - El Vapor | Lla-Va  | Andic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico; Ustic Haplohumults, arcillosa muy fina, isotérmico.                                 | 357,69   | 1,46 |
| Asociación Guadalupe-La Pastora       | Gua-Pa  | Andic Palehumults, arcillosa fina, isotérmica; Typic Rhodustults, arcillosa fina, kaolinitica con mala cristalización, isotérmica      | 1334,66  | 5,44 |
| Asociación Zapotal - La Esperanza     | Za-Es   | Aquic Haplustults arcillosa muy fina, isotérmico; Typic "Aquic" Paleustults, arcillosa muy fina, isotérmica                            | 942,26   | 3,84 |
| Asociación Mata de Caña               | MC      | Andic Haplohumults, arcillosa fina, kaolinitica con mala cristalización, isotérmica; Aquic Palehumults, arcillosa muy fina, isotérmico | 742,4    | 3,03 |
| Consociación San Carlos               | SC      | Andic Haplohumults, arcilloso muy fino, isotérmico                                                                                     | 328,03   | 1,34 |
| Asociación San Lorenzo                | SL      | Ustic Haplohumults, arcillosa fina, kaolinitica, isotérmica                                                                            | 414,05   | 1,69 |
| Asociación San Marcos                 | SM      | Aquic Palehumults, arcillosa fina, kaolinitica, isotérmico; Kanhaplic Haplustults, arcillosa muy fina, isotérmico                      | 1060,98  | 4,32 |
| Asociación El Balar                   | Bal     | Aquandic Haplohumults, arcillosa fina, kaolinitica, isotérmica; Aquic Palehumults, arcillosa fina, kaolinitica, isotérmica             | 251,21   | 1,02 |



Haplohumults, Palehumults, Rhodustults. Los subgrupos clasificados son Typic Haplustults, Aquic Haplustults, Typic Paleustults, Andic Haplohumults, Aquic Haplohumults, Aquandic Haplohumults, Ustic Haplohumults, Andic Palehumults, Typic Rhodustults.

Los subgrupos Andic Haplohumults, Aquandic Haplohumults, Andic Palehumults presentan en los horizontes superficiales, deposiciones de cenizas volcánicas de edad cercana a los 700 años, sin conocerse a ciencia cierta la proveniencia de las cenizas. Ejemplos de procesos pedogenéticos que han inferido en las características de Ultisoles en la subcuenca del río Pirrís se presentan en el Cuadro 5.

A nivel de familia, la clasificación por textura es arcillosa y arcillosa muy fina, la mineralógica es caolinítica mal cristalizada (Cuadro 4).

La morfología típica ha sido dominada por horizontes de arcillas iluviadas. Los contenidos de arcilla incrementan desde el horizonte A hasta el B y tener un decrecimiento en el horizonte C.

Los Ultisoles son los suelos de más alta evolución encontrados. Dominan la parte media

de la subcuenca y se encuentran tanto sobre litologías del Pleistoceno al Oligoceno coluviales, volcánicas como sedimentarias. Tienen fertilidad baja a muy baja, son ácidos, arcillosos, con alta fijación de fósforo y un drenaje interno lento que favorece la escorrentía superficial y la erosión.

En el área estudiada, los Ultisoles se formaron en litologías con granulometría fina a mediana y a partir de minerales meteorizables que favorecen la formación de arcilla. Estos suelos se encuentran sobre litologías volcánicas (lavas basálticas, andesíticas, andesitas basálticas) y sedimentarias (lutitas, areniscas de grano fino a medio). Las rocas sedimentarias (lutitas, areniscas de grano fino a medio) son de origen marino y su edad es el Oligoceno a Mioceno Inferior (34 a 23 Ma). Las rocas volcánicas pertenecen al Plioceno (5,5 -1,9 Ma), químicamente son intermedias en cuanto al contenido de sílice (cuarzo) y mineralógicamente exhiben olivinos, piroxenos, feldespatos, plagioclasas cálcicas (rocas basálticas) a plagioclasas de carácter intermedio a sódicas (andesitas). Ha sido definida la influencia del material parental en los horizontes inferiores y de la materia orgánica y cenizas

Cuadro 5. Ejemplos de procesos, propiedades y características de algunos Ultisoles.

| Orden                                                                                                                                                                                                                                         | Suborden                                                                                                                    | Gran Grupo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Subgrupo                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ultisoles</b><br>Meteorización, lixiviación y desarrollo de un contenido de bases bajo<br><br>Lluviación y desarrollo de un horizonte argílico<br><br>Acumulación de materiales orgánicos en horizontes superficiales (formación de humus) | <b>Ustults:</b><br>Clase régimen de humedad en el perfil de suelo<br><br><b>Humults:</b><br>Acumulación de materia orgánica | <b>Paleustults:</b><br>Con el incremento de la profundidad del suelo, no disminuye el contenido de arcilla en un 20%<br><br><b>Haplohumults:</b><br>Con un mínimo número horizontes necesarios para formar parte de un determinado taxón<br><br><b>Rhodustults:</b><br><br>Desarrollo de colores rojos oscuros en suelos con drenaje libre y contenidos apreciables de óxidos de hierro | <b>Andic Haplohumults:</b><br><br>Densidades aparentes de 1,0 g/cm <sup>3</sup> o menos y porcentaje de aluminio mas la mitad del hierro, medidas en oxalatos de amonio en 18 cm dentro de los primeros 75 cm de la superficie el suelo mineral<br><br><b>Ustic Haplohumults:</b><br><br>Con régimen de humedad ústico |

volcánicas en los superiores. Las densidades aparentes son más bajas en el horizonte A que las del subsuelo. La densidad de partículas también es más baja en los horizontes A, consecuencia de un mayor contenido de humus y es más alta en el subsuelo, como efecto del material de partida.

En cuanto al régimen de humedad, todos los Ultisoles presentan un régimen ústico y en general su régimen de temperatura es isotérmico, con excepción de la unidad cartográfica La Virgen-Abejónal donde es isomésico. El clima ha actuado en el área como factor formador de Ultisoles a través de la precipitación y la temperatura. La abundancia de agua y temperaturas elevadas han provocado una fuerte hidrólisis, con alteración de minerales y colapso de sus estructuras. Los óxidos de silicio se lixivian, mientras que el aluminio y el hierro se combinan con el oxígeno y se mantienen en el suelo. Con la ganancia de aluminio y hierro en el suelo se produce la laterización, lixiviación de bases, acumulo de óxidos de hierro, aluminio y aumento de la acidez de los suelos.

Los principales tipos de relieve donde se presentan los Ultisoles son de origen tectónico erosivo y de sedimentación. La fisiografía la caracterizan laderas del Terciario (Cordillera de Talamanca y Fila Brunqueña) y terrazas medias en piedemonte relacionadas con la tectónica de alzamiento de Talamanca (sedimentos coluviales). El relieve ha favorecido los procesos de erosión superficial y de remoción en masa en diferente magnitud. Junto con el clima y la geología han moldeado las geoformas presentes en las superficies ocupadas por Ultisoles.

La edad geológica de las superficies sobre las que se han desarrollado los Ultisoles son concordantes con Wilding et al. (1983) y son a partir del Pleistoceno o más antiguos. Sin embargo, edades de suelos Ultisoles de los abanicos aluviales coalescentes del pie de monte de la Cordillera de Talamanca (900-1000 msnm), tienen una edad estimada con <sup>14</sup>C de 45 000 años a más de 65 000 años (Kesel y Spicer 1985).

La actividad humana, asociada en ocasiones con eventos climáticos extremos, ha causado

una disposición y concentración inadecuada de aguas superficiales, manifiesta en un proceso erosivo (erosión superficial y movimientos en masa) que se ha desarrollado gradualmente. Algunos factores que contribuyen con los procesos de degradación de los Ultisoles son los movimientos telúricos, los caminos de finca mal diseñados, ausencia de superficie de rodamiento, inadecuados manejos de agua, texturas finas y muy finas, drenaje interno de suelo lento y a ello se le debe sumar la presencia de infraestructura que con sus construcciones eliminan la cobertura vegetal.

## LITERATURA CITADA

- ALVARADO A., FORSYTHE W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1):85-94.
- ALVARADO A., GLOBER N., OBANDO O. 1982. Reconocimiento de suelos de Puriscal-Salitrales y Tabarcia-San Ignacio de Acosta, pp. 102-118. In: El componente arbóreo en Acosta y Puriscal, Costa Rica. ASCONA/CATIE/GTZ/MAG.
- BERGOEING J.P. 2007. Geomorfología de Costa Rica. 2 ed. Librería Francesa. 328 p.
- BLASER J., CAMACHO M. 1991. Estructura, composición y aspectos silviculturales de un bosque de robles (*Quercus* spp.) del piso montano en Costa Rica. Proyecto CATIE/COSUDE, Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales N° 1. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- BUOL S.W., HOLE F.D., McCRAKEN R.J. 1989. Soil genesis and classification. 3<sup>rd</sup> ed. Iowa State University Press, Ames. USA. 446 p.
- CHINCHILLA M., ALVARADO A., MATA R. 2011. Factores formadores y distribución de suelos de la subcuenca del río Pirrís, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 35(1):33-57.
- CUBERO D.A. 2002. Estudio semidetallado de suelos y clasificación de tierras de la cuenca del río Savegre. MAG, Dpto. Evaluación de Suelos y Tierras. San José, Costa Rica. 61 p.
- DRIESE S.G., ORVIS K.H., HORN S.P., LI Z., JENNINGS D.S. 2007. Paleosol evidence for Quaternary uplift and the climate and ecosystem changes

- in the Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoeecology* 248:1-23.
- GÓMEZ O., CHINCHILLA M. 2005. Estudio taxonómico y mineralógico de los suelos de la cuenca del río Térraba. MAG/ICE. San José, Costa Rica. 233 p.
- HARRIS S.A. 1971a. Podsol development on volcanic ash deposits in the Talamanca range, Costa Rica, pp. 191-209. In: *Paleopedology: origin, nature and dating of paleosols*. Halsted Press. New York, USA.
- HARRIS S.A. 1971b. Quaternary vulcanicity in the Talamanca range of Costa Rica. *Canadian Geographer* 15(2):141-145.
- HOLDRIDGE L.R., GRENKE W.C., HATHEWAY W.H., LIANG T., TOSI J. 1971. Forest environments in tropical life zones: a pilot study. New York, USA. 747 p.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica), CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas). 2000. Caracterización de suelos cafetaleros en la región de los Santos. En prensa.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2007. Estudio de amenazas naturales y antrópicas en la cuenca del Río Pirrís. San José, CR, UEN PSA. 83 p.
- KAPPELLE M., van UFFELEN J.G. 2005. Los suelos de los páramos de Costa Rica, pp. 147-159. In: *Páramos de Costa Rica*. Instituto nacional de Biodiversidad. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.
- KESEL R.H., SPICER B.E. 1985. Geomorphological relationships and ages of soils on alluvial fans in the río General valley, Costa Rica. *Catena* 12:149-166.
- LANDAETA A. 1977. Caracterización de la fracción mineral y determinación del ZPC de una catena de suelos derivados de cenizas volcánicas de la cordillera de Talamanca. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 90 p.
- LANDAETA A., LÓPEZ C.A., ALVARADO A. 1978. Caracterización de la fracción mineral de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 2(2):117-129.
- LÓPEZ H. 1978. Caracterización de la fracción mineral de cinco Andepts de los cantones de Corredores y Coto Brus. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 51 p.
- MACIAS M.V. 1969. Propiedades morfológicas, físicas, químicas y clasificación de ocho latosoles de Costa Rica. Tesis de maestría, IICA, Turrialba, Costa Rica. 191 p.
- MARTINI J., MACÍAS M. 1974. A study of six "latosols" from Costa Rica to elucidate the problems of classification, productivity and management of tropical soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 38:644-652.
- MATA R. 1991. Los órdenes de suelos en Costa Rica, pp. 28-32. In: W.G. Vahrson, M. Alfaro y G. Palacios (eds.). *Memoria Taller de Erosión de Suelos*. UNA. Heredia.
- MATA R., RAMÍREZ J.E. 1999. Estudio de caracterización de suelos y su relación con el manejo del cultivo de café en la Provincia de Heredia. ICAFE. San José, Costa Rica. 92 p.
- OTÁROLA C.E., ALVARADO A. 1977. Caracterización y clasificación de algunos suelos del Cerro de la Muerte, Talamanca, Costa Rica. *Suelos Ecuatoriales* 8(1):397-400.
- PELT E., CHABEAUX F., INNOCENT C., NAVARRE A.K., SAK P.B., BRANTLEY S.L. 2008. Uranium-thorium chronometry of weathering rinds: rock alteration rate and paleo-isotopic record of weathering fluids. *Earth and Planetary Science Letters* 276:98-105.
- PORTA J., LOPEZ-ACEVEDO M., ROQUERO C. 1994. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. España. 807 p.
- SANCHO F., NÚÑEZ J. 1985. Estudio de suelos. Secciones I y II de la Cuenca del Río Parrita. San José, CR, UCR. 167 p.
- SOIL SURVEY STAFF. 2006. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Tenth ed. Washington DC, USDA. 341 p.
- SOLÓRZANO J.A. 1997. Evaluación de enmiendas orgánicas en el cultivo de la mora silvestre cv Vino (*Rubus praecipuus*) Bailey, en la Cima de Dota, San José, Costa Rica. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 107 p.
- USDA-NRCS (National Soil Survey Center; Natural Resource Conservation Service; US Department of Agriculture). 2002. *Field book for describing and sampling soils*. Lincoln, Nebraska, USA. s.p.

- van UFFELEN J.G. 1991. A geological, geomorphological and soil transect study of the Chirripó massif and adjacent areas, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de maestría, Wageningen University, Wageningen. 72 p.
- WILDING L.P., SMECK N.E., HALL G.F. 1983. Pedogenesis and soil taxonomy. Elsevier Science Publishers B V. Netherlands. 399 p.
- WINOWIECKI I. 2008. Soil biochemical patterns in the Talamanca foothills, Costa Rica: local knowledge and implications for agroecosystems. Ph.D. Thesis. University of Idaho/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. USA. 172 p.



## ANDISOLES, INCEPTISOLES Y ENTISOLES DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIRRÍS, REGIÓN DE LOS SANTOS, TALAMANCA, COSTA RICA<sup>1</sup>

*Miguel Chinchilla<sup>2/\*</sup>, Rafael Mata<sup>\*\*</sup>, Alfredo Alvarado<sup>\*\*</sup>*

**Palabras clave:** Clasificación suelos, Andisoles, Inceptisoles, Entisoles, Los Santos, Talamanca.

**Keywords:** Soil classification, Andisols, Inceptisols, Entisols, Los Santos, Talamanca.

**Recibido:** 03/06/11

**Aceptado:** 18/03/11

### RESUMEN

En la subcuenca alta del río Pirrís, se describieron y clasificaron 8 perfiles de suelos derivados de cenizas volcánicas en 2 órdenes de suelos: Andisoles e Inceptisoles, subórdenes Ustands, Udands y Ustepts; grandes grupos Haplustands, Placudands, Dystrustepts y subgrupos Dystric Haplustands, Humic Haplustands, Aquic Haplustands, Typic Placudands y Andic Dystrustepts. Muchos de estos suelos, se encuentran en superficie frágiles, vulnerables a erosionarse y deslizarse. En general, estos suelos son ácidos, de baja fertilidad, con horizontes superficiales de cenizas del Holoceno, pero pueden presentar horizontes argílicos que indican discontinuidad cronológica, atribuida a litologías del Pleistoceno. Sobre terrazas aluviales recientes del Holoceno, otro grupo de 7 perfiles de suelos fueron descritos. Estos son de escaso desarrollo morfológico, con procesos de remoción desde las partes más altas, desborde y deposición de las partículas en los fondos de valle. Se clasificaron en los órdenes Entisoles e Inceptisoles, subórdenes Fluvents y Ustepts, grandes grupos Ustifluvents, Dystrustepts, Haplustepts y subgrupos Typic Ustifluvents, Fluventic Dystrustepts, Fluventic Haplustepts y Humic Dystrustepts. Las

### ABSTRACT

**Andisols, Inceptisols and Entisols of the Pirrís River watershed, Los Santos, Talamanca, Costa Rica.** Eight soil profiles were described and classified on volcanic ash deposits at the upper Pirrís River watershed. The soils were classified as Andisols and Inceptisols of the suborders Ustands, Udands and Ustepts; at the great group level the soils were classified as Haplustands, Placudands and Dystrustepts, belonging to the subgroups Dystric Haplustands, Humic Haplustands, Aquic Haplustands, Typic Placudands and Andic Dystrustepts. The topsoil characteristics of many of these soils are fragile, vulnerable to erosion and landslides. In general, these soils are acid, of low fertility status and present recent surface horizons (Holocene), but could be underlain by argillic horizons formed during the Pleistocene. On recent alluvial terraces from the Holocene, another group of seven soil profiles were described. These show little morphological development; major soil-forming processes in these positions include detachment in the highlands and deposition of particles through river flooding in the lowlands. These soils were classified in the orders Entisols and Inceptisols, suborders Fluvents y Ustepts,

1 Este trabajo forma parte de la tesis de maestría del primer autor.  
2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: mchinchillaa@ice.go.cr

\* Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica.  
\*\* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

texturas de los Entisoles son en gran medida moderadamente gruesas (franco arenoso) y en los Inceptisoles el contenido de arcilla es más elevado, siendo las texturas dominantes franco arcillosa, franco arcillo arenosa y arcillosa. Un tercer grupo de suelos fue descrito en un anillo alrededor de los materiales intrusivos del Mioceno al Plioceno con edad de 8 a 11 Ma, donde un metamorfismo de contacto con proceso de alteración hidrotermal de la roca preexistente formó Inceptisoles pedregosos, poco profundos, ácidos y de coloración amarillenta. Procesos de formación de suelos en esta área son la iluviación, lixiviación, lavado, formación de humus, descomposición, síntesis y erosión superficial.

## INTRODUCCIÓN

En los flancos Norte, Noreste, Este y Sureste de la subcuenca del río Pirrís, existen litologías volcánicas (Formación Grifo Alto) e intrusivas (Grupo Comagmático Talamanca) y en fondos de valle sedimentos no consolidados Cuaternarios (Mora et al. 1985, Denyer y Arias 1991, ICE 2007). Las litologías de Grifo Alto (Plioceno: 1,8 a 5,0 Ma) la componen lavas basáltico andesíticas, tobas estratificadas e ignimbritas, así como de conglomerados volcanoclásticos (ICE 1979, ICE 2007). Las litologías intrusivas (Mioceno y Plioceno 1,8 a 23 Ma) incluyen monzonitas, monzodioritas, latíandesitas, diabasas, gabros y granodioritas (Mora et al. 1985, Kussmaul 1987). Los depósitos recientes del Cuaternario de las áreas urbanas de San Marcos de Tarrazú, Santa María y Copey de Dota, son litologías coluvio aluviales del Pleistoceno y Holoceno con composición litológica variable y edad no mayor a 1,8 Ma, (ICE 2007). Esta región ha sido sometida a la actividad volcánica, a la tectónica que levantó la Cordillera de Talamanca, a movimientos gravitacionales de ladera y a procesos de sedimentación coluvio aluvial (Mora et al. 1985).

great groups Ustifluvents, Dystrustepts and Haplustepts, finally belonging to the subgroups Typic Ustifluvents, Fluventic Dystrustepts, Fluventic Haplustepts and Humic Dystrustepts. Most Entisols present coarse textures (sandy loam) while in the Inceptisols the clay content is dominant (clay loam, sandy clay loam and clayey textures). A third group of soils were described in a rim around intrusive materials of Miocene to Pleistocene origin, dated to be 8 to 11 Ma. On these metamorphic materials Inceptisols were formed, showing high rock and stone contents. Most of these soils are shallow, acid and of yellowish colors, due to the illuviation, lixiviation, humus formation, weathering and erosion dominating soil forming processes in this area.

En relación con el clima pasado de la Cordillera de Talamanca, hay evidencia de crisis climáticas. Horn (1990) señala que durante el Pleistoceno en la Cordillera existió nieve, pero que desde el Holoceno ha estado libre de hielo. Weyl (1957) fue el primero en afirmar la existencia de sistemas glaciáricos en el macizo Chirripó. Lachniet (2001) y Lachniet y Vázquez (2005) estiman que durante la época de máxima glaciación, una capa de hielo de 35-40 km<sup>2</sup> cubrió los picos más altos de la Cordillera, lo que es indicador del enfriamiento y oscilación térmica en Talamanca.

Aunque la historia geológica de la Cordillera se remonta al Mioceno (Drummond et al. 1995), la mayoría de los suelos en esta parte del macizo son relativamente jóvenes, debido a varios factores que han posibilitado la formación de paleosoles (Harris 1971a, Driese et al. 2007). Entre los factores que coadyuvaban a que los suelos sean jóvenes se pueden nombrar las erupciones de cenizas volcánicas periódicas durante el Holoceno (Harris 1971 b), la glaciación (Weyl 1957, Orvis y Horn 2005), los procesos paleonivales (Bergoing 2007), la erosión masiva durante el deshielo de los glaciares (Mora 1979, Protti 1996), las quemadas periódicas de la cobertura



vegetal (Williamson et al. 1986, Horn y Sandford 1992), que junto al relieve empinado y la elevada precipitación pluvial favorecen el desprendimiento y remoción de los suelos.

En el flanco Suroeste de la Cordillera de Talamanca los materiales erosionados depositados en forma de abanicos aluviales, son el producto de las etapas de degradación de la Cordillera de Talamanca durante los últimos estadios orogénicos y épocas de deshielo interglaciario (Mora 1979), que a su vez desarrollaron suelos más evolucionados (ICAFE 2002, Gómez y Chinchilla 2005). En la región de los Santos, las pocas áreas planas de sedimentación aluvial tienen suelos jóvenes debido al acumulo de materiales acarreados por los ríos (Mora et al. 1985) y son producto de erosión reciente.

Además de los Ultisoles descritos por Chinchilla et al. (2011 b), la subcuenca del río Pirrís tiene suelos formados de distintos materiales parentales que clasifican como Andisoles (derivados de cenizas volcánicas), Inceptisoles (formados sobre rocas ígneas e intrusivas y depósitos recientes) y Entisoles (desarrollados a partir de aluviones y en áreas erosionadas con pendientes muy fuertes).

La presencia de Andisoles en la Cordillera de Talamanca fue mencionada por Harris (1971 a, b), Holdridge et al. (1971), Otárola y Alvarado (1976), López (1978), Blaser y Camacho (1991) y van Uffelen (1993) y Solórzano (1997) y son el producto de la andolización e hidromorfismo dominantes (Kappelle y van Uffelen 2005), causantes de la pérdida de sílice, bases y de la formación de alófana (Holdridge et al. 1971, Landaeta 1977, Landaeta et al. 1978). Algunos de estos suelos fueron clasificados como Oxíc Dystrandepts, Typic Dystrandepts y Typic Placandepts.

Otros autores (Holdridge et al. 1971, Alvarado et al. 1982, Sancho y Núñez 1985, ICAFE-CIA 2000, Gómez y Chinchilla 2005, Winowiecki 2008) mencionan la presencia en esta región de Entisoles (Typic Trophorthents, Typic Ustifluvents, Andic Udifluvents) e Inceptisoles (Andic Humitropepts y Andaquepts, Ustoxic Humitropepts, Ustic Humitropepts, Typic Humitropepts,

Oxíc Dystrupepts, Ustic Dystrupepts, Ustoxic Dystrupepts, Typic Ustropepts, Typic Eutropepts y Fluventic Andic Dystrupepts). También se han descrito algunos Histosoles o suelos orgánicos (Otárola y Alvarado 1976, Blaser y Camacho 1991, van Uffelen 1993, Cubero 2002) en áreas restringidas y Espodosoles asociados a cenizas volcánicas y vegetación de páramo (Harris 1971 a, b, Widmer 1999).

El presente trabajo tiene como objetivo general caracterizar morfológica, química y físicamente los principales Andisoles, Inceptisoles y Entisoles presentes en la subcuenca del río Pirrís. Como objetivos específicos se plantearon los siguientes: 1) Clasificar a nivel de subgrupo los Andisoles, Inceptisoles y Entisoles situados aguas arriba del sitio de presa de P.H. Pirrís, 2) Describir perfiles modales desde el punto de vista morfológico, físico y químico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos de cartografiado, análisis químicos y físicos en el laboratorio están descritos en Chinchilla et al. (2011 a). El muestreo de suelos se realizó de acuerdo con el USDA-NRCS (2002). La clasificación de los suelos con el Soil Survey Staff (2006). Se usó como Sistema de Información Geográfica el Arc-View, versión 3.3. Para el cartografiado de los suelos en superficies con deposiciones volcánicas se utilizaron 8 perfiles de los cuales 5 son descritos por el ICE (2006), 2 de Sancho y Núñez (1985) y 1 de Solórzano (1997). En las superficies recientes aluviales, se contó con 7 perfiles: 2 del ICAFE-CIA (2000), 4 de Sancho y Núñez (1985) y 1 del ICE (2006). Las superficies asociadas a intrusivos se tuvieron 2 perfiles: ICE (2007) y Sancho y Núñez (1985).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Suelos derivados de cenizas volcánicas de la Cordillera de Talamanca

**1. Generalidades:** La génesis de esta unidad edáfica está influenciada principalmente

por el material parental (cenizas volcánicas), las condiciones climáticas de la zona y el tiempo relativamente corto desde que estas cenizas se depositaron. La mayoría de los suelos son profundos y clasifican como Dystric Haplustands, con pequeñas áreas de Humic y Aquic Haplustands y en un caso Andic Dystrustepts (Figura 1). En el Cuadro 1 se muestra el símbolo, área, clasificación taxonómica de los suelos formados

a partir de cenizas volcánicas. En la génesis de algunos de estos suelos hay un fuerte grado de erosión sufrida, perdiéndose gran parte del horizonte superficial de cenizas volcánicas recientes. Estos suelos presentan texturas moderadamente gruesas, lo que favorece el lavado de bases y por ende las condiciones dístricas en el horizonte superficial, además previenen la formación de cantidades apreciables de alófana.



Fig.1. Suelos derivados de cenizas volcánicas de la Cordillera de Talamanca. a. Perfil 34 La Cima: Aquic Haplustands. b. Perfil 36, La Cima: Dystric Haplustands. c. Perfil 37 Quebradillas: Dystric Haplustands. d. Perfil 51 Trinidad: Andic Dystrustepts e. Perfil 52 Canet: Dystric Haplustands.

Cuadro 1. Clasificación de los suelos derivados de cenizas volcánicas en la Cordillera de Talamanca.

| Unidades cartográficas<br>(Símbolo)              | Área |                | Taxonomía    |          |              |                                       |
|--------------------------------------------------|------|----------------|--------------|----------|--------------|---------------------------------------|
|                                                  | ha   | % área estudio | Orden        | Suborden | Gran Grupo   | Subgrupo                              |
| Consociación<br>Cedral Trinidad<br>(Ce-Tri)      | 2487 | 10             | Andisoles    | Ustands  | Haplustands  | Dystric Haplustands                   |
|                                                  |      |                | Andisoles    | Udands   | Placudands   | Typic Placudands                      |
| Asociación<br>Trinidad - Salsipuedes<br>(Tri-Sa) | 1482 | 6              | Andisoles    | Ustands  | Haplustands  | Dystric Haplustands                   |
|                                                  |      |                | Inceptisoles | Ustepts  | Dystrustepts | Andic Dystrustepts                    |
| Asociación<br>Cañón - La Cima<br>(Ca-Ci)         | 205  | 1              | Andisoles    | Ustands  | Haplustands  | Humic Haplustands                     |
|                                                  |      |                | Andisoles    | Udands   | Placudands   | Aquic Haplustands<br>Typic Placudands |
| Asociación<br>Cerro Vueltas<br>(Vue)             | 2300 | 9              | Andisoles    | Ustands  | Haplustands  | Dystric Haplustands                   |
|                                                  |      |                | Inceptisoles | Ustepts  | Dystrustepts | Andic Dystrustepts                    |

**2. Morfología:** Se determinó que los Dystric y Humic Haplustands presentan una secuencia de horizontes A/Bw/BC, A/AB/Bw1/2Bt1, A/AB/2Bt1, A/AB/Bw; los Aquic Haplustands A/Bt1/Bg2/C y los Andic Dystrustepts A/Bw/BC/C (Cuadro 2). El horizonte A puede ser delgado (10 cm) o alcanzar grosores importantes (55 cm). Son suelos oscuros en superficie debido a su contenido de materia orgánica y a la abundancia de minerales básicos de color oscuro; la materia orgánica tiende a acumularse en el régimen de temperatura isomésico de la unidad edáfica. En algunos casos, el horizonte Bw presenta una coloración rojiza y amarilla, lo que demuestra la acumulación de cantidades apreciables de óxidos de hierro en diferentes estados de hidratación; en otros procesos, el hierro puede formar horizontes plácicos dando origen a inclusiones de Typic Placudands. Cuando la ceniza volcánica se ha erosionado, los suelos de esta unidad pueden presentar un horizonte Bt, que coincide con lo reportado

por Mata y Ramírez (1999) para algunas áreas de cenizas volcánicas de Costa Rica.

### 3. Distribución del tamaño de partículas:

Los Haplustands tienen texturas moderadamente gruesas (franco arenoso) y medianas (francas) en superficie (Cuadro 3). En los horizontes B, aumentan los contenidos de arcilla y las texturas son moderadamente fina y fina (franco arcilloso, arcilloso y arcillo arenoso). El horizonte BC puede ser moderadamente grueso a fino (franco arenoso, franco arcilloso, arcillo arenoso) y el horizonte C es de textura fina (arcillo arenosa).

**4. Densidad aparente (Da):** La Da medida a 33 KPa de retención de humedad en suelos con propiedades ándicas es por definición menor a 0,90 Mg.m<sup>-3</sup>. Indiferente del horizonte, la Da de los suelos bajo estudio osciló entre 0,6 y 1,3 Mg.m<sup>-3</sup>, lo que denota la poca influencia de la ceniza volcánica o discontinuidad litológica en los horizontes sub-superficiales (Cuadro 3). Los

Cuadro 2. Características morfológicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas en la Cordillera de Talamanca.

| Clasificación taxonómica              | Horizonte | (cm)<br>Prof. | Color Munsell                |
|---------------------------------------|-----------|---------------|------------------------------|
| Humic<br>Haplustands<br>(perfil 11)   | Ap        | 0-8           | Negro *                      |
|                                       | A2        | 8-24          | Negro                        |
|                                       | Bw1       | 24-51         | Pardo grisáceo muy oscuro    |
|                                       | Bw2       | 51-83         | Pardo oscuro                 |
|                                       | BC        | 83-115        | Pardo grisáceo oscuro        |
| Dystric<br>Haplustands<br>(perfil 14) | A         | 0-30          | Pardo rojizo oscuro          |
|                                       | AB        | 30-64         | Pardo fuerte                 |
|                                       | Bw1       | 64-85         | Pardo fuerte                 |
|                                       | 2 Bt1     | 85-150        | Pardo fuerte                 |
| Dystric<br>Haplustands<br>(perfil 15) | A         | 0-21          | Pardo                        |
|                                       | AB        | 21-52         | Pardo fuerte                 |
|                                       | Bw1       | 52-143        | Pardo fuerte                 |
|                                       | Bw2       | 143-200       | Pardo amarillento            |
| Aquic<br>Haplustands<br>(perfil 34)   | Ap        | 0-19          | Negro                        |
|                                       | A2        | 19-55         | Negro                        |
|                                       | Bt1       | 55-90         | Pardo amarillento oscuro     |
|                                       | Bg2       | 90-108        | Gris parduzco claro (50%) ** |
|                                       | C         | 108-140       | Pardo amarillento oscuro *** |
| Dystric<br>Haplustands<br>(perfil 36) | Ap        | 0-21          | Pardo muy oscuro ****        |
|                                       | Bw        | 21-80         | Pardo amarillento oscuro     |
|                                       | BC        | 80-120        | Pardo amarillento            |
| Dystric<br>Haplustands<br>(perfil 37) | Ap        | 0-13          | Negro                        |
|                                       | AB        | 13-45         | Pardo oscuro                 |
|                                       | Bt1       | 45-140        | Pardo amarillento oscuro     |
| Andic<br>Dystrustepts<br>(perfil 51)  | Ap        | 0-24          | Pardo oscuro                 |
|                                       | Bw1       | 24-75         | Pardo                        |
|                                       | BC        | 75-108        | Pardo intenso                |
|                                       | C         | 108-150       | Pardo amarillento            |
| Dystric<br>Haplustands<br>(perfil 52) | Ap        | 0-15          | Pardo muy oscuro             |
|                                       | AB        | 15-35         | Pardo rojizo                 |
|                                       | Bw1       | 35-97         | Rojo amarillento             |
|                                       | 2Bt       | 97-120        | Pardo amarillento oscuro     |

\*10 YR 5/8 Pardo amarillento (5%).

\*\*10 YR 4/4 Pardo amarillento oscuro; 5 YR 5/8 rojo amarillento (10%); 2,5 YR 4/6 Rojo (10%).

\*\*\*5 YR 5/6 Rojo amarillento (20%); 5 YR 5/2 Gris rojizo (10%); 10 YR 1/1 Negro (10%).

\*\*\*\* 10 YR 4/1 Gris Oscuro (10%).

Cuadro 3. Características físicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas en la Cordillera de Talamanca.

| Clasificación taxonómica        | Horizonte | Prof. (cm) | Textura (%) |      |         | Clase    | Mg.m <sup>-3</sup> | Mg.m <sup>-3</sup> | %         |
|---------------------------------|-----------|------------|-------------|------|---------|----------|--------------------|--------------------|-----------|
|                                 |           |            | Arena       | Limo | Arcilla | Textural | D. aparente        | D. real            | Porosidad |
| Humic Haplustands (perfil 11)   | Ap        | 0-8        | 61          | 26   | 13      | Fa       | nd                 | nd                 | nd        |
|                                 | A2        | 8-24       | 54          | 29   | 17      | Fa       | nd                 | nd                 | nd        |
|                                 | Bw1       | 24-51      | 40          | 26   | 34      | FA       | nd                 | nd                 | nd        |
|                                 | Bw2       | 51-83      | 34          | 27   | 39      | FA       | nd                 | nd                 | nd        |
|                                 | BC        | 83-115     | 40          | 26   | 34      | FA       | nd                 | nd                 | nd        |
| Dystric Haplustands (perfil 14) | A         | 0-30       | 57          | 35   | 8       | Fa       | nd                 | 2,0                | nd        |
|                                 | AB        | 30-64      | 56          | 24   | 20      | Fa       | nd                 | 2,1                | nd        |
|                                 | Bw1       | 64-85      | 39          | 18   | 43      | A        | nd                 | 2,4                | nd        |
|                                 | 2 Bt1     | 85-150     | 35          | 12   | 53      | A        | nd                 | 2,3                | nd        |
| Dystric Haplustands (perfil 15) | A         | 0-21       | 57          | 28   | 15      | Fa       | nd                 | 2,0                | nd        |
|                                 | AB        | 21-52      | 59          | 16   | 25      | FAa      | nd                 | 1,8                | nd        |
|                                 | Bw1       | 52-143     | 41          | 22   | 37      | FA       | nd                 | 1,9                | nd        |
|                                 | Bw2       | 143-200    | 32          | 27   | 41      | A        | nd                 | 2,2                | nd        |
| Aquic Haplustands (perfil 34)   | Ap        | 0-35       | 63          | 28   | 9       | Fa       | 0,9                | 2,4                | 64        |
|                                 | A2        | 35-55      | 71          | 16   | 14      | Fa       | 0,9                | 2,7                | 67        |
|                                 | Bt1       | 55-90      | 33          | 28   | 39      | FA       | 1,3                | 2,9                | 56        |
|                                 | Bg2       | 90-108     | 33          | 26   | 51      | A        | 1,0                | 2,4                | 59        |
|                                 | C         | 108-140    | nd          | nd   | nd      | nd       | nd                 | nd                 |           |
| Dystric Haplustands (perfil 36) | Ap        | 0-21       | 57          | 32   | 11      | Fa       | 0,8                | 2,5                | 68        |
|                                 | Bw        | 21-80      | 74          | 18   | 9       | Fa       | 0,7                | 3,8                | 80        |
|                                 | BC        | 80-120     | 73          | 17   | 10      | Fa       | 0,9                | 2,7                | 68        |
| Dystric Haplustands (perfil 37) | Ap        | 0-13       | 51          | 41   | 9       | F        | 0,7                | 2,4                | 72        |
|                                 | AB        | 13-45      | 46          | 38   | 16      | F        | 0,8                | 2,4                | 68        |
|                                 | Bt1       | 45-140     | 23          | 28   | 49      | A        | 1,1                | 2,7                | 58        |
| Andic Dystrustepts (perfil 51)  | Ap        | 0-24       | 48          | 10   | 43      | Aa       | 0,8                | 2,4                | 68        |
|                                 | Bw1       | 24-75      | 46          | 10   | 44      | Aa       | 0,9                | 2,7                | 69        |
|                                 | BC        | 75-108     | 50          | 10   | 40      | Aa       | 1,1                | 2,7                | 61        |
|                                 | C         | 108-150    | 61          | 31   | 8       | Fa       |                    | 2,7                |           |
| Dystric Haplustands (perfil 52) | Ap        | 0-15       | 56          | 32   | 13      | Fa       | 0,8                | 2,4                | 78        |
|                                 | AB        | 15-35      | 54          | 31   | 15      | Fa       | 0,6                | 2,5                | 75        |
|                                 | Bw1       | 35-97      | 40          | 20   | 40      | FA       | 0,8                | 2,8                | 72        |
|                                 | 2Bt       | 97-120     | 34          | 15   | 51      | A        | 1,2                | 2,8                | 56        |

Fa=franco arenoso; FA=franco arcillo arenoso; A=arcilloso; Aa=arcillo arenoso; nd=no determinado.

Dystric Haplustands tienen un promedio de  $D_a$  de  $0,8 \text{ Mg.m}^{-3}$  y el aumento con la profundidad ocurre cuando se presentan horizontes Bg ó Bt enterrados. Cuando la cobertura vegetal es de gramíneas (potreros), los valores superficiales de  $D_a$  en el horizonte Ap ( $0,81 \text{ Mg.m}^{-3}$ ) son mayores que los encontrados en el horizonte Bw ( $0,74 \text{ Mg.m}^{-3}$ ), indicando el efecto de compactación causado por el pisoteo del ganado (perfil 36, La Cima), con un aumento significativo en

el horizonte BC ( $0,88 \text{ Mg.m}^{-3}$ ) donde el contenido de grava aumenta y disminuye la materia orgánica; el efecto de compactación por efecto del pisoteo en suelos similares de Coto Brus no fue detectado por la variable  $D_a$ , pero si por la resistencia a la penetración (Murillo 1996). Se encontró que entre el porcentaje de arcilla y la  $D_a$  de los Dystric Haplustands existe una relación exponencial positiva e igual pero negativa con el contenido de carbón orgánico (Figura 2).

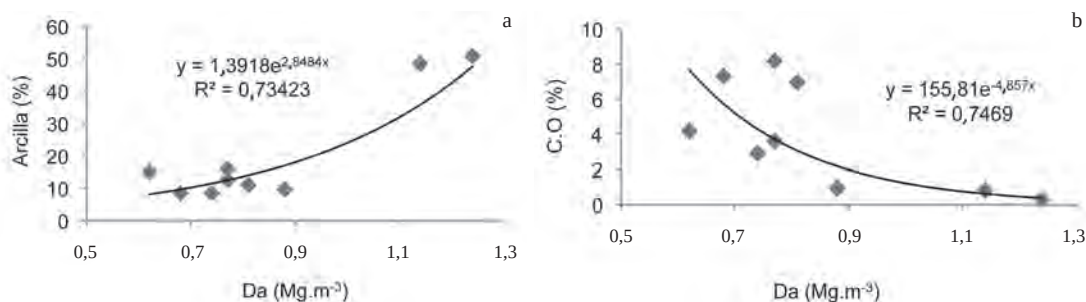


Fig. 2 Relación entre la densidad aparente y el contenido de arcilla (a) y carbón orgánico (b) en Dystric Haplustands.

### 5. Densidad real o de partículas (Dp):

Comúnmente se asume que la  $D_p$  de los suelos es de  $2,65 \text{ Mg.m}^{-3}$ , valor que corresponde a la densidad del cuarzo, mineral muy abundante en suelos altamente meteorizados, sin considerar que la  $D_p$  del humus de  $1,37 \text{ Mg.m}^{-3}$ , lo cual es de relevancia en los horizontes superficiales (Porta et al. 1994). En los suelos de la unidad influenciada por cenizas volcánicas, no ocurre una concentración importante de cuarzo sino más bien de olivinos y feldespatos asociados a altos contenidos de materia orgánica, por lo que los valores de  $D_p$  oscilaron entre  $1,8$  y  $2,8 \text{ Mg.m}^{-3}$  (Cuadro 3). En relación con otros Andisoles de Costa Rica, los valores se encuentran en el ámbito normal (Alvarado et al. 2001), especialmente de los suelos derivados de cenizas volcánicas menos desarrollados. Los valores más bajos de  $D_p$  de los suelos estudiados se presentan en las capas superficiales como efecto de un mayor porcentaje de materia orgánica.

### 6. Porosidad: En los Dystric Haplustands,

los porcentajes de porosidad total se encuentran entre un 80% en el horizonte Bw en el perfil 36 La Cima y 56% en el horizonte 2 Bt1 del perfil 52 Bajo Canet; también se observa que la microporosidad de los horizontes B de textura fina contribuye con una cantidad de poros menor que la macroporosidad de los horizontes A de textura gruesa a media (Cuadro 3).

### 7. Reacción del suelo (pH en H<sub>2</sub>O, KCL y NaF):

El pH medido en agua en los Dystric Haplustands y en los Andic Dystrustepts osciló de 4,8 y 5,8, valores considerados como muy fuertemente ácidos (4,8) a medianamente ácidos (5,8) (Cuadro 4); algo similar encontraron Otárola y Alvarado (1977) para un Andisol en la parte alta de esta unidad edáfica. En los perfiles en los que se midió el pH en KCl, este siguió la misma tendencia que el pH en agua, solo que con valores aproximadamente menores en una

Cuadro 4. Características químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas en la Cordillera de Talamanca.

| Clasificación taxonómica        | Horz  | cm      | Prof. | H <sub>2</sub> O | KCL  | NaF  | ClC   | Ca    | cmol(+),kg <sup>-1</sup> |      |       |       | %    |     |     |     |          |       |
|---------------------------------|-------|---------|-------|------------------|------|------|-------|-------|--------------------------|------|-------|-------|------|-----|-----|-----|----------|-------|
|                                 | A     | 0-8     | 5,3   | nd               | 8,2  | 68,1 |       |       | 27,70                    | Mg   | K     | Na    | S.B  | S.B | Al  | Fe  | Al+1/2Fe | Ret P |
| Humic Haplustands (perfil 11)   | A2    | 8-24    | nd    | 5,0              | nd   | 8,6  | 64,2  | 22,40 | 3,60                     | 1,52 | 0,11  | 27,63 | 43   | 2,2 | 0,6 | 2,5 | 68       | 0,4   |
|                                 | Bw1   | 24-51   | nd    | 5,6              | nd   | 8,6  | 53,7  | 28,00 | 4,60                     | 0,97 | 0,07  | 33,64 | 63   | 2,1 | 0,3 | 2,3 | 57       | 0,1   |
|                                 | Bw2   | 51-83   | nd    | 5,5              | nd   | 8,7  | 50,8  | 24,20 | 4,60                     | 0,21 | 0,05  | 29,06 | 57   | 1,7 | 0,3 | 1,9 | 54       | 0,5   |
|                                 | BC    | 83-115  | nd    | 5,6              | nd   | 8,8  | 50,0  | 24,70 | 4,70                     | 0,21 | 0,05  | 29,66 | 59   | 1,6 | 0,3 | 1,7 | 50       | 0,4   |
|                                 | AB    | 0-30    | 5,5   | 4,60             | 11,2 | 72,9 | 0,46  | 0,56  | 0,28                     | 0,23 | 0,23  | 1,53  | 2    | nd  | nd  | nd  | nd       | 14,6  |
| Dystric Haplustands (perfil 14) | AB    | 30-64   | 5,5   | 5,30             | 10,8 | 30,7 | 0,15  | 0,21  | 0,08                     | 0,23 | 0,08  | 0,23  | 0,67 | 2   | nd  | nd  | nd       | 3,5   |
|                                 | Bw1   | 64-85   | 5,8   | 5,30             | 10,2 | 21,1 | 0,20  | 0,07  | 0,10                     | 0,23 | 0,06  | 0,23  | 0,60 | 3   | nd  | nd  | nd       | 1,9   |
|                                 | 2 Bt1 | 85-150  | 5,5   | 4,70             | 10,0 | 21,3 | 0,60  | 0,09  | 0,09                     | 0,27 | 1,05  | 5     | nd   | nd  | nd  | nd  | 0,8      |       |
|                                 | A     | 0-21    | 5,3   | 4,20             | 10,5 | 34,7 | 1,70  | 1,38  | 1,15                     | 0,22 | 4,45  | 13    | nd   | nd  | nd  | nd  | nd       | 5,6   |
| Dystric Haplustands (perfil 15) | AB    | 21-52   | 5,0   | 4,10             | 10,7 | 34,7 | 0,15  | 1,17  | 0,99                     | 0,17 | 2,48  | 7     | nd   | nd  | nd  | nd  | nd       | 1,9   |
|                                 | Bw1   | 52-143  | 4,8   | 4,10             | 8,4  | 28,2 | 0,20  | 1,59  | 0,36                     | 0,26 | 2,41  | 9     | nd   | nd  | nd  | nd  | nd       | 1,0   |
|                                 | Bw2   | 143-200 | 5,2   | 4,20             | 9,9  | 27,8 | 0,20  | 1,34  | 0,10                     | 0,30 | 1,94  | 7     | nd   | nd  | nd  | nd  | nd       | 0,5   |
|                                 | Ap    | 0-35    | 5,5   | nd               | nd   | 70,1 | 15,14 | 2,63  | 2,07                     | 0,04 | 19,88 | 28    | 1,2  | 1,7 | 2,1 | 2,1 | 91       | 5,7   |
| Aquic Haplustands (perfil 34)   | A2    | 35-55   | 6,1   | nd               | nd   | 64,0 | 21,22 | 3,93  | 1,23                     | 0,04 | 26,42 | 41    | 0,9  | 1,7 | 1,7 | 87  | 3,8      |       |
|                                 | Bt1   | 55-90   | nd    | nd               | nd   | 51,9 | 19,53 | 5,16  | 0,72                     | 0,01 | 25,42 | 49    | 0,5  | 1,8 | 1,4 | 76  | 1,1      |       |
|                                 | Bg2   | 90-108  | nd    | nd               | nd   | 51,5 | 18,54 | 5,65  | 0,51                     | 0,02 | 24,72 | 48    | nd   | nd  | nd  | nd  | 1,0      |       |
|                                 | C     | 108-140 | nd    | nd               | nd   | nd   | nd    | nd    | nd                       | nd   | nd    | nd    | nd   | nd  | nd  | nd  | nd       |       |
| Dystric Haplustands (perfil 36) | Ap    | 0-21    | 5,3   | nd               | nd   | 58,9 | 1,92  | 0,98  | 0,26                     | 0,06 | 3,22  | 5     | 2,1  | 1,8 | 2,9 | 86  | 7,0      |       |
|                                 | Bw    | 21-80   | nd    | nd               | nd   | 48,5 | 0,87  | 0,37  | 0,16                     | 0,03 | 1,43  | 3     | 2,3  | 2,3 | 3,5 | 98  | 2,9      |       |
|                                 | BC    | 80-120  | nd    | nd               | nd   | 52,5 | 2,05  | 2,12  | 0,06                     | 0,04 | 4,27  | 8     | nd   | nd  | nd  | nd  | 0,9      |       |
|                                 | Ap    | 0-13    | 5,5   | nd               | nd   | 63,9 | 2,04  | 0,60  | 0,53                     | 0,01 | 3,18  | 5     | 3,5  | 1,0 | 4,0 | 93  | 7,3      |       |
| Dystric Haplustands (perfil 37) | AB    | 13-45   | 5,4   | nd               | nd   | 56,8 | 2,39  | 0,43  | 0,35                     | 0,14 | 3,31  | 6     | 3,5  | 1,0 | 4,0 | 98  | 3,6      |       |
|                                 | Bt1   | 45-140  | nd    | nd               | nd   | 41,7 | 12,48 | 4,91  | 0,32                     | 0,01 | 17,72 | 43    | 0,5  | 0,4 | 0,7 | 70  | 0,8      |       |
|                                 | Ap    | 0-24    | 4,8   | nd               | nd   | 53,5 | 1,26  | 0,23  | 0,34                     | 0,01 | 1,84  | 3     | 1,2  | 1,8 | 2,1 | 94  | 7,1      |       |
|                                 | Bw1   | 24-70   | nd    | nd               | nd   | 28,4 | 0,88  | 0,19  | 0,18                     | 0,01 | 1,26  | 4     | 1,0  | 1,5 | 1,8 | 88  | 1,6      |       |
| Dystrusteps (perfil 51)         | BC    | 70-108  | nd    | nd               | nd   | 22,8 | 0,64  | 0,19  | 0,06                     | 0,01 | 0,90  | 4     | nd   | nd  | nd  | nd  | 0,6      |       |
|                                 | C     | 108-150 | nd    | nd               | nd   | 21,5 | 0,45  | 0,06  | 0,08                     | 0,01 | 0,60  | 3     | nd   | nd  | nd  | nd  | 0,4      |       |
|                                 | Ap    | 0-15    | 5,30  | nd               | nd   | 54,7 | 4,04  | 1,03  | 0,21                     | 0,04 | 5,32  | 10    | 1,7  | 1,0 | 2,2 | 89  | 8,2      |       |
|                                 | AB    | 15-35   | 5,20  | nd               | nd   | 35,3 | 0,39  | 0,25  | 0,08                     | 0,01 | 0,73  | 2     | 1,6  | 1,0 | 2,0 | 92  | 4,2      |       |
| Dystric Haplustands (Perfil 52) | Bw1   | 35-97   | nd    | nd               | nd   | 17,1 | 0,35  | 0,14  | 0,17                     | 0,01 | 0,67  | 4     | 0,9  | 1,1 | 1,4 | nd  | 1,0      |       |
|                                 | 2Bt   | 97-120  | nd    | nd               | nd   | 11,7 | 0,86  | 0,12  | 0,37                     | 0,01 | 1,36  | 12    | nd   | nd  | nd  | nd  | 0,3      |       |

Fa=franco arenoso; FA=franco arcillo arenoso; A=arcilloso; Aa=arcillo arenoso; nd=no determinado.



unidad. El valor de pH en NaF osciló entre 8,2 y 11,2, donde disminuye con la profundidad en los Dystric Haplustands y Andic Dystrustepts. En los Humic Haplustands los valores de pH en agua son ligeramente superiores (5,0-5,6), pero inferiores en NaF (8,2-8,8) a los encontrados para la mayoría de Andisoles de Costa Rica (Alvarado et al. 2001). Aparentemente, la formación de complejos órgano-minerales, permite la inactivación del Al intercambiable en estos suelos, en los cuales por la misma razón, la retención de P es baja.

**8. Capacidad de Intercambio de cationes (CIC):** Indiferentemente del horizonte, los valores de CIC dependen del tipo y la cantidad de arcilla y del contenido de materia orgánica. En los suelos estudiados el promedio de la CIC es de  $30 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ; los valores en el horizonte A oscilan entre 34 y  $70 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  y en los horizontes B entre 21 y  $50 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (Cuadro 4). La CIC más baja se encontró a 100 cm de profundidad, en el horizonte enterrado 2 Bt

del perfil 52 ( $11 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ). En los Dystric Haplustands se determinó que cuando el contenido de carbón orgánico es bajo, los valores de CIC también son bajos y que conforme aumenta su porcentaje en el suelo, la CIC experimental también un aumento (Figura 3a). Los datos señalan que la CIC se afecta negativamente con el tipo y cantidad de arcilla presente (Figura 3b), lo que denota que los horizontes B tienen mayor contenido de arcilla y que su mineralogía es más cristalina y con menos CIC que la de los horizontes A, como resultado de discontinuidades litológicas encontradas. Los valores altos de CIC se asocian con arcillas poco cristalinas generadas a partir de mantos de cenizas volcánicas que cayeron en la parte alta de la cuenca, lo que genera Andisoles e Inceptisoles ándicos erosionados en el horizonte A. Los bajos valores de CIC corresponden con horizontes enterrados sobre los que se depositaron mantos de cenizas volcánicas hace cerca de 700 años.

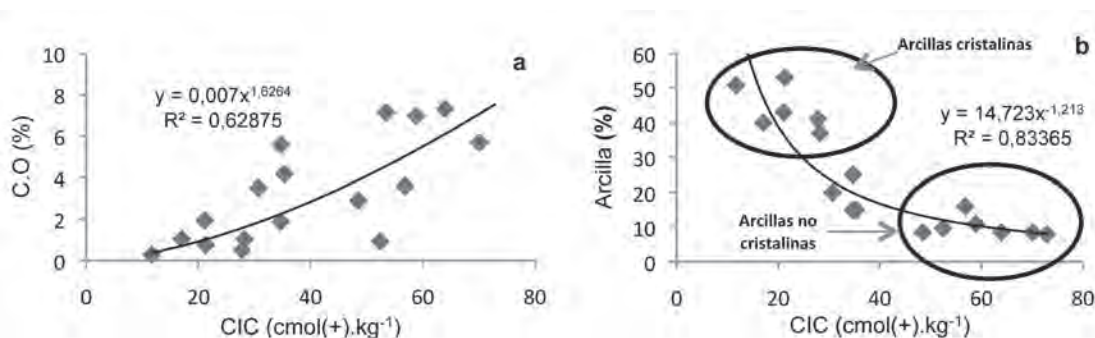


Fig. 3. Efecto del contenido de carbón orgánico (a) y de arcilla (b) sobre la CIC de los suelos derivados de cenizas volcánicas en la Cordillera de Talamanca.

**9. Cationes intercambiables:** Los Dystric Haplustands y Andic Dystrustepts son bajos en bases (Cuadro 4). La suma de bases oscila entre  $0,60$  y  $5,32 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  y el porcentaje de saturación de bases entre 2 y 13%. El perfil 37 presenta una discontinuidad cronológica (horizonte 2Bt), estrato en el que quedan atrapadas las bases lixiviadas de los horizontes superiores. Los Humic

Haplustands y Aquic Haplustands son considerados como inclusiones dentro de la unidad edáfica, por presentar contenidos importantes de Ca, Mg y K. La suma de bases en los Humic y Aquic Haplustands oscila entre  $20$  y  $36 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  y el porcentaje de saturación de bases de 28 a 62%, lo cual se puede asociar a su mayor capacidad de intercambio de cationes.

La Figura 4 muestra la distribución de los suelos formados a partir de cenizas volcánicas.



orden, se clasifican como Entisoles con epipedón úmbrico ó Inceptisoles con un horizonte cámbico. Los Entisoles son suelos con poca o no evidencia de horizontes pedogenéticos (Buol et al. 1989). El Cuadro 5 y Figura 5 presentan los suelos recientes, el símbolo, el área y clasificación taxonómica, mostrándose que son suelos superficiales a moderadamente profundos y algunos de ellos profundos. Los Typic “Andic” Ustifluvents

Cuadro 5. Clasificación de los suelos desarrollados sobre materiales recién depositados.

| Unidades cartográficas<br>(Símbolo) | Área |     | Taxonomía    |          |              |                            |
|-------------------------------------|------|-----|--------------|----------|--------------|----------------------------|
|                                     | ha   | %   | Orden        | Suborden | Gran Grupo   | Subgrupo                   |
| Asociación                          |      |     |              |          |              |                            |
| San Rafael-Santa María<br>(SR-SM)   | 302  | 1,2 | Entisoles    | Fluvents | Ustifluvents | Typic "Andic" Ustifluvents |
| Asociación Copey<br>(Co)            | 191  | 0,8 | Inceptisoles | Ustepts  | Haplustepts  | Fluventic Dystrustepts     |
| Tierras Misceláneas<br>(Mis)        | 248  | 1,0 | Entisoles    | Fluvents | Ustifluvents | Typic "Andic" Ustifluvents |
| Consociación Guzman<br>(Guz)        | 89   | 0,4 | Inceptisoles | Ustepts  | Dystrustepts | Humic Dystrustepts         |
| Consociación Bajo San Juan<br>(BSJ) | 88   | 0,4 | Entisoles    | Fluvents | Ustifluvents | Typic Ustifluvents         |
|                                     |      |     | Inceptisoles | Ustepts  | Haplustepts  | Fluventic Haplustepts      |
|                                     |      |     | Inceptisoles | Ustepts  | Haplustepts  | Fluventic Dystrustepts     |



Fig. 5. Suelos desarrollados sobre materiales recién depositados. a. Perfil de suelo en Santa María de Dota: Typic Ustifluvents. b. Perfil de suelo en Pedregoso: Typic Ustifluvents. c. Perfil 35 Copey de Dota: Typic "Andic" Ustifluvents.

son superficiales, de color negro y pardo oscuro sobre pardo a pardo amarillento y pueden tener cenizas volcánicas en superficie, provenientes de los procesos erosivos de la Cordillera de Talamanca; son de textura moderadamente gruesa (franco arenosa) y mediana (franca) con una alta concentración de fragmentos angulosos en la matriz. Los suelos clasificados como Fluventic Dystrustepts y Fluventic Haplustepts son negros y pardos, moderadamente profundos a profundos, texturas moderadamente finas (franco arcillosa, franco arcillo arenosa) con horizonte cámbico y decrecimiento irregular del carbón orgánico a

través del perfil. El suelo Humic Dystrustepts, es profundo, pardo, con horizonte cámbico y su textura es mediana (franca) a moderadamente fina y fina (franco arcillosa y arcillosa).

**2. Morfología:** Esta unidad de suelos recientes incluye los Typic "Andic" Ustifluvents como los suelos de menor desarrollo edáfico encontrados en la región; pueden tener variaciones irregulares en profundidad del contenido de carbón orgánico en el perfil y presentan secuencias morfológicas tipo Ap/Ab/C, A/C/Ab/2C y A/C y un horizonte C

que se subdivide en C1, C2, C3. Los Fluventic Dystrustepts, Fluventic Haplustepts y Humic Dystrustepts son suelos más desarrollados genéticamente, igualmente pueden tener variaciones irregulares de carbón orgánico en el perfil y su morfología es A/Bw/Ab/C, A/Bw/C y A/AB/Bw/BC/C. En general, el horizonte A

en esta unidad edáfica es delgado (13 cm) o alcanza grosores importantes (58 cm), de color negro a pardo debido al contenido de materia orgánica y a minerales básicos de color oscuro. En algunos casos, su coloración amarilla y rojiza indica óxidos de hierro en diferentes estados de hidratación (Cuadro 6).

Cuadro 6. Características morfológicas de los suelos desarrollados sobre materiales depositados recientemente.

| Clasificación taxonómica                  | Horizonte | Prof. (cm) | Color munsell            |            |
|-------------------------------------------|-----------|------------|--------------------------|------------|
| Typic "Andic" Ustifluvents (perfil 7)     | Ap        | 0-22       | Negro                    | 10 YR 2/1  |
|                                           | Ab        | 22-58      | Negro                    | 10 YR 1/1  |
|                                           | C1        | 58-71      | Pardo muy oscuro         | 10 YR 2/3  |
|                                           | C2        | 71-114     | Pardo amarillento        | 10 YR 5/4  |
|                                           | C3        | 114-150    | Variegado                |            |
| Typic "Andic" Ustifluvents (perfil 33)    | A         | 0-16       | Pardo oscuro             | 7,5 YR 3/2 |
|                                           | C1        | 16-30      | Pardo amarillento        | 10 YR 5/6  |
|                                           | Ab        | 30-52      | Pardo oscuro             | 7,5 YR 3/2 |
|                                           | 2C2       | 52-80      | Pardo amarillento        | 10 YR 5/8  |
| Typic "Andic" Ustifluvents (perfil 35)    | A         | 0-13       | Negro                    | 10 YR 1/1  |
|                                           | C1        | 13-38      | Negro                    | 10 YR 2/1  |
|                                           | C2        | 38-85      | Pardo amarillento *      | 10 YR 5/4  |
| Fluventic Dystrustepts (perfil 32)        | A         | 0-20       | Negro                    | 5 YR 2,5/1 |
|                                           | Bw        | 20-50      | Pardo oscuro             | 7,5 YR 3/3 |
|                                           | C1        | 50-94      | Pardo rojizo oscuro      | 5 YR 3/3   |
|                                           | C2        | 94-145     | Pardo rojizo oscuro      | 5 YR 3/3   |
| Andic "Fluventic" Dystrustepts (perfil 3) | Ap        | 0-23       | Negro                    | 10 YR 2/1  |
|                                           | Bw        | 23-51      | Pardo oscuro             | 10 YR 3/3  |
|                                           | Ab        | 51-67      | Pardo muy oscuro         | 10 YR 2/2  |
|                                           | C         | 67-150     | Pardo                    | 10 YR 4/3  |
| Fluventic Haplustepts (perfil 31)         | A         | 0-30       | Pardo oscuro             | 7,5 YR 3/2 |
|                                           | AB        | 30-53      | Pardo                    | 7,5 YR 5/3 |
|                                           | Bw1       | 53-107     | Pardo                    | 7,5 YR 4/4 |
|                                           | BC        | 107-142    | Pardo amarillento        | 10 YR 5/4  |
|                                           | C         | 142-xx     |                          |            |
| Humic Dystrustepts (perfil 28)            | A         | 0-33       | Pardo amarillento oscuro | 10 YR 3/4  |
|                                           | AB        | 33-65      | Pardo amarillento oscuro | 10 YR 4/4  |
|                                           | Bw1       | 65-100     | Pardo                    | 10 YR 4/3  |
|                                           | Bw2       | 100-135    | Pardo                    | 7,5 YR 4/4 |
|                                           | C         | 135-205    | Pardo oscuro (80%) **    | 7,5 YR 3/2 |

\*Pardo amarillento (10 YR 5/8 en 10%); \*\*Negro (10 YR 2/1 en 20%).

**3. Distribución del tamaño de partículas:** El Cuadro 7 muestra que en los Entisoles, las texturas son en gran medida moderadamente gruesas (franco arenoso), con una cantidad importante de arena que aumenta con la profundidad y contenidos de arcilla inferiores a 20%. Por su parte, en los Inceptisoles, la arcilla

aumenta significativamente y sus texturas son moderadamente finas a finas (franco arcillosa, franco arcillo arenosa y arcillosa) con porcentajes que alcanzan en los horizontes Bw de 21 a 52%. Los horizontes BC y C son de textura moderadamente fina (franco arcilloso, franco arcillo arenoso) y fina (arcillosa).

Cuadro 7. Características físicas de los suelos desarrollados sobre materiales depositados recientemente.

| Clasificación taxonómica                  | Horiz. | cm<br>Prof. | Textura, % |      |         | Clase textural | Mg.m <sup>-3</sup> |         | % Poros. |
|-------------------------------------------|--------|-------------|------------|------|---------|----------------|--------------------|---------|----------|
|                                           |        |             | Arena      | Limo | Arcilla |                | D. apar.           | D. real |          |
| Typic "Andic" Ustifluvents (perfil 7)     | Ap     | 0-22        | 52         | 33   | 15      | Fa             | 1,23               | 2,52    | 51       |
|                                           | Ab     | 22-58       | 43         | 37   | 21      | F              | 1,06               | 2,40    | 56       |
|                                           | C1     | 58-71       | 47         | 33   | 19      | F              | 1,37               | 2,59    | 47       |
|                                           | C2     | 71-114      | 65         | 24   | 11      | Fa             | 1,44               | 2,65    | 46       |
|                                           | C3     | 114-150     | 62         | 26   | 13      | Fa             | 1,43               | 2,56    | 44       |
| Typic "Andic" Ustifluvents (perfil 33)    | A      | 0-16        | 62         | 26   | 12      | Fa             | nd                 | 2,35    | nd       |
|                                           | C1     | 16-30       | 62         | 26   | 12      | Fa             | nd                 | 2,40    | nd       |
|                                           | Ab     | 30-52       | 64         | 26   | 10      | Fa             | nd                 | 2,30    | nd       |
|                                           | 2C2    | 52-80       | 76         | 16   | 8       | Fa             | nd                 | 2,15    | nd       |
| Typic "Andic" Ustifluvents (perfil 35)    | A      | 0-13        | 68         | 22   | 10      | Fa             | 0,52               | 2,08    | 75       |
|                                           | C1     | 13-38       | 61         | 30   | 10      | Fa             | nd                 | 2,36    | nd       |
|                                           | C2     | 38-85       | 73         | 15   | 12      | Fa             | nd                 | 2,65    | nd       |
| Fluventic Dystrustepts (perfil 32)        | A      | 0-20        | 34         | 32   | 34      | FA             | nd                 | 1,75    | nd       |
|                                           | Bw     | 20-50       | 28         | 26   | 46      | A              | nd                 | 2,38    | nd       |
|                                           | C1     | 50-94       | 38         | 22   | 40      | FA             | nd                 | 2,27    | nd       |
|                                           | C2     | 94-145      | 26         | 14   | 60      | A              | nd                 | 2,23    | nd       |
| Andic "Fluventic" Dystrustepts (perfil 3) | Ap     | 0-23        | 42         | 26   | 32      | FA             | 1,15               | 2,19    | 47       |
|                                           | Bw     | 23-51       | 54         | 24   | 22      | FAa            | 1,13               | 2,36    | 52       |
|                                           | Ab     | 51-67       | 48         | 21   | 31      | FAa            | 0,89               | 2,34    | 62       |
|                                           | C      | 67-150      | 47         | 26   | 27      | FAa            | 1,40               | 2,40    | 42       |
| Fluventic Haplustepts (perfil 31)         | A      | 0-30        | 47         | 36   | 17      | FA             | nd                 | 2,28    | nd       |
|                                           | AB     | 30-53       | 41         | 26   | 33      | FA             | nd                 | 2,09    | nd       |
|                                           | Bw1    | 53-107      | 31         | 32   | 37      | FA             | nd                 | 2,48    | nd       |
|                                           | BC     | 107-142     | 49         | 22   | 29      | FAa            | nd                 | 2,06    | nd       |
|                                           | C      | 142-xx      | 35         | 30   | 35      | FA             | nd                 | 2,19    | nd       |
| Humic Dystrustepts (perfil 28)            | A      | 0-33        | 44         | 39   | 17      | F              | nd                 | 1,74    | nd       |
|                                           | AB     | 33-65       | 31         | 31   | 38      | FA             | nd                 | 1,85    | nd       |
|                                           | Bw1    | 65-100      | 25         | 26   | 49      | A              | nd                 | 2,00    | nd       |
|                                           | Bw2    | 100-135     | 19         | 29   | 52      | A              | nd                 | 2,10    | nd       |
|                                           | C      | 135-205     | 19         | 26   | 55      | A              | nd                 | 1,70    | nd       |

Fa=franco arenosa; FAa=franco arcillo arenosa; FA=franco arcillosa; A=arcillosa; nd=no determinado.

**4. Densidad aparente (Da):** Algunos suelos en esta unidad tienen una Da ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ) que fluctúa entre 0,52 y 1,44 (Cuadro 7). Los valores más bajos se alcanzan en los horizontes superficiales y en los enterrados, lo que puede asociarse a presencia de materiales derivados de ceniza volcánica y a mayor contenido de materia orgánica. Valores más altos se hallaron en los horizontes C (1,37 y 1,44), relacionados con la composición mineral del material del cual se forman. En los perfiles 7 y 35 clasificados como

Typic "Andic" Ustifluvents, existe una relación logarítmica negativa ( $R^2=0,9732$ ) entre el % de carbón orgánico y la densidad aparente (Figura 6). Cuando se analizan en conjunto los perfiles 7, 35 (Typic "Andic" Ustifluvents) con el perfil 3 (Andic Fluventic Dystrustepts) se mantiene la relación logarítmica negativa ( $R^2=0,7856$ ). No se encontró relación entre la Da y el carbón orgánico del perfil 3 ( $R^2=0,1056$ ) lo que puede deberse al decrecimiento irregular del carbón orgánico en profundidad.

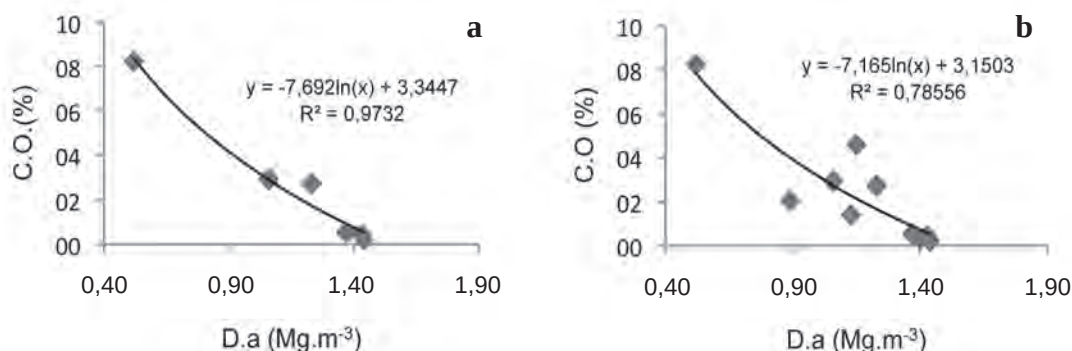


Fig. 6. Relación entre la Da y el contenido de carbón orgánico en (a) un Typic "Andic" Ustifluvents sin horizonte enterrado y (b) un Typic Andic Ustifluvents y Andic "Fluventic" Dystrustepts con horizonte enterrado.

**5. Densidad real o de partículas (Dp):** Los Entisoles e Inceptisoles en esta unidad son de origen aluvial y los primeros presentan una Dp ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ) promedio de 2,42, con un máximo de 2,65 y mínimo de 2,08. En los Inceptisoles, el promedio de la Dp es de 2,13  $\text{Mg.m}^{-3}$ , con un máximo de 2,48 y el mínimo de 1,70. La Dp varía ligeramente con la profundidad debido a diferentes eventos de sedimentación. Los valores más altos pueden estar relacionados con materiales parentales ricos en piroxenos y feldespatos y los más bajos con la deposición de materiales con características ándicas de mayor porosidad, a la materia orgánica y a la presencia de grupos órgano minerales formados entre los materiales ándicos y la materia orgánica (Cuadro 7).

**6. Porosidad:** En suelos desarrollados sobre materiales recientemente depositados, la

porosidad oscila entre 42 a 62%. Un Typic "Andic" Ustifluvents tiene una porosidad mínima de 44 y máxima de 55% debido al mayor contenido de arena que se encuentra en este, mientras que en el Fluventic Dystrustepts estos valores están en un rango más amplio de 42 a 62% por las texturas más finas. La porosidad en profundidad muestra ligeras variaciones debido a los diferentes eventos de deposición de materiales y la presencia de horizontes A enterrados (Cuadro 7).

**7. Reacción del suelo (pH en  $\text{H}_2\text{O}$ , KCL y NaF):** Aunque gran parte de los valores del pH en agua se encuentran entre 5,0 y 5,6, la reacción del suelo está en un rango de muy fuertemente ácido (pH 4,8) a medianamente ácido (pH 6,0). Esta variación se presentó en un Entisol aluvial de Santa María de Dota, con uso de café y pH de 4,8 en los 20 cm superiores, mientras que



un suelo de génesis similar de Copey de Dota, sembrado con mora (*Rubrus* spp.), el pH de 6,0 del horizonte A parece obedecer a prácticas de manejo. Los perfiles en los que se midió el pH en KCl, tienen de 1,7 a 0,8 unidades menos al encontrado en agua. El valor de pH en NaF osciló entre 8,4 y 10,9, considerando que los mayores a 10 indican estratos con propiedades ándicas, donde es factible en algunos suelos con un horizonte A enterrado (Cuadro 8).

**8. Capacidad de Intercambio de cationes (CIC):** La CIC obtenida por extracción con acetato de amonio ( $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N, pH 7), muestra valores variables atribuidos a contenidos diferenciales de carbón orgánico entre los horizontes superficiales y subsuelo, a la variabilidad litológica de los sedimentos que sirven de material parental y a la presencia de arcillas formadas por la alteración de cenizas volcánicas depositadas y erosionadas de la parte alta de la cuenca. Los Entisoles estudiados tienen una CIC promedio de  $27 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ . En el perfil 33 la CIC es baja ( $7,90$  a  $21 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ), pero en los perfiles 7 y 35 clasificados como Typic “Andic” Ustifluvents la CIC es más alta y osciló de  $27$  a  $74 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , con valores de entre  $36$  y  $74 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  en el horizonte A y de  $27$  a  $49 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  en los horizontes C. Los Inceptisoles de esta unidad edáfica tienen una CIC promedio de  $36 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , con un valor máximo de  $70 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  y mínimo de  $16 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ . En los Inceptisoles con CIC más baja, se tiene el perfil 32 (Fluventic Dystrustepts) ubicado cerca de Santa María de Dota ( $16$  a  $27 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y la CIC más alta ( $53$  a  $70 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ) se encontró en el perfil 3 (Andic Fluventic Dystrustepts) ubicado en Bajo San Juan.

**9. Cationes intercambiables:** Minerales ricos en Ca, Mg y K, son desprendidos y transportados desde las laderas ubicadas al Sur de la cuenca media alta del Pirrís y de algunos sectores al noreste de la misma hasta depositarse en los fondos de valle de Santa María y Copey. La mayoría de los suelos en esta unidad edáfica tienen buen contenido de bases. La deficiencia de

Ca y Mg de los Entisoles ocurre únicamente en algunos subsuelos, mientras que en la superficie el Ca es medio a alto ( $5$  a  $21 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y el Mg medio a óptimo ( $1,15$  a  $3,57 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ). El K en superficie es medio a alto ( $0,30$  a  $1,45 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y en el subsuelo medio a bajo ( $0,04$  a  $0,43 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Con excepción de algunos horizontes en los perfiles 33 y 35 con suma de bases baja ( $0,92$  a  $3,36 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ), los valores de saturación de bases en general se ubican entre  $10$  a  $26 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ . Porcentajes de saturación de bases bajos y menores a  $10\%$  se presentan en el subsuelo de los perfiles 33 y 35, pero en general, el rango de saturación de bases para estos suelos es de  $30$  a  $45\%$  (Cuadro 8). En los cationes cambiables, se obtuvo una relación potencial positiva entre el Ca y el Mg ( $R^2=0,9291$  y  $R^2=0,7749$ ) (Figura 7); esta relación probablemente indica que ambos cationes provienen de la misma fuente mineral. Los cationes intercambiables en los Inceptisoles son en general óptimos a altos en Ca ( $4,3$  a  $34 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ), medios a óptimos a en Mg ( $1,77$  a  $5,00 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y medios a altos en K ( $0,20$  a  $0,90 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ). En estos suelos la suma de bases varía de  $11$  a  $38 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  y se alcanzan porcentajes de saturación de bases de hasta  $90\%$  en el perfil 31 (Fluventic Haplustepts). Suma de bases y porcentaje de bases bajos ocurren en el subsuelo de algunos Inceptisoles (Cuadro 8).

**10. Porcentaje de Hierro (Fe) y Aluminio (Al) en Oxalato Ácido:** Los porcentajes de Fe y Al se usan como criterios taxonómicos para suelos con influencia de cenizas volcánicas. Los perfiles 3, 7 y 35, tienen valores de esta relación mayores que  $1\%$  en superficie, por lo que se considera que son suelos que han recibido aportes superficiales de cenizas (Cuadro 8).

**11. Porcentaje de retención de fósforo:** Existen correlaciones entre la capacidad de fijación del P con el contenido de materia orgánica y arcilla de los suelos con propiedades ándicas (Fassbender 1980). Se encontró valores de retención de P que oscilan entre  $81$  y  $84\%$  en suelos que presentan horizontes con capas ándicas; en



Cuadro 8. Características químicas de los suelos desarrollados sobre materiales depositados recientemente.

| Clasificación taxonómica                  | Horz. | cm Prof. | H <sub>2</sub> O | KCL pH | NaF  | cmol(+).kg <sup>-1</sup> |       |      |      |      | %     |      |     |     |           |
|-------------------------------------------|-------|----------|------------------|--------|------|--------------------------|-------|------|------|------|-------|------|-----|-----|-----------|
|                                           |       |          |                  |        |      | CIC                      | Ca    | Mg   | K    | Na   | ΣB.   | S.B. | Al  | Fe  | Al+1/2 Fe |
| Typic "Andic" Ustifluvents (perfil 7)     | Ap    | 0-22     | 4,8              | nd     | nd   | 36                       | 9,36  | 2,57 | 0,50 | 0,14 | 12,57 | 35   | 0,2 | 0,5 | 0,5       |
|                                           | Ab    | 22-58    | 5,4              | nd     | nd   | 54                       | 20,80 | 3,32 | 0,23 | 0,13 | 24,48 | 45   | 0,4 | 1,3 | 1,0       |
|                                           | C1    | 58-71    | 5,1              | nd     | nd   | 29                       | 10,20 | 1,46 | 0,11 | 0,13 | 11,90 | 41   | 0,2 | 0,7 | 0,5       |
|                                           | C2    | 71-114   | 5,4              | nd     | nd   | 30                       | 8,92  | 1,35 | 0,12 | 0,14 | 10,53 | 36   | 0,2 | 0,4 | 0,4       |
|                                           | C3    | 114-150  | 5,8              | nd     | nd   | 27                       | 9,50  | 2,64 | 0,04 | 0,19 | 12,37 | 45   | 0,1 | 0,6 | 0,4       |
| Typic "Andic" Ustifluvents (perfil 33)    | A     | 0-16     | 5,3              | 4,3    | 8,4  | 22                       | 5,00  | 1,15 | 0,30 | 0,18 | 6,63  | 30   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | C1    | 16-30    | 5,2              | 4,2    | 10,0 | 15                       | 0,80  | 0,17 | 0,10 | 0,18 | 1,25  | 8    | nd  | nd  | nd        |
|                                           | Ab    | 30-52    | 5,4              | 4,4    | 10,9 | 19                       | 0,42  | 0,10 | 0,13 | 0,27 | 0,92  | 5    | nd  | nd  | nd        |
|                                           | 2C2   | 52-80    | 5,6              | 4,3    | 9,2  | 8                        | 0,15  | 0,14 | 0,05 | 0,27 | 0,61  | 8    | nd  | nd  | nd        |
|                                           | A     | 0-13     | 6,0              | nd     | nd   | 74                       | 21,06 | 3,51 | 1,45 | 0,03 | 26,05 | 35   | 0,5 | 1,1 | 1,1       |
| Typic "Andic" Ustifluvents (perfil 35)    | C1    | 13-38    | nd               | nd     | nd   | 49                       | 2,30  | 0,58 | 0,43 | 0,05 | 3,36  | 7    | nd  | nd  | nd        |
|                                           | C2    | 38-85    | nd               | nd     | nd   | 29                       | 1,27  | 0,42 | 0,11 | 0,06 | 1,86  | 6    | nd  | nd  | nd        |
|                                           | A     | 0-20     | 5,6              | 4,3    | 9,4  | 16                       | 10,00 | 0,93 | 0,35 | 0,27 | 11,55 | 72   | nd  | nd  | nd        |
| Fluventic Dystrustepts (perfil 32)        | Bw    | 20-50    | 5,3              | 4,2    | 9,4  | 27                       | 10,00 | 0,79 | 0,20 | 0,18 | 11,17 | 41   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | C1    | 50-94    | 5,4              | 4,3    | 9,2  | 27                       | 7,50  | 1,77 | 0,33 | 0,18 | 9,78  | 36   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | C2    | 94-145   | 5,4              | 4,3    | 9,2  | 27                       | 5,00  | 2,34 | 0,40 | 0,18 | 7,92  | 29   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | Ap    | 0-23     | 5,2              | nd     | nd   | 69                       | 8,94  | 1,42 | 0,64 | 0,17 | 11,17 | 16   | 1,0 | 0,7 | 1,4       |
| Andic "Fluventic" Dystrustepts (perfil 3) | Bw    | 23-51    | 4,8              | nd     | nd   | 71                       | 4,30  | 1,17 | 0,32 | 0,21 | 6,00  | 8    | 0,9 | 0,6 | 1,2       |
|                                           | Ab    | 51-67    | 5,1              | nd     | nd   | 63                       | 5,50  | 1,45 | 0,33 | 0,21 | 7,49  | 12   | 0,9 | 0,9 | 1,3       |
|                                           | C     | 67-150   | 5,6              | nd     | nd   | 53                       | 34,90 | 3,11 | 0,07 | 0,33 | 38,41 | 72   | 0,7 | 0,3 | 0,8       |
|                                           | A     | 0-30     | 6,2              | 5,2    | 8,4  | 29                       | 22,50 | 3,80 | 0,60 | 0,23 | 27,13 | 93   | nd  | nd  | nd        |
| Fluventic Haplustepts (perfil 31)         | AB    | 30-53    | 5,8              | 4,8    | 8,7  | 31                       | 25,00 | 2,97 | 0,33 | 0,27 | 28,57 | 94   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | Bw1   | 53-107   | 5,5              | 4,2    | 8,8  | 26                       | 17,50 | 3,55 | 0,20 | 0,36 | 21,61 | 85   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | BC    | 107-142  | 5,5              | 3,8    | 8,6  | 25                       | 17,50 | 5,00 | 0,30 | 0,50 | 23,30 | 95   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | C     | 142-xx   | 5,6              | 3,9    | 8,8  | 23                       | 19,00 | 3,29 | 0,30 | 0,36 | 22,95 | 98   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | A     | 0-33     | 5,7              | 5,0    | 8,8  | 40                       | 15,00 | 4,92 | 0,87 | 0,17 | 20,96 | 53   | nd  | nd  | nd        |
| Humic Dystrustepts (perfil 28)            | AB    | 33-65    | 5,6              | 4,7    | 9,2  | 30                       | 10,00 | 3,90 | 0,79 | 0,17 | 14,86 | 50   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | Bw1   | 65-100   | 5,6              | 4,6    | 9,1  | 27                       | 10,00 | 4,03 | 0,64 | 0,17 | 14,84 | 55   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | Bw2   | 100-135  | 5,6              | 4,6    | 9,1  | 27                       | 7,50  | 4,43 | 0,90 | 0,17 | 13,00 | 47   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | C     | 135-205  | 5,4              | 4,6    | 8,8  | 31                       | 7,50  | 5,47 | 0,51 | 0,22 | 13,70 | 44   | nd  | nd  | nd        |
|                                           | A     | 0-33     | 5,7              | 5,0    | 8,8  | 40                       | 15,00 | 4,92 | 0,87 | 0,17 | 20,96 | 53   | nd  | nd  | nd        |

nd=no determinado; ΣB=Suma de bases; S.B.=Saturación de bases.

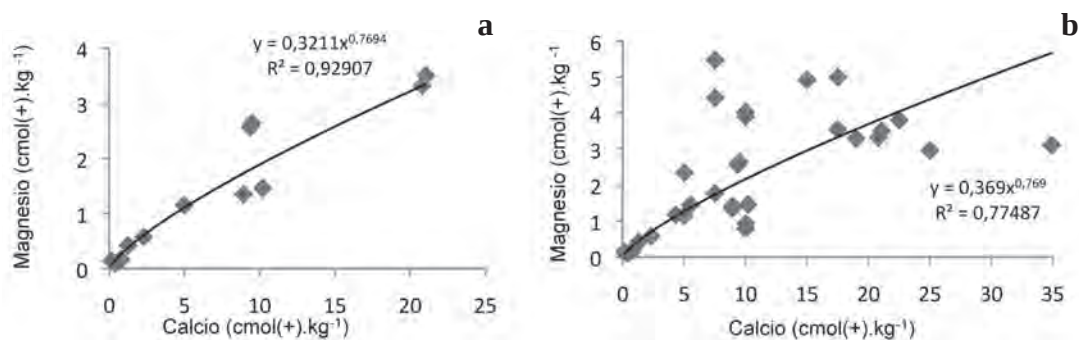


Fig. 7. Relación entre el calcio y el magnesio en suelos de origen aluvial en Santa María y Copey de Dota (a) Entisoles y (b) Entisoles e Inceptisoles.

los otros suelos de la unidad, los valores eran aún más bajos (Cuadro 8).

### Suelos desarrollados sobre materiales intrusivos ácidos

**1. Generalidades:** La delimitación y caracterización de esta unidad se basó en foto-interpretación y descripción de 2 perfiles de suelo. El material parental son rocas intrusivas ácidas de la Cordillera de Talamanca, con una edad geológica estimada de 8 a 11 Ma (Kusssmaul 1987) y una mineralogía primaria rica en cuarzo, plagioclasas sódicas y feldespatos potásicos (Drummond et al. 1995). Rocas intrusivas como la granodiorita, presenta contenidos importantes de cuarzo, plagioclasas sódicas, menor cantidad de feldespatos alcalinos y pequeñas cantidades de hornablenda y biotitas. Las monzodioritas presentan plagioclasas, poco feldespato potásico y menos de 5% de cuarzo. Las monzonitas tienen igual cantidad de feldespatos y plagioclasas

con poco contenido de hornablenda y ó piroxenos (Le Maitre 2002). Las rocas resultantes del metamorfismo de contacto tienen composición silíceas con contenido importante de óxidos de Fe y Mn. En esta unidad los suelos son superficiales a poco profundos, pardo amarillentos a amarillo parduzcos (Cuadro 9). Son de baja fertilidad y fuertemente ácidos, como lo indican los valores de pH, Al intercambiable y saturación de acidez (Cuadro 10). Las texturas son moderadamente finas (franco arcillo arenoso, franco arcilloso), finas (arcilloso) y moderadamente gruesa (arena franca), con fragmentos rocosos angulosos; pueden tener horizontes de alteración hidrotermal en el subsuelo, carbón mineral cerca de la superficie (producto de incendios) y ceniza volcánica. Su relieve varía de fuertemente ondulado a escarpado (30-75%) y su drenaje externo es rápido. A nivel de orden, clasifican como Entisoles con epipedón úmbrico y ócrico ó Inceptisoles, con un horizonte cámbico por lo general de un espesor delgado. Los Inceptisoles clasifican a nivel de

Cuadro 9. Clasificación de los suelos desarrollados sobre materiales intrusivos ácidos.

| Unidades cartográficas<br>(Símbolo) | Área |    | Taxonomía  |          |              |                                          |
|-------------------------------------|------|----|------------|----------|--------------|------------------------------------------|
|                                     | ha   | %  | Orden      | Suborden | Gran Grupo   | Subgrupo                                 |
| Asociación                          |      |    |            |          |              |                                          |
| Intrusivos Ácidos<br>(IN)           | 2190 | 12 | Entisol    | Orthents | Ustorthents  | Typic Ustorthents                        |
|                                     |      |    | Inceptisol | Ustepts  | Dystrustepts | Andic Dystrustepts<br>Typic Dystrustepts |

Cuadro 10. Características morfológicas de los suelos desarrollados sobre intrusivos ácidos.

| Clasificación taxonómica          | Horizonte | cm Prof. | Color munsell              |           |
|-----------------------------------|-----------|----------|----------------------------|-----------|
| Andic Dystrustepts<br>(perfil 48) | Ap        | 0-20     | Pardo amarillento oscuro   | 10 YR 3/4 |
|                                   | Bw        | 20-40    | Pardo amarillento          | 10 YR 5/8 |
|                                   | 2BC       | 40-70    | Amarillo parduzco (30%)*   | 10 YR 6/8 |
|                                   | Cr        | 70-120   | Pardo amarillento (45%) ** | 10 YR 5/8 |
| Typic Dystrustepts<br>(perfil 16) | A         | 0-40     | Rojo amarillento           | 5 YR 4/6  |
|                                   | Bw        | 40-115   | Rojo amarillento           | 5 YR 5/8  |
|                                   | C         | 115-210  | Amarillo rojizo            | 5 YR 6/8  |

\*Amarillo (10 YR 7/6 en 30%); pardo muy pálido (10 YR 8/1 en 20%); blanco (10 YR 8/1 en 15%); rojo (2,5 YR 4/8 en 5%).

\*\*Rojo oscuro (2,5 YR 4/8 en 45%), pardo muy pálido (10 YR 8/2 en 10%).

familia como Andic Dystrustepts, y como Typic Dystrustepts (Cuadro 9). Su principal uso son charrales y bosques intervenidos (helechos y *Quercus* sp).

**2. Morfología:** Los Andic Dystrustepts y Typic Dystrustepts son más desarrollados genéticamente, su morfología es A/Bw/C, A/Bw/2BC/Cr (Cuadro 10). En general, el horizonte A puede tener 25 cm de grosor, color pardo amarillento, friable, adherente, plástico a no plástico. El horizonte Bw tiene espesores de 20 a 75 cm; pardo amarillento (10 YR 5/8); con bloques de roca de hasta 20 cm; estructura de bloques subangulares medianos y finos, moderada, ligeramente firme, muy adherente y muy plástico. Suele presentar un horizonte 2 BC, 20 a 30 cm de grosor; color variegado: amarillo parduzco (10 YR 6/8), amarillo (10 YR 7/6), blanco (10 YR 8/1), pardo muy pálido

(10 YR 8/3), rojo (2,5 YR 4/8), con bloques de roca alterada color amarillo rojizo (7,5 YR 6/8); estructura de bloques subangulares medianos y finos, débil a masiva, ligeramente firme y muy adherente y muy plástico. El horizonte Cr presenta guijarros alterados que se cortan con un cuchillo y ocupan un 30 a 40% dentro de una matriz arcillosa; color variegado: pardo amarillento (10 YR 5/8), rojo oscuro (2,5 YR 4/8), pardo muy pálido (10 YR 8/2); franco arcilloso, masivo, ligeramente firme, adherente y plástico (Figura 8 a-b). Esta unidad incluye los Typic Ustorthents que son los suelos de menor desarrollo edáfico encontrados en la región, su secuencia morfológica es tipo A/R (Figura 8 c).

En la Figura 9 se observa la distribución en la subcuenca, de los suelos asociados a litologías intrusivas.

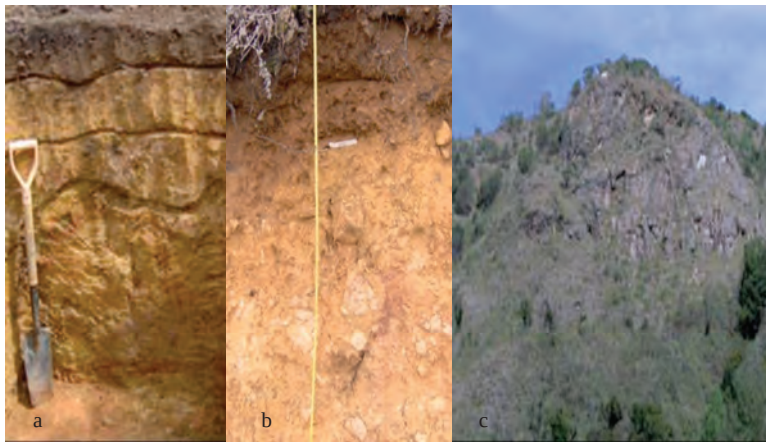


Fig. 8. Suelos desarrollados sobre materiales intrusivos ácidos. a. Perfil de suelo en Los Quemados de Dota: Andic Dystrustepts. b. Perfil de suelo en laderas al norte de Copey: Typic Dystrustepts. c. Cuerpo del intrusivo aflorando al norte de Santa María y Copey de Dota: Typic Ustorthents.

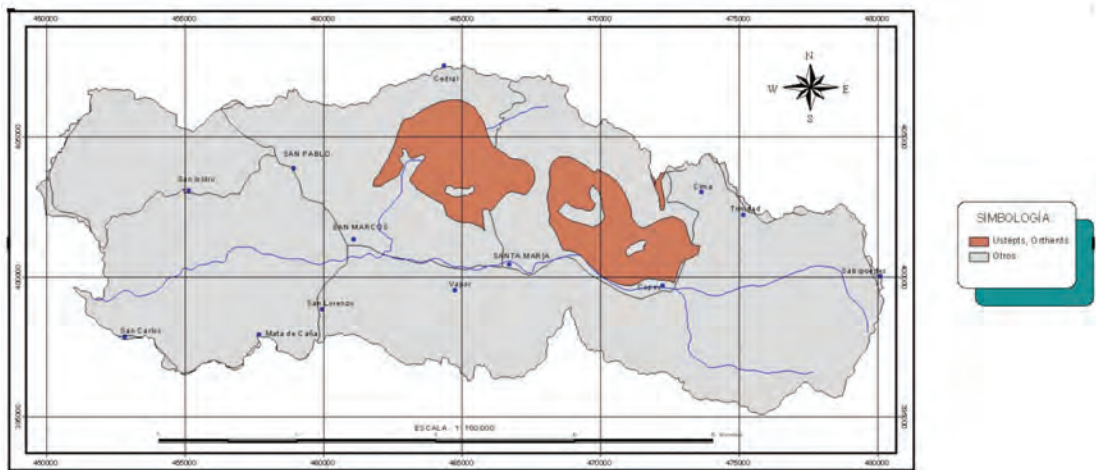


Fig. 9. Ubicación de suelos desarrollados a partir de materiales intrusivos.

**3. Distribución del tamaño de partículas:** Los Inceptisoles tienen por lo general, una cantidad importante de fragmentos rocosos angulosos, de algunos centímetros a metros de diámetro, tanto en la superficie como en todo el perfil de suelo. En el Cuadro 11 se observa que las texturas del horizonte A son moderadamente finas (franco arcillo arenosas y franco arcillosas) con porcentajes de arena ligeramente superiores que los de arcilla. Al aumentar la profundidad

del suelo aumenta levemente los contenidos de arcilla y las texturas son moderadamente finas a finas (franco arcillo arenosa a arcillosa), en los horizontes C puede aumentar nuevamente el porcentaje de arena para tener textura moderadamente gruesa (arena franca).

**4. Densidad aparente (Da):** En el perfil de suelos numero 48, la Da ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ) fluctúa entre 0,93 y 1,25. El valor más bajo se presentó en el

Cuadro 11. Características físicas de los suelos desarrollados sobre intrusivos ácidos.

| Clasificación taxonómica       | Horizonte | (cm)    | Textura (%) |       |       | Clase textural | Mg.m <sup>-3</sup> D. aparente | Mg.m <sup>-3</sup> D. real | % Porosidad |
|--------------------------------|-----------|---------|-------------|-------|-------|----------------|--------------------------------|----------------------------|-------------|
|                                |           |         | Profund     | Arena | Limo  | Arcilla        |                                |                            |             |
| Andic Dystrustepts (perfil 48) | Ap        | 0-20    | 50,50       | 20,30 | 29,20 | FAa            | 0,93                           | 2,56                       | 64,00       |
|                                | Bw        | 20-40   | 47,70       | 24,30 | 28,00 | FAa            | 1,00                           | 2,77                       | 64,00       |
|                                | 2BC       | 40-70   | 22,30       | 26,00 | 51,70 | A              | 1,25                           | 2,70                       | 54,00       |
|                                | Cr        | 70-120  | 39,00       | 29,80 | 30,40 | FA             | nd                             | nd                         | nd          |
| Typic Dystrustepts (perfil 16) | A         | 0-40    | 33,00       | 23,00 | 44,00 | A              | nd                             | 2,40                       | nd          |
|                                | Bw        | 40-115  | 33,00       | 25,00 | 42,00 | A              | nd                             | 2,70                       | nd          |
|                                | C         | 115-210 | 37,00       | 17,00 | 46,00 | A              | nd                             | 2,50                       | nd          |

horizonte superficial, lo que puede asociarse a mayor contenido de materia orgánica y a presencia de materiales derivados de ceniza volcánica. Valores más altos se hallaron en el subsuelo (1,00 y 1,25), con un mayor contenido de arcilla y menos materia orgánica (Cuadro 11).

**5. Densidad real o de partículas (Dp):** Se considera que los Inceptisoles en esta unidad son formados in situ y presentan una Dp (Mg.m<sup>-3</sup>) promedio de 2,61, con un máximo de 2,77 y mínimo de 2,40. Los valores más altos están relacionados con minerales de cuarzo, feldespatos y plagioclasas y los más bajos con la materia orgánica (Cuadro 11).

**6. Porosidad:** En el perfil 48, se encontró que la porosidad oscila entre 64 a 54% con ligeras variaciones en profundidad debido a los mayores contenidos de arcilla (Cuadro 11).

**7. Acidez del suelo (pH en H<sub>2</sub>O, aluminio intercambiable y % saturación de acidez):** Las características mineralógicas del material parental y su meteorización imprimen a estos suelos propiedades ácidas. Con base en las calicatas 48 y 53 (Cuadro 12), ubicadas en esta unidad edáfica los suelos son extremadamente ácidos, con un pH en agua muy fuertemente ácido (4,8-4,9); aluminio intercambiable muy alto (9,13 a

12,15 cmol(+).l<sup>-1</sup>) y una saturación de acidez muy alta (67 a 93%).

**8. Capacidad de Intercambio de cationes (CIC):** La CIC obtenida por extracción con acetato de amonio (NH<sub>4</sub>OAc 1N, pH 7), muestra valores que varían de mediana a baja en el perfil (16 a 41 cmol(+).kg<sup>-1</sup>), los valores más altos se encuentran en cerca de la superficie y se atribuyen a su mayor contenido de carbón orgánico como se observa en el horizonte Ap de la calicata 48 y perfil 16 (Cuadro 12).

**9. Cationes intercambiables:** Los suelos en esta unidad edáfica tienen bajo contenido de bases. La suma de bases es menor a 5 cmol(+).kg<sup>-1</sup> (0,7 a 4,6 cmol(+).kg<sup>-1</sup>) y saturación de bases menor a 13%, por lo que los suelos se consideran como de baja fertilidad. Los niveles de cationes en superficie son muy bajos en Ca (2,00 a 0,40 cmol(+).kg<sup>-1</sup>), medio bajo en Mg (1,04 a 0,4 cmol(+).kg<sup>-1</sup>), y bajos en K (0,16 a 0,21 cmol(+).kg<sup>-1</sup>). El fósforo es bajo en el horizonte superficial (3 mg.l<sup>-1</sup>). Esto se explica por presencia de cuarzo, plagioclasas sódicas y feldespatos potásicos principalmente como minerales primarios de las rocas intrusivas ácidas, de alto contenido en sílice y sobre las cuales se han desarrollado estos suelos.

Cuadro 12. Características químicas de suelos desarrollados sobre materiales intrusivos ácidos.

| Clasificación taxonómica       | Horz | cm Prof. | H <sub>2</sub> O | KCL pH | NaF | cmol(+),kg <sup>-1</sup> |      |      |      |      | %    |      |      |     |          |       |    |     |
|--------------------------------|------|----------|------------------|--------|-----|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|----------|-------|----|-----|
|                                |      |          |                  |        |     | ClC                      | Ca   | Mg   | K    | Na   | S.B  | St.B | Al   | Fe  | Al+1/2Fe | Ret P | CO |     |
| Andic Dystrustepts (perfil 48) | Ap   | 0-20     | 4,9              | nd     | nd  | nd                       | 41   | 2,58 | 1,87 | 0,16 | nd   | 4,61 | 11   | 1,1 | 0,7      | 1,4   | 95 | 3   |
|                                | Bw   | 20-40    | nd               | nd     | nd  | nd                       | 37   | 3,31 | 1,37 | 0,21 | nd   | 4,89 | 13   | 0,7 | 0,2      | 0,8   | 91 | 4   |
|                                | 2BC  | 40-70    | nd               | nd     | nd  | nd                       | 26   | 1,91 | 0,59 | 0,17 | nd   | 2,67 | 10   | 0,2 | nd       | nd    | nd | 2   |
|                                | Cr   | 70-120   | nd               | nd     | nd  | nd                       | 22   | 1,50 | 0,44 | 0,10 | nd   | 2,04 | 9    | 0,1 | nd       | nd    | nd | 2   |
| Typic Dystrustepts (perfil 16) | A    | 0-16     | 5,5              | 4,8    | 9,5 | 14                       | 0,40 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 1,20 | 8,57 | nd  | nd       | nd    | nd | 3   |
|                                | Bw   | 16-30    | 5,3              | 4,1    | 9,3 | 13                       | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,70 | 5,38 | nd  | nd       | nd    | nd | 0,7 |
|                                | C    | 52-80    | 5,2              | 4,0    | 9,2 | 11                       | 0,40 | 0,00 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,70 | 6,36 | nd  | nd       | nd    | nd | 0,7 |

nd=no determinado, S.B=Suma de bases., St. B=Sat. de bases.

### 10. Porcentaje de retención de fósforo:

Se encontró valores de retención de P que oscilan entre 91 y 95% en suelos que presentan horizontes con capas ándicas (Cuadro 12).

## CONCLUSIONES

El viento del noreste, que circula dentro de la tropósfera en elevaciones de 1750 a 4000 m durante diciembre a febrero, es el subfactor del clima encargado de distribuir las cenizas sobre la Cordillera de Talamanca, por lo que los materiales originarios vendrían principalmente de la Cordillera Volcánica Central (macizos Irazú y Turrialba).

Los suelos derivados de cenizas volcánicas encontrados sobre la parte alta de la cuenca son el producto de procesos de andolización e hidromorfismo, pérdida de sílice y bases, así como de la formación de alófana, lo que da validez a la deposición de cenizas sobre la Cordillera de Talamanca, reportadas por varios autores.

Los horizontes superficiales de las áreas cartografiadas como suelos derivados de cenizas volcánicas realizadas a 2485 m de altura de la Cordillera de Talamanca, sugieren que las cenizas volcánicas que forman Andisoles y horizontes superficiales de los subgrupos "Andic" para Ultisoles, Inceptisoles y Entisoles de la región, son de una edad aproximada a 590±95 años.

Los horizontes B arcillosos del área son más antiguos. Al incrementarse la profundidad del perfil de suelo se pasa de 8620±140 años (28-42 cm profundidad) a 20 000±400 años (183-187 cm de profundidad). La presencia de horizontes argílicos subyaciendo cenizas meteorizadas en la parte alta de la región estudiada, abre la posibilidad de una discontinuidad cronológica en el perfil de suelo.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas de la región estudiada son frágiles y vulnerables a erosionarse y deslizarse. En general estos suelos son ácidos y con baja fertilidad, con excepción de una área cercana al poblado de Cañón y de otra cerca del camino que comunica la Cima con



Copey de Dota donde se encontró un adecuado contenido de bases.

En general, los suelos desarrollados a partir de terrazas subrecientes son de poco desarrollo genético. Su principal factor formador es el material parental sobre el que ha intervenido el clima y el relieve, con procesos de remoción, desborde y deposición de materiales de las partes altas a los fondos de valle en un tiempo geológico reciente. La buena fertilidad de algunos suelos de las terrazas subrecientes es natural y se debe a la meteorización física que produce desprendimiento de partículas de litologías geológicas altas en bases, de las laderas al sur de Santa María y Copey de Dota, con su deposición en los fondos de valle.

Cerca de los materiales intrusivos de esta parte de la Cordillera de Talamanca, se formó una aureola de metamorfismo de contacto por el proceso de alteración hidrotermal de la roca preexistente y sobre los que se han desarrollado Inceptisoles. El material parental y el relieve han sido fundamentales como factores formadores de estos suelos. Sobre los intrusivos se encuentran Entisoles con muy escaso desarrollo genético (A/R). Los Inceptisoles se localizan en general, en relieves fuertemente ondulados, son pedregosos, poco profundos, ácidos y de coloraciones amarillentas. La granulometría del anillo alrededor de la roca intrusiva es fina (ICE 2002). Procesos de formación de suelos que han sucedido son la iluviación, lixiviación, lavado, formación de humus, descomposición, síntesis, erosión superficial.

## LITERATURA CITADA

- ALVARADO A., BERTSCH F., BORNEMISZA E., CABALCETA G., FORSYTHE W., HENRIQUEZ C., MATA R., MOLINA E., SALAS R. 2001. Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 111 p.
- ALVARADO A., GLOBER N., OBANDO O. 1982. Reconocimiento de suelos de Puriscal-Salitrales y Tabarcia-San Ignacio de Acosta, pp. 102-118. In: El componente arbóreo en Acosta y Puriscal, Costa Rica. ASCONA/CATIE/GTZ/MAG. Turrialba, Costa Rica.
- BERGOEING J. 2007. Geomorfología de Costa Rica. Librería Francesa. San José. 328 p.
- BLASER J., CAMACHO M. 1991. Estructura, composición y aspectos silviculturales de un bosque de robles (*Quercus* spp.) del piso montano en Costa Rica. Proyecto CATIE/COSUDE, Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales N°. 1. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- BUOL S.W., HOLE F.D., McCRAKEN R.J. 1989. Soil genesis and classification. 3<sup>rd</sup> ed. Iowa State University Press, Ames. USA. 446 p.
- CUBERO D.A. 2002. Estudio semidetallado de suelos y clasificación de tierras de la cuenca del río Savegre. MAG, Dpto. Evaluación de Suelos y Tierras. San José, Costa Rica. 61 p.
- CHINCHILLA M., ALVARADO A., MATA R. 2011a. Factores formadores y distribución de suelos en la subcuenca del río Pirrís, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 35(1): 33-57.
- CHINCHILLA M., MATA R., ALVARADO A. 2011b. Caracterización y clasificación de algunos ultisoles de la región de los Santos, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 35(1): 59-81.
- DENYER P., ARIAS O. 1991. Estratigrafía de la región central de Costa Rica. *América Central. Revista Geológica de América Central* 12:1-59.
- DRUMMONT M.K., BORDELON M., de BOER J.Z., DEFANT M.J., BELLON H., FEIGENSON M.D. 1995. Igneous petrogenesis and tectonic setting of plutonic and volcanic rocks of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica-Panamá, Central American Arc. *American Journal of Science* 295:875-919.
- DRUMMONT M.K., BORDELON M., de BOER J.Z., DEFANT M.J., BELLON H., FEIGENSON M.D., DRIESE S.G., ORVIS K.H., HORN S.P., LI Z., JENNINGS D.S. 2007. Paleosol evidence for Quaternary uplift and the climate and ecosystem changes in the Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 248:1-23.
- FASSBENDER H. 1980. Química de Suelos. IICA. San José, Costa Rica. 396 p.



- GÓMEZ O., CHINCHILLA M. 2005. Estudio taxonómico y mineralógico de los suelos de la cuenca del río Térraba. MAG/ICE. San José, Costa Rica. 233 p.
- HARRIS S.A. 1971a. Podsol development on volcanic ash deposits in the Talamanca range, Costa Rica, pp. 191-209. In: *Paleopedology: origin, nature and dating of paleosols*. Halsted Press. New York, USA.
- HARRIS S.A. 1971b. Quaternary vulcanicity in the Talamanca range of Costa Rica. *Canadian Geographer* 15(2):141-145.
- HOLDRIDGE L.R., GRENKE W.C., HATHEWAY W.H., LIANG T., TOSI J. 1971. Forest environments in tropical life zones: a pilot study. New York, USA. v. I, p. 1-397; v. II, pp. 398-747.
- HORN S. 1990. Timing of deglaciation in the Cordillera de Talamanca. *Climate Research* (1):81-83.
- HORN S.P., SANDFORD R.L. 1992. Holocene fires in Costa Rica. *Biotrópica* 24(3):354-361.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica), CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas). 2000. Caracterización de suelos cafetaleros en la región de los Santos. En prensa.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2002. Caracterización de suelos y cultivo de café en el cantón de Pérez Zeledón. Heredia, CR. 101 p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 1979. Regional Geology Boruca Project. San José, CR, Departamento de Geología. 7 p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2002. Proyecto Hidroeléctrico Pirrís: Sitio de Presa. San José, CR, UEN PSA. v.1. 213 p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2006. Informe de Hidrología. Comisión de manejo de sedimentos de Pirrís. San José, CR, UEN PSA. 8 p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2007. Estudio de amenazas naturales y antrópicas en la cuenca del río Pirrís. San José, CR, UEN PSA. 83 p.
- KAPPELLE M., van UFFELEN J.G. 2005. Los suelos de los páramos de Costa Rica, pp. 147-159. In: *Páramos de Costa Rica*. Instituto nacional de Biodiversidad. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.
- KUSSMAUL S. 1987. Petrología de las rocas intrusivas neógenas de Costa Rica. *Rev. Geol. Amer. Central* 7:83-111.
- LACHNIET M. 2001. Quaternary geology and paleoclimate of Costa Rica: Evidence from glaciations, stable isotopes of surface water, and speleothem. Tesis Ph.D in Earth Sciences. Michigan State University, U.S. 140 p.
- LACHNIET M., VAZQUEZ L. 2005. Last glacial maximum equilibrium lines altitudes in the circun Caribbean (México, Guatemala, Costa Rica, Colombia and Venezuela). *Quaternary International* 138-139:129-144.
- LANDAETA A. 1977. Caracterización de la fracción mineral y determinación del ZPC de una catena de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Cordillera de Talamanca. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 90 p.
- LANDAETA A., LÓPEZ C.A., ALVARADO A. 1978. Caracterización de la fracción mineral de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 2(2):117-129.
- Le MAITRE R.W 2002. *Igneous rocks: a classification and glossary of terms*. 2 ed. Cambridge Universty Press. 236 p.
- LÓPEZ H. 1978. Caracterización de la fracción mineral de cinco Andepts de los cantones de Corredores y Coto Brus. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 51 p.
- MATA R., RAMÍREZ J.E. 1999. Estudio de caracterización de suelos y su relación con el manejo del cultivo de café en la Provincia de Heredia. ICAFE. San José, Costa Rica. 92 p.
- MORA S. 1979. Estudio Geológico de una parte de la Región Sureste del Valle del General Provincia de Puntarenas Costa Rica. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 184 p.
- MORA S., VALVERDE R., BRENES G. 1985. Análisis geológico-geomorfológico de la Cuenca del río Pirrís (Parrita). Cartago, CR, ITCR. 44 p.
- ORVIS K., HORN S. 2000. Quaternary glaciers and climate on Cerro Chirripó, Costa Rica. *Quaternary Research* 54:24-37.
- OTÁROLA C.E., ALVARADO A. 1976. Caracterización y clasificación de algunos suelos del Cerro de la Muerte, Talamanca, Costa Rica. *Suelos Ecuatoriales* 8(1):397-400.

- PORTA J., LOPEZ-ACEVEDO M., ROQUERO C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. España. 807 p.
- SANCHO F., NÚÑEZ J. 1985. Estudio de suelos. Secciones I y II de la Cuenca del Río Parrita. San José, CR, UCR. 167 p.
- SOIL SURVEY STAFF 2006. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Tenth ed. Washington DC, USDA. 341 p.
- SOLÓRZANO J.A. 1997. Evaluación de enmiendas orgánicas en el cultivo de la mora silvestre cv Vino (*Rubus praecipuus*) Bailey, en la Cima de Dota, San José, Costa Rica. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 107 p.
- USDA-NRCS (National Soil Survey Center; Natural Resource Conservation Service; US Department of Agriculture). 2002. Field book for describing and sampling soils. Lincoln, Nebraska, USA. s.p.
- van UFFELEN J.G. 1993. A geological, geomorphological and soil transect study of the Chirripó massif and adjacent areas, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Maestría, Wageningen University, Wageningen. 72 p.
- WEYL R. 1957. Excursiones geológicas en Costa Rica: vestigios de los glaciares del Pleistoceno. Instituto Geográfico Nacional. San José, Costa Rica. 50 p.
- WIDMER Y. 1999. Soil characteristics and *Chusquea* bamboos in the *Quercus* forests of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica, pp. 63-83. In: Y. Widmer. The ecological role of bamboo (*Chusquea* spp.) in the old-growth *Quercus* forests of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica. ETH Nr. 13186. Zürich University. Chapter 3.
- WINOWIECKI I. 2008. Soil biochemical patterns in the Talamanca foothills, Costa Rica: local knowledge and implications for agroecosystems. Ph.D. Thesis. University of Idaho/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. USA. 172 p.
- WILLIAMSON G.B., SCHATS G.E., ALVARADO A., REDHEAD C.S., STERNER R.W. 1986. Effects of repeated fire on tropical paramo vegetation. Tropical Ecology 27(1):62-69.



## CAPACIDAD DE LAS TIERRAS PARA USO AGRÍCOLA EN LA SUBCUENCA MEDIA-ALTA DEL RÍO PIRRÍS, LOS SANTOS, COSTA RICA<sup>1</sup>

*Miguel Chinchilla<sup>2/\*</sup>, Alfredo Alvarado<sup>\*\*</sup>, Rafael Mata<sup>\*\*</sup>*

**Palabras clave:** Capacidad de uso, tierras agrícolas, Los Santos, Talamanca.

**Keywords:** Land capability, land use, Los Santos, Talamanca.

Recibido: 03/06/10

Aceptado: 22/03/11

### RESUMEN

El uso de la tierra en la subcuenca media-alta del río Pirrís, está diferenciado por la altitud sobre el nivel del mar. Entre los 1075 y 1700 m de elevación, la principal actividad agrícola es el cultivo del café, desarrollado sobre suelos arcillosos del orden de los Ultisoles con importantes manifestaciones de erosión. Por encima de los 1700 m y hasta los 3100 m dominan los Andisoles, Inceptisoles y Entisoles, utilizados con bosques, pastos, frutales de altura, algo de hortalizas, floricultura, piscicultura, hoteles de montaña, producción de carbón en trincheras y donde existe menor pérdida de suelo. En general, el área se caracteriza por las tierras montañosas con fuerte pendiente (30 a 60%) y unos pocos relieves suaves que ocupan valles profundos con terrazas recientes. Rasgos visibles permitieron estimar que en suelos agropecuarios hay un 60% de erosión moderada (laminar y en surcos) y un 18% de severa a muy severa, sin considerar una erosión lineal que se presenta por caminos mal diseñados, ausencia de cunetas, excavaciones para infraestructura y deslizamientos activos que provocan remociones de suelo en grandes proporciones. En cuanto a profundidad efectiva, los suelos profundos significan el 44% del

### ABSTRACT

**Land capability for agricultural use in the middle-upper Pirrís River watershed, Los Santos, Costa Rica.** Land capability for agricultural use in the middle-upper Pirrís River watershed is mainly determined by altitude belts. Between 1075 and 1700 m asl, coffee production is the main agricultural activity on clayey Ultisols with important erosion manifestations. From 1700 to 3100 m natural forest, highland fruit trees, flowers, fish ponds, pastures, some vegetables, mountain cabins, and charcoal production are the main activities on predominant Andisol, Inceptisol, and Entisol soil orders. The area consists of mountains of steep (30-60%) slopes, and a few low-relief deep valleys with recent alluvial terraces. Visible features on agricultural lands allowed to estimate that 60% of this land suffers moderate erosion (laminar and reel); 18% of this land suffers severe erosion, to very severe not considering linear erosion due to poorly-designed secondary roads, no road drainage, excavations for infrastructure, and active landslides that cause large scale soil losses. Forty four % of the soils are deep, while 38% are moderately deep, and 17% are shallow to superficial. Fertility characteristics observed on

1 Este trabajo forma parte de la tesis de maestría del primer autor.  
2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: mchinchillaa@ice.go.cr

\* Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica.  
\*\* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

área, mientras que un 38% son moderadamente profundos y el 17% son poco profundos a superficiales. Las calicatas localizadas en la parte media alta de la subcuenca señalan un 33% de suelos con fertilidad baja y 52% de fertilidad muy baja. Considerando los factores pendiente, erosión actual visible, fertilidad y profundidad de suelos, la capacidad de uso de las tierras agrícolas en el área estudiada, revela que 1% de las tierras son clase III; 2% clase V; 8% clase VIII; 26% clase VII y 63% de clases IV y VI.

## INTRODUCCIÓN

Los métodos de clasificación de uso de la tierra a nivel mundial se estiman entre 30 y 50, aunque los más usados son entre 12 y 15 (Sharma 1992). Entre los sistemas, unos son más simples que otros, en el sentido de que pueden utilizar solo 2 variables diferenciadoras de las clases, como propuso Plath (1967), al considerar la temperatura y la precipitación como parámetros diferenciadores, o Sheng (1971), al emplear solo la pendiente y profundidad del suelo. Sin embargo, otros sistemas consideran un mayor número de variables tanto edáficas como climáticas y de relieve (Beek 1978, Molina y Sharma 1993, INAB 1999). El sistema más utilizado internacionalmente es el desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Klingebiel y Montgomery 1961), en el cual las tierras se agrupan de acuerdo con las limitaciones relativas que determinan el rendimiento o la posibilidad de cultivar una especie en forma intensiva. Una variante de este sistema de clasificación de tierras se conoce como la metodología oficial de Costa Rica (MAG-MIRENEM 1995), sistema propuesto para cultivos de secano, sin contemplar los cultivos bajo riego ni aspectos relacionados con tierras de vocación urbanística. Posteriormente se incorporan Sistemas de Información Geográfica (SIG) que apoyan la toma de decisiones con captura, almacenamiento, análisis y modelación de datos (Saborío 1992, Stoorvogel 1996) y modelos

peats all over the region show that 33% the soils are of low fertility and 52% of very low fertility. Considering relief features, suffered erosion, soil fertility, and soil depth, land use capability for agricultural activities in the watershed are: 1% Class III, 2% Class V, 8% Class VIII, 26% Class VII, and 63% Classes IV and VI.

computacionales que interpretan información agroecológica mediante datos georeferenciados para la evaluación de tierras (Arroyo 1996, Ugalde 1996).

Para la toma de decisiones en cuanto al manejo de la subcuenca del río Pirrís, el ICE trabaja en integrar con SIG, la capacidad de uso de la tierra con otras bases de datos en suelos, geología, geomorfología, hidrogeología, red hídrica, uso actual de la tierra, zonas de vida, climatología, acuíferos, división político administrativa, información censal y red vial. Al considerar que la subcuenca del río Pirrís forma parte del Plan Nacional de Expansión Eléctrica que el ICE tiene para suplir la demanda eléctrica requerida por el país y es una región productora del café conocido como grano de oro, de cultivos de altura y de otras actividades económicas de Costa Rica, se ha establecido el objetivo general de: “Identificar la capacidad de uso las tierras en agricultura para la parte media-alta de la cuenca, específicamente aguas arriba del embalse y sitio de presa del P.H. Pirrís” y los objetivos específicos de: “Confecionar un mapa por capacidad de uso de las tierras” e “Identificar y evaluar las principales limitantes edáficas en el área aguas arriba de la presa del P.H. Pirrís”.

## Variables en el área de estudio

**1. Generalidades:** La cuenca número 26 río Parrita, al sur del Valle Central, conformada

por las subcuencas de los ríos Pirrís y Grande de Candelaria, es un escenario de actividad agropecuaria desarrollada en paisajes montañosos, que amerita su estudio, ordenamiento y sostenibilidad ambiental. El área del presente estudio se localiza en la subcuenca de río Pirrís, entre las coordenadas 9°36' y 9°43' latitud norte y 83°51' y 84°06' longitud oeste y es donde se ubica el Proyecto Hidroeléctrico Pirrís (P.H. Pirrís) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Aguas arriba de la presa del proyecto, la subcuenca tiene un área de 245 km<sup>2</sup>, un ancho de 10 km y un largo de 30 km (IGN 1962, 1963, 1989, 1994), es conocida como la zona de los Santos y cuenta con servicios básicos de agua potable, luz eléctrica, teléfono, escuelas, colegios, sedes universitarias y centros de atención médica. Sus accesos son la carretera Interamericana Sur con dirección de noroeste a sureste y en el interior existen carreteras asfaltadas, calles de lastre transitables todo el año y caminos privados muy deteriorados en áreas de fuerte pendiente. En ella se encuentran los cantones de Santa María de Dota, San Marcos de Tarrazú y San Pablo de León Cortés.

**2. Ocupación antrópica y cambios de uso del territorio:** Muestras de carbón a 110 cm de profundidad y contenidos en sedimentos del lacustre glacial, indican que las tierras altas de Costa Rica (Cerro Chirripó), han sido objeto de incendios durante los pasados 4000 años algunos por actividad humana, actividad atmosférica como rayos o ambos (Horn 1989). Los fragmentos de carbón se han datado con radiocarbono (<sup>14</sup>C) en edades entre 1110 y 2430 años, siendo ello indicio de incendios en el páramo durante el Holoceno (Horn y Sanford 1992). Similares dataciones de polen y carbón provenientes de la Cordillera de Talamanca en un bosque lluvioso montano de la región Chiriquí, Panamá evidencian presencia humana hace 2860 años (Behling 2000).

En el bosque montano bajo y premontano, la deforestación se inicia en el siglo XIX como resultado de la colonización que introduce el cultivo del café en 1850 (Kappelle y Juárez

1995). De acuerdo con Ureña (1992), los primeros cambios en el uso del suelo en Santa María ocurrieron a partir de 1864, aunque la colonización se inició algunos años antes en San Marcos, cuando se realizó la primera tala de bosque primario. Alrededor de 1888 se trajo la primera semilla de café a la región y a los pocos años después se recoge la primera cosecha, en 1929 se instaló el primer beneficio y en 1960 el actual beneficio de Coopedota. La deforestación reciente de las tierras con bosque montano alto en Costa Rica se inicia con la construcción de la carretera interamericana sur en 1941 y con la llegada de finqueros al área (van Omme et al. 1997); el cambio inicial de bosques a pastos, provocó la compactación de los suelos, lo que afectó seriamente su potencial productivo y la calidad del agua (Kappelle et al. 1995). Sin embargo, la degradación de los ecosistemas naturales del área ha disminuido en las últimas 3 décadas (Kappelle y Juárez 1995) con la creación de reservas forestales y la introducción del ecoturismo, actividades que han estimulado a la población local a la conservación del bosque (van Omme et al. 1997). De acuerdo con Pedroni (1991), el área localizada a lo largo de la carretera interamericana entre los poblados de El Empalme y Villa Mills, es de gran potencial para la producción de carbón con propósitos energéticos, pero con una regulación forestal y aprovechando exclusivamente los residuos de los bosques del género *Quercus* y el empleo de hornos de metal portátiles para reducir el impacto ambiental causado por el método tradicional de trincheras. Al estudiar el efecto de la zona de vida y la altitud sobre la mortalidad y adaptabilidad de varias especies forestales en la zona de estudio, Badilla et al. (2002), demuestran que el ciprés (*Cupressus lusitanica*) y el pino pátula (*Pinus patula*) tienen baja mortalidad y son muy estables, mientras que el roble (*Q. coopeyensis*) tiene una mejor probabilidad de subsistir en los pisos más altos. Estas consideraciones son importantes si se pretende mejorar el uso de la tierra con sistemas agroforestales.

**3. Ictiofauna:** Desde el 2006 hasta el presente (Barrantes y Solano 2007, 2009, 2010) se encontró que en la cuenca del río Pirrís, existen peces desde Copey hasta la desembocadura del río Pirrís en el Estero Boca Parrita. En Copey se encuentra la trucha que es una especie introducida. En la parte media de la cuenca se encuentran principalmente olominas (familia Poeciliidae) y chupapiedras (familia Gobiidae). En la parte baja de la cuenca (desde Casa de Máquinas hacia abajo), la diversidad es relativamente alta, encontrándose aproximadamente, 24 especies de agua dulce y 64 especies en total (incluyen especies algunas estuarinas). La mayor diversidad y abundancia se encuentra en los tributarios de la parte baja de la cuenca (quebrada Surubres y río Candelaria), albergan todas las especies de agua dulce que se encuentran en el cauce principal.

**4. Zonas de vida y uso de la tierra:** Con promedios de precipitación de 1953 a 2048 mm

anuales (ICE 2007) y diversas zonas de vida (Chinchilla et al. 2011a), la región exhibe un territorio dominado por el cultivo de café en la parte media y por bosques, pastos, frutales de altura, algo de desarrollo hortícola, floricultura, piscicultura, ecoturismo y producción de carbón en trincheras en la parte alta (Figura 1). Entre los 3100 a los 1075 m, la subcuenca muestra 3 regiones con diferentes uso de la tierra: 1) de los 3100 a 2500 m hay bosques, potreros con árboles dispersos y producción de carbón en trincheras; 2) entre los 2500 y 1700 m, el uso es más variado y está compuesto por potreros, frutales de altura (manzana, aguacate, ciruela, mora), pequeñas superficies con hortalizas, flores, algunas plantaciones de café y relictos de bosque fragmentado y 3) de los 1700 a los 1075 m, el café es el cultivo más frecuente que inicia en los alrededores de Santa María de Dota y se convierte en dominante para los cantones de Tarrazú y León Cortés.

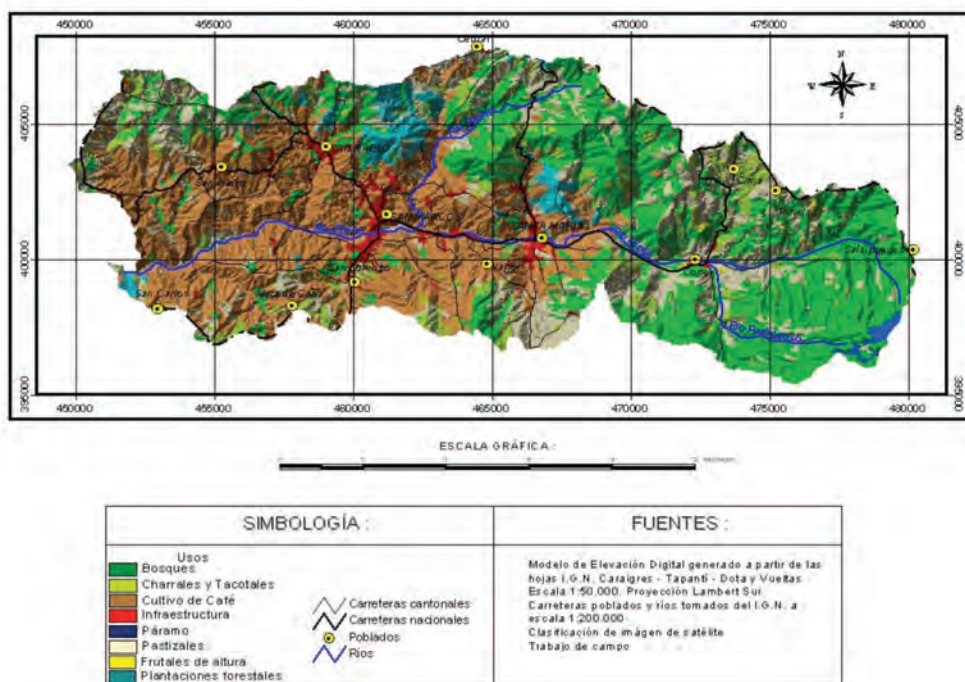


Fig. 1. Uso de la tierra en la subcuenca media alta del río Pirrís.



**5. Geología y suelos:** De geología heterogénea (Mora et al. 1985, Arias 2000), la subcuenca alcanza 3100 m en el límite superior y 1075 m en el sitio de presa del P.H Pirrís (IGN 1962, 1963, 1989, 1994), una geomorfología de origen tectónico, erosivo y de sedimentación coluvio aluvial (Mora et al 1985), tiene formas del terreno con predominio de laderas que obedecen a la actividad tectónica que provoco el levantamiento de la cordillera de Talamanca, a la actividad volcánica y los movimientos en masa ocurridos en la región. El mosaico edáfico es complejo y variado (Chinchilla et al. 2011a), en las partes más altas y húmedas hay suelos negros y pardos, algunos desarrollados a partir de cenizas volcánicas, frágiles, de baja fertilidad, ácidos, que alternan con suelos superficiales, amarillos y afloramientos rocosos. En las partes medias predominan los suelos arcillosos, meteorizados, de colores rojizos, de baja fertilidad y ácidos, que pueden encontrarse junto con otros suelos menos evolucionados y superficiales.

**6. Tierras.** Con los primeros trabajos en clasificación de suelos en Costa Rica a inicios del siglo XX, se da paso a la planificación técnica del uso de la tierra (Alvarado 1996), sin embargo, algunos autores (Vahrson 1991, Vásquez 1996, Bertsch 2006) consideran que en las últimas 5 décadas, el uso del territorio costarricense fue afectado por políticas económicas, que aunque permitieron el surgimiento de diversas actividades agrícolas, también condujeron en numerosas ocasiones, a un rompimiento de las fronteras agrícolas sin planificación, lo que causa desequilibrios ecológicos, pérdida de buenas tierras agropecuarias, conflictos de uso de la tierra, transporte de sedimentos que provocan inundaciones, dañan infraestructuras (represas hidroeléctricas, carreteras, sistemas de drenaje), arrastre de plaguicidas y nutrimentos a sistemas de drenajes y costeros, así el asentamiento de poblaciones en áreas vulnerables a deslizamientos e inundaciones (ICE 2007).

La ubicación de los suelos en paisajes montañosos sometidos a una alta precipitación, de texturas finas, drenajes internos lentos, caminos mal diseñados, falta de cunetas, inadecuado manejo de tierras y aguas y existencia de cultivos en áreas de fuerte pendiente, han favorecido la erosión y la pérdida de nutrientes, afectando la calidad ambiental y a la futura infraestructura hidroeléctrica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio de la subcuenca se utilizaron hojas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (Vueltas 1962, Tapantí 1963, Caraigres 1989, Dota 1994) y fotografías aéreas del Proyecto Carta (2003), entre las coordenadas 9°36' y 9°43' latitud N y 83°51' y 84°06' longitud O. Se realizó un levantamiento libre con barreno tipo holandés hasta 120 cm de profundidad y se abrieron calicatas. En estas se efectuó el muestreo por horizonte genético, se describió el color de suelo en húmedo (Munsell 2000), espesor, estructura, poros, raíces y se anotaron coordenadas, elevación, gradiente, material parental, fisiografía, zona de vida del sitio (USDA-NRCS 2002). En el laboratorio, una parte de las muestras se seco al aire y se tamizó en una criba de 2 mm. Se determinó el pH en H<sub>2</sub>O, la acidez intercambiable por extracción con cloruro de potasio, la materia orgánica con el método de Walkley y Black (1938), la capacidad de intercambio catiónico con NH<sub>4</sub>OAc 1N, pH 7, los cationes intercambiables (Ca, Mg, K, Na) por extracción con acetato de amonio y determinación espectrofotometría de absorción atómica (Henríquez et al. 1995). Además, la textura de suelo se determinó por el método de Bouyoucos (Forsythe 1985), la densidad aparente mediante muestra volumétrica (Forsythe 1985), la densidad de partículas con el método del Picnómetro (Blacke 1965 en Forsythe 1985), la retención de humedad con ollas de presión de Richards (1941) y la conductividad hidráulica con el método de cilindro de metal (Henríquez y Cabalceta 1999). Con lo anterior, se realizó la clasificación por capacidad de uso de la tierra (MAG-MIRENEM

1995) y la fertilidad del suelo de acuerdo con Bertsch (1998).

La clasificación de tierras utilizó la metodología para determinar capacidad de uso de la tierra (MAG-MIRENEM 1995) propuesta para cultivos de secano. Este sistema utiliza 8 clases y 4 subclases definidas por una letra minúscula donde indican limitaciones específicas de suelo (s); de erosión (e); de drenaje (d) y de clima (c). De igual manera, contempla unidades de manejo con números arábigos como subíndice, los que son una subdivisión de las subclases y que indican los factores específicos que limitan la utilización de las tierras en actividades agropecuarias y forestales. Las clases se identifican con números romanos, lo que aumenta las limitaciones o el riesgo de erosión del terreno al pasar de la clase I a la clase VIII. Las clases I, II y III permiten el desarrollo de cualquier actividad e incluyen la producción de cultivos anuales cuya selección depende de criterios socioeconómicos. El uso de las clases IV, V y VI se restringe al desarrollo de cultivos semipermanentes y permanentes, con posibilidad de sembrar cultivos anuales en forma ocasional solamente en la clase IV. La clase VII tiene limitaciones tan severas que solo se permite el manejo del bosque natural primario o secundario y en el caso de tierras denudadas debe procurarse el restablecimiento de la vegetación natural. La clase VIII la conforman terrenos que no permiten ninguna actividad productiva agrícola, pecuaria o forestal, ya que es adecuada únicamente para la protección del recurso natural (Figura 4).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Pisos altitudinales y uso de la tierra:** En las partes altas y medias de la cuenca, el uso de la tierra es muy dinámico, debido a que varía con el piso altitudinal. Entre los 3100 y 2500 m de altitud, los ecosistemas naturales de bosques siempre verdes son dominados por robledales: *Quercus copeyensis* (roble blanco), *Quercus costaricensis* (roble negro), *Quercus seemannii* (roble encino), hay especies del género *Chusquea* y ecosistemas culturales de *Pennisetum clandestinum* (kikuyo)

con árboles dispersos del género *Quercus*, hoteles de montaña y extracción de carbón en sistema de trincheras. De los 2500 y 1700 m se observan más los ecosistemas culturales con frutales de altura: *Persea americana* (aguacate Hass), *Prunus persica* (ciruelas), *Malus* sp (manzana), *Rubus* sp (mora silvestre), *Passiflora* sp (granadillas) y potreros de *P. clandestinum* (kikuyo); otros cultivos comunes son: *Solanum tuberosum* (papa), *Daucus carota* (zanahoria), *Apium graveolens* (apio), *Allium schoenoprasum* (cebollinos), junto con la *Rosa* spp (rosa) y *Oncorhynchus mykiss* (Trucha arco iris), plantaciones forestales de *Cupressus* sp (ciprés) y *Alnus acuminata* (jaúl) y relictos de bosques con *Quercus*, *Ocotea* spp (aguacatillo) y *Ulmus mexicana* (tirá), entre otros. En la parte media de la subcuenca (1700 y 1100 m) dominan los cafetales (*Coffea arabica*); cuando existe sombra en la plantación de café, es común el uso de los géneros *Musa* (plátano, guineo, banano) y *Erythrina* (poró). En el perímetro y en el interior de las parcelas también se hallan árboles frutales de *Citrus* (naranjas, limones), *Eriobotrya japonica* (nísperos) *Annona cherimolia* (anona), *Psidium guajava* (guayabo), *Spondias purpurea* (jocote) y *Persea americana* (aguacates); algunos árboles comunes son el *Cecropia obtusifolia* (guarumo), *Croton draco* (targuá) y *Ochroma pyramidale* (balsa).

En comparación con lo encontrado en el presente trabajo, varios autores (Kappelle y Juárez 1995, INBio 2001), identifican 3 pisos altitudinales: Premontano (500 a 1200 m), Montano Bajo (1200 a 2300 m) y Montano Alto (2300 a 3100 m). Los pisos mencionados por Kappelle y Juárez (1995) casi coinciden en límites para el piso alto y medio del presente estudio (3100-2500 m y 2500-1700 m, respectivamente), aunque difieren en el límite inferior del piso bajo de la cuenca media del río Pirrís (1700 y 1100 m) del presente estudio.

**Clasificación de los Suelos:** De acuerdo con Chinchilla et al. (2011a), en el área hay 4 grandes unidades edáficas: **1)** en partes altas del relieve, los poblados del Jardín, Quebradillas,

Cañón, La Cima, Trinidad presentan suelos derivados de cenizas volcánicas, frágiles, muy erodables, susceptibles a deslizarse, que pertenecen al orden de los Andisoles e Inceptisoles (Chinchilla et al. 2011 c). La textura de estos suelos es moderadamente gruesa en superficie a moderadamente fina y fina en el subsuelo, el drenaje externo es rápido por pendiente y el drenaje interno varía de rápido a lento en superficie y lento en el subsuelo, lo que favorece la escorrentía superficial con pérdida del horizonte A; **2)** en partes medias del relieve que incluyen en mucho a los cantones de Tarrazú y León Cortés, dominan los suelos desarrollados sobre superficies geológicas antiguas y terrazas antiguas, clasificados en Chinchilla et al. (2011b) dentro del orden de los Ultisoles. En general estos suelos son moderadamente profundos a profundos, texturas finas y muy finas, ácidos, fertilidad baja, plásticos y adherentes, con muy escasa retención de agua y baja disponibilidad de agua en épocas de sequía, además de conductividades hidráulicas lentas en el subsuelo que favorecen la pérdida de los horizontes A; **3)** en las partes medias-altas del relieve, cerca de lugar conocido como los Quemados y en las laderas al Norte de Copey de Dota, existen suelos del orden de los Inceptisoles y Entisoles (Chinchilla et al. 2011c). Los Inceptisoles son muy ácidos y de muy baja fertilidad desarrollados sobre materiales intrusivos ácidos, sus texturas son moderadamente finas, además de ser poco profundos a superficiales, con pedregosidad en superficie y a través del perfil y un drenaje externo rápido por pendiente que favorece la erosión y; **4)** en las partes bajas del relieve, valles y terrazas aluviales de los poblados de Santa María y Copey de Dota, se presentan los suelos derivados de materiales aluviales recientes de los fondos de valle, clasificados como Inceptisoles y Entisoles (Chinchilla et al. 2011c). Son suelos de acidez fuerte a ligera, texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas, baja capacidad de retención de agua por lo que pueden presentar una marcada necesidad de este en épocas de déficit hídrico.

Los suelos mencionados, también han sido descritos con anterioridad en la zona por varios autores (Harris 1971b, Holdridge et al. 1971, Landaeta et al. 1978, Otarola y Alvarado 1977, Sancho y Núñez 1985, Blazer y Camacho 1991, van UFFELEN 1991, ICAFE -CIA 2000).

**Fertilidad de los suelos:** De acuerdo con Chinchilla et al. (2011a), 52% de los suelos estudiados tienen suma de bases menor a  $5 \text{ cmol}(+).l^{-1}$  y saturación de acidez mayor a 50% que significa fertilidad muy baja, el 33% son de fertilidad baja con suma de bases menor a  $5 \text{ cmol}(+).l^{-1}$  y saturación de acidez menor a 50% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clases de fertilidad en la subcuenca media alta del río Pirrís.

| Clases de fertilidad | ha     | %   |
|----------------------|--------|-----|
| Alta                 | 1091   | 4   |
| Media                | 2598   | 11  |
| Baja                 | 8205   | 33  |
| Muy Baja             | 12 640 | 52  |
| Total                | 24 536 | 100 |

A nivel de cuenca se encontró que el pH en agua tiene un valor promedio de 5,17 (fuertemente ácido), con un valor máximo de 6,4 y mínimo 4,1. El 76% de las muestras del horizonte A son de pH menor a 5,5 y de este porcentaje, el 42% es menor a pH 5,0. Los horizontes B y C tienen 68% de pH menor a 5,5 y de este porcentaje, el 29% de las muestras son menores a 5,0. La acidez intercambiable promedio es  $2,47 \text{ cmol}(+).l^{-1}$  (alto), con un máximo de  $27,7 \text{ cmol}(+).l^{-1}$  suelo y mínimo de  $0,15 \text{ cmol}(+).l^{-1}$  suelo. El 67% de los horizontes A, B y C tienen acidez intercambiable mayor que  $1 \text{ cmol}(+).l^{-1}$ , considerada como muy alta. Solo un 11% de horizontes A y 14% de horizontes B y C tienen acidez inferior a  $0,3 \text{ cmol}(+).l^{-1}$ . El porcentaje de saturación de acidez promedio fue de 36% (normal), su máximo 95% y mínimo 0,76%. El 47% de las muestras de los horizontes A tienen un porcentaje de acidez intercambiable mayor a

30% y el 24% tienen una saturación de acidez menor a 10%.

El promedio de calcio extraíble es 5,90 cmol(+).l<sup>-1</sup> (medio), su máximo de 25 cmol(+).l<sup>-1</sup> y mínimo de 0,1 cmol(+).l<sup>-1</sup>. El 67% de las muestras del horizonte A son inferior a 4 cmol(+).l<sup>-1</sup>. Similar situación se observa en los horizontes B y C. Los valores óptimos se presentaron en 16% de las muestras de horizontes A y 11% de horizontes B y C. El magnesio extraíble promedio es 1,29 cmol (+).l<sup>-1</sup> (medio), el máximo 4,92 cmol(+).l<sup>-1</sup> y mínimo 0,01 cmol(+).l<sup>-1</sup>. Únicamente el 9% de los horizontes A y el 8% de los horizontes B y C tienen valores óptimos de magnesio. La deficiencia de Mg la presenta un 53% de las muestras de los horizontes A y 71% de los horizontes B y C. El potasio extraíble promedio es 0,33 cmol(+).l<sup>-1</sup> (medio), máximo 1,6 cmol(+).l<sup>-1</sup> y mínimo 0,07 cmol(+).l<sup>-1</sup>. En superficie, 42% de las muestras tuvieron valores medios. El subsuelo es más deficiente y alcanza solo el 11% de las muestras. El 86% de las muestras del horizonte A y el 93% de los horizontes B y C tienen valores que varían de medios a bajos. El 44% de las muestras del horizonte A es menor a 0,2 cmol(+).l<sup>-1</sup>, y el 82% de los horizontes B y C. La CICE promedio fue 9,72 cmol(+).l<sup>-1</sup> (medio), con un máximo de 29 cmol(+).l<sup>-1</sup> y mínimo 0,44 cmol(+).l<sup>-1</sup>. La CICE dominante varía de media a baja. Valores medios de CICE (5 a 10 cmol(+).l<sup>-1</sup>) ocurren en 38% de muestras superficiales y 39% del subsuelo. El 33% de horizontes A y el 26% del subsuelo tienen una CICE menor que 5 cmol(+).l<sup>-1</sup>.

El fósforo promedio es 15 mg.l<sup>-1</sup> (normal), con un máximo 101 mg.l<sup>-1</sup> y mínimo 1 mg.l<sup>-1</sup>. El 68% de las muestras superficiales son bajas (<12 mg.l<sup>-1</sup>) y solamente el 14% presenta valores óptimos (20 a 50 mg.l<sup>-1</sup>). El zinc promedio es de 3,10 mg.l<sup>-1</sup> (normal), con un máximo de 21 mg.l<sup>-1</sup> y mínimo 0,2 mg.l<sup>-1</sup>. El 57% de los suelos son bajos en superficie (<2 mg.l<sup>-1</sup>). Solo un 27% presentaron valores de entre 3 y 10 mg.l<sup>-1</sup> considerados como óptimos. El cobre tiene un valor promedio normal de 7,09 mg.l<sup>-1</sup> (normal), su valor máximo es 20,4 mg.l<sup>-1</sup> y mínimo 1 mg.l<sup>-1</sup>. El 95% de las muestras están entre 1 y 20 mg.l<sup>-1</sup> considerados como

óptimos. El hierro promedio es 268,2 mg.l<sup>-1</sup> (alto), con un máximo de 975 mg.l<sup>-1</sup> y mínimo 47 mg.l<sup>-1</sup>. Los valores mayores a 50 mg.l<sup>-1</sup> representan 98% de los horizontes A analizados. Solo un 2% son óptimos. El manganeso tiene un valor promedio de 42,45 mg.l<sup>-1</sup> (alto) un máximo de 620 mg.l<sup>-1</sup> y mínimo 1 mg.l<sup>-1</sup>. Un 52% de muestras superficiales son óptimos (10 a 50 mg.l<sup>-1</sup>). Valores menores a 5 mg.l<sup>-1</sup> ocurren en 30% de las muestras analizadas. En la Figura 2 se muestran algunos valores químicos de los suelos estudiados.

Las baja fertilidad encontrada, se debe a la presencia en el área de grandes unidades litológicas sedimentarias y volcánicas del Plioceno al Mioceno, a las terrazas de sedimentación coluvial levantadas por la tectónica de la Cordillera de Talamanca y a los materiales erosionados de intrusivos ácidos presentes en el área (Mora et al. 1985, Kussmaul 1987, Drummond et al. 1995, Arias 2000). De igual forma, las cenizas datadas en 590±95 años por Harris (1971) en las partes altas del relieve y depositadas sobre horizontes argílicos ácidos del Pleistoceno, generaron los Andisoles ácidos, con baja fertilidad encontrados en la región estudiada; en este caso los suelos se lavan con facilidad debido a su alta permeabilidad. Los suelos hallados en los fondos de valle de Santa María y Copey de Dota son de buena fertilidad, atribuida posiblemente al enriquecimiento natural por minerales arrastrados desde las laderas sur y noreste de esos poblados. Por su parte, la presencia de intrusivos ácidos del Plioceno, de mineralogía primaria rica en cuarzo, plagioclasas sódicas y feldespáticos potásicos (Kussmaul 1987, Drummond et al. 1995), se asocian con suelos de muy alta acidez y bajo contenido de bases. Algunos estudios de fertilidad en la región de Los Santos, muestran problemas de fertilidad en suelos cafetaleros, donde destaca la fuerte acidez y el bajo contenido de bases (ICAFE-CIA 2000, Chaves et al. 2008, Chaves et al. 2009) y concuerdan con lo encontrado en la parte media de la subcuenca por el presente estudio. Lo anterior sumado a la erosión en los cafetales, hace que estas tierras no sean sostenibles ni a mediano ni a largo plazo.

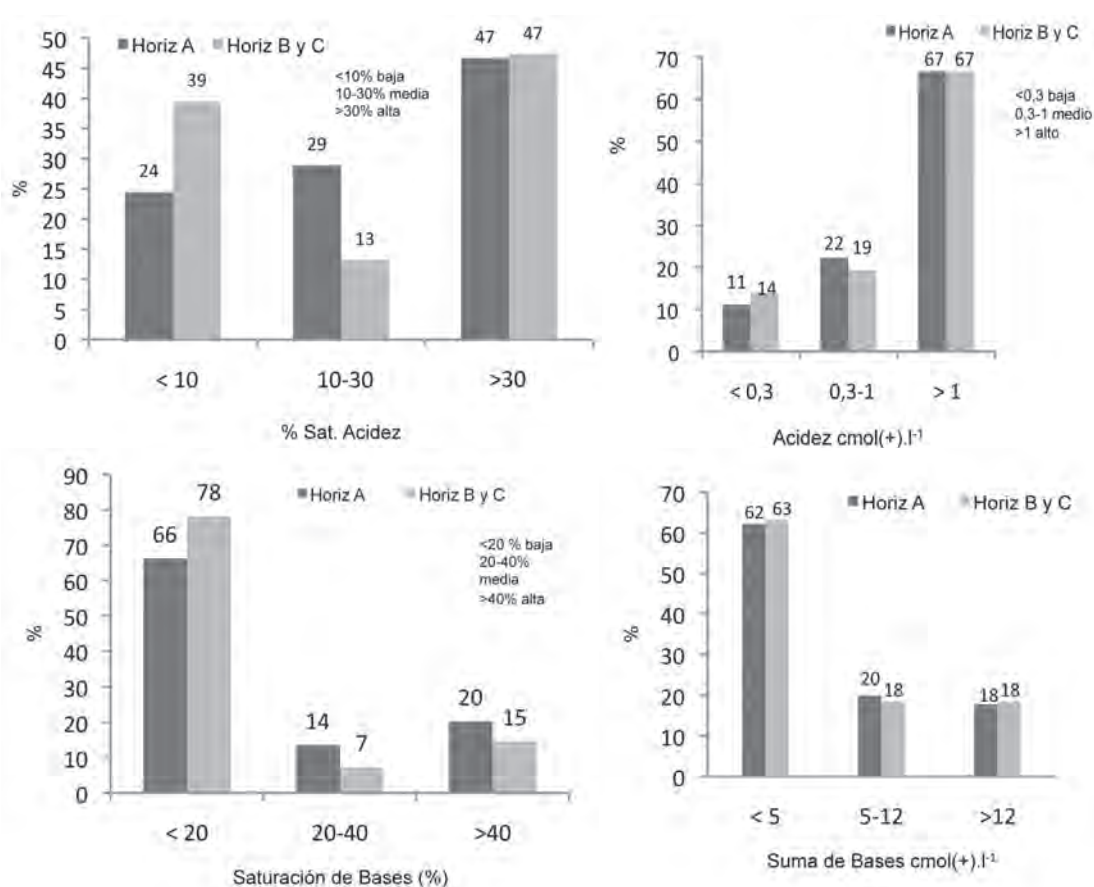


Fig. 2. Valores químicos en la subcuenca media alta del río Pirrís.

Como la fertilidad de los suelos es baja o muy baja en el 87% de los terrenos, se considera que el potencial de la tierra para la producción o diversificación de cultivos en la zona es muy restringida. Desde el punto de vista de conservación de suelos, esta es una limitante severa, ya que los habitantes de la región no tienen muchas posibilidades de diversificar su economía basada en agricultura. Desde el punto de vista de erosión, además la cobertura del suelo es mínima, lo que a su vez elevaría la escorrentía y por ende las tasas de erosión en las áreas cultivadas.

**Manejo y Erosión de los Suelos:** Sin cuantificar la pérdida de suelo y con daños

visibles como pérdida del horizonte A, presencia de surcos, acúmulo de sedimentos en cambios de pendiente, pedestales, raíces expuestas, se estimó que la erosión actual es moderada en 14 755 ha (60%), severa a muy severa en 4297 ha (18%) y ligera en 5485 ha (22%) (Cuadro 2).

En la parte media de la subcuenca se observa un mayor impacto de la erosión lineal por caminos mal diseñados, falta de superficies de rodamientos, excavaciones para obras civiles, incorrectos manejos de suelos y agua, así como por deslizamientos de diversa magnitud (Figura 3).

Dentro del área estudiada, algunos autores (ICE 2006, Solano 2010) cuantificaron la pérdida de suelo de tolerable a moderada. El ICE (2006)



Cuadro 2. Clases de erosión en la subcuenca media alta del río Pirrís.

| Clase de erosión    | ha     | %   |
|---------------------|--------|-----|
| Ligera              | 5485   | 22  |
| Moderada            | 14 755 | 60  |
| Severa y muy severa | 4297   | 18  |
| Total               | 24 537 | 100 |

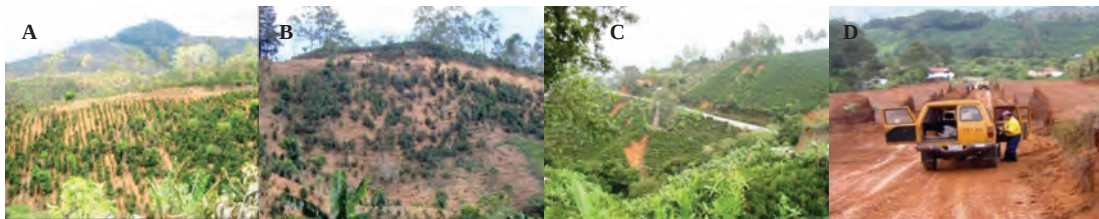


Fig. 3. Áreas en producción de sedimentos. A. La siembra a favor de pendiente favorece la escorrentía superficial y arrastre de sedimentos hasta cauces naturales. B. Laderas sin cobertura vegetal aumentan la pérdida del horizonte. C. Deslizamientos de diferente magnitud en áreas cafetaleras donde falta manejo de aguas. D. Construcción de caminos e infraestructura en suelos arcillosos, con eliminación de cobertura y escorrentía superficial.

estimó en el año 1996, una carga de sedimento en suspensión afluente al futuro embalse del P.H. Pirrís de  $7,26 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  y 10 años después de  $8,80 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ , mientras que en el año 2009, plantaciones de café con poca sombra y en pendiente de 30-60%, tuvieron una pérdida de suelo de  $10,9 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  (Solano 2010) con tendencia a la destrucción de los suelos y a una baja en los rendimientos de las tierras. Varios autores sugieren que para reducir la escorrentía superficial, la erosión y mejorar la retención de nutrientes en el suelo es necesario implementar el adecuado manejo de los suelos (Bermúdez 1980, Vahrson y Palacios 1993, Hernández et al. 1997, Sancho y Cervantes 1997, Beer et al. 1998, Arellano 2000, Da Matta y Rodríguez 2007). Con el fin de reducir las tasas de erosión en la parte media de la cuenca, donde dominan las plantaciones de café, se considera necesario implementar o mejorar las prácticas de cultivo recomendadas por el ICAFE (ICAFE 1998, Ramírez 2009).

**Pendientes:** La región tiene un predominio de tierras montañosas de fuerte pendiente, con áreas de relieve suave que ocupan valles y terrazas de pequeña extensión. Las pendientes onduladas, fuertemente onduladas y escarpadas representan el 96% del área ubicada aguas arriba del embalse en el P.H. Pirrís (Cuadro 3). Nótese que el 73% de las tierras tienen una pendiente superior al 30%, de las cuales el 10% son aún

Cuadro 3. Clases de pendientes en la subcuenca media alta del río Pirrís.

| Clases de pendiente | ha     | %   |
|---------------------|--------|-----|
| 0-3%                | 248    | 1   |
| 3-8%                | 624    | 2   |
| 8-15%               | 277    | 1   |
| 15-30%              | 5602   | 23  |
| 30-60%              | 15 390 | 63  |
| 60-75%              | 2396   | 10  |
| Total               | 24 537 | 100 |

más empinadas. Las fuertes pendientes en la región requieren obligatoriamente que existan prácticas de buen uso de la tierra para minimizar la erosión del suelo, por ejemplo la práctica del gabeteo. Es poco lo que se puede mejorar para corregir pendientes superiores al 30%, excepto la utilización de especies arbóreas que ayuden a mejorar la cobertura del suelo o la construcción de terrazas, que si bien es una labor costosa, es una de las prácticas más recomendables para evitar la erosión del suelo. Se debe utilizar el uso de sombra, siembra en contorno, canales, barreras vivas, así como en el manejo de malezas, no se debería abusar del uso de herbicidas y por el contrario alternar estos con chapias de forma que el suelo no permanezca desnudo.

**Textura de los Suelos:** Los resultados de textura de los horizontes superficiales indican que el 69% son moderadamente finos a finos, 28% medianos y solamente el 3% de los suelos tienen textura gruesa. En los horizontes subsuperficiales, son arcillosos en 96% de las muestras analizadas y solo un 2% tienen texturas medianas y 2% gruesas, según se observa en el (Cuadro 4). Como mencionan Henríquez y Cabalceta (1999) las texturas arcillosas, tienen tasas de infiltración bajas y por ende favorecen la escorrentía y la pérdida de suelos.

Cuadro 4. Clases de textura en la subcuenca media alta del río Pirrís.

| Textura                         | ha     | %   |
|---------------------------------|--------|-----|
| <b>Horizonte superficial</b>    |        |     |
| Gruesa                          | 762    | 3   |
| Media                           | 6926   | 28  |
| Moderadamente fina              | 12 636 | 52  |
| Fina                            | 4212   | 17  |
| Total                           | 24 537 | 100 |
| <b>Horizonte subsuperficial</b> |        |     |
| Gruesa                          | 482    | 2   |
| Media                           | 544    | 2   |
| Moderadamente fina              | 10 815 | 44  |
| Finas                           | 12 695 | 52  |
| Total                           | 24 537 | 100 |

**Profundidad Efectiva:** Un 44% de los suelos son profundos a muy profundos, el 38% son moderadamente profundo y el 18% poco profundos y superficiales (Cuadro 5).

Cuadro 5. Clases de profundidad efectiva en la subcuenca media alta del río Pirrís.

| Profundidad efectiva   | ha     | %   |
|------------------------|--------|-----|
| Muy profundo           | 6590   | 27  |
| Profundo               | 4043   | 17  |
| Moderadamente profundo | 9403   | 38  |
| Poco profundo          | 2034   | 8   |
| Superficial            | 2467   | 10  |
| Total                  | 24 537 | 100 |

**Pedregosidad:** El 62% de los suelos presentan de nula a ligera pedregosidad superficial mientras que el 28% son moderadamente pedregosos. Un 10% son pedregosos, muy pedregosos o fuertemente pedregosos (Cuadro 6). La mayoría de las áreas pedregosas en la zona se ubican en terrenos planos en los cuales se puede hacer agricultura intensiva de mora y pastos, por lo que estas tierras son muy apreciadas. Por el contrario, los afloramientos rocosos en terrenos empinados (principalmente sobre materiales Intrusivos) son perjudiciales y no tienen otro valor más que paisajístico.

Cuadro 6. Clases de pedregosidad en la subcuenca media alta del río Pirrís.

| Pedregosidad          | ha     | %   |
|-----------------------|--------|-----|
| Sin pedregosidad      | 4232   | 17  |
| Ligera                | 11 098 | 45  |
| Moderada              | 6952   | 28  |
| Pedregoso             | 106    | 1   |
| Muy pedregoso         | 1418   | 6   |
| Fuertemente pedregoso | 730    | 3   |
| Total                 | 24 537 | 100 |

**Riesgo de Inundación:** El 95% de la subcuenca media alta no presenta riesgo de inundación y solamente el 5% muestra un riesgo de leve a moderado (Cuadro 7).



Cuadro 7. Riesgo de inundación en la subcuenca media alta del río Pirrís.

| Riesgo de inundación | ha     | %   |
|----------------------|--------|-----|
| Nulo                 | 23 702 | 97  |
| Leve                 | 586    | 2   |
| Moderado             | 248    | 1   |
| Total                | 24 537 | 100 |

**Uso de la Tierra:** El uso de la tierra está determinado por la elevación sobre el nivel del mar. Los ecosistemas culturales predominan debajo de los 2500 m, con plantaciones de café como el cultivo dominante hasta los 1700 m, además de potreros, frutales de altura, hortalizas, flores y piscicultura que se observan hasta los 2500 m aproximadamente. Por encima de los 2500 y hasta los 3100 m, la parte alta de la subcuenca muestra ecosistemas naturales de bosques siempre verdes con *Quercus* y *Chusqueas* y ecosistemas culturales compuestos por pastos y árboles dispersos, hoteles de montaña y extracción en trincheras de carbón principalmente. El uso actual de la tierra muestra una región con prolongada actividad agropecuaria (Cuadro 8).

Cuadro 8. Usos de la tierra en la subcuenca media alta del río Pirrís.

| Uso de la tierra      | ha     | %   |
|-----------------------|--------|-----|
| Bosque                | 7472   | 30  |
| Café                  | 8279   | 34  |
| Charrales y Tacotales | 1546   | 6   |
| Cultivos de altura    | 85     | 0,4 |
| Infraestructura       | 591    | 2   |
| Forestales            | 805    | 3   |
| Pastizales            | 5631   | 23  |
| Páramo                | 110    | 0,4 |
| Superficies con agua  | 8      | 0,1 |
| Tierras yermas        | 10     | 0,1 |
| Total                 | 24 537 | 100 |

**Capacidad de Uso:** En el Cuadro 9 y Figura 4, se presenta la información general sobre la capacidad de uso de la tierra de la región, donde se reconocieron 6 Clases de Uso: el 1% es de clase III o sea de vocación agrícola intensiva, el

Cuadro 9. Capacidad de uso de la tierra de la cuenca media-alta del río Pirrís.

| Clases de uso | ha     | %   |
|---------------|--------|-----|
| III           | 88     | 1   |
| IV            | 4763   | 19  |
| V             | 536    | 2   |
| VI            | 10 741 | 44  |
| VII           | 6498   | 26  |
| VIII          | 1910   | 8   |
| Total         | 24 537 | 100 |

2% es de clase V con vocación ganadera, el 32% tienen capacidad para uso forestal o conservación (clases VII-VIII) y el restante 63% tiene vocación para cultivos permanentes clases IV y VI. La Figura 5 muestra el mapa de capacidad de uso de las tierras, escala 1:50 000 con la delimitación de las clases de tierras encontradas. La pendiente, erosión sufrida, profundidad efectiva y fertilidad actual, fueron los parámetros más importantes al evaluar la capacidad de uso de la tierra del área estudiada. El presente trabajo estimó un 96% de las tierras con relieves de ondulados a fuertemente ondulados y escarpados; un 60% de erosión moderada (laminar y en surcos); el 56% de los suelos moderadamente profundos a superficiales y un 88% de fertilidad baja a muy baja.

Los factores que determinan las unidades de capacidad de uso varían de acuerdo con la clase de capacidad de uso en cuestión. Para la Clase III (terrazas bajas subrecientes en Bajo San Juan y Copey de Dota), se permite cultivos anuales y perennes con prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas; las principales limitantes son e12 s234 y su uso requiere cobertura, incorporación de materia orgánica, fertilización, enmiendas y manejo de aguas. La Clase IV (pendientes entre 15-30% en algunos sectores al norte de la cuenca, como los alrededores de Cedral, Jardín, La Cima, Quebradillas, Vara Blanca, San Pedro y partes centrales sobre depósitos coluviales de las terrazas antiguas en San Marcos y San Lorenzo de Tarrazú), permite cultivos semipermanentes, permanentes y sistemas agroforestales, con labranza mínima, cobertura de suelo, siembra en contorno, barreras vegetales,



Fig. 4. Ejemplos de tierras de clase III (A), IV (B), V (C), VI (D), VII (E) y VIII (F) en la subcuenca media-alta del río Pirris.

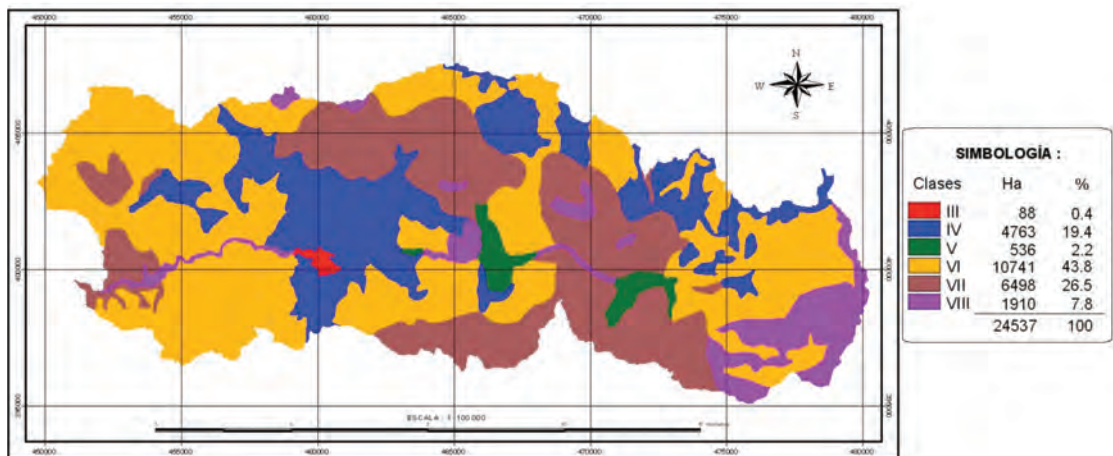


Fig. 5. Mapa de capacidad de uso de la tierra en la subcuenca media alta río Pirris.

canales de guardia, acequias de ladera, diseño de caminos, construcción de cunetas, control de cárcavas, diseño y cobertura vegetal de taludes. En cafetales incluir estratos vegetales con el asocio de café y otros cultivos como aguacate, cítricos, musáceas, poró. Los cultivos anuales se pueden desarrollar ocasionalmente con prácticas muy intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas. Existe áreas de moderada fertilidad y riesgos de erosión que clasifican como IV e12. Con un horizonte gris oscuro cerca de la superficie como IV e12 d1. De baja fertilidad son IV e12 s4, y si tienen pedregosidad IV e12 s34; cuando son de poca a moderada profundidad se clasificaron como IV e12 s1234.

**Clase V:** En Copey y Santa María de Dota se ubican terrazas subcrecientes de los ríos Pirrís y Pedregoso, con un relieve casi plano a ligeramente ondulado. Las limitantes en estas tierras son la presencia de grava de tamaño diverso en el subsuelo y en algunos casos pedregosidad superficial. Suelos de las terrazas fluviales del río Pedregoso, al norte de Copey, con pedregosidad superficial abundante limitan la preparación de la tierra y clasifican como V s13; cuando existe algún riesgo de inundación se clasificaron como V s13 d1. Tierras que no presentan pedregosidad superficial clasifican como V s1. Son aptos para pastos y actualmente algunos suelos se usan con cultivos semi permanentes y permanentes, observándose buenos resultados. En su utilización, requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas, enmiendas, fertilización, abonos verdes, apartos, ubicación de bebederos, pastos de corta, semiestabulación y sistemas de riego.

**Clase VI:** Dominan en laderas erosionadas. Suelos profundos con fuertes riesgos de erosión, arcillosos, de baja fertilidad, ácidos se clasificaron en Clase VI e12 s24. Suelos similares pero con áreas pedregosas como Clase VI e12 s234. Los suelos moderadamente profundos, texturas finas, en áreas con pedregosidad, baja fertilidad, ácidos, se clasificaron en Clase VI e12

s1234. Esta clase se observa en la parte media de la cuenca, en los alrededores de Higueronal, La Bandera, Guadalupe, La Pastora, Vara Blanca, San Carlos, Mata de Caña, Zapotal, Llano Bonito, San Isidro, Carrizales, San Pablo y en la parte alta, incluye áreas aledañas a Cedral, Quebradillas, Cañón, La Cima, Trinidad y también se observa en el camino que conduce al Cerro Vueltas.

El manejo de los suelos de esta clase debe poner énfasis en cobertura de suelo y caminos con superficie de rodamiento y cunetas, sin descartar la posibilidad de forestar con especies nativas o exóticas con potencial de acuerdo con el piso ecológico que corresponda (Badilla et al. 2002). Las principales limitaciones de uso en el área para esta clase son el relieve fuertemente ondulado, erosión sufrida, texturas finas a muy finas, baja fertilidad y contenidos altos de aluminio intercambiable. Los problemas de acidez deben ser estudiados mediante investigación y experimentación a nivel de finca. Los riesgos de erosión son muy fuertes por el drenaje externo rápido y el interno lento, siendo condiciones que benefician la escorrentía superficial, la remoción del horizonte A, con arrastre de sedimentos, pérdida de materia orgánica y de nutrientes. Su uso se limita a cultivos permanentes (incluye forestales) pero con prácticas intensivas de conservación de suelos y aguas. Los cultivos anuales deben descartarse. Entre las prácticas recomendadas se tiene: estudio de suelos y planificación agro conservacionista de fincas, manejo de aguas (canal guardia, acequias de ladera), labranza mínima, sistemas agroforestales (especies forestales tolerantes a la acidez), siembra en contorno, barreras vivas, barreras muertas, cobertura muerta (mulching), cultivos de cobertura, enmiendas, abonos verdes, fertilización, control y rehabilitación de deslizamientos, sistemas de riego, diseño de caminos y taludes, drenajes de caminos, protección de taludes, incorporación de materia orgánica. El cultivo del café en asocio con cultivos como el aguacate, cítricos, musáceas y poró son recomendados para promover la protección del suelo con varios estratos vegetales al impacto de

las lluvias, mejorar la infiltración y la fijación de nitrógeno atmosférico, debe además realizarse incorporarse materia orgánica y se recomienda eliminar el uso de herbicidas en esta clase y utilizar el control mecánico de las hierbas (machete, guadaña).

**Clase VII:** ocupan superficies con relieve de muy fuertemente ondulado a escarpado con pendientes cercanas a 60%, riesgos de erosión fuertes. En general son suelos de moderada a poca profundidad y drenaje excesivo por pendiente se clasificaron en Clase VII e12 S13 y con muy baja fertilidad y muy ácidos clasifican como Clase VII e12 s14. Suelos similares sin pedregosidad clasifican como VII e12 s14. Son tierras que tienen severas limitaciones por lo que solo permiten el manejo forestal en caso de cobertura boscosa con especies tolerantes a la acidez del suelo, en aquellos casos en que el uso sea diferente al bosque se procurará la restauración forestal por medio de la regeneración natural. Se les observa en laderas al sur de Higueronal, La Bandera, Copey. También suelos desarrollados por la meteorización de rocas intrusivas que se observan en el flanco norte de Copey y Santa María de Dota. En el cantón de Tarrazú, se presentan en algunas laderas norte (Cerro Trinidad) y en áreas vecinas al sitio de presa y Santa Rosa de León Cortés. En el caso de que se decida continuar con la producción de carbón cerca del cerro Vueltas, se recomienda cambiar la tecnología de producción de acuerdo con lo recomendado por Pedroni (1991).

**Clase VIII:** En esta clase existen suelos de relieves quebrados y planos. Los suelos que se ubican en relieves escarpados son de pendientes entre 60 y 75%, son poco profundos, con la roca afloran cerca de la superficie, pedregosos o de fragmentos rocosos a poca profundidad. En general presentan mala estructuración y alta fragilidad de suelo que los enmarca con tierras con elevado riesgo de erosión. Suelos poco profundos y pedregosos en los Intrusivos clasifican como VIII e12 S13. Con limitaciones de zonas de vida y neblina como VIII e12 c13. En relieve plano,

micro relieve irregular, con leve a severo riesgo de inundación se clasifican como VIII d2. El uso de este tipo de tierras es únicamente para la protección del recurso natural, por lo que las actividades como la creación de reservas forestales y la introducción del ecoturismo que mencionan (Kappelle y Juárez 1995, van Omme et al. 1997), son imprescindibles, si se desea revertir el proceso degradativo en estos ecosistemas. Algunas actividades de tipo agrícola asociadas al ecoturismo (por ejemplo, pesca de trucha, cultivo de hongos comestibles, etc.) pueden ayudar a mejorar la economía familiar de los pobladores de la zona, pero no se vislumbran como una alternativa a escala de desarrollo económico social de la región a corto o largo plazo.

**Impacto del Proyecto Hidroeléctrico del río Pirrís:** Dentro del marco natural discutido (pisos altitudinales, diferencias en tipos de suelos y unidades geológicas, usos de la tierra, capacidad de uso de la tierra, etc.), se introduce en la región de los Santos el P.H. Pirrís. Con esta obra, el ICE realiza un programa de educación ambiental en escuelas de la región sobre reforestación, manejo de desechos (25 000 kg de materiales reciclados), biodiversidad y amenazas naturales. Ha construido aceras (34 000 m); barandas (2356 m); senderos peatonales (7385 m) reductores de velocidad (25 unidades); mejora de caminos en 117 750 m. (Parrita 25 650, Aserrí 20 700, León Cortés 31 550, Tarrazú 39 850 m); construcción de puentes (6 viales y 1 peatonal); reforzamiento de puentes; estabilización de taludes (26 muros de gavión); manejo de aguas de escorrentía (29 000 m en cunetas); mejoramiento de superficies de rodamiento (12 750 m en asfalto, 4500 m en tratamiento superficial TS-3 y en concreto tipo RCC 22 000 m); obras de mantenimiento (superficie de rodamiento, cunetas, alcantarillas, bacheo) y señalamiento de vías (59 700 m). Otras acciones son la construcción y mejoramiento de escuelas, colegios, iglesias, acueductos, salones comunales, áreas deportivas, telesecundaria y mejoramiento de caminos a través de instituciones



estatales como el Consejo Nacional de Viabilidad (CONAVI) (Figura 6), entre otros.

El ICE ha estudiado las amenazas (naturales y antrópicas) en toda la subcuenca del río Pirrís y formó la Unidad de Manejo de la Cuenca del río Pirrís (UMCUPI) para implementar un Plan

de Manejo. En relación con la contratación de mano de obra, la fase constructiva del proyecto ha ocupado el 5% del total de la mano de obra del Cantón de Tarrazú, el 2 del cantón de Dota y el 5% de León Cortés para un total de 1398 empleos ocasionales en la región de los Santos.



Fig. 6. Ejemplos de antes y después del inicio de la construcción del P.H. Pirrís en el mejoramiento del camino a San Carlos de Tarrazú por el CONAVI. (Fotografía cortesía Ing. Luis Meléndez).

Las acciones mencionadas, tienden a disminuir los efectos negativos que este tipo de intervención humana causa sobre el ambiente y al que se oponen los grupos ambientalistas en todo el mundo. Aún es temprano para evaluar el impacto de la represa sobre los peces en el río Pirrís, los cambios en patrones migratorios de los habitantes de la zona, los cambios en el costo de la vida en la región, entre otros. En relación con los impactos que puedan ocurrir sobre la ictiofauna, a causa de la operación del proyecto podrían asociarse principalmente al acarreo de altas concentraciones de sedimentos durante la ejecución de desembalses. Sin embargo, se espera que en aras del desarrollo sostenible, las previsiones tomadas hasta el momento sean todas positivas.

## CONCLUSIONES

Los suelos son un componente importante de la subcuenca que se deben proteger para lograr la sostenibilidad ambiental en la misma.

En la zona de los Santos se ha generado un deterioro ambiental, asociado principalmente a prácticas de uso de la tierra, ausencia de técnicas para controlar erosión, pérdida de la cobertura

vegetal deforestación y características de las tierras. En el uso de las tierras agrícolas de la parte media alta de la subcuenca, la pendiente, profundidad efectiva del suelo, erosión y fertilidad fueron parámetros determinantes.

Las pendientes fuertemente onduladas son una de las limitantes de uso más preponderante de la subcuenca. Sumado a lo anterior, los suelos son en un 55% moderadamente profundos, poco profundos y superficiales.

La fertilidad de los suelos es baja a muy baja en el 85% de las muestras estudiadas. Esto indica la necesidad de emplear fertilizantes con un balance adecuado de nutrientes y la necesidad de incentivar el uso de enmiendas calcáreas para corregir problemas de acidez existentes conforme con los análisis del laboratorio de suelos.

En el área de estudio se presentan altas precipitaciones con alta intensidad de la lluvia, que sumado a las fuertes pendientes se favorecen las escorrentías superficiales, la falta de cobertura vegetal de suelo, texturas arcillosas, caminos mal diseñados, inadecuados manejos de agua en caminos y en fincas, son algunos disparadores para el transporte de sedimentos y de elementos

químicos presentes en el suelo hasta los cauces naturales existentes dentro de la Cuenca.

El grado de erosión moderada a severa y muy severa ha alcanzado un 78% de las tierras de la subcuenca de un área estudiada de 24 536,61 ha.

La Capacidad de Uso de la Tierra mostró que únicamente el 1% de las tierras son de vocación agrícola intensiva clases III; el 63% tiene vocación para cultivos permanentes clases IV y VI; el 26% de las tierras son de vocación forestal, y solo el 2% es de vocación ganadera.

A pesar de su susceptibilidad a la erosión, la compactación, la fertilidad baja, la deficiencia de humedad aprovechable durante época seca, el relieve quebrado y la profundidad radicular, algunos sectores de las partes altas tienen tierras que permiten la agricultura y la ganadería, siempre y cuando se realicen las prácticas de conservación de suelos adecuadas.

Los relieves existentes y la alta precipitación (1954 a 2233 mm anuales), sumados a texturas finas y muy finas, drenaje interno de suelo lento, han favorecido la escorrentía superficial, el arrastre de sedimentos y nutrientes que se pierden desde las fincas e implican pérdidas económicas para los productores de la región.

Algunos otros factores que contribuyen con la pérdida de suelo son los movimientos telúricos, las quemas, los caminos de finca mal diseñados, ausencia de superficie de rodamiento, inadecuados manejos de agua. A lo anterior se debe añadir la infraestructura que durante sus construcciones eliminan la cobertura vegetal.

Se estima que la mayor erosión de suelos ocurre en la parte media de la subcuenca, donde el café es predominante, por lo que su cultivo requiere de las prácticas de manejo en plantaciones cafetaleras recomendadas por el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE 1998, Ramírez 2009).

## RECOMENDACIONES

Al considerar que el café es el principal cultivo en la región media de la subcuenca, donde

se estima ocurre la mayor erosión, se presentan características de baja fertilidad y fuerte acidez, resulta de especial importancia el manejo que los caficultores realicen de sus plantaciones. De acuerdo con el ICAFE (1998) y Ramírez (2009) las prácticas más recomendables son: incentivar el uso de enmiendas calcáreas que ayuden a corregir la acidez del suelo y el empleo de fertilizantes con un balance adecuado de nutrientes. Por otra parte, las fuertes pendientes requieren obligatoriamente que existan prácticas de buen uso de la tierra, que minimicen la erosión del suelo en las fincas cafetaleras, tales como: uso de sombra, cobertura viva, cobertura con residuos vegetales o “mulch”, siembra en contorno, barreras vivas, canales, construcción de cajas colectoras de aguas de escorrentía, control de deslizamientos. Para el manejo de malezas, no se debe abusar del uso de herbicidas y por el contrario alternar estos con chapias de forma que el suelo no permanezca desnudo. Finalmente, en los suelos que lo permitan por su consistencia, la construcción de terrazas, que si bien es una labor costosa, es una de las prácticas más recomendables para evitar la erosión del suelo y lograr un mejor aprovechamiento de los fertilizantes.

Al considerar que la degradación de los suelos afecta la calidad ambiental, el rendimiento de los suelos y el arrastre de sedimentos en la subcuenca, los actores que intervienen en la misma deben enfocar la problemática dentro y fuera de las fincas, mediante alianzas estratégicas entre las municipalidades cooperativas e instituciones estatales e iniciar con un proyecto de “Control de la erosión en la zona cafetera de la región de los Santos”, considerada como el área de mayor impacto en cuanto al aporte de sedimentos dentro de la subcuenca.

Se debe promover la investigación sobre la contribución de la biomasa y la materia orgánica del suelo de los cafetales, en el secuestro de carbono. Si se reconociera la fijación de carbono a productores de café, podría incentivarse la conservación y control de la erosión de los suelos cafetaleros.

Al buscar favorecer la calidad ambiental, disminuir la erosión y la pérdida de nutrientes, se debe considerar una subvención que lleve a los agricultores a dejar de sembrar en áreas de fuerte pendiente, y eliminar el café de tierras clase VIII. Como opción para las tierras de fuerte pendiente ocupadas actualmente con cafetales, es incentivar las líneas de producción de café orgánico y se apoye la inserción de estas tierras cultivadas a los mercados externos. Se sugiere detener la expansión cafetalera en tierras clase superior a la VI. La Clase VII, con severas limitaciones para el uso agropecuario se propone explotarlos únicamente con manejo forestal y con regeneración natural. Las tierras Clase VIII, debe ser para preservar la flora y la fauna, áreas de recarga acuífera y belleza escénica.

En las zonas de mayor pendiente, se debe conservar la vegetación original, o si esta ha sido talada hay que emprender acciones de reforestación. Algunos ejemplos de especies forestales son enumeradas por Badilla et al. (2002).

Eliminar áreas de café ubicadas en clases VII y VIII, con alto grado de erosión, todo a cambio de un subsidio de parte del ICE que recompense por la disminución de los rendimientos de café, lo que asegura que se reducirán las pérdidas por erosión (y por ende de solvatación de la represa).

En los caminos existentes dentro y fuera de las fincas cafetaleras se necesitan superficies de rodamiento, construcción y mantenimiento de cunetas para evacuar las aguas de escorrentía, con amarre vegetativo y control de deslizamientos de los taludes. Mantener una "cerca viva" o franja natural de árboles y arbustos a lo largo de los caminos y carreteras. Que el ICE promueva un programa regional dentro de la subcuenca, para el mantenimiento de taludes y caminos vecinales, que son de los problemas de mayor impacto en cuanto a erosión de suelo se refiere. La obra de ingeniería eléctrica disminuirá la llegada de sedimentos a su embalse en el tanto se logre conservar el suelo en su sitio, aunque no debe descartarse que siempre habrá erosión de suelos por razones naturales.

Se deben proteger las riberas de ríos en la región con una franja de al menos 5 m de ancho a cada lado de los riachuelos pequeños y de 10 m a lo largo del río y realizar el control de cárcavas, deslizamientos y evitar que el terreno en la región este descubierto de vegetación.

En general, a nivel de subcuenca, las tierras agrícolas con pendientes mayores que 15% (Clase IV) deben tener prácticas agro conservacionistas y mecánicas con sistemas de explotación que combinen plantaciones forestales, agricultura permanente, establecimiento de varios estratos vegetativos en las parcelas, cobertura vegetal del suelo, manejo y conservación de aguas. Debe promoverse que en estas tierras exista la siembra en contorno, se elimine el uso de herbicidas y realizar la corta de hierbas manualmente, favoreciendo la cobertura muerta (mulching) con incorporación de materia orgánica al suelo.

Para las tierras onduladas de la Clase V, se recomienda su explotación sistemática a través de apartos para el pastoreo controlado, pastos mejorados, pastos de corta, semi estabulación, con el fin de prevenir el desperdicio cualitativo del pastizal. También se pueden utilizar cultivos semipermanentes (mora) y permanentes (café) dado que el lecho de grava puede ocurrir a 50 cm de profundidad.

En las tierras en relieve fuertemente ondulado con pendientes mayores que 30%, clasificadas en Clase VI, es posible la siembra de cultivo perenne (frutal y café) y producción forestal e implementar prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas. Si el uso es de cafetales, debe promoverse el café bajo sombra con leguminosas (poró), guineo, plátano, banano, aguacate y otros que integren un estrato superior con las matas de café e intercepten las lluvias antes de su impacto directo con el suelo, se suministre nutrientes mediante la fijación de nitrógeno, aumenten la incorporación de materia orgánica, contribuyan con la infiltración de agua a través del perfil de suelo, aumente la biodiversidad, el equilibrio ecológico para atenuar incidencias de plagas y enfermedades, esto con



el fin de recuperar el equilibrio natural, al diversificar el sistema.

Los promedios de las características químicas de los suelos de la subcuenca muestran suelos ácidos de acuerdo con lo siguiente: pH bajo, aluminio intercambiable alto, porcentaje de saturación de bases bajo, deficientes en calcio, magnesio, potasio, fósforo, zinc, lo que se traduce en fertilidad actual a baja (Bertsch 1998). Consecuentemente la fertilización sostenida y el encalado periódico en función de los análisis de un laboratorio de suelos, deben constituirse en prácticas corrientes de manejo aplicadas en forma controlada y adaptadas al tipo de uso de la tierra, incluyendo los pastizales. El manejo de la acidez debe investigarse mediante ensayos a nivel de finca. Promover la utilización de fertilizantes elaborados en las fincas tipo compost, bocashi, lombricompost, uso de microorganismos efectivos, etc., con ensayos en la finca para el cálculo de la dosis que se debe aplicar por planta.

## LITERATURA CITADA

- ALVARADO A. 1996. El papel del estudio de suelo en la agricultura costarricense, pp. 1-5. In: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales (10), Congreso Nacional de Fitopatología (3), Congreso Nacional de Suelos (2). ¿Puede la agricultura sostenible ser competitiva?: memoria. F. Bertsch, W. Badilla, E. Bornemisza (eds). San José, CR, EUNED/EUNA, v.3.
- ARELLANO R. 2000. Pérdida de suelo y nutrientes en agroecosistemas de café en la subcuenca del río Castán, Trujillo-Venezuela. Revista Forestal Venezolana 44(2):79-86.
- ARIAS O. 2000. Geología y petrología magmática del Bloque Herradura (Cretácico Superior – Eoceno, Costa Rica). Tesis Ph.D, Universidad de Lausanne, Suiza. 186 p.
- ARROYO L. 1996. Método de evaluación de tierras para cultivos anuales, por medio del sistema de información geográfica: estudio de caso (Distrito de Upala), pp. 29-37. In: Memoria Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales (10), Congreso Nacional de Fitopatología (3), Congreso Nacional de Suelos (2). ¿Puede la agricultura sostenible ser competitiva?, F. Bertsch, W. Badilla, E. Bornemisza (eds). San José, CR, EUNED/EUNA, v.3.
- BADILLA Y., MURILLO O., OBANDO G. 2002. Efecto de la zona de vida y la altitud en la mortalidad y adaptabilidad al primer año de especies forestales en la Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Agronomía Costarricense 26(1):7-15.
- BARRANTES R., SOLANO E. 2007. Monitoreo de variables biológicas para el manejo de sedimentos del PH Pirris. Centro de Servicio Gestión Ambiental, UEN PySA, ICE. Manuscrito. San José, C.R. 42 p.
- BARRANTES R., SOLANO E. 2009. Biodiversidad y uso de hábitat de especies acuáticas asociadas a las subcuencas del los ríos Pirris, Parrita y Estero Boca Parrita. Centro de Servicio Gestión Ambiental- Unidad de Manejo de Cuencas PH Pirris, UEN PySA, ICE. Manuscrito. San José, CR. 31 p.
- BARRANTES R., SOLANO E. 2010. Biodiversidad y uso de hábitat de especies acuáticas asociadas a las subcuencas del los ríos Pirris, Parrita y Estero Boca Parrita. Centro de Servicio Gestión Ambiental- Unidad de Manejo de Cuencas PH Pirris, UEN PySA, ICE. Manuscrito. San José, C.R. 22 p.
- BEEK K.J. 1978. Land evaluation for agricultural development. Some explorations of land use systems analysis with particular reference to Latin America. ILRI, Wageningen, The Netherlands Publ. 23. 333 p.
- BEER J., MUSCHLER R., KASS D., SOMARRIBA E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems 38:139-164.
- BEHLING H. 2000. A 2860-year high-resolution pollen and charcoal record from the Cordillera de Talamanca in Panama: a history of human and volcanic forest disturbance. The Holocene 10(3):87-393.
- BERMUDEZ M. (1980). Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poeppigiana*) y laurel (*Cordia alliodora*) en Turrialba, Costa Rica. Tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 74 p.
- BERTSCH F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- BERTSCH F. 2006. El recurso tierra en Costa Rica. Agronomía Costarricense 30(1):133-156.
- BLAKE G.R. 1965. Method of soil analysis. Agronomy Monograph, N° 9. pp. 371-377.

- BLASER J., CAMACHO M. 1991. Estructura, composición y aspectos silviculturales de un bosque de robles (*Quercus* spp.) del piso montano en Costa Rica. Proyecto CATIE/COSUDE, Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales N°. 1. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- BOLAÑOS R.A., WATSON V. 1993. Mapa ecológico de Costa Rica: según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge. San José, CR, Centro Científico Tropical. 1:200 000. Color. (San José CR-2CM-5).
- CHAVES V.M., UREÑA J.L., GUZMAN J.A., ALPÍZAR Y. 2008. Caracterización de la fertilidad de los suelos dedicados al cultivo de café en Costa Rica: Dota, León Cortés y Tarrazú. San Marcos de Tarrazú, CR. ICAFE. 45 p.
- CHAVES V.M., UREÑA J.L., GUZMÁN J.A., ALPÍZAR Y., NUNES A. 2009. Caracterización de la fertilidad de los suelos dedicados al cultivo de café en Costa Rica: II- Los Santos Norte, Aserrí, Acosta, Desamparados, Cartago, Guarco. Heredia, CR. ICAFE. 45 p.
- CHINCHILLA M., ALVARADO A., MATA R. 2011a. Factores formadores y distribución de suelos en la subcuenca del río Pirrís, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 35(1): 33-57.
- CHINCHILLA M., MATA R., ALVARADO A. 2011b. Caracterización y clasificación de algunos Ultisoles de la región de los Santos, Talamanca, Costa Rica, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 35(1): 59-81.
- CHINCHILLA M., MATA R., ALVARADO A. 2011c. Andisoles, Inceptisoles y Entisoles de la Subcuenca del río Pirrís, región de los Santos, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 35(1): 83-107.
- DaMATTA F., RODRÍGUEZ N. 2007. Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y eco fisiológica. *Agronomía Colombiana* 25(1):113-123.
- DRUMMONT M.K., BORDELON M., de BOER J.Z., DEFANT M.J., BELLON H., FEIGENSON M.D. 1995. Igneous petrogenesis and tectonic setting of plutonic and volcanic rocks of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica-Panamá, Central American Arc. *American Journal of Science* 295:875-919.
- FORSYTHE W. 1985. Física de suelos: manual de laboratorio. San José, CR, IICA. 212 p.
- HARRIS S.A. 1971. Quaternary vulcanicity in the Talamanca range of Costa Rica. *Canadian Geographer* 15(2):141-145.
- HENRÍQUEZ C., BERTSCH F., SALAS R. 1995. Fertilidad de suelo: Manual de laboratorio. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 64 p.
- HENRÍQUEZ C., CABALCETA G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 112 p.
- HERNÁNDEZ R.G., RUIZ A., BARRANTES G. 1997. Degradación de suelos y sus efectos sobre la productividad. Escuela de Ciencias Geográficas. UNA. Heredia. CR. 49 p.
- HOLDRIDGE L.R., GRENKE W.C., HATHEWAY W.H., LIANG T., TOSI J. 1971. Forest environments in tropical life zones: a pilot study. New York, USA. 747 p.
- HORN S.P. 1989. Prehistoric fires in the Chirripó highlands of Costa Rica: sedimentary charcoal evidence. *Biología Tropical*. 37(2):139-148.
- HORN S.P., SANDFORD R.L. 1992. Holocene fires in Costa Rica. *Biotrópica* 24(3):354-361.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 1998. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. San José, CR, ICAFE. 193 p.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica), CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas). 2000. Caracterización de suelos cafetaleros en la región de los Santos. En prensa.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2006. Informe de hidrología. Comisión de manejo de sedimentos de Pirrís. San José, CR, UEN PSA. 8 p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2007. Estudio de amenazas naturales y antrópicas en la cuenca del Río Pirrís. San José, CR, UEN PSA. 83 p.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1962. Hoja cartográfica Vueltas (3344 IV). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50,000. Color.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1963. Hoja cartográfica Tapantí (3345 III). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50 000. Color.

- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1989. Hoja cartográfica Caraigres (3345 II). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50 000. Color.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1994. Hoja cartográfica Dota (3344 I). San José, CR, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esc. 1:50 000. Color.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Plan de Acción Forestal para Guatemala). 1999. Clasificación de tierras por capacidad de uso, aplicación de una metodología para tierras de la República de Guatemala. Versión 2.0. Guatemala, Guatemala. 27 p. Guía Técnica del INAB, N°. 1.
- INBIO (Instituto Nacional de Biodiversidad). 2001. Caracterización de la vegetación de la cuenca del río Savegre. Informe Técnico. Costa Rica. 118 p.
- KAPPELLE M., JUAREZ M.E. 1995. Agroecological zonation along an altitudinal gradient in the montane belt of the Los Santos Forest Reserve in Costa Rica, pp. 215-247. In: Ecology of nature and recovering Talamanca montane Quercus Forests, CR. University of Amsterdam.
- KAPPELLE M., van UFFELEN J.G., CLEEF A.M. 1995. Altitudinal zonation of montane *Quercus* forest along two transects in the Chirripó National Park, Costa Rica, pp. 55-106. In: Ecology of nature and recovering Talamanca montane Quercus forest, Costa Rica. University of Amsterdam.
- KLINGEBIEL A.A., MONTGOMERY P.H. 1961. Land-capability classification. Agricultural Handbook 210. Soil Conservation Service. U.S.D.A. Gov. Print. Office. Washington, D.C. 210 p.
- KUSSMAUL S. 1987. Petrología de las rocas intrusivas neógenas de Costa Rica. Revista Geología América Central 7:83-111.
- LANDAETA A., LÓPEZ C.A., ALVARADO A. 1978. Caracterización de la fracción mineral de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Agronomía Costarricense 2(2):117-129.
- MAG-MIRENEM (Ministerio de Agricultura y Ganadería; Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas). 1995. Manual para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. Segunda Edición. San José, Costa Rica. 59 p.
- MOLINA A., SHARMA P.N. 1993. Validación de una metodología simple para establecer la capacidad y uso apropiado de la tierra en pequeñas fincas de Nicaragua. CATIE, Turrialba. 21 p.
- MORA S., VALVERDE R., BRENES G. 1985. Análisis geológico-geomorfológico de la Cuenca del Río Pirris (Parrita). Cartago, CR, ITCR. 44 p.
- MUNSELL COLOR COMPANY. 2000. Munsell soil color charts. USA. s.p.
- OTÁROLA C.E., ALVARADO A. 1977. Caracterización y clasificación de algunos suelos del Cerro de la Muerte, Talamanca, Costa Rica. Suelos Ecuatoriales 8(1):397-400.
- PEDRONI L. 1991. On the production of charcoal in the oak forest of Costa Rica. Serie Técnica. Informe técnico (CATIE). N°. 178. 28 p.
- PLATH C.V. 1967. Productive capacity of agricultural land in Central America. FAO/Rome, Italy and IICA/Turrialba, Costa Rica. Miscellaneous Public. N°. 44.
- RAMIREZ J.E. 2009. Hacia la caficultura sostenible. San José, C.R, ICAFE. 216 p.
- RICHARDS L.A. 1941. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. Soil Science. 51:377-386.
- SABORÍO J. 1992. Sistemas de información geográfica. Material de apoyo al curso de SIG. Turrialba, CR, CATIE. 39 p.
- SANCHO F., CERVANTES C. 1997. El uso de plantas de cobertura en sistemas de producción de cultivos perennes y anuales de Costa Rica. Agronomía Costarricense 21(1):111-120.
- SANCHO F., NÚÑEZ J. 1985. Estudio de suelos. Secciones I y II de la Cuenca del Río Parrita. San José, CR, UCR. 167 p.
- SHARMA P. 1992. Material de apoyo al curso de evaluación y planificación de uso de la tierra. Turrialba, CR, CATIE. 35 p.
- SHENG T.C. 1971. Proyecto de clasificación de la capacidad de la tierra orientado hacia su tratamiento para tierras marginales montañosas de los trópicos húmedos, pp.169-189. In: Memorias Seminario Latinoamericano sobre ordenación de cuencas hidrográficas. La Plata, Argentina. 22 nov.-16 dic. 1971. (mimeografiado).
- SOLANO S. 2010. Potencial erosivo de las microcuencas del río Pirris. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 147 p.

- STOORVOGEL J. 1996. El SIG como herramienta para el mapeo y uso de información edafológica, pp. 17-21. In: Memoria Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales (10), Congreso Nacional de Fitopatología (3), Congreso Nacional de Suelos (2). ¿Puede la agricultura sostenible ser competitiva?. F. Bertsch, W. Badilla, E. Bornemisza (eds.). San José, CR, EUNED/EUNA, v.3.
- UGALDE M. 1996. Evaluación de suelos y tierras por medio de modelos y sistema de información geográfica, pp. 23-28. In: Memoria Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales (10), Congreso Nacional de Fitopatología (3), Congreso Nacional de Suelos (2). ¿Puede la agricultura sostenible ser competitiva?. F. Bertsch, W. Badilla, E. Bornemisza (eds.). San José, CR, EUNED/EUNA, v.3.
- UREÑA E.A. 1992. Reseña histórica del Cantón de Dota. San José, Costa Rica. Ediciones Serrano Elizondo. 400 p.
- VAHRSON G. 1991. Taller de erosión de suelos. Resultados, comentarios y recomendaciones. *Agronomía Costarricense* 15(1/2):197-203.
- VAHRSON W.G., PALACIOS G. 1993. Datos complementarios de erosión, escorrentía y pérdida de nutrientes en Cerbatana de Puriscal: resultados 1991. *Agronomía Costarricense* 17(2):95-98.
- van OMME E., KAPPELLE M., JUAREZ M.E. 1997. Land cover/use change and deforestation trends over 55 years (1941-1996) in a Costa Rican montane cloud forest watershed area. Conference on Geo-Information for Sustainable Land Management ISSS-AISB-IBG, ITC. Enschede NL. 17-21.
- van UFFELEN J.G. 1991. A geological, geomorphological and soil transect study of the Chirripó massif and adjacent areas, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de maestría, Wageningen University, Wageningen. 72 p.
- VÁSQUEZ A. 1996. El ordenamiento territorial y los cambios en el uso de la tierra en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 20(1):87-94.
- USDA-NRCS (National Soil Survey Center; Natural Resource Conservation Service; US Department of Agriculture). 2002. Field book for describing and sampling soils. Lincoln, Nebraska, USA. s.p.
- WALKLEY A., BLACK C.A. 1938. An examination of Degtjareffs method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.

## Nota técnica

# RELACIONES HÍDRICAS Y TEMPERATURAS ALTAS EN FRIJOL DEL TIPO “FLOR DE MAYO”<sup>1</sup>

Edwin Javier Barrios-Gómez\*, Cándido López-Castañeda<sup>2/\*</sup>, Josué Kohashi-Shibata<sup>\*\*</sup>

**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris* L., potencial hídrico, osmótico y de turgencia, ajuste osmótico, calor, temperatura del frijol Flor de Mayo, riego, secano.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L., water, osmotic and turgor potentials, osmotic adjustment, heat, canopy temperature, irrigation, rainfed.

Recibido: 15/06/10

Aceptado: 08/03/11

## RESUMEN

Se estudió el efecto del déficit hídrico del suelo y temperatura alta del aire en las relaciones hídricas y temperatura del dosel del cultivo (Tc), rendimiento de semilla (RS) y sus componentes en 8 variedades de frijol del tipo “Flor de Mayo” (FM) y una variedad criolla. Se realizaron 3 experimentos de campo; Montecillo en riego (MR) con la aplicación de agua de la siembra a la madurez, Montecillo en secano (MS) con la lluvia como fuente única de humedad y Celaya en secano (CS) con lluvia y 2 riegos suplementarios en floración. Se utilizó una dosis de fertilización de 80 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrógeno y 40 kg.ha<sup>-1</sup> de fósforo. En MR el potencial hídrico foliar ( $\psi=-0,33$  Mpa), osmótico ( $\pi=-1,26$  Mpa) y de turgencia ( $P=0,93$  Mpa) fue más alto que en CS ( $\psi=-0,77$ ,  $\pi=-1,36$  y  $P=0,59$  Mpa) y MS ( $\psi=-1,22$ ,  $\pi=-1,57$  y  $P=0,35$  Mpa); MS, con mayor deficiencia hídrica del suelo, tuvo mayor reducción en  $\psi$  y  $\pi$ , y mayor grado de ajuste osmótico (AO=0,70 Mpa). El AO estuvo positiva y significativamente asociado con RS y

## ABSTRACT

**Water relationships and high temperatures in “Flor de Mayo” type beans.** Soil water deficit and high air temperature effects on plant water relations and canopy temperature (CT), and seed yield (SY) and its components in 8 “Flor de Mayo” (FM) bean varieties and a landrace were studied. Three experiments were carried on under field conditions; Montecillo irrigation (MI) with watering from sowing to maturity, Montecillo rain-fed (MRF) with rainfall as the only source of water and Celaya rain-fed (CRF) with rainfall + 2 supplementary waterings at flowering. Rates of 80 kg.ha<sup>-1</sup> Nitrogen and 40 kg.ha<sup>-1</sup> Phosphorous were used. Leaf water ( $\psi=-0.33$  Mpa), osmotic ( $\pi=-1.26$  Mpa) and turgor ( $P=0.93$  Mpa) potentials at MI were higher than at CRF ( $\psi=-0.77$ ,  $\pi=-1.36$  y  $P=0.59$  Mpa) and MRF ( $\psi=-1.22$ ,  $\pi=-1.57$  y  $P=0.35$  Mpa); MRF with a greater soil water deficit, showed greater reduction in  $\psi$  and  $\pi$  and higher capacity for osmotic adjustment (OA). OA was positive and significantly related to seed

1 Trabajo de Investigación realizado por el primer autor para obtener el grado de Doctor en Ciencias.

2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: clc@colpos.mx

\* Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados, México.

\*\* Posgrado en Recursos Naturales-Botánica, Colegio de Postgraduados, km 36,5 Carretera México- Texcoco, Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, México. C.P. 56230.

biomasa aérea final (BMAF) en los 2 ambientes de secano. La  $T_c$  en MR (26,7°C) fue más baja que en CS (30,8°C) y MS (36,6°C); el estrés por calor se agudizó con el descenso en el contenido hídrico de las plantas en el ambiente más seco (MS);  $T_c$  se relacionó negativa y significativamente con  $\psi$  y  $\pi$  en MS. La alta  $T_c$  también tuvo efecto significativo en la producción de BMAF y RS y sus componentes; la alta  $T_c$  redujo el RS, BMAF, número de vainas normales.m<sup>-2</sup> (VN.m<sup>-2</sup>) y peso de 100 semillas (P100S) en 12,5, 10,7, 10,2 y 3,4% por cada °C (-1 °C) de aumento en la  $T_c$ , respectivamente.

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de humedad en el suelo es uno de los principales factores limitantes del crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos, en los sistemas agrícolas de secano en extensas áreas del mundo. También las temperaturas altas o calor durante la estación de crecimiento, reducen severamente el rendimiento de grano y pueden acentuar el efecto del estrés hídrico en las etapas fenológicas más sensitivas del cultivo. El potencial hídrico ( $\psi$ ) y la capacidad de ajuste osmótico (AO) son características fisiológicas que pueden utilizarse eficazmente, para mejorar la tolerancia a sequía en frijol y otros cultivos (Nayyar et al. 2005). El estatus hídrico de las plantas cultivadas generalmente se define en términos de su contenido de agua ( $\psi$ ) o sus componentes, potencial osmótico ( $\pi$ ) y potencial de turgencia ( $P$ ) (Turner 1986). Estos parámetros hídricos guardan estrecha relación con la tasa de transpiración y los procesos de flujo del agua en el sistema vascular de la planta. Los procesos fisiológicos del crecimiento están más relacionados con el comportamiento de los potenciales  $\pi$  y  $P$ , particularmente cuando las plantas están sujetas a variaciones en el contenido de humedad del suelo. La acumulación activa de solutos dentro de la planta y la disminución del  $\pi$  en el citoplasma de las células, ocurren

yield (SY) and final aerial biomass (FABM) in the 2 rain-fed environments. Canopy temperature (CT) at MI (26.7°C) was lower than at CRF (30.8°C) and MRF (36.6°C); the heat stress effect increased with the drop in plant water content in the driest environment (MRF); CT was negative and significantly associated with  $\psi$  and  $\pi$  at MRF. The high CT also had a significant effect in the FABM and SY, and its components; high CT reduced SY, FABM, number of normal pods.m<sup>-2</sup> (NP.m<sup>-2</sup>) and weight of 100 seeds (W100S) by 12.5, 10.7, 10.2 y 3.4% for each °C (-1 °C) increase in CT, respectively.

cuando el déficit hídrico del suelo disminuye el flujo de agua al interior de las raíces y atrae agua al interior de la célula para mantener la turgencia, proceso fisiológico conocido como ajuste osmótico (Nayyar y Walia 2004).

El aumento en la tensión hídrica al disminuir el  $\pi$  ayuda a mantener la fuerza de tensión para extraer más agua del suelo, estimular el crecimiento de la raíz (Morgan y Condon 1986) y facilitar la removilización de reservas acumuladas en la planta antes de la floración, a la semilla durante el periodo de llenado del grano (Subbarao et al. 2000). Diversos estudios han mostrado la capacidad del frijol, para desarrollar ajuste osmótico en condiciones de estrés hídrico en ambientes controlados (Stoyanov 2005) y de campo (Martínez et al. 2007).

Las temperaturas altas del aire también afectan los diferentes procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas; p.e., las temperaturas altas pueden reducir la tasa de fotosíntesis a través de cambios en la membrana, organización estructural y propiedades físico-químicas de los tilacoides (Berry and Bjorkman 1980). Las temperaturas altas (>30°C en el día o >20°C en la noche) en la etapa de anthesis y establecimiento del número de semillas, disminuyen la producción de frijol cuando la humedad relativa es baja, ya que las temperaturas altas nocturnas, tienen efectos más adversos que las temperaturas altas



en el día (Singh 2005). Las temperaturas altas reducen la viabilidad del polen, el crecimiento del tubo polínico y la fertilización del ovario (Hall 2004); aceleran la tasa de desarrollo de la planta y acortan el periodo de crecimiento de los órganos reproductores (Gan et al. 2004), causan excesivo aborto de flores y vainas jóvenes (Leport et al. 2006), aceleran el llenado del grano (Boote et al. 2005), reducen el número de semillas por vaina, el tamaño de semilla y el rendimiento (Leport et al. 2006).

Es común que el estrés causado por las deficiencias hídricas y calor se presente con frecuencia en forma simultánea en las etapas fenológicas más sensitivas de la planta para la formación del rendimiento; p.e., inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano en las áreas de secano; estos estreses abióticos disminuyen el rendimiento y calidad de la producción (Rainey y Griffiths 2005). El mejoramiento genético del rendimiento de frijol en estas condiciones se podría lograr al seleccionar genotipos con mecanismos fisiológicos de adaptación a sequía y calor que contribuyan a mantener la turgencia del aparato fotosintético y la actividad metabólica relacionada con la fijación del CO<sub>2</sub>, lo que contribuirá a mantener la tasa de crecimiento de raíces y órganos aéreos, y se reflejará en mayor producción de biomasa y rendimiento de semilla.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue estudiar la respuesta de un grupo de variedades de frijol tipo “Flor de Mayo” a la sequía y calor en condiciones de campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización de los experimentos

Se llevaron a cabo 3 experimentos en el ciclo primavera-verano (PV) del 2007; uno en el Campo Agrícola Experimental del Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Celaya, Guanajuato, México (20° 34' N, 100° 50' O y 1765 msnm) y los otros 2 en el Campo Agrícola Experimental del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México, México (19° 21' N, 98° 55' O y 2250 msnm).

### Material genético

Se incluyeron 8 variedades de frijol tipo “Flor de Mayo” (FM) que se utilizan en la siembra comercial bajo riego y secano con buena precipitación en la región templada sub-húmeda (Acosta-Gallegos et al. 2000, Rosales et al. 2004) y la variedad criolla Michoacán 128 de hábito indeterminado procedente del Estado de Michoacán, México (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variedades de frijol tipo “Flor de Mayo” utilizadas en los 3 experimentos de campo. 2007.

| Variedad <sup>δ</sup>                | Año de liberación | Hábito de crecimiento | Días a floración                  |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| “Flor de Mayo” M38                   | 1994              | III                   | 50-57                             |
| “Flor de Mayo” Corregidora           | 2000              | III                   | 56                                |
| “Flor de Mayo” Sol                   | 1996              | III                   | 45-51                             |
| “Flor de Mayo” RMC                   | 1981              | III                   | 44-55                             |
| “Flor de Mayo” Bajío                 | 1989              | III                   | 45-47                             |
| “Flor de Mayo” Noura                 | 2006              | III                   | 47-50                             |
| “Flor de Mayo” Anita                 | 2002              | III                   | 44 <sup>¥</sup> y 62 <sup>€</sup> |
| “Flor de Mayo” 2000                  | 2001              | III                   | 45-50                             |
| Michoacán 128 (Criollo) <sup>§</sup> | 1974 <sup>#</sup> | III                   | 47-53                             |

<sup>δ</sup>=Las variedades de tipo Flor de Mayo fueron proporcionadas por el Programa de Frijol, INIFAP, Celaya, Guanajuato.

<sup>§</sup>=Material criollo proveniente de Michoacán, proporcionado por el Dr. Salvador Miranda Colín, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México; <sup>¥</sup>Ciclo de primavera-verano; <sup>€</sup>Ciclo de otoño-invierno. <sup>#</sup>=Año de colecta.

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones para los 3 experimentos; la unidad experimental consistió de 2 surcos de 4 m de longitud y 0,80 m de ancho. Se aplicó una dosis de fertilización de 40-40-00 de NPK en la primera escarda a los 30 días después de la siembra (dds) y 40-00-00 en la segunda a los 40 dds. En Celaya en secano, se aplicó un riego antes de la siembra y ésta se realizó el 3 de abril de 2007 en hileras en el fondo del surco a 4 cm de profundidad; 15 dds se hizo un aclareo para ajustar la población a una densidad de 150 000 plantas.ha<sup>-1</sup>; 20 dds se aplicó un riego por gravedad para favorecer el establecimiento de las plántulas y 2 riegos suplementarios durante la floración (55 y 65 dds), debido a la ausencia de lluvias. En Montecillo, los experimentos se sembraron el 12 de abril de 2007; en riego se aplicó agua de acuerdo con las necesidades del cultivo durante el ciclo hasta la madurez y en secano, la aplicación de agua se hizo solamente hasta los 24 dds (21 días antes de la floración) y posteriormente el desarrollo de las plantas se dejó a merced de la precipitación pluvial.

## Variables

Temperatura del dosel del cultivo ( $T_c$ , °C); se midió diariamente a las 12:00 h entre los 50 y 70 dds, al utilizar un termómetro infrarrojo (modelo Raytek Spectrum Technologies, Inc.) a una distancia de 0,4 m del dosel del cultivo y en ángulo de 45°; prevalecieron condiciones de alta radiación solar (1800  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) y calma (velocidad del viento <5 km.h<sup>-1</sup>) durante las mediciones en cada unidad experimental.

Temperatura del aire ( $T_a$ , °C); se midió simultáneamente con la  $T_c$ , al colocar un termómetro de máxima y mínima de columna de mercurio (marca Brennan, England) junto a las plantas, para estimar la temperatura del aire que rodeaba al dosel del cultivo, que evita la incidencia directa de la radiación solar sobre la superficie del termómetro.

Potencial hídrico foliar ( $\psi$ , Mpa); se midió cada 4 días a las 12:00 h entre los 50 y 70 dds en el foliolo central de 4 hojas trifoliadas completamente expandidas y expuestas a la radiación solar; los folíolos se colectaron y depositaron en bolsas de plástico con una porción de estopa húmeda en su interior y se llevaron a la bomba de presión, colocada bajo sombra en la cercanía del experimento para determinar el  $\psi$ ; el tiempo transcurrido entre la colecta de los folíolos y la medición del  $\psi$  fue de aproximadamente 2 min para cada unidad experimental.

Potencial osmótico ( $\pi$ , Mpa), se determinó en una porción de los folíolos utilizados para medir el  $\psi$ ; esta muestra de tejido foliar se colocó en viales de plástico de 1,5 ml, mismos que se depositaron en un termo con nitrógeno líquido (-195,8°C) para matar el tejido, romper la pared celular y facilitar la extracción de la savia; las mediciones del  $\pi$  se hicieron en las muestras de savia con un osmómetro marca Wescor, modelo 5100C en el laboratorio.

Potencial de turgencia ( $P$ , Mpa), se calculó como la diferencia entre el  $\psi$  y  $\pi$  ( $P=\psi-\pi$ ) para cada muestra analizada (Begg y Turner 1976).

Ajuste osmótico ( $AO$ , Mpa); se calculó como la diferencia entre el  $\pi$  determinado en riego ( $\pi_R$ ) y el  $\pi$  determinado en los ambientes de secano ( $\pi_S$ ) ( $AO=\pi_R-\pi_S$ ) para cada cultivar (Babu et al. 1999).

En la madurez fisiológica se cosechó la parte aérea de las plantas en 1,0 m lineal (0,8 m<sup>2</sup>) de cada unidad experimental, para determinar el rendimiento de semilla ( $RS$ , g.m<sup>-2</sup>) y sus componentes [vainas normales.m<sup>-2</sup> ( $VN$ .m<sup>-2</sup>), número de semillas normales.m<sup>-2</sup> ( $SN$  m<sup>-2</sup>) y peso de 100 semillas ( $P100S$ , g)] y la biomasa aérea final ( $BMAF$ , g.m<sup>-2</sup>).

## Análisis estadístico

Se calculó el análisis de varianza para todas las variables medidas con el programa SAS versión 9.1 para Windows (SAS 2007) en forma individual para cada ambiente de humedad del suelo y en forma combinada de los 3 ambientes. La

comparación de medias se realizó, al calcular la diferencia significativa de Tukey (DSH,  $p \leq 0.05$ ).

### Datos meteorológicos

Los datos de precipitación y temperatura máxima y mínima se obtuvieron de la estación meteorológica del Campo Agrícola Experimental del Bajío (INIFAP) en Celaya, Guanajuato, México (Figura 1a) y la Estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México, México (Figura 1b), respectivamente; ambas localizadas a una distancia menor a

200 m de los sitios en los que se establecieron los experimentos. La temperatura máxima promedio durante la estación de crecimiento fue menor en Celaya (28,1°C) que en Montecillo (31,7°C), y la mínima fue menor en Montecillo (9,2°C) que en Celaya (11,9°C) (Figura 1a). Sin embargo, en ambos sitios la temperatura mínima estuvo por arriba de la temperatura base para frijol (8°C) (Barrios-Gómez y López-Castañeda 2009). La precipitación registrada entre la siembra y la cosecha fue 232 mm en Celaya, Guanajuato y 237 mm en Montecillo, Estado de México.

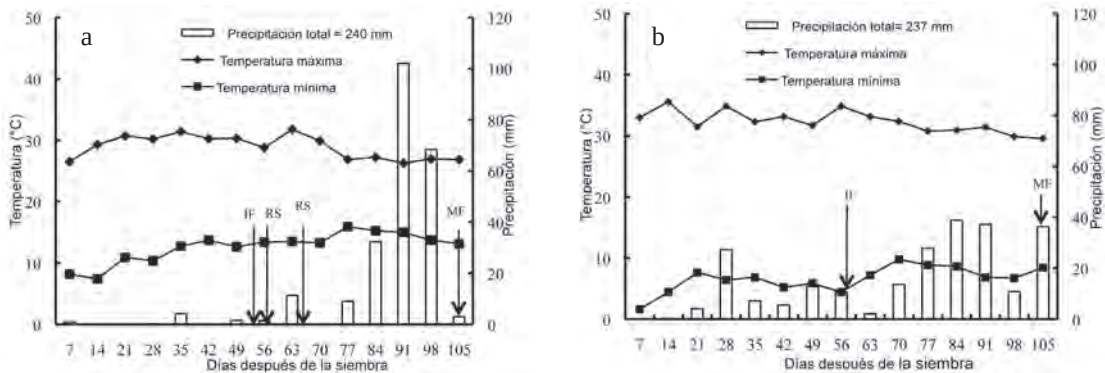


Fig.1. Temperatura máxima y mínima promedio semanal, y precipitación semanal acumulada durante los experimentos de frijol en Celaya (a) y Montecillo (b). 2007.

### Contenido de humedad del suelo

En Celaya se registró una severa deficiencia de lluvia durante las etapas de desarrollo vegetativo e inicio de la floración (entre los 35 y 49 dds; etapas de desarrollo R3-R4; CIAT 1982) (Figura 2a), que se reflejó en una marcada disminución en el contenido de humedad del suelo en la profundidad de 0 a 20 cm (Figura 2a), razón por la que se aplicaron riegos suplementarios a los 54 y 65 dds; posteriormente se presentaron lluvias abundantes (232 mm) hasta la madurez, lo que permitió tener altos rendimientos de semilla. Por el contrario, en Montecillo la distribución de la precipitación (237 mm) durante el ciclo biológico de las plantas fue muy irregular e insuficiente para satisfacer las necesidades hídricas de las

plantas (Figura 2d); ésta distribución irregular de la lluvia se reflejó en un bajo contenido de humedad del suelo en seco con niveles de humedad inferiores al PMP para los estratos de 0-20 (Figura 2d) y 20-40 cm (Figura 2e). Se ha estimado que aproximadamente el 50% de la densidad radical y acumulación de materia seca en las raíces de variedades comerciales de frijol, se localizan en la profundidad de 0 a 30 cm (Halterlein 1983) y sólo las raíces de variedades de frijol tolerantes a sequía pueden penetrar hasta 50 cm (White e Izquierdo 1991). No se detectaron porcentajes de humedad del suelo por abajo del PMP en las profundidades de 20-40 (Figura 2b) y 40-60 cm (Figura 2c) en Celaya en seco y en la profundidad de 40-60 cm (Figura 2f) en Montecillo en seco.

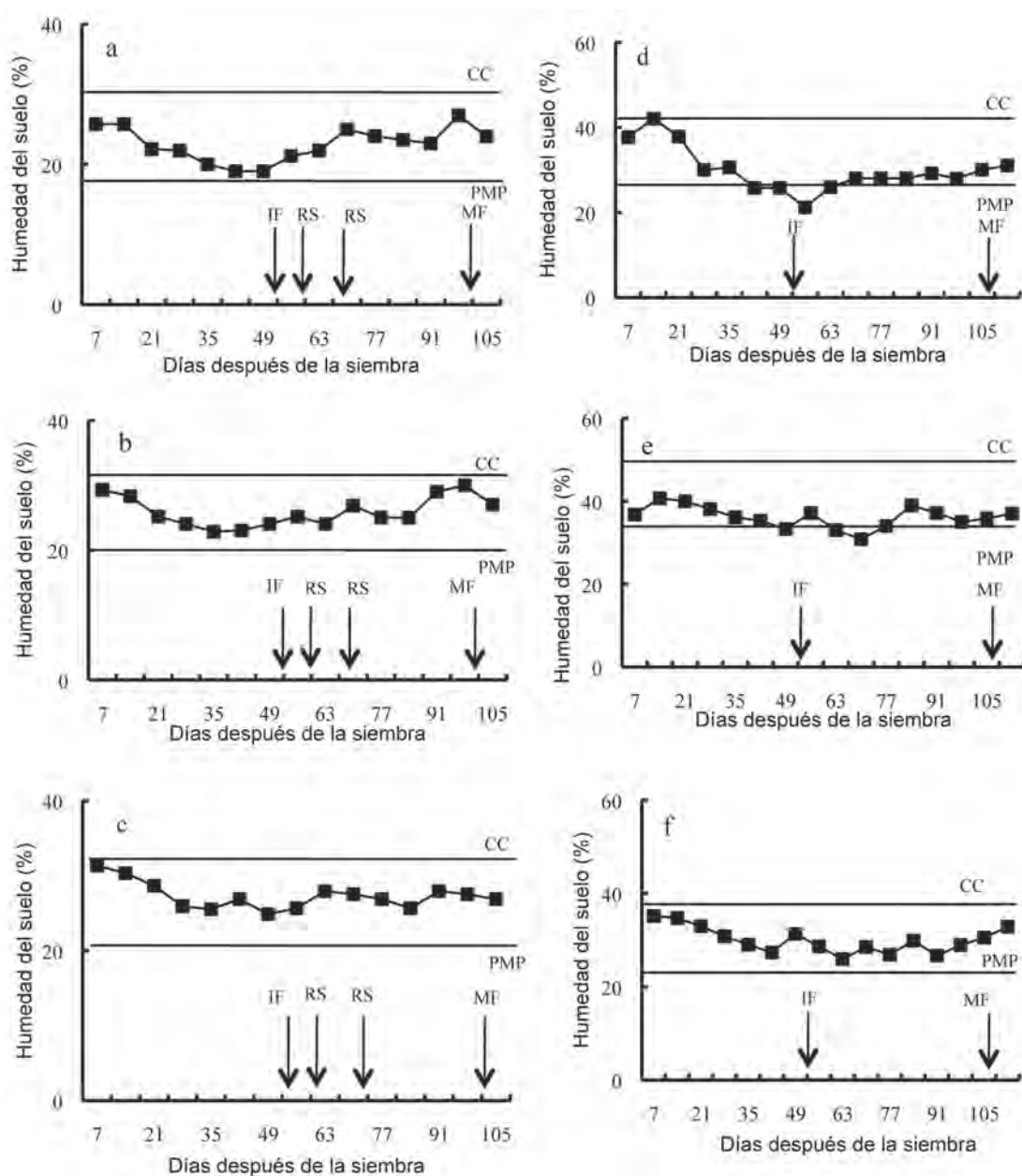


Fig. 2. Contenido de humedad del suelo en 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad en Celaya en secano (a, b y c) y Montecillo en secano (d, e y f) durante los experimentos de frijol, respectivamente. 2007. (Las líneas horizontales representan el valor de porcentaje de marchitamiento permanente (PMP) y capacidad de campo (CC) del suelo en las diferentes profundidades; IF=Fecha promedio del inicio de la floración; MF=Fecha promedio de la madurez fisiológica; RA=Riego suplementario).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Relaciones hídricas

Las deficiencias hídricas del suelo registradas en la profundidad de 0 a 20 cm fueron más severas en Montecillo en seco (MS) que en Celaya en seco (CS) y Montecillo en riego (MR); éstas deficiencias hídricas se reflejaron en fuertes variaciones en el status

hídrico de las plantas en los 3 ambientes. El potencial hídrico foliar ( $\psi$ ), osmótico ( $\pi$ ) y de turgencia ( $P$ ) presentaron diferencias ( $p \leq 0,01$ ) entre los 3 ambientes de humedad edáfica en promedio de todas las variedades y mediciones realizadas; en Montecillo en riego  $\psi = -0,33$ ,  $\pi = -1,26$  y  $P = 0,93$  Mpa; en Celaya en seco  $\psi = -0,77$ ,  $\pi = -1,36$  y  $P = 0,59$  Mpa, y en Montecillo en seco  $\psi = -1,22$ ,  $\pi = -1,57$  y  $P = 0,35$  Mpa (Figura 3).

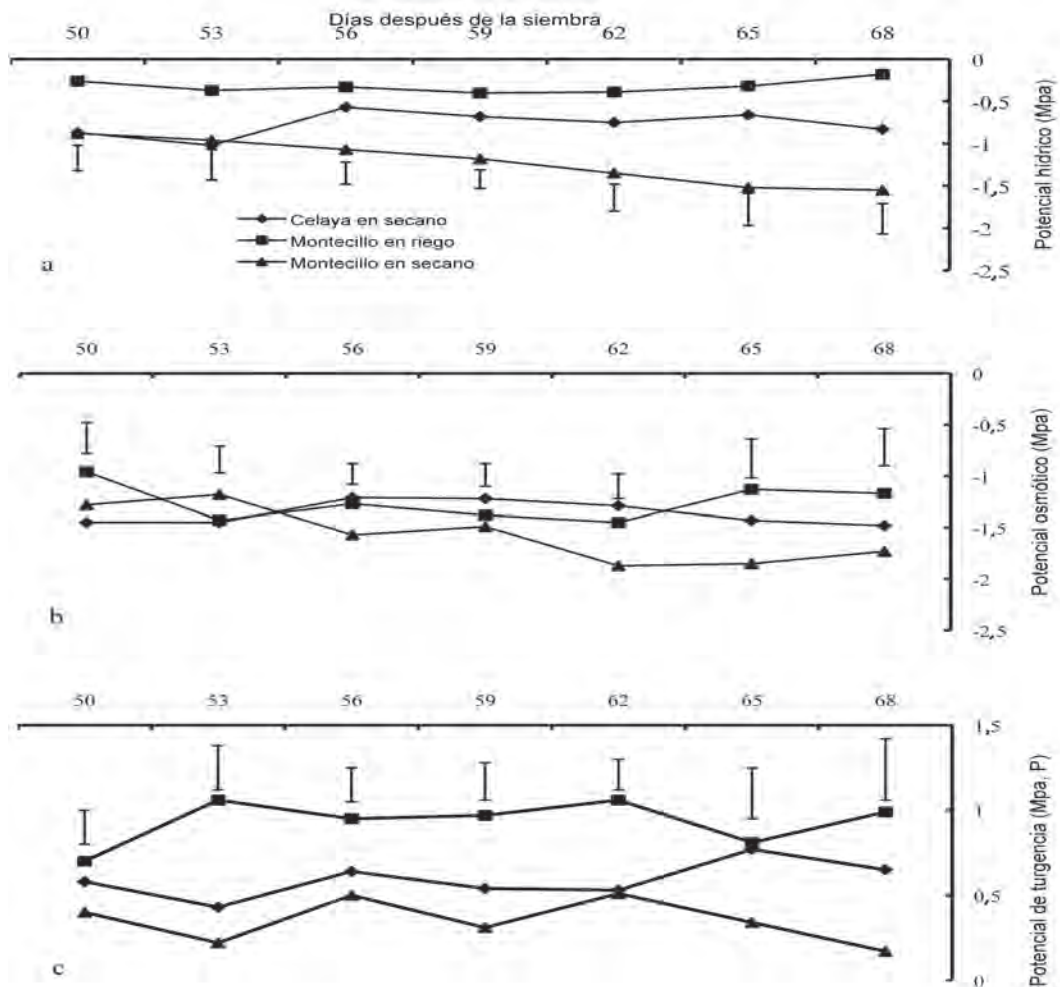


Fig. 3. Potencial hídrico (a), potencial osmótico (b) y potencial de turgencia (c), para frijol "Flor de mayo" y Michoacán 128, en Celaya en seco, Montecillo en riego y Montecillo en seco. 2007. (Las barras verticales indican la diferencia mínima significativa de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) en cada fecha de medición).



El  $\psi$  en Montecillo en secano disminuyó conforme se redujo el contenido de agua en el suelo en las profundidades de 0-20 y 20-40 cm, al registrar un valor de -1,55 Mpa en la última medición a los 68 dds, lo que se reflejó en síntomas severos de marchitez en las hojas entre las 12:00 y las 15:00 h (Figura 3); estos síntomas de estrés hídrico en las plantas indicaron la disminución en el  $\psi$  durante el periodo de deficiencias hídricas del suelo; la diferencia en  $\psi$  entre la primera medición (58 dds) y la última medición (68 dds) fue -0,72 Mpa (Figura 3). Un ambiente con deficiencia de agua en el suelo más severa, puede causar disminuciones más acentuadas en el  $\psi$ ; Morgan (1995) observó una diferencia en  $\psi$  de -1,5 Mpa entre los 50 y los 110 dds en trigo en condiciones de sequía en campo. En Celaya en secano el  $\psi$  registró su valor más bajo (-1,02 Mpa) a los 53 dds (Figura 3); posteriormente, mantuvo valores cercanos (-0,77 Mpa) a los observados en Montecillo en riego en promedio de todos los genotipos y mediciones, debido a que se le proporcionaron 2 riegos de auxilio (55 y 65 dds) por la falta de lluvia. Martínez et al. (2007) observaron que las plantas de frijol en sequía tuvieron un  $\psi$  de -1,4 Mpa y las plantas en riego un  $\psi$  de -0,9 Mpa en promedio de todos los cultivares en condiciones de campo; la diferencia entre el  $\psi$  observado en el presente estudio en riego (-0,33 Mpa) y el reportado por Martínez et al. (2007) (-0,9 Mpa), pudo deberse a que las plantas en éste último, estuvieron sometidas a mayores temperaturas del aire, que causaron altas tasas de transpiración y una mayor disminución en el  $\psi$ .

El  $\pi$  fue más alto en Montecillo en riego (-1,25 Mpa) y Celaya en secano (-1,28 Mpa) que en Montecillo en secano (-1,57 Mpa) y presentó diferencias ( $p \leq 0,01$ ) entre los 3 ambientes de humedad del suelo a los 53, 62, 65 y 68 dds (Figura 3). Las plantas en Montecillo en secano alcanzaron sus  $\pi$  más bajos (-1,9 Mpa, 62 y 65 dds) en plena floración (etapas de desarrollo R4-R5; CIAT 1982), cuando las deficiencias de humedad en el suelo fueron más drásticas y las plantas presentaron síntomas más severos de marchitez en las hojas, en comparación con las plantas en

Celaya en secano y Montecillo en riego. Martínez et al. (2007) determinaron que el  $\pi$  del frijol en condiciones de campo disminuyó en mayor grado en sequía (-1,7 Mpa) que en riego (-1,5 Mpa); estos valores de  $\pi$  fueron más bajos que los observados en el presente estudio, debido posiblemente a un mayor grado de estrés por alta temperatura.

El  $P$  en Montecillo en secano y Celaya en secano fue más bajo que en Montecillo en riego a los 53, 56, 59 y 62 dds; después del segundo riego de auxilio (65 dds), el  $P$  en Celaya en secano fue similar al  $P$  en Montecillo en riego, mientras que el  $P$  en Montecillo en secano continuó en descenso, debido a las fuertes deficiencias de humedad del suelo hasta alcanzar un valor cercano a cero (0,15 Mpa) a los 68 dds. El mantenimiento de la turgencia puede lograrse a través de una mayor acumulación de solutos (más bajo  $\pi$  en el citoplasma de la célula) o por cambios en la elasticidad de la pared celular (Silva-Robledo et al. 2006). Parsons y Howe (1984) observaron que el frijol tepari (*Phaseolus acutifolius*) en condiciones de estrés hídrico, disminuyó sus potenciales  $\psi$  y  $\pi$  en mayor grado que el frijol común (*Phaseolus vulgaris*), y esto le permitió mantener un mayor potencial de turgencia con un bajo contenido relativo de agua, debido a alguno de estos 3 factores; mayor elasticidad de sus tejidos, mayor acumulación activa de solutos o mayor concentración de solutos.

### Ajuste osmótico

El  $\pi$  disminuyó considerablemente más en las plantas en Celaya en secano (-1,38 Mpa) y Montecillo en secano (-1,83 Mpa) que en Montecillo en riego (-1,13 Mpa) (Cuadro 2). La disminución en el  $\pi$  fue más acentuada en el ambiente de secano con mayores deficiencias hídricas del suelo, lo que se reflejó también en un mayor grado de AO; en Montecillo en secano, ambiente con mayores deficiencias hídricas del suelo durante la floración, el AO fue 0,70 Mpa, mientras que en Celaya en secano con deficiencias hídricas del suelo menos severas, el AO fue 0,25 Mpa en promedio de todos los genotipos (Cuadro 2). La disminución en el  $\pi$  de la planta se ha identificado como una de las estrategias



Cuadro 2. Potencial osmótico y ajuste osmótico para frijol tipo “Flor de Mayo” en Celaya en secano en Montecillo en riego, y Montecillo en secano. 2007.

| Variedad              | $\pi$ (Mpa) <sup>†</sup> |       |       | AO (Mpa) |      |
|-----------------------|--------------------------|-------|-------|----------|------|
|                       | MR                       | CS    | MS    | CS       | MS   |
| FM Noura              | -1,09                    | -1,47 | -1,84 | 0,38     | 0,75 |
| FM Anita              | -1,06                    | -1,36 | -1,94 | 0,30     | 0,88 |
| FM M38                | -1,04                    | -1,35 | -1,92 | 0,31     | 0,88 |
| FM Sol                | -1,09                    | -1,48 | -1,80 | 0,39     | 0,71 |
| FM Bajío              | -1,13                    | -1,32 | -1,72 | 0,19     | 0,59 |
| FM Corregidora        | -0,98                    | -1,51 | -1,83 | 0,53     | 0,85 |
| FM 2000               | -1,27                    | -1,34 | -1,86 | 0,07     | 0,59 |
| FM RMC                | -1,28                    | -1,38 | -1,89 | 0,10     | 0,61 |
| Michoacán 128         | -1,23                    | -1,25 | -1,71 | 0,02     | 0,48 |
| Media general         | -1,13                    | -1,38 | -1,83 | 0,25     | 0,70 |
| DSH ( $p \leq 0,05$ ) | 0,09                     | -0,07 | -0,12 | 0,08     | 0,11 |

más importantes para mantener la turgencia de la planta en sequía; en leguminosas se observó que cuando las plantas de frijol, garbanzo, haba y chícharo se sometieron a un déficit humedad equivalente a un potencial hídrico del suelo de -0,64 Mpa, el  $\psi$  foliar disminuyó a -0,34, -1,32, -1,67 y -1,83 Mpa y el rendimiento se redujo en 17,6, 14,5, 36,4 y 23,9%, respectivamente; la menor reducción en el rendimiento de garbanzo y frijol se debió a que en éstas especies, la turgencia se mantuvo alrededor de 1,0 Mpa a consecuencia de un aumento en la concentración de solutos que resultó de la pérdida de agua y la inhibición del crecimiento; en garbanzo fue importante además el tipo de solutos acumulados que en su mayoría fueron de origen orgánico; por ejemplo, azúcares y aminoácidos que contribuyeron con un 50 y 20% del total de la concentración de solutos orgánicos, y Calcio, el único elemento inorgánico que contribuyó con 19% (Amede y Schubert 2003). Al considerar que el AO es una respuesta inducida y su grado de expresión es afectado por la duración y la intensidad de la sequía es posible observar una respuesta diferencial entre genotipos en diferentes ambientes; por ejemplo, se ha determinado que tasas rápidas de deshidratación mostraron menores niveles de AO en sorgo (Jones y Rawson 1979). También en sorgo, se observó que la expresión del AO fue

más baja en invernadero que en campo, debido a que en ambientes controlados no puede mantenerse una demanda evaporativa uniforme y un rápido desarrollo del déficit hídrico puede impedir la síntesis y translocación de solutos osmóticos, de tal forma que la tasa de aumento del AO es incapaz de balancear la tasa de disminución del  $\psi$  (Basnayake et al. 1996).

La variación en AO entre genotipos estuvo relacionada positiva y significativamente con la variación en rendimiento de semilla (RS) ( $RS=261(AO)+104$ ,  $r=0,77$ ,  $p \leq 0,01$ , Figura 4a) y biomasa final aérea (BMFA) ( $BMAF=455(AO)+251$ ,  $r=0,74$ ,  $p \leq 0,01$ , Figura 4b) en promedio de los 2 ambientes de secano (Celaya en secano y Montecillo en secano). Los genotipos con mayor capacidad de AO (FM Noura, FM M38 y FM Anita) produjeron mayor rendimiento de semilla y biomasa aérea final. Morgan et al. (1991) determinaron en garbanzo (*Cicer arietinum* L.) que el AO en condiciones controladas estuvo asociado con la osmoregulación en campo en Nueva Gales del Sur, Australia, en varios experimentos y que los incrementos en rendimiento debido al aumento en el AO, variaron desde cero en ambientes con bajo déficit hídrico a 20% en ambientes con alto déficit hídrico. El mantenimiento del status hídrico de la planta de frijol es importante para la producción

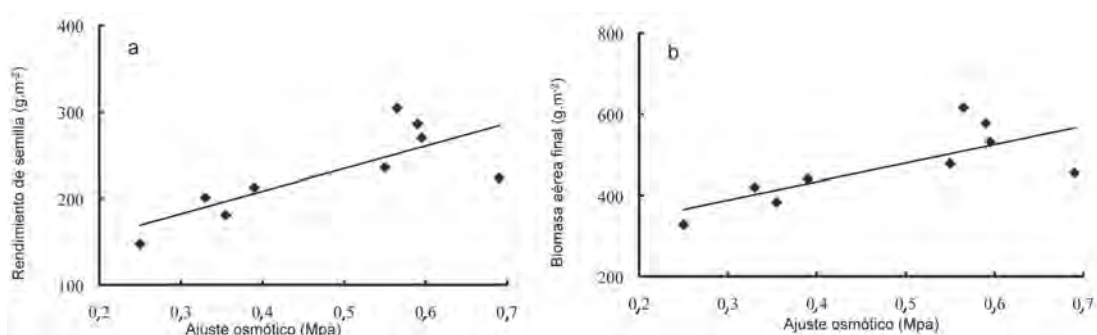


Fig. 4. Relación del ajuste osmótico con el rendimiento de semilla (a) y la biomasa aérea final (b) para frijol tipo "Flor de Mayo" y Michoacán 128, en promedio de Celaya en seco y Montecillo en seco. 2007.

de vainas y rendimiento de semilla, al mantener la actividad fotosintética y la extensión de los órganos y tejidos en condiciones de sequía y calor (Kumar et al. 2006). La variedad criolla (Michoacán 128) se caracterizó por presentar un  $P$  más bajo que los cultivares tipo "Flor de Mayo", durante el periodo de deficiencia de agua en el suelo en los 2 ambientes de seco, debido a su menor capacidad de ajuste osmótico.

### Temperatura del aire y del dosel del cultivo

En Montecillo en riego las plantas tuvieron menor temperatura del dosel del cultivo ( $T_c$ , 26,7°C) que en Celaya en seco (30,8°C) y Montecillo en seco (36,6°C) (Figura 5a), y

esta se relacionó positiva y significativamente con la temperatura del aire ( $T_a$ , °C) en los 3 ambientes de humedad del suelo; Montecillo en riego,  $T_a = 0,91(T_c) + 7,1$ ,  $r = 0,81$ ,  $p \leq 0,01$ ; Celaya en seco,  $T_a = 0,82(T_c) + 6,2$ ,  $r = 0,91$ ,  $p \leq 0,01$ , y Montecillo en seco ( $T_a = 1,03(T_c) - 5,7$ ,  $r = 0,84$ ,  $p \leq 0,01$ ) (Figura 4a), y en promedio de los 3 ambientes ( $T_a = 1,16(T_c) - 4,8$ ,  $r = 0,96$ ,  $p \leq 0,01$ , Figura 5b). La  $T_c$  aumentó a medida que  $T_a$  se incrementó durante el periodo de medición entre las etapas R5 (50 dds) y R6 (70 dds) (CIAT 1982), sobre todo en los ambientes de Celaya en seco y Montecillo en seco, donde las plantas sufrieron niveles más altos de estrés hídrico (Figura 5a). En Montecillo en seco, ambiente con mayor

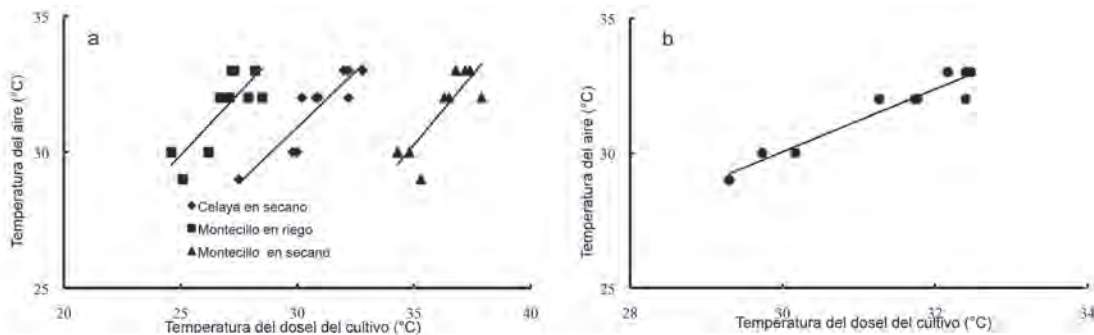


Fig. 5. Relación entre la temperatura del dosel del cultivo y la temperatura del aire determinada entre las etapas R5 (50 dds) y R6 (70 dds), para frijol tipo "Flor de Mayo" y Michoacán 128 en Celaya en seco, Montecillo en riego y Montecillo en seco (a) y en promedio (b) de los 3 ambientes de humedad del suelo. 2007.

deficiencia de humedad en el suelo, las plantas estuvieron sujetas a mayor nivel de estrés hídrico y esto disminuyó considerablemente la tasa de transpiración (Balota et al. 2007), debido a una fuerte reducción de la conductancia estomática en respuesta al cierre estomático inducido por la sequía (Reynolds et al. 2001), reflejándose en una mayor temperatura del dosel del cultivo. Michoacán 128 tuvo mayor  $T_c$  que los cultivares de tipo “Flor de Mayo”, debido a que desarrolló un mayor nivel de estrés hídrico al disminuir en mayor medida sus  $\psi$  y  $P$ , sobre todo en Montecillo en seco (Reynolds et al. 2001).

### Temperatura del cultivo, relaciones hídricas y rendimiento, y sus componentes

El incremento en la  $T_a$ , particularmente en la temperatura mínima, observado en Celaya y Montecillo después de la floración, se reflejó en un aumento de la  $T_c$  en los 3 ambientes de humedad del suelo, al causar estrés por calor; éstas condiciones de estrés se agudizaron con el descenso en el contenido hídrico de las plantas en el ambiente más seco (Montecillo en seco); la  $T_c$  se relacionó negativa y significativa con el  $\psi$  y el  $\pi$  en Montecillo en seco ( $\psi = -0,17(T_c) + 4,1$ ,

$r=0,88$ ,  $p \leq 0,01$  (Figura 6a) y  $\pi = -0,15(T_c) + 3,1$ ,  $r=0,76$ ,  $p \leq 0,01$ ) (Figura 6b); el  $\psi$  y el  $\pi$  no estuvieron relacionados significativamente con la  $T_c$  en Montecillo en riego y Celaya en seco. Los cultivares con  $\psi$  más altos mantuvieron el dosel del cultivo más fresco y presumiblemente, la apertura de los estomas y la tasa transpiratoria a pesar del déficit hídrico del suelo; resultados similares han sido observados en trigo en donde  $\psi$  más altos contribuyeron a mantener una menor temperatura del dosel del cultivo (Ehrler et al. 1978). La disminución en el  $\pi$  al aumentar la concentración de solutos, contribuyó a mantener la turgencia ( $P$ ) y aquellos genotipos que tuvieron mayor capacidad de ajuste osmótico, mantuvieron mayor grado de turgencia a pesar de las condiciones de sequía en el suelo y las altas temperaturas del aire. Gaur et al. (2008) observaron que mayor densidad, profundidad y biomasa de las raíces en garbanzo también contribuyeron a disminuir la temperatura del cultivo y mantener la transpiración en condiciones de sequía. Michoacán 128 tuvo menor capacidad de ajuste osmótico que los cultivares de tipo “Flor de Mayo”, y esto se reflejó en menor nivel de turgencia y más altos niveles de estrés por alta temperatura.

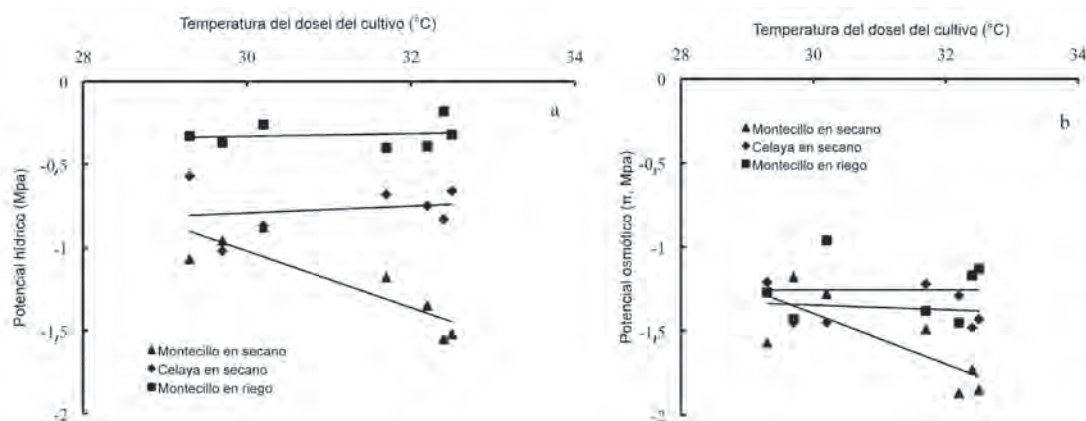


Fig. 6. Relación de la temperatura del dosel del cultivo con el potencial hídrico (a) y potencial osmótico (b), para frijol tipo “Flor de Mayo” y Michoacán 128 en Montecillo en riego, Celaya en seco y Montecillo en seco. 2007.

La alta  $T_c$  redujo significativamente la producción de biomasa aérea final y rendimiento de semilla y sus componentes; la  $T_c$  se asoció negativa y significativamente con el rendimiento de semilla [Montecillo en riego ( $RS=-27,4(T_c)+1123$ ,  $r=0,93$ ,  $p\leq 0,01$ ), Celaya en secano ( $RS=-33,2(T_c)+1280$ ,  $r=0,85$ ,  $p\leq 0,01$ ) y Montecillo en secano ( $RS=-24,6(T_c)+937$ ,  $r=0,86$ ,  $p\leq 0,01$ ) (Figura 7a)], biomasa aérea final [Montecillo en riego ( $BMAF=-51,4(T_c)+2131$ ,  $r=0,92$ ,  $p\leq 0,01$ ), Celaya en secano ( $BMAF=-77,8(T_c)+2919$ ,  $r=0,92$ ,  $p\leq 0,01$ ) y Montecillo en secano ( $BMAF=-55,7(T_c)+2099$ ,  $r=0,91$ ,  $p\leq 0,01$ ) (Figura 7b)]; número de vainas normales. $m^{-2}$  [Montecillo en riego ( $VN.m^{-2}=-14,2(T_c)+695$ ,  $r=0,63$ ,  $p\leq 0,05$ ), Celaya en secano ( $VN.m^{-2}=-28(T_c)+1083$ ,  $r=0,78$ ,  $p\leq 0,01$ ) y Montecillo en secano ( $VN.m^{-2}=-35,7(T_c)+1351$ ,  $r=0,85$ ,  $p\leq 0,01$ ) (Figura 7c)] y peso de 100 semillas [Montecillo en riego ( $P100S=-1,4(T_c)+68,4$ ,  $r=0,72$ ,  $p\leq 0,01$ ), Celaya en secano ( $P100S=-1,4(T_c)+66,7$ ,

$r=0,71$ ,  $p\leq 0,01$ ) y Montecillo en secano ( $P100S=-1,3(T_c)+67,2$ ,  $r=0,77$ ,  $p\leq 0,01$ ) (Figura 7d)]. Se observó que los cultivares con mayor rendimiento de semilla también produjeron alta BMAF, VN. $m^{-2}$  y P100S en los 3 ambientes de humedad del suelo (Figuras 7a a 7d). No obstante, al examinar la relación entre la  $T_c$  y RS, BMAF, VN  $m^{-2}$  y P100S en los 3 ambientes, se determinó que la alta temperatura tuvo un efecto más severo en el RS y la BMAF en Celaya en secano que en Montecillo en riego y secano, mientras que en Montecillo en secano el número VN. $m^{-2}$  fue más afectado por la alta temperatura que en Montecillo en riego y Celaya en secano. La  $T_c$  presentó un efecto similar el P100S en los 3 ambientes de humedad del suelo (Figuras 6a a 6d). También se determinó que la alta temperatura redujo el RS, BMAF, VN. $m^{-2}$  y P100S en 12,5, 10,7, 10,2 y 3,4% por cada  $^{\circ}C$  ( $^{-1^{\circ}C}$ ) de aumento en la temperatura del dosel del cultivo en promedio de todas las variedades; FM Noura, FM Anita

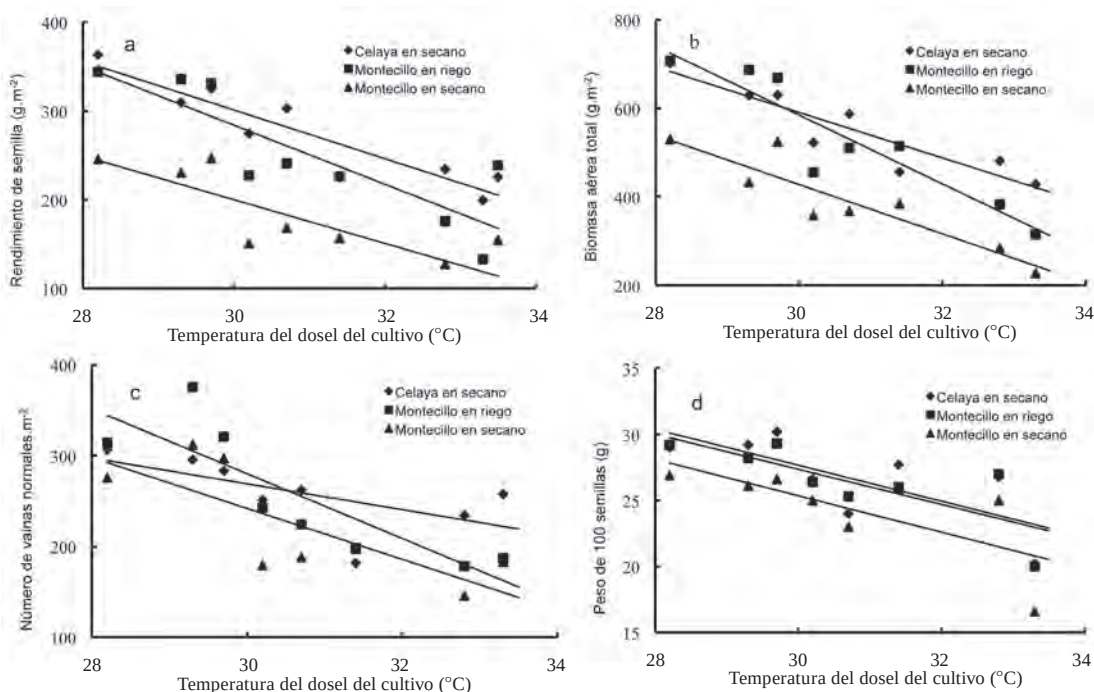


Fig. 7. Relación de la temperatura del dosel del cultivo con el rendimiento de semilla (a), biomasa aérea final (b), número de vainas. $m^{-2}$  (c) y peso de 100 semillas (d), para frijol tipo "Flor de Mayo" y Michoacán 128. 2007.

y FM M38 fueron los cultivares que tuvieron menor reducción en el rendimiento de semilla y sus componentes por efecto del calor en los 3 ambientes (Cuadro 3). Otros trabajos de investigación con altas temperaturas (día/noche; 24/21; 27/24; 30/27 y 33/30°C), durante el desarrollo reproductivo también disminuyeron severamente el número de semillas, número de vainas normales, peso promedio de la semilla y semilla/vaina en 83, 63, 47 y 73%, respectivamente (Rainey y Griffiths 2005). Michoacán 128 tuvo mayores reducciones en RS, BMAF, VN.m<sup>-2</sup> y P100S que los cultivares de tipo “Flor de Mayo”, por efecto de las temperaturas altas.

Los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron una amplia la variabilidad en la respuesta del frijol al estrés, causado por las deficiencias hídricas del suelo y las temperaturas altas del aire, factores desfavorables que

generalmente coinciden con las etapas fenológicas más sensibles de las plantas en los ambientes de secano. Esto también mostró la existencia de variabilidad genética en la capacidad de las plantas para ajustarse osmóticamente en respuesta a la sequía y la forma en que este mecanismo fisiológico, puede contribuir a mantener la turgencia para que las plantas continúen transpirando y con cúmulos de materia seca, para producir rendimiento en condiciones de sequía y altas temperaturas del aire. Con base en los resultados obtenidos, puede inferirse que la obtención de nuevos cultivares de frijol con tolerancia a sequía y calor, puede lograrse al seleccionar genotipos con alta capacidad de ajuste osmótico, alta capacidad de acumulación de biomasa y alta producción de semilla y sus componentes en ambientes con estrés hídrico y altas temperaturas.

Cuadro 3. Porcentaje de rendimiento de semilla (RS), biomasa aérea final (BMAF), número de vainas normales.m<sup>-2</sup> (VN.m<sup>-2</sup>) y peso de 100 semillas (P100S), calculado para cada genotipo de frijol tipo “Flor de Mayo” al dividirlo por el promedio de Montecillo en riego, Celaya en secano y Montecillo en secano. 2007.

| Variedad       | RS                   | BF                   | NV                     | P100S |
|----------------|----------------------|----------------------|------------------------|-------|
|                |                      | (%)                  |                        |       |
| FM Noura       | 136,4                | 133,8                | 124,9                  | 109,1 |
| FM Anita       | 130,4                | 126,5                | 126,1                  | 110,3 |
| FM M38         | 126,1                | 119,7                | 137,4                  | 107,0 |
| FM Sol         | 100,6                | 100,1                | 93,3                   | 92,7  |
| FM Bajío       | 92,1                 | 91,8                 | 93,1                   | 100,1 |
| FM Corregidora | 87,6                 | 90,0                 | 80,4                   | 105,0 |
| FM 2000        | 91,1                 | 94,0                 | 80,9                   | 102,1 |
| FM RMC         | 75,8                 | 78,3                 | 77,0                   | 101,1 |
| Michoacán 128  | 59,8                 | 65,8                 | 87,1                   | 72,7  |
| Media general† | 234,0                | 485,2                | 239,7                  | 26,0  |
|                | (g.m <sup>-2</sup> ) | (g.m <sup>-2</sup> ) | Vainas.m <sup>-2</sup> | (g)   |

## CONCLUSIONES

La deficiencia hídrica del suelo durante la floración (entre las etapas R4 y R6) disminuyó el potencial hídrico, osmótico y de turgencia en

mayor grado en Montecillo en secano que en Celaya en secano y Montecillo en riego. La mayor disminución del potencial osmótico en Montecillo en secano, se reflejó en mayor capacidad de

ajuste osmótico; las variedades con mayor capacidad de ajuste osmótico produjeron mayor rendimiento de semilla, biomasa aérea final, número de vainas normales.m<sup>-2</sup> y peso de 100 semillas. La temperatura del aire se relacionó estrechamente con la temperatura del dosel del cultivo y esta aumentó, al disminuir el contenido de agua del suelo y el potencial hídrico foliar de las plantas durante la floración, al imponerse condiciones de déficit hídrico más severas en el suelo. La temperatura del cultivo se relacionó negativamente con el potencial hídrico y osmótico, sobre todo en el ambiente más seco (Montecillo en seco); los genotipos que mantuvieron más alto grado de turgencia conservaron la temperatura de su follaje más baja. La alta temperatura de la planta redujo el rendimiento de semilla, la biomasa aérea final, el número de vainas normales.m<sup>-2</sup> y el peso de 100 semillas en 12,5, 10,7, 10,2 y 3,4% por cada °C (-1°C) de aumento en la temperatura del dosel del cultivo en promedio de los 3 ambientes de humedad del suelo.

### LITERATURA CITADA

- ACOSTA-GALLEGOS J.A., ROSALES-SERNA R., NAVARRETE-MAYA R., LÓPEZ-SALINAS E. 2000. Desarrollo de variedades mejoradas de frijol para condiciones de riego y temporal en México. *Agricultura Técnica en México* 26 (1):79-98.
- AMEDE T., SCHUBERT S. 2003. Mechanisms of drought resistance in grain legumes. I. Osmotic adjustment. *Ethiopian Journal of Science* 26 (1):37-46.
- BABU R.C., PATHAM M.S., BLUM A., NGUYEN H.T. 1999. Comparison of measurement methods of osmotic adjustment in rice cultivars. *Crop Science* 39:150-158.
- BALOTA M., PAYNE W.A., EVETT S.E., LAZAR M.D. 2007. Canopy temperature depression sampling to assess grain yield and genotypic differentiation in winter wheat. *Crop Science* 47:1518-1529.
- BARRIOS-GÓMEZ E.J., LÓPEZ-CASTAÑEDA C. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia* 43:29-35.
- BASNAYAKE J.A., COOPER M., HENZELL G., LUDLOW M.M. 1996. Influence of the rate of development of water deficit on the expression of maximum osmotic adjustment and desiccation tolerance in three grain sorghum lines. *Field Crops Research* 49:65-76.
- BEGG J.E., TURNER N.C. 1976. Crop water deficits. *Advances in Agronomy* 28:161-217.
- BERRY J., BJÖRKMAN O. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 31:491-543.
- BOOTE K.J., ALLEN L.H., PRASAD P.V.V., BAKER J.T., GESCH R.W., SNYDER A.M., PAN D., THOMAS J.M.G. 2005. Elevated temperature and CO<sub>2</sub> impacts on pollination, reproductive growth, and yield of several globally important crops. *Journal of Agricultural Meteorology Japan* 60:469-474.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT).1982. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común. Cali, Colombia. 26 p.
- EHRLER W.L., IDSO S.B., JACKSON R.D., REGINATO R.J. 1978. Wheat canopy temperature: relation to plant water potential. *Agronomy Journal* 70:251-256.
- GAN Y., ANGADI S.V., CUTFORTH H.W., POTTS D., ANDAGI V.V., McDONALD C.L. 2004. Canola and mustard response to short periods of high temperature and water stress at different developmental stages. *Canadian Journal of Plant Science* 84:697-704.
- GAUR P.M., KRISHNAMURTHY L., KASHIWAGI J. 2008. Improving drought-avoidance root traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.) – Current status of research at ICRISAT. *Plant Production Science* 11 (1):3-11.
- HALL A.E. 2004. Breeding for adaptation to drought and heat in cowpea. *European Journal of Agronomy* 21:447-454.
- HALTERLEIN A.J. 1983. Bean. *Crop-Water Relations*, pp. 157-186. In: I.D. Teare and M.M. Peet (eds.). John Wiley Publications. New York.
- JONES M., RAWSON H. 1979. Influence of rate of development on leaf water deficits upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency, and osmotic potential in sorghum. *Physiologia Plantarum* 45 (1):103-111.
- KUMAR A., OMAE H., EGAWA Y., KASHIWABA K., SHONO M. 2006. Adaptation to heat and drought stresses in snap bean (*Phaseolus vulgaris*) during the reproductive stage of development. *Japan Agricultural Research Quarterly* 40(3):213-216.



- LEPORT L., TURNER N.C., DAVIES S.L., SIDDIQUE K.H.M. 2006. Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. *European Journal of Agronomy* 24:236-246.
- MARTÍNEZ J.P., SILVA H., LEDENT J.F., PINTO M. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy* 26:30-38.
- MORGAN J.M., CONDON A.G. 1986. Water use, grain yield, and osmoregulation in wheat. *Australian Journal Plant Physiology* 13 (4):523-532.
- MORGAN J.M., RODRÍGUEZ-MARIBONA B., KNIGHTS E.J. 1991. Adaptation to water-deficit in chickpea breeding lines by osmoregulation: relationship to grain yields in the field. *Field Crops Research* 27:61-70.
- NAYYAR H., KAUR S., SMITA, SINGH K.J., DHIR K.K., BAINS T. 2005. Water stress-induced injury to reproductive phase in chickpea: evaluation of stress sensitivity in wild and cultivated species in relation to abscisic acid and polyamines. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191:450-457.
- NAYYAR H., WALIA D.P. 2004. Genotypic variation in wheat in response to water stress and abscisic acid induced accumulation of osmolytes in developing grains. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190:39-45.
- PARSONS L.R., HOWE T.K. 1984. Effects of water stress on the water relations of *Phaseolus vulgaris* and the drought resistant *Phaseolus acutifolius*. *Physiologia Plantarum* 60(2):197-202.
- RAINEY K.M., GRIFFITHS P.D. 2005. Differential response of common bean genotypes to high temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130 (1):18-23.
- REYNOLDS M.P., NAGARAJAN S., RAZZAQUE M.A., AGEEB O.A.A. 2001. Heat tolerance. Application of physiology in wheat breeding, pp. 124-135. In: M.P. Reynolds, J.I. Ortiz-Monasterio, A. McNab (eds.). México, D. F. CIMMYT.
- ROSALES S.R., ACOSTA G.J.A., MURUAGA M.J.S., HERNÁNDEZ C.J.M., ESQUIVEL E.G., PÉREZ H.P. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Libro técnico N°. 6). SAGARPA, INIFAP, CIRCE, Campo Experimental Valle de México. Chapingo. México. México. 148 p.
- SAS (Statistical Analysis System), Versión 8 para Windows. 2007. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- SILVA-ROBLEDO H., ORTIZ-LIZANA M., ACEVEDO-HINOJOSA E. 2007. Relaciones hídricas y ajuste osmótico en trigo. *Agrociencia* 41:23-34.
- SINGH S.P. 2005. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement. Volumen 1, Grain Legumes, pp. 11-48. In: R.J. Singh and P.P. Jauhar (eds.). Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, U.S.A.
- STOYANOV Z.Z. 2005. Effects of water stress on leaf water relations of young bean plants. *Journal of Central European Agriculture* 6(1):5-14.
- SUBBARAO G.V., NAM N.H., CHAUHAN Y.S., JOHANSEN C. 2000. Osmotic adjustment, water relations and carbohydrate remobilization in pigeon pea under water deficits. *Journal of Plant Physiology* 157:651-659.
- TURNER N.C. 1986. Crop water deficits: A decade of progress. *Advances in Agronomy* 39:1-51.
- WHITE J.W., IZQUIERDO J. 1991. Physiology of yield potential and stress tolerance. Common beans: Research for crop improvement, pp. 287-382. In: A. van Schoonhoven, O. Voysest (eds.), C.A.B. International, U.K. and CIAT, Cali, Colombia.



## Nota técnica

# EFFECTO DE LA ADICIÓN DE CAL A PLANTACIONES DE JAÚL (*Alnus acuminata*) EN ANDISOLES DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO VIRILLA, COSTA RICA

Marlon Salazar\*, Gilberto Cabalceta<sup>1/\*</sup>, Alfredo Alvarado\*, Manuel Segura\*\*, Álvaro Castillo\*\*

**Palabras clave:** Encalado, jaúl, *Alnus acuminata*, Andisoles.

**Keywords:** Liming, alder, *Alnus acuminata*, Andisols.

**Recibido:** 12/05/10

**Aceptado:** 25/01/11

## RESUMEN

Con el propósito de evaluar el impacto de adicionar cal a plantaciones de jaúl (*Alnus acuminata* (H.B.K.) O. Kuntze) en Andisoles de la cuenca alta del río Virilla, Costa Rica, se realizó el presente trabajo en 2 localidades: 1) Finca Hospicio: Ubicada en la localidad de Vista de Mar, cantón de Goicoechea, a una altitud de 1542 msnm; el suelo se clasificó como *Typic Udivitrands* y la plantación se estableció en el 2002. 2) Finca Dorval: Ubicada en la localidad de Las Nubes, cantón de Vásquez de Coronado, a una altitud de 1925 msnm; el suelo se clasificó como *Thaptic Udivitrands* y la plantación se estableció en 1997. Los tratamientos aplicados fueron 0 (testigo), 750, 1500 y 2250 kg.ha<sup>-1</sup> de carbonato de calcio y magnesio (Dolomita), 1500 kg.ha<sup>-1</sup> de carbonato de calcio (Calcita) y 1500 kg.ha<sup>-1</sup> de sulfato de calcio (Yeso). Se midieron el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1,3 m, la altura total de los árboles (m) y se estimó el volumen (V) mediante la formula:  $V(m^3)=2,71828^{-10,0557+\ln(d)*2,0369+0,927718*\ln(h)}$  propuesta por Segura et al. (2005), en la cual  $d$  es el DAP en cm y  $h$  es la altura total en m. Al comparar las mediciones del diámetro a la altura del pecho, incremento medio anual en diámetro (IMA-DAP), altura total, incremento

## ABSTRACT

**Effect of liming alder plantations (*Alnus acuminata*) in Andisols of the Virilla River upper watershed, Costa Rica.** This experiment was conducted to evaluate the response of alder trees (*Alnus acuminata* (H.B.K.) O. Kuntze) to liming in Andisols of 2 sites of the Virilla River upper watershed, Costa Rica. The first experiment was set up in 2002 at the Hospicio farm, Vista de Mar, Goicoechea County, at 1542 masl; on a soil classified as *Typic Udivitrands*. A second experiment was carried out in 1997 at Dorval farm, Las Nubes, Vásquez de Coronado County, at 1925 masl, on a soil classified as *Thaptic Udivitrands*. Liming treatments were: 0 (check), 750, 1500 y 2250 kg.ha<sup>-1</sup> of calcium and magnesium carbonate (Dolomite), 1500 kg.ha<sup>-1</sup> of calcium carbonate (Calcita) and 1500 kg.ha<sup>-1</sup> of calcium sulfate (Gypsum). Dasometric variables measured were diameter at breast height (DBH) at 1.3 m, total height of trees, and volume was estimated using the formula:  $V(m^3)=2,71828^{-10,0557 + \ln(d)*2,0369 + 0,927718*\ln(h)}$  as proposed by Segura et al. (2005), where  $d$  represents DBH (cm) and  $h$  is total height (m). None of the liming treatments significantly affected DBH annual increment, total height, average height annual

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: gilberto.cabalceta@ucr.ac.cr

\* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

\*\* Compañía Nacional de Fuerza y Luz. San José, Costa Rica.

medio anual en altura (IMA-ALT), volumen total e incremento en volumen total, por dosis y fuentes de cal aplicada, se observó que ningún tratamiento causó diferencias estadísticas, en estas variables en ninguna de las 2 fincas comparadas ni entre épocas de medición. La adición de fuentes y niveles de cal no afectó significativamente las variables diámetro, altura y volumen. La falta de respuesta a las diferentes enmiendas comparadas demuestra que el suelo proporcionó suficiente Ca, Mg y S para asegurar el crecimiento óptimo del jaúl. Tampoco se encontró que los suelos mostraran problemas de acidez de magnitud tal que afectaran negativamente el crecimiento del jaúl.

## INTRODUCCIÓN

La silvicultura de plantaciones de altura es una actividad reciente en Costa Rica. Surge como opción para satisfacer necesidades de bienes y servicios que durante muchos años brindaron los bosques nativos, pero que por falta de previsión en su manejo, se agotan como fuente de recursos en un futuro cercano (Rojas 2001).

La mayoría de las plantaciones forestales se encuentran en regiones tropicales bajas, debido principalmente a que el mayor número de especies seleccionadas para este fin provienen de este tipo de regiones y son de crecimiento rápido. Las plantaciones de altura, normalmente son de coníferas (*Pinus* y *Cupressus*), con la posibilidad de explotar en este piso altitudinal otras especies como *Alnus* y *Cedrela*.

En el manejo de cuencas, las plantaciones forestales de altura tienen un papel importante, ya que ayudan a mejorar el paisaje y a disminuir la cantidad de sedimentos que se acumulan en los cauces de agua, represas y otras obras de ingeniería (Segura et al. 2005). Con este propósito se inició un proyecto de protección de la cuenca del río Virilla, en la Dirección Ambiental

increment, total volume and total volume annual increment in any of the 2 farms. Nor liming affected any tree growth variable by season (dry vs. wet season). No significant differences were found among dasometric variables due to the addition of different liming sources. The lack of response to the soil amendments compared demonstrates that the soil available Ca, Mg and S was enough to provide these nutrients in quantities that allow alder optimum growth. None of the soils studies showed acidity problems large enough to adversely affect alder tree growth.

de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S. A. (CNFL). A partir de 1990 se planteó como objetivo sembrar en la cuenca alta hasta 1000 ha de jaúl (*Alnus acuminata*), especie que por sus características de rápido crecimiento, hoja pequeña (poco propicia a provocar erosión) y capacidad de fijar nitrógeno, es adecuada para planes de recuperación en las zonas altas de Costa Rica. Esta especie se puede usar además en combinación con pastos para corta y pastoreo (CATIE 1984, Budowski y Russo 1997).

El jaúl, es una de las especies principales para la reforestación de áreas comprendidas entre los 1500 y 2600 m de elevación. Debido a su sistema radical lateral, extendido y al crecimiento acelerado de los árboles, se comporta muy bien en suelos de ladera, donde se utiliza para controlar la erosión, restaurar y repoblar áreas muy deterioradas y sostener los cortes de caminos (Tarrant y Trappe 1971, CATIE 1984, Cervantes y Rodríguez 1992, Budowski y Russo 1997). Las especies de *Alnus* generalmente crecen en ambientes considerados como de baja fertilidad y de estrés, tales como condiciones climáticas extremas o áreas disturbadas periódicamente (orillas de lagos y ríos, terrenos sometidos a

deslizamientos frecuentes, etc.), los cuales a menudo tienen pH bajo, baja capacidad tampón y deficiencias de N y P (Grime 1992).

Esta especie presenta un buen desarrollo en suelos bien drenados, limo arcillosos, de origen aluvial o volcánico, aunque también crece en suelos pobres y pedregosos; su desarrollo se ve severamente disminuido en lugares con aguas estancadas o superficiales (Muñoz 1998). Según Sánchez (1985) y Muñoz (1998), el jaúl crece bien en un rango amplio de características edáficas, que incluye las siguientes: pH (agua) 4,7-6,4, capacidad de intercambio de cationes 0,4-18,7 cmol(+).l<sup>-1</sup>, materia orgánica 0,6-28,1%, Mg intercambiable 0,1-6,5 cmol(+).l<sup>-1</sup>, Na intercambiable 0,2-8,8 cmol(+).l<sup>-1</sup>, N 0,01-1,5% y relación C/N 1,4-38,9.

Las zonas de crecimiento de jaúl en Costa Rica, se ubican en suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles), tales como los de la cuenca del río Virilla, parte alta del cantón de Coronado, en la Cordillera Volcánica Central. En Costa Rica, estos suelos se han clasificado principalmente en 2 grandes grupos, Udivitrands y Hapludands. Los Hapludands contienen el mayor contenido de bases y los Udivitrands cantidades medias. Los contenidos de P, S, B y arena disminuyen, mientras que la fracción fina y materia orgánica aumentan desde Udivitrands hasta Hapludands, esto se debe a la mineralogía de las cenizas y al grado de meteorización de estos suelos (Canessa et al. 1986).

La mayoría de los suelos donde la CNFL estableció estas plantaciones son recientes y de origen volcánico, con altos niveles de Fe, Mn y Al total. Cuando están disponibles, dichos elementos pueden producir daños en las raíces y por ende reducir una absorción adecuada de elementos esenciales para el crecimiento de los cultivos (Sánchez y Salinas 1983). Además, es característico de este tipo de suelos la deficiencia de elementos como P, B, Ca y Mg, en particular después de varios años de uso en agricultura (Alvarado et al. 2001).

El jaúl es un árbol capaz de fijar N atmosférico en asociación simbiótica con el actinomiceto

*Frankia*; en adición, su sistema radical puede estar infectado por hongos endomicorrízicos que forman una asociación simbiótica tripartita entre *A. acuminata*, *Frankia* y la micorriza vesículo arbuscular (Rondón y Hernández 1987).

Estudios realizados en plantaciones de diferente edad de *Alnus nepalensis* y *Alnus rubra* (Franklin et al. 1968, Sharma et al. 1985, Sharma 1993), demuestran que la liberación de parte N fijado por estas especies, puede causar un aumento de N y P en el suelo, mientras que el contenido de Ca intercambiable y el pH disminuyeron en el tiempo y hasta una profundidad de 40 cm. Este efecto se debe a la acumulación y humificación de residuos, la acumulación de nitratos, el lavado de nutrimentos por efecto de ión acompañante y de la absorción de cationes por los árboles. Para compensar este problema, sería necesario realizar encalados del suelo cada cierto tiempo, para mantener la sostenibilidad de estos sistemas de producción. Sin embargo, los autores no trabajaron en Andisoles, suelos reconocidos por su alta capacidad tampón, por lo que los procesos de acidificación mencionados, probablemente no son tan importantes en el presente trabajo.

Una nutrición inadecuada o toxicidad puede conllevar a un crecimiento pobre y a un aumento en la susceptibilidad del árbol hacia el ataque de alguna plaga (p.e. *Scolytodes alni*) o enfermedad, provocando así rendimientos bajos (Espinoza 2002) y que correlacionó de manera positiva con el contenido de Fe en el suelo. Para reducir los niveles de Fe disponible, algunos especialistas recomiendan la aplicación de cal en las plantaciones como recomendación del Ing. Agr. Edgar Vargas (q.d.D.g), quien atribuyó el mal a una toxicidad de Fe y Mn (Castillo Á. 1999. Comunicación personal). Sin embargo, la respuesta al encalado en cultivos agrícolas sembrados en Andisoles de Costa Rica, a sido positiva (Hardy y Bazán 1963, Fassbender y Molina 1969, Morelli et al. 1971, Bertsch 1982, Chaves y Alvarado 1994, Henríquez y Bertsch 1997, Molina 1998), atribuible a mejoras en la disponibilidad de Ca y Mg, reducciones en la cantidad de acidez

intercambiable e incrementos en la producción de los cultivos.

Una de las mejores técnicas para contrarrestar la toxicidad de Fe, Mn y Al es la utilización de enmiendas (cales) (Espinosa y Molina 1999, Sánchez y Salinas 1983, Alvarado et al. 2001, Espinoza 2002, Zapata 2003), ya que forma precipitados que los hacen no disponibles y los mantiene en un nivel no tóxico para las plantas por períodos prolongados. Las enmiendas pueden además suplir la falta de elementos base, ya que poseen cantidades considerables de Ca y S (carbonato de calcio y sulfato de calcio) y de Ca y Mg (Dolomita) (Espinosa y Molina 1999). En regiones no tropicales, se han realizado estudios sobre fertilidad y nutrición en el género *Alnus* spp. (Sharman y Ambasht 1987, Zou et al. 1995, Sharman et al. 2002), pero no se ha encontrado información del efecto de enmiendas sobre el crecimiento de *A. acuminata*.

La necesidad de cal en plantaciones forestales de regiones tropicales es importante, cuando los suelos son ácidos y las especies empleadas no son tolerantes a la acidez; sin embargo, para el caso de los Andisoles, la respuesta a la aplicación de cal no está aun bien dilucidada. Para determinar la necesidad de cal se deben conocer 4 factores: 1) la tolerancia de la planta a la acidez, 2) el contenido de acidez del suelo, 3) la calidad del producto encalante a utilizar y 4) los aspectos de manejo del producto involucrados en la aplicación del mismo (al voleo, en banda, incorporado, etc.).

Algunos autores han desarrollado modelos matemáticos que permiten calcular la necesidad de cal a utilizar para neutralizar la acidez del suelo, al considerar los factores mencionados (Cochrane et al. 1980, Espinosa y Molina 1999, Soil Management C.R.S.P. 2002), en ambos casos se asume que la neutralización de la acidez del suelo puede explicarse con modelos lineales, siendo la principal diferencia que en el primer caso se entiende que este mecanismo tiene la misma intensidad, independientemente del grado de acidez del suelo, mientras que en el segundo, se utiliza la combinación de 2 ecuaciones lineales con diferente pendiente asume que la

neutralización de la acidez del suelo es más difícil a niveles bajos de saturación de Al. Para realizar el cálculo de la necesidad de cal al aplicar las ecuaciones anteriormente mencionadas, es necesario conocer el grado de saturación de aluminio que tolera la especie a cultivar, por lo que se han desarrollado cuadros con estos valores (Bertsch 1995).

Para el caso de las especies forestales de importancia, no se conocen valores de tolerancia a la acidez del suelo. Sin embargo, se sabe que *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis* toleran valores elevados de saturación de Al (Pérez et al. 1993); en este caso, al igual que sucede con otras especies como *Hieronymia alchorneoides*, *Terminalia amazonia* y *Calophyllum brasiliense*, la respuesta al encalado puede ser hasta negativa (Calvo et al. 1995).

Cuando las especies a considerar crecen naturalmente en suelos derivados de materiales calcáreos o en suelos aluviales fértiles, tales como *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Cordia alliodora* y *Bombacopsis quinata*, la situación es diferente ya que estas especies si responden al encalado y se ven favorecidas por contenidos elevados de bases cambiables en el suelo (Delgadillo et al. 1991, Vallejos 1996, Montero 1999).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de adición de fuente y dosis de cal sobre las variables de crecimiento de jaul en plantaciones establecidas en Andisoles de la Cuenca Alta del río Virilla, Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Variables ambientales

El estudio se realizó en 2 plantaciones. Finca Hospicio (4 años de edad): se ubica en la localidad de Vista de Mar, cantón de Goicoechea, a una altitud de 1542 msnm (Segura et al. 2005). Tiene una extensión de 1,5 ha. El terreno posee una parte alta plana, una intermedia con pendiente del 30% y una parte baja también plana, el suelo se clasifica como Typic Udivitrands. La plantación se estableció en el 2002. Finca Dorval



(9 años de edad); se ubica en la localidad de Las Nubes, cantón de Vásquez de Coronado, a una altitud de 1925 msnm (Segura et al. 2005). Tiene una extensión de 11 ha. El terreno es ondulado con una pendiente promedio del 25%, el suelo se clasificó como Thaptic Udivitrands. La plantación se estableció en 1997. Las características químicas y físicas de los suelos pueden verse en el Cuadro 1. El muestreo de suelo se realizó con barreno, para 5 submuestras por parcela al azar entre los 0 y 20 cm de profundidad. Las submuestras se colocaron en un recipiente en el cual se uniformizaron y cuartearon para tomar una muestra compuesta de medio kg. Se tomó muestras al inicio del experimento (antes de la aplicación de los tratamientos) y a los 6 y a los

20 meses después del primer muestreo. A las muestras recolectadas se le efectuó análisis de laboratorio en el CIA/UCR. Las muestras se les analizó por pH en agua, acidez intercambiable, Ca y Mg en KCl 1N; P, K, Zn, Cu, Mn y Fe en Olsen Modificado (Díaz-Romeu y Hunter 1978). La materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black (1938). A todas las muestras se les realizó la disolución selectiva de aluminio, hierro y manganeso en oxalato ácido de amonio de acuerdo con el procedimiento descrito por Blakemore et al. (1987). Sobresale el hecho de que los suelos son ligeramente ácidos (pH), bajos en bases, P y S, con una reacción al NaF que indica que los suelos contienen materiales amorfos.

Cuadro 1. Características de fertilidad de los suelos en las fincas Dorval y Hospicio al inicio del experimento.

| Variable | Unidades                | FINCA DORVAL |        |          | FINCA HOSPICIO |        |          |
|----------|-------------------------|--------------|--------|----------|----------------|--------|----------|
|          |                         | Mínimo       | Máximo | Promedio | Mínimo         | Máximo | Promedio |
| pH       | H <sub>2</sub> O        | 5,2          | 5,6    | 5,4      | 5,5            | 5,7    | 5,6      |
| Ca       | cmol(+).l <sup>-1</sup> | 1,71         | 3,41   | 2,44     | 2,17           | 4,90   | 3,62     |
| Mg       |                         | 0,71         | 1,31   | 0,96     | 0,47           | 1,04   | 0,78     |
| K        |                         | 0,13         | 0,22   | 0,17     | 0,15           | 0,41   | 0,24     |
| ACIDEZ   |                         | 0,11         | 0,22   | 0,15     | 0,11           | 0,16   | 0,13     |
| CICE     |                         | 2,85         | 5,01   | 3,71     | 2,96           | 6,18   | 4,77     |
| P        | mg.l <sup>-1</sup>      | 7            | 15     | 9        | 4              | 7      | 5        |
| Cu       |                         | 13           | 21     | 17       | 12             | 17     | 15       |
| Fe       |                         | 172          | 424    | 284      | 88             | 149    | 105      |
| Mn       |                         | 2            | 4      | 3        | 1              | 3      | 2        |
| Zn       |                         | 1            | 4      | 3        | 2              | 4      | 3        |
| B        |                         | 1            | 2      | 1        | 1              | 1      | 1        |
| S        |                         | 6            | 11     | 8        | 6              | 10     | 8        |
| Al       |                         | 0,26         | 1,02   | 0,49     | 0,95           | 1,86   | 1,46     |
| Fe       | % Amorfos               | 0,50         | 0,86   | 0,69     | 0,79           | 1,33   | 1,01     |
| Mn       |                         | 0,01         | 0,02   | 0,01     | 0,02           | 0,03   | 0,02     |
| NaF      | pH                      | 10,0         | 10,9   | 10,4     | 10,5           | 11,0   | 10,8     |
| M. O.    | %                       | 4,8          | 13,1   | 6,3      | 5,7            | 12,9   | 7,2      |

<sup>1</sup> Las unidades están expresadas en m/vol (cmol(+).l<sup>-1</sup>, %=g.100ml<sup>-1</sup>, mg.l<sup>-1</sup>).

<sup>2</sup> Procedimiento: pH en agua, en relación suelo:solución 1:2,5; acidez, Ca y Mg en KCl 1M, 1:10; P, K, Zn, Fe, Mn y Cu en Olsen Modificado (NaHCO<sub>3</sub> 0,5M, EDTA disódica 0,01M, Superfloc 127, pH 8,5), 1:10. Acidez por titulación (CIA-SC09-01-02-P04)\*, P por Espectrofotometría UVV (CIA-SC09-01-02-P06)\* y el resto por Espectrofotometría de AA (CIA-SC09-01-02-P05) (tomado de [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr), Laboratorio de suelos y foliares, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica).

Ambas fincas se ubican dentro de la zona de vida Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB) (Holdridge 1978). La precipitación promedio anual es de 2500 mm, con una temperatura promedio anual que oscila entre 12 y 22,5°C (Segura et al. 2005). La humedad relativa de la zona es alta y la neblina es frecuente, con vientos leves (Montoya 1999, Arce 1999). En ambos sitios los árboles se encuentran plantados a una distancia de 3,5 x 3,5 m, para una densidad inicial de 816 árboles.ha<sup>-1</sup>.

### Diseño experimental de los tratamientos

En cada finca se estableció un diseño de bloques completos al azar de 6 tratamientos con 3 repeticiones (36 parcelas experimentales en total, 18 por finca). Cada parcela útil estuvo constituida por 36 árboles, lo que representó un área de 441 m<sup>2</sup>. En algunos casos se utilizó una parcela de 4 x 10 árboles (490 m<sup>2</sup>), esto debido a las condiciones del terreno. En las parcelas de 6 x 6 se evaluó una parcela útil de 4 x 4 árboles (196 m<sup>2</sup>), mientras que para las parcelas de 4 x 10 se evaluó una parcela útil de 2 x 8 árboles (196 m<sup>2</sup>). Los bloques se conformaron con base en la posición en el terreno (partes alta, pendiente y baja).

Los 6 tratamientos aplicados fueron 0 (testigo), 750, 1500 y 2250 kg.ha<sup>-1</sup> de carbonato de calcio y magnesio (Dolomita), 1500 kg.ha<sup>-1</sup> de carbonato de calcio (Calcita) y 1500 kg.ha<sup>-1</sup> de Sulfato de calcio (Yeso). Las cales se aplicaron al voleo sobre la totalidad del área de la parcela, incluyendo los bordes. Los niveles de cal dolomita se propusieron con el fin de permitir calcular la necesidad del producto a aplicar para disminuir la acidez hasta valores tolerables de la especie cuando los suelos son deficientes en calcio y/o magnesio, sin que existan problemas de acidez, caso común en Andisoles de Costa Rica (Cuadro 1). El problema puede resolverse a través de fertilización de estos 2 elementos y en este caso se acostumbra utilizar cantidades de producto mucho menores que las empleadas cuando se trata de encalado para reducir la acidez (1500 kg.ha<sup>-1</sup> de carbonato de calcio, de sulfato de calcio y de dolomita).

Cada parcela se identificó en el campo con una placa metálica colocada cerca del árbol N°. 1, con la información del tipo de tratamiento aplicado y número de bloque. Los árboles de la parcela útil se numeraron con pintura especial y se marcó con una línea continua el lugar donde debía medirse el diámetro a la altura del pecho (DAP). Los tratamientos se aplicaron una sola vez al inicio de la evaluación.

### Variables de crecimiento de los árboles

Se midieron el diámetro a la altura del pecho (1,3 m), con una cinta diamétrica en cm, y la altura total de los árboles medidos en m con vara telescópica para árboles menores de 20 m de altura e hipsómetro láser para árboles mayores de 20 m; además se estimó el volumen (V) mediante la formula:  $V (m^3) = 2,71828^{-10,0557 + \ln(d) * 2,0369 + 0,927718 * \ln(h)}$  propuesta por Segura et al. (2005), en la cual  $d$  es el DAP en cm y  $h$  es la altura total en m. Los valores de volumen que se reportan representan el valor promedio por tratamiento. Todas las mediciones se realizaron antes de aplicar los tratamientos, a los 6 y 20 meses después de la aplicación de los productos. No se realizó mediciones a los 12 meses debido a que a los 6 meses no hubo respuesta la aplicación de las cales.

### Análisis de los tratamientos

Para cada variable y finca evaluada se realizó un análisis gráfico de los resultados para observar diferencias o tendencias según los tratamientos, y se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y comparación de medias de Tukey, esto para cada variable. Así, se trató de determinar el tratamiento más adecuado para cada finca

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto de los tratamientos con cal sobre el diámetro a altura de pecho (DAP)

Al comparar las mediciones del DAP según las dosis y fuentes de cal aplicada, se observó: 1) que ningún tratamiento causó diferencias

estadísticas, en esta variable en ninguna de las 2 fincas comparadas y 2) tampoco entre épocas de medición (Figura 1). Sin embargo, en la finca Dorval el mayor DAP se observó con la adición

de 750 y 1500 kg.ha<sup>-1</sup> de dolomita, mientras que en la finca Hospicio ocurrió con el tratamiento de 1500 kg.ha<sup>-1</sup> de yeso.

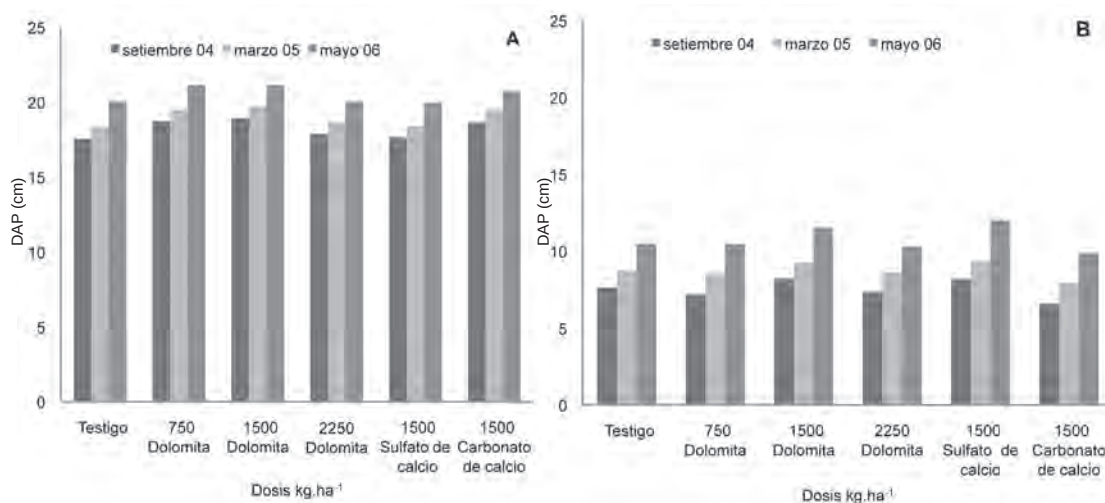


Fig. 1. Efecto de los tratamientos sobre el diámetro de *A. acuminata* a la altura del pecho (DAP) y su variación durante el tiempo de evaluación en las fincas Dorval (A) y Hospicio (B).

Lo encontrado, implica que a pesar de los bajos niveles de Ca, Mg y S, y la baja saturación de acidez, la adición de cales no afectó el diámetro de los árboles, probablemente debido a que la especie soporta bajos niveles de los elementos mencionados en el suelo, por los métodos de análisis utilizados. La poca o nula respuesta de varias especies al encalado en Andisoles es común en la literatura (Fassbender y Molina 1969, Chaves y Alvarado 1994), aunque ocurre cuando los suelos son deficientes en Mg (Alfaro 1998, Molina 1998).

Las diferencias que se notan entre las fincas Hospicio (4 años) y Dorval (7 años), se

deben a su diferencia de edad. Los incrementos en DAP con la época de medición en cada una de las fincas, también son un reflejo del crecimiento normal de los árboles y los incrementos son similares a los encontrados por otros autores para la especie (Segura et al. 2005). Con el análisis de varianza se verifica que no hubo diferencias en el DAP debido a la aplicación de los tratamientos (Cuadro 2), tanto para la finca Dorval ( $p=0,8965$ ), como la finca Hospicio ( $p=0,3037$ ).

Cuadro 2. Análisis de varianza para la variable diámetro a la altura del pecho de *A. acuminata* en función de los tratamientos en las fincas Dorval y Hospicio.

| Finca         | Tratamiento (kg.ha <sup>-1</sup> ) |            |           |           |           |              |
|---------------|------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
|               | Testigo                            | 750 Dol.** | 1500 Dol. | 2250 Dol. | 1500 Yeso | 1500 Calcita |
| Dorval (cm)   | 20,03 A                            | 21,13 A    | 21,13 A   | 20,03 A   | 19,97 A   | 20,73 A      |
| Hospicio (cm) | 10,47 A                            | 10,47 A    | 11,53 A   | 10,30 A   | 12,00 A   | 9,87 A       |

\*Letras diferentes implican diferencias estadísticas del 95% entre tratamientos, según prueba de Tukey.

\*\*Dol.: dolomita.

### Efecto de la adición de cal sobre el incremento del DAP

El incremento medio anual en diámetro (IMA-DAP) corresponde a la diferencia en diámetro entre la lectura al inicio del trabajo y la última, efectuada 20 meses después. De acuerdo con las curvas de crecimiento de la especie

(Segura et al. 2005), los mayores incrementos ocurren a edades tempranas, por lo que el hecho de que en la finca Hospicio el incremento sea mayor que en la finca Dorval se considera normal (Figura 2). Sin embargo, el análisis de varianza corrobora que las diferencias entre los tratamientos en la finca Dorval ( $p=0,2646$ ) y Hospicio ( $p=0,9634$ ) no son significativos.

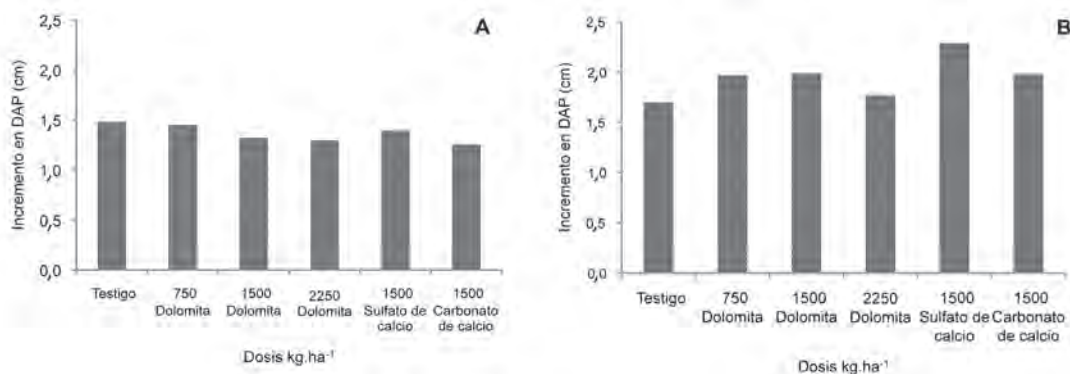


Fig. 2. Efecto de los tratamientos sobre el incremento medio anual del diámetro a la altura del pecho (IMA-DAP) de *A. acuminata* en las fincas Dorval (A) y Hospicio (B) a los 20 meses de aplicada la cal.

Durante el período de evaluación, el DAP en la finca Dorval creció en promedio 2,28 cm, mientras que en finca Hospicio aumentó 3,25 cm. Si los valores se estiman como IMA-DAP, la finca Dorval tiene un valor de 1,37 cm, mientras que en la finca Hospicio es de 1,95 cm. Segura et al. (2005) encontraron que, para fincas entre 3,6 y 4,5 años de edad de la misma región, el IMA-DAP

varía entre 3,40 y 3,17 cm y para fincas entre 4,5 y 7,5 años varía entre 3,17 y 2,76 cm, por lo que los incrementos encontrados en el presente trabajo se consideran inferiores a los de los autores mencionados. Al menos en el caso de la finca Hospicio, el bajo incremento diamétrico se puede explicar como causa de un efecto negativo fuerte del viento sobre el crecimiento de los árboles.

### Efecto del encalado sobre la altura total

La altura total de los árboles no varió significativamente con la adición de fuentes y niveles de cal (Figura 3). Al igual que con el DAP, la diferenciación entre los tiempos de medición se debe al crecimiento normal de los árboles sin que se observe que en algún caso sea por efecto de tratamiento. En la finca Hospicio, debido a su

mayor velocidad de crecimiento se presentan las mayores alturas entre tiempos de medición que en la finca Dorval.

El análisis de varianza realizado a la altura total de los árboles de jaúl corrobora que, para finca Dorval ( $p=0,2684$ ) o para la finca Hospicio ( $p=0,8486$ ), no se encontró diferencias estadísticas entre tratamientos (Cuadro 3).

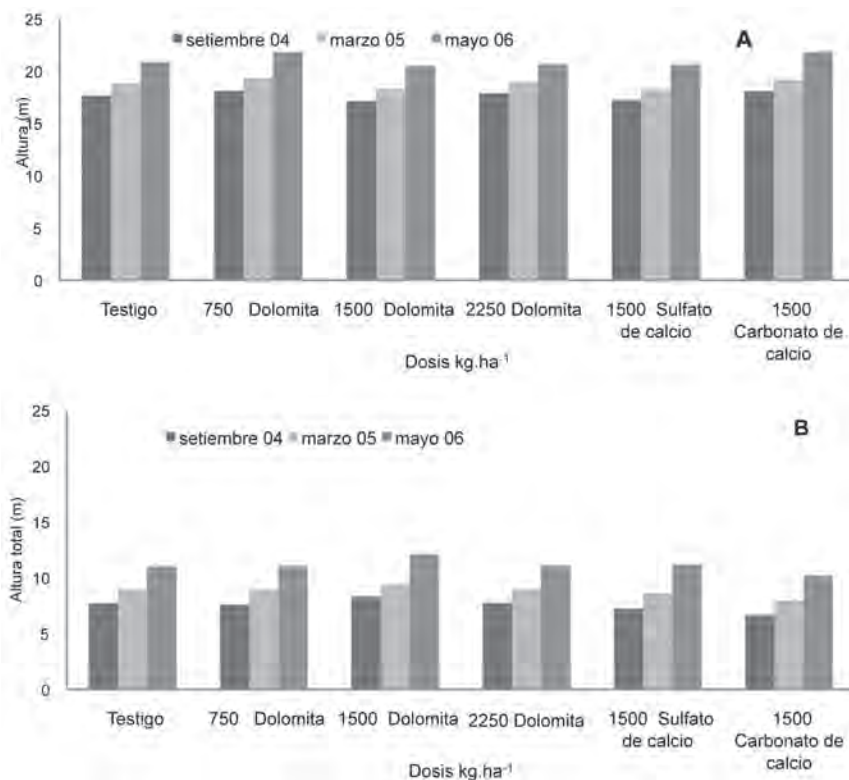


Fig. 3. Efecto de los tratamientos de encalado sobre la altura total de los árboles de *A. acuminata* y su variación durante el tiempo de evaluación del ensayo en la finca Dorval (A) y en la finca Hospicio (B).

Cuadro 3. Análisis de varianza de la altura total de los árboles de *A. acuminata* en función de los tratamientos en las fincas Dorval y Hospicio.

| Finca        | Tratamiento (kg.ha <sup>-1</sup> ) |            |           |           |           |              |
|--------------|------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
|              | Testigo                            | 750 Dol.** | 1500 Dol. | 2250 Dol. | 1500 Yeso | 1500 Calcita |
| Dorval (m)   | 21 A                               | 22 A       | 21 A      | 21 A      | 21 A      | 22 A         |
| Hospicio (m) | 11 A                               | 11 A       | 12 A      | 11 A      | 11 A      | 10 A         |

\*Letras diferentes implican diferencias estadísticas del 95% entre tratamientos, según prueba de Tukey.

\*\*Dol.: dolomita.

### Efecto de la adición de cal sobre el incremento de la altura total

En la finca Dorval los mayores incrementos en altura se observaron en el tratamiento de 750 kg.ha<sup>-1</sup> de dolomita, mientras el tratamiento

de 1500 kg.ha<sup>-1</sup> de yeso fue ligeramente superior al resto de los tratamientos en la finca Hospicio (Figura 4). En ninguna de las 2 fincas se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados (Dorval  $p=0,8431$  y Hospicio  $p=0,9943$ ).

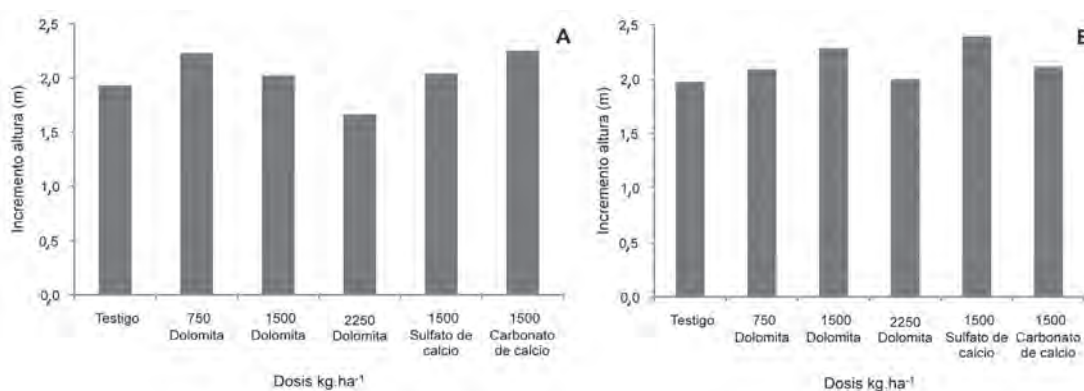


Fig. 4. Efecto de los tratamientos sobre el incremento de la altura total de los árboles de *A. acuminata* en la finca Dorval (A) y en la finca Hospicio (B) después de 20 meses de la aplicación de las cales.

El incremento en altura observado en ambas fincas durante la evaluación del ensayo fue similar (Dorval=3,37 m; Hospicio=3,57 m), por lo que el incremento medio anual (IMA-ALT) para finca Dorval (2,02 m) es prácticamente igual al del Hospicio (2,14 m). Segura et al. (2005) menciona que, para el caso de plantaciones entre 3,6 y 4,5 años, el IMA-ALT se encuentra entre 3,33 y 3,15 m, y para el caso de fincas entre los 4,5 y 7,5 años entre 3,15 y 2,72 m. Según los criterios de Camacho y Murillo (1986), las plantaciones de

Dorval corresponden a sitios de crecimiento alto y las de Hospicio a crecimiento medio.

### Efecto de la adición de enmiendas sobre el volumen total

Aunque se dieron variaciones normales marcadas en volumen entre los períodos de evaluación, no se observaron diferencias debidas a los tratamientos aplicados en ninguna de las 2 fincas (Figura 5).



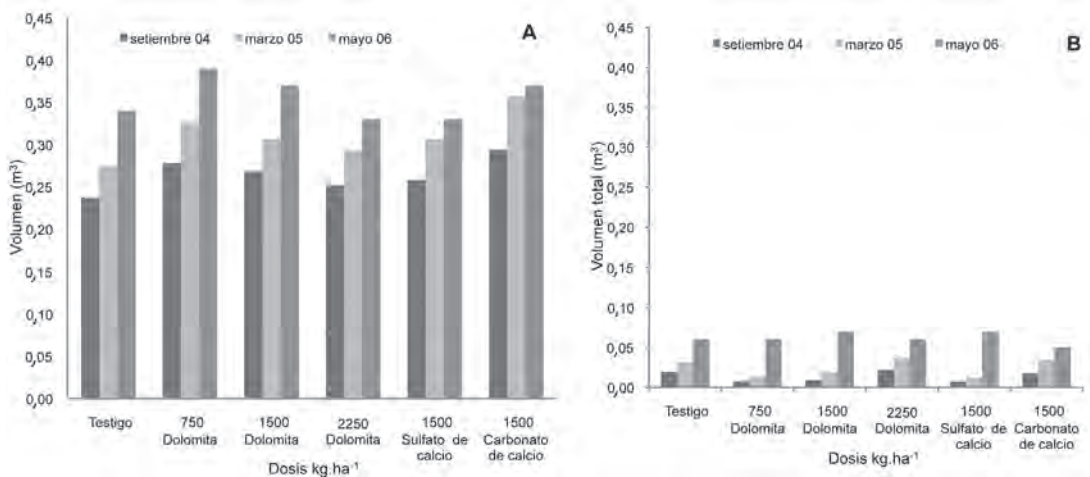


Fig. 5. Efecto de los tratamientos de encalado sobre el volumen total de los árboles de *A. acuminata* y su variación durante el tiempo de evaluación del ensayo en la finca Dorval (A) y en la finca Hospicio (B).

Es muy notoria la diferencia entre los volúmenes de ambas fincas, ya que Dorval tiene 7 años y Hospicio 4 (Cuadro 4). Estos datos corroboran lo mencionado por Camacho y Murillo (1986), al emplear como criterio el IMA-ALT.

El análisis de varianza realizado a la variable volumen, tampoco refleja diferencias estadísticas entre tratamientos tanto para finca Dorval ( $p=0,8721$ ), como para finca Hospicio ( $p=0,6495$ ) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza de la variable volumen total ( $m^3$ ) de los árboles en función de los tratamientos en 2 fincas de *A. acuminata*.

| Finca              | Tratamiento ( $kg \cdot ha^{-1}$ ) |            |           |           |           |              |
|--------------------|------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
|                    | Testigo                            | 750 Dol.** | 1500 Dol. | 2250 Dol. | 1500 Yeso | 1500 Calcita |
| Dorval ( $m^3$ )   | 0,34 A                             | 0,39 A     | 0,37 A    | 0,33 A    | 0,33 A    | 0,37 A       |
| Hospicio ( $m^3$ ) | 0,06 A                             | 0,06 A     | 0,07 A    | 0,06 A    | 0,07 A    | 0,05 A       |

\*Letras diferentes implican diferencias estadísticas del 95% entre tratamientos, según prueba de Tukey.

\*\*Dol.: dolomita.

El volumen total promedio en finca Dorval (7 años) se calculó en  $0,36 m^3$ , mientras que para finca Hospicio (4 años) el volumen total promedio fue de  $0,06 m^3$ . Segura et al. (2005) reporta que para una finca de 4 años encontró un volumen de  $0,13 m^3$ , mientras que para una de 7 años el volumen promedio fue de  $0,35 m^3$ .

### Efecto de los tratamientos de encalado sobre el incremento del volumen

El incremento de volumen del período evaluado (Figura 6) no mostró diferencias debido a los tratamientos en la finca Dorval ( $p=0,6366$ ) ni en la finca Hospicio ( $p=0,4441$ ). Las diferencias

observadas se dan por efecto de las edades de las fincas Dorval (a 7 años promedio  $0,05 \text{ m}^3$ ) y Hospicio (a los 4 años promedio  $0,03 \text{ m}^3$ ). Sin embargo, el hecho de que en la finca más joven los incrementos sean menores que

en la finca de mayor edad implica que hay factores de sitio que afectan negativamente el incremento en volumen (probablemente exceso de viento y/o el efecto de las taltuzas sobre el crecimiento radical).

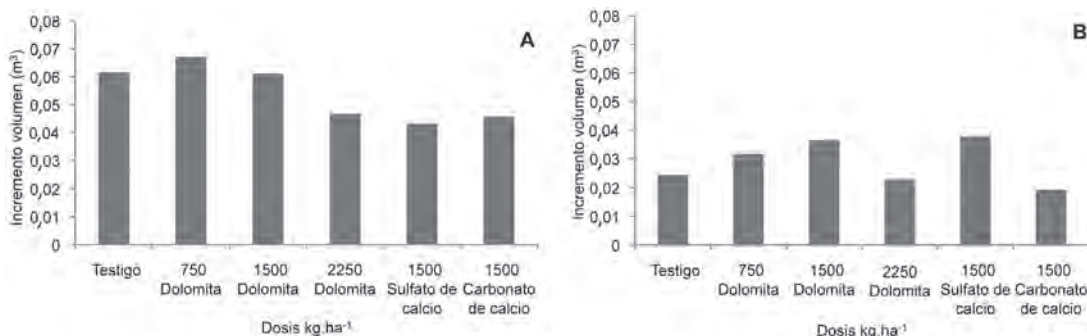


Fig. 6. Efecto de los tratamientos de encalado sobre el incremento del volumen total de los árboles (IMA-ALI) de *A. acuminata* en la finca Dorval (A) y en la finca Hospicio (B) después de 20 meses de la aplicación de las cales.

Al comparar los valores del incremento corriente anual (ICA) de volumen del presente estudio con los mencionados por Segura et al. (2005), se encontró que para Dorval (7 años) el ICA es de  $0,05 \text{ m}^3$  y en el estudio anteriormente mencionado, los valores de ICA para volumen en plantaciones entre 4,5 y 7,5 oscilan entre  $0,05$  y  $0,08 \text{ m}^3$ . Para finca Hospicio (4 años) el ICA se calculó en  $0,03 \text{ m}^3$  y, según el estudio de Segura et al. (2005), los valores de ICA para sitios entre los 3,6 y 4,5 años, están entre  $0,049$  y  $0,048 \text{ m}^3$ . Se observa entonces que el ICA para Dorval está dentro de los rango observados por los autores mencionados anteriormente, mientras que para finca Hospicio el ICA esta muy por debajo de los rangos reportados.

## CONCLUSIONES

La adición de fuentes y niveles de cal no afectó significativamente ninguna de las variables dasométricas estimadas (diámetro, altura, volumen).

En este sentido, lo mismo da adicionar calcita, que dolomita o yeso, pues se obtienen

resultados similares, lo que demuestra que los suelos en las fincas bajo estudio tenían suficiente Ca, Mg y S disponible para el crecimiento del jaúl.

Tampoco se encontró que los suelos mostraran problemas de acidez de magnitud tal que afectaran negativamente el crecimiento del jaúl, lo que explica la no respuesta a la adición de las enmiendas comparadas e impide determinar niveles críticos de acidez del suelo o de tolerancia a la acidez para esta especie.

El efecto nulo de la adición de enmiendas se dio tanto en plantaciones de 4 (Hospicio) como de 7 (Dorval) años.

Las diferencias observadas entre las fincas comparadas se deben a su edad y permiten determinar que en el caso de Hospicio el crecimiento es medio, mientras que en Dorval es alto.

## RECOMENDACIONES

Los resultados permiten recomendar que se suspendan las aplicaciones de cal en las plantaciones de jaúl, dado que la aplicación no causa efectos positivos sobre las variables de

crecimiento y por el contrario elevan los costos de mantenimiento de las mismas.

### AGRADECIMIENTOS

Por la ayuda logística, en especial al personal del vivero de Vista de Mar por su valiosa ayuda en la aplicación de los tratamientos y medición de las variables de crecimiento. A la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR) por el financiamiento de esta investigación. A la empresa Abonos Agro, por la donación del yeso empleado como enmienda. Al personal del Laboratorio de Suelos y Foliare del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica por su colaboración en el procesamiento y análisis de las muestras y todas las personas que de alguna manera aportaron para la realización de este proyecto.

### LITERATURA CITADA

- ALFARO R. 1998. Fuentes y épocas de aplicación de magnesio en café (*Coffea arabica*). In Memorias III Seminario Resultados y Avances de Investigación 1997. ICAFE. San José, Costa Rica. pp. 87-89.
- ALVARADO A., BERTSCH F., BORNEMISZA E., CABALCETA G., FORSYTHE W., HENRÍQUEZ C., MATA R., MOLINA E., SALAS R. 2001. Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 111 p.
- ARCE M. 1999. Estudio de la reforestación para la plantación de lechería experimental de altura S. A. San José, Costa Rica. 120 p.
- BERTSCH F. 1982. Fertilidad de nueve suelos clasificados como Typic Dystrandepts en Costa Rica. Tesis de maestría, CATIE-UCR, Turrialba, Costa Rica. 122 p.
- BERTSCH F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- BLAKEMORE L.C., SEARLE P.L., DALY B.K. 1987. Method for chemical analysis of soil. Soil Boureau Scientific, N°. 2. p. 45-46.
- BUDOWSKI G., RUSSO R. 1997. Nitrogen fixing trees and nitrogen fixation in sustainable agriculture: research challenges. Soil Biol. Biochem. 29(5/6):767-770.
- CALVO J., ARIAS D., SIBAJA A. 1995. Resultados de un ensayo de encalado y fertilización en plantaciones de *Terminalia amazonia* en una suelo Ultisol en Buenos Aires de Osa. Proyecto "Recuperación de tierras degradadas para el manejo productivo: reforestación con especies nativas en la zona sur de Costa Rica". OET-ITCR-DUKE-USAID. Documento de trabajo. San José, Costa Rica. pp. 61-65.
- CAMACHO P., MURILLO O. 1986. Algunos resultados preliminares de la epidometría del jaúl *Alnus acuminata* (H.B.K.) O. Kundze. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. p.i.
- CANESSA J., SANCHEZ F., ALVARADO A. 1986. Retención de fosfatos en Andepts de Costa Rica. I. Relaciones entre la retención de fosfatos, el pH en NaF y el aluminio activo. Turrialba 36(4):431-438.
- CATIE. 1984. Especies para leña: arbustos y árboles para la producción de energía. Trad. V. Argüello de Fernández. Turrialba, Costa Rica. pp. 126-127.
- CERVANTES E., RODRÍGUEZ C. 1992. Relationships between the mycorrhizal and actinorhizal symbioses in non-legumes. Methods in Microbiology 24:417-431.
- CHAVES M.A., ALVARADO A. 1994. Manejo de la fertilización en plantaciones de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Andisoles de ladera de Costa Rica, pp. 353-372. In: 15 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Volume 7a: Commission VI: Symposia. Acapulco, México
- COCHRANE T., SALINAS J., SANCHEZ P. 1980. An equation for liming acid mineral soil to compensate crop aluminium tolerance. Tropical Agriculture 57:133-140.
- DÉLGADILLO R., ALDUNATE J., ALVARADO A. 1991. Situación de la agroforestería en el subtrópico húmedo de la región del Chapare, Bolivia, pp. 257-263. In: T.J. Smyth, W.R. Raun y F. Bertch (eds.). Manejo de suelos tropicales en latinoamérica. NCSU/CIMMYT/UCR/USAID. San José, Costa Rica.
- DÍAZ-ROMEAO R., HUNTER A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.

- ESPINOSA J., MOLINA E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Canadá, INPOFOS –CIA/UCR. 42 p.
- ESPINOZA D. 2002. Evaluación fitosanitaria de las plantaciones de jaíl (*Alnus acuminata* spp. arguta (Schlectendal) Furlow) del proyecto Plama–Virilla. Informe de Práctica de Especialidad. Cartago, Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 91 p.
- FASSBENDER H.W., MOLINA R. 1969. Influencia de las enmiendas calcáreas y silicatadas sobre El efecto de La fertilizantes fosfatados en suelos derivados de cenizas volcánicas en Costa Rica. In. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, CATIE, pp. c. 2.1-c.2.12.
- FRANKLIN J., DYRNESS C., MOORE D., TARRANT R. 1968. Chemical soil properties under coastal Oregon stands of alder and conifer, pp. 157–172. In: J.M. Trappe, J.F. Franklin, R.T. Tarrant, G.H. Hansen (eds.) Biology of alder. Portland, Oregon, USA. USDA.
- GRIME J. 1992. Ecological strategies of trees. In: J.E. Milner (ed). The Tree Book. Collins and Brown. London. pp. 117–119.
- HARDY F., BAZÁN R. 1963. Preliminary liming pot tests with soils of Costa Rica: I Birrisito series. Inter-American Institute of Agricultural Sciences. Turrialba, Costa Rica. 9 p.
- HENRÍQUEZ C., BERTSCH F. 1997. Comportamiento de Ca, Mg y K en respuesta a la aplicación de fertilizante potásico y de cal dolomítica en un andisol de la Zona Sur de Costa Rica. Agronomía Costarricense 21(2):239-248.
- HOLDRIDGE L. 1978. Ecología basada en las zonas de vida. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 216 p.
- LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES, CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS. UNIVERSIDAD DE COSTA RICA. 2007. Consultado 2007. Disponible en <http://www.eca.or.cr>.
- MOLINA E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 45 p.
- MONTERO M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis de maestría, Universidad Austral de Chile, Valdivia/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- MONTOYA A. 1999. Plan de reforestación para la plantación de Dorval S. A. San José, Costa Rica. FUNDECOR. 233 p.
- MORELLI M., IGUE K., FUENTES R. 1971. Efecto del encalado en el complejo de cambio y movimiento de Ca y Mg. Turrialba 21(3):317-322.
- MUÑOZ F. 1998. Propiedades y usos de las maderas de jaíl y melina. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. s. p.
- PÉREZ J., BORNEMISZA E., SOLLINS P. 1993. Identificación de especies forestales acumuladoras de aluminio en una plantación experimental ubicada en Sarapiquí, Costa Rica. Agronomía Costarricense 17(12):99–104.
- ROJAS F. 2001. Plantaciones forestales. 2 ed. San José, Costa Rica, EUNED. 260 p.
- RONDON J., HERNANADEZ G. 1987. Efectos de la aplicación de nitrato de sodio, sulfato de amonio y urea sobre el crecimiento, ondulación y contenido de nitrógeno en *Alnus acuminata* H. B. K. Revista Forestal Venezolana 31:79–91.
- SÁNCHEZ P., SALINAS J. 1983. Low input technology for managing Oxisol and Ultisol in tropical America. Advances Agronomy 34:279–406.
- SÁNCHEZ V. 1985. Raleos iniciales en una plantación de *Alnus acuminata* (H. B. K.) Oktze en Cascajal de Coronado. Práctica de especialidad. Departamento de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. s. p.
- SEGURA M., ETXALEKU N., CASTILLO A., SALAZAR M., ALVARADO A. 2005. Respuesta a la fertilización con P en plantaciones de jaíl (*Alnus acuminata*) en Andisoles de la cuenca de río Virilla, Costa Rica. Agronomía Costarricense 29(2):121-134.
- SHARMA, E. 1993. Nutrient dynamics in Himalayan alder plantations. Annals of Botany 72:329–336.
- SHARMA T., AMBASHT R., SING M. 1985. Chemical soil properties under five age series of *Alnus nepalensis* plantations in the Estern Himalayas. Plant and Soil 84:105–113.
- SHARMAN E., AMBASHT R.S. 1987. Litterfall, descomposition and nutrient release in an age sequence of *Alnus nepalensis* plantation stand in

- the Eastern Himalaya. *Journal of Ecology* 75(4):997-1010.
- SHARMAN G., SHARMAN R., SHARMAN E., SINGH K.K. 2002. Performance of series of *Alnus*-cardamom plantations in the Sikkim Himalaya: Nutrient dynamics. *Annals of Botany* 89:273-282.
- SOIL MANAGEMENT C.R.S.P. 2002. Nutrient management support system (NuMaSS) version 2.0 (beta). Cornell, Hawaii, N.C. State University, Texas A&M. North Carolina, USA. Disco compacto.
- TARRANT R., TRAPPE J. 1971. The role of *Alnus* in improving the forest environments. *Plant and Soils* (special issue), pp. 335–348.
- VALLEJOS B. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafomórficas y foliares para *Tectona grandis* L.F., *Bombacopsis quinata* (jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica. Tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 147 p.
- WALKLEY A., BLACK C.A. 1938. An examination of Degtjareff's method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- ZAPATA R. 2003. La química de la acidez del suelo. Medellín, Colombia, Facultad de Ciencias, Escuela de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia. 170 p.
- ZOU X., BINKLEY D., CALDWELL B.A. 1995. Effects of dinitrogen – fixing trees on phosphorus biogeochemical cycling in contrasting forests. *Soil Science Society America Journal* 59(5):1452-1458.





## Nota técnica

# CAMBIO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE 12 HÍBRIDOS COMERCIALES DE ZANAHORIA DURANTE EL ALMACENAMIENTO<sup>1</sup>

*Fernando Richmond<sup>2/\*</sup>, Carlos H. Méndez\*, Gerardina Umaña\*\**

**Palabras clave:** Híbridos, poscosecha, variables de deterioro, zanahoria.

**Keywords:** Carrot, hybrids, postharvest, injuries.

**Recibido:** 27/04/10

**Aceptado:** 12/11/10

## RESUMEN

Se realizó un estudio para determinar el comportamiento poscosecha durante su almacenamiento en raíces de 12 híbridos comerciales de zanahoria y su respectiva casa productora: Bangor F1, Nandrin F1, Napoli F1 y Norwich F1 de Bejo; Big Sur y Sirkana de Nunhems; Bolero F1 y Concerto F1 (VAC 03 F1) de Vilmorin; XCR3688 y S-505 de Sakata; Esperanza y Dulce de Seminis, cultivados en Cot de Oreamuno, Cartago. Se aplicó un tratamiento poscosecha estándar a todas las raíces de los diferentes híbridos provenientes del campo, que consistió en lavar mecánicamente mediante cepillado con agua y extracto de semillas de cítricos (Kilol L DF-100), seleccionar las raíces comerciales y pasarlas por un hidroenfriador a una temperatura de 2°C durante 15 min; luego, empacar las raíces en bolsas plásticas comerciales, para ser llevadas al laboratorio poscosecha, donde se almacenaron en una cámara fría a 2°C durante 8 semanas (56 días). Se establecieron 2 grupos de raíces pertenecientes a cada híbrido; en el primer grupo se evaluó semanalmente en diferentes raíces las variables color externo, firmeza, relación xilema/floema y contenido de sólidos solubles totales (°brix); en el segundo grupo se

## ABSTRACT

**Change in the quality characteristics of 12 commercial hybrids of carrots during storage.** A study was conducted to determine the postharvest behavior during root storage of 12 commercial carrot hybrids: Bangor F1, Nandrin F1, Napoli F1 and Norwich F1 (from Bejo), Big Sur and Sirkana (from Nunhems), Bolero F1, Concerto F1 (VAC-03 F1) (from Vilmorin); XCR3688 and S-505 (from Sakata), Esperanza and Dulce (from Seminis), all grown in Cot, Oreamuno, Cartago. A standard postharvest treatment was applied to all roots, which consisted of washing mechanically by brushing with water and citrus seed extract (Kilol L DF-100), selecting the commercial roots and passing them through an hydro cooler at 2°C for 15 min, then packing the roots in commercial plastic bags, and finally taking them to the postharvest, laboratory, where they were stored in a cold room at 2°C for 8 weeks (56 days). Two groups of roots belonging to each hybrid were established; in the first group the following external variables were assessed weekly on different roots: external color, firmness, xylem/phloem ratio and total soluble solids (°brix). In the second group the following external variables were also evaluated weekly:

1 Este trabajo forma parte de la tesis de grado del primer autor. Programa de Hortalizas, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. Universidad de Costa Rica.  
2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: fernando.richmond.17@gmail.com

\* Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica.

\*\* Laboratorio de Tecnología Poscosecha, Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

evaluó semanalmente en las mismas raíces las variables color externo, pérdida de peso (cambio en la masa de la raíz) e incidencia de factores de deterioro poscosecha. Se encontraron 3 tipos de daños en las raíces evaluadas: daño fisiológico, agentes patogénicos y sin agente causal conocido. El comportamiento de los materiales evaluados fue el siguiente: no hubo diferencia entre híbridos para la pérdida de peso; el color externo solo difirió en Big Sur, con respecto a los demás híbridos; XCR3688 y Bolero F1 mostraron una mayor firmeza; Bolero F1 presentó el mayor valor para grados brix. Los híbridos con el mejor comportamiento poscosecha fueron Dulce, S-505, XCR3688 y Big Sur.

## INTRODUCCIÓN

El sector agrícola exportador costarricense ha encontrado nuevos mercados para la zanahoria, por lo que se ha incrementado el área de producción significativamente en los últimos años (SEPSA 2009). El producto de exportación tiene que cumplir con normas de calidad más estrictas que las del mercado local, que pueden alcanzarse con nuevos materiales genéticos. El estudio poscosecha de estos materiales por consiguiente adquiere gran importancia porque permitiría conocer la fisiología del producto, los agentes patogénicos que lo afectan y las condiciones óptimas de temperatura, para su almacenamiento entre otros. Con un manejo adecuado de estos factores se puede mantener la calidad y aumentar la vida en anaquel del producto.

Las raíces de zanahoria pueden perder calidad durante el almacenamiento por factores como cambio de color, producido por deshidratación, oxidación de carotenoides o formación de lignina, lo que provoca un cambio de color naranja intenso a naranja pálido (Uquiche y Cisneros 2002); pérdida de firmeza por la despolimerización y desesterificación de las sustancias pécticas (Reina y Bonilla 1997, Seljåsen et al. 2003), y

external color, weight loss (change in root mass) and incidence of postharvest deterioration factors, but on the same roots every week. Three types of root damage were found: physiological damage, pathogens and unknown causal agent. There was no difference among hybrids for weight loss; only Big Sur showed a different external color with respect to the other hybrids; XCR3688 and Bolero F1 showed greater firmness, and Bolero F1 had the highest brix value. Hybrids with the best postharvest behavior were Dulce, S-505, XCR3688 and Big Sur.

pérdida de peso por deshidratación, que podría afectar severamente la calidad si alcanza el 8% (Bevan et al. 1997).

Entre las fisiopatías poscosecha más comunes se encuentran las magulladuras, brotación, raíces blancas, amargor, daño por congelamiento y blanqueamiento (Edifarm 2003). Los problemas más importantes detectados en la zanahoria producida en Cartago son heridas, que evolucionan en oscurecimiento de la raíz, corchosis amarillenta, pérdida de rigidez, brotación de follaje y aspecto cenizo de las raíces (Marín 2006).

Para el procesamiento industrial, las zanahorias deben cumplir con ciertos estándares de calidad. Entre ellos están el contenido de sólidos solubles (varía de 7 a 14 grados brix; valores superiores a 8 son deseables (Gabriel et al. 2005, Rodríguez 2005); el pH (4,2 o menos, es lo óptimo), el porcentaje de humedad o contenido adecuado de materia seca, una relación xilema-floema baja para lograr una mayor concentración de azúcares (Basset 1973, Krarup y Mosnaim 1980, Hosfiel et al. 1982), color, forma, uniformidad de raíces y rendimiento total.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento durante el almacenamiento de las

raíces de 12 híbridos comerciales de zanahoria e identificar los principales problemas poscosecha.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las zanahorias fueron cultivadas del 15 de junio al 16 de octubre de 2007 en Cot de Oreamuno, Cartago, Costa Rica, coordenadas geográficas 9° 54' 4,8" N, 83° 53' 10,7" O, a una altitud de 1921 msnm; el suelo se clasificó como Andisol (Mata 1991). Los híbridos comerciales y su casa productora fueron: Bangor F1, Nandrin F1, Napoli F1 y Norwich F1 (Bejo); Big Sur y Sirkana (Nunhems); Bolero F1 y Concerto F1 (Vilmorin); XCR3688 y S-505 (Sakata); Esperanza y Dulce (Semini).

A la cosecha, se realizó una preclasificación de las raíces comerciales en el campo (primera y segunda calidad), las cuales se colocaron en sacos y se transportaron a la planta empaadora de la Corporación Hortícola Nacional, situada en La Chinchilla de Oreamuno. Allí se lavaron mecánicamente con cepillos y agua con Kilol a una concentración de 0,05 ml.l<sup>-1</sup>; se reclasificaron manualmente en producto comercial de exportación y rechazo.

Las raíces exportables fueron sometidas a un tratamiento de hidrogenfriamiento a 2°C por 15 min, el hidrogenfriador fue ensamblado en Costa Rica con partes provenientes de diferentes proveedores. Finalmente, las raíces se empaaron en bolsas plásticas transparentes de polietileno de 0,55 kg de capacidad, 17 cm de ancho por 34 cm de largo; con 12 perforaciones (6 en cada cara, separadas 10,5 cm entre sí con un diámetro de 6 mm), y selladas con cinta adhesiva.

De cada híbrido fueron empacadas 44 bolsas las cuales fueron transportadas a las instalaciones del Laboratorio de Tecnología Poscosecha, Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, ubicado en San Pedro de Montes de Oca, San José, para ser almacenadas en cámaras frías a 2°C durante 8 semanas (56 días). La evaluación poscosecha se llevó a cabo durante octubre a diciembre de 2007.

Cada repetición, constituida por 11 bolsas con 4 raíces por bolsa, fue dividida en 2 grupos, un grupo de 8 bolsas fue utilizado para evaluar las "variables de carácter destructivo". Cada semana se escogió al azar una bolsa por híbrido y se evaluó: color de cáscara, firmeza, relación xilema/floema y contenido de sólidos solubles totales (brix). El segundo grupo de 3 bolsas por híbrido fue usado para las evaluaciones no destructivas cada semana: color externo, porcentaje de pérdida de peso (cambio en la masa de la raíz) e incidencia de factores de deterioro poscosecha, después de cada evaluación todas las bolsas se cerraron con una liga. Ambos grupos fueron evaluados fuera de la cámara fría.

Se midió la coloración externa de la raíz con un colorímetro marca Minolta CR-200 con la escala CIE, en donde la coordenada L\* es una medida de la luminosidad o brillantez, a\* varía desde los valores negativos para el color verde, hasta los positivos para el color rojo y b\* va desde los valores negativos para el azul hasta los positivos para el amarillo; donde a\* y b\* se refieren a coordenadas de cromaticidad. Las mediciones se hicieron sobre la cáscara en el ecuador de las raíces e interpretado con los valores de °Hue y Chroma. La nomenclatura de color promedio durante las 8 semanas de almacenamiento se determinó mediante el uso de un programa disponible en: <http://www.colorpro.com/info/tools/convert.htm#TOP>.

La firmeza, expresada en newtons (N), se determinó mediante 2 lecturas realizadas a la mitad de la distancia entre el ápice y la base de la raíz, en lados opuestos para obtener un valor promedio. Se utilizó un penetrómetro marca Chatillon, con punta cónica, 6 mm de diámetro en la base y 6 mm de altura.

Para determinar la relación xilema/floema, las zanahorias fueron cortadas transversalmente en la mitad de la raíz, con una regla se tomaron 2 lecturas del diámetro interno (xilema) y externo (floema). La relación xilema/floema se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Diámetro interno}}{\text{Diámetro externo}-\text{Diámetro interno}} = \frac{\text{Xilema}}{\text{Floema}}$$

El contenido de sólidos solubles totales o grados Brix se determinó semanalmente con 4 zanahorias enteras por híbrido por repetición. Las raíces se colocaron en un procesador de frutas Black and Decker, luego el jugo se filtró a través de una gasa y se tomaron 2 analitos de este jugo para medir los sólidos solubles mediante un refractómetro digital marca Atago modelo PR-100.

Para el cambio en masa de la raíz se pesaron las raíces todas las semanas y se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

La incidencia de los factores de deterioro fue determinada en forma visual, con la información se calculó el porcentaje de raíces deterioradas por repetición.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (cada bloque estuvo constituido por cajas apiladas verticalmente en donde se colocó cada híbrido) con un arreglo de parcelas divididas,

en la cual la parcela grande fue el híbrido y la parcela pequeña la época de evaluación, con 4 repeticiones. El análisis estadístico se hizo con el software Infostat, se utilizó la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para detectar diferencias entre las medias de las variables destructivas. Para las variables no destructivas se calcularon grados de libertad conservadores, y se obtuvo la comparación de medias para la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) con el software M-Stat. La comparación de medias para la incidencia de factores de deterioro poscosecha se hizo con el software Infostat y se utilizó la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los componentes de color, Cuadro 1, analizados en las zanahorias como “variables de carácter destructivo”, mostraron una tendencia a aumentar los valores de  $L^*$  (luminosidad o brillantez del exterior de la raíz) y una merma para las componentes  $a^*$  y  $b^*$  (disminución en la coloración roja y amarilla respectivamente);

Cuadro 1. Componentes de color de cáscara ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) de los híbridos de zanahorias evaluados en función del tiempo. Cot de Cartago, 2007.

| Semana | Variables destructivas |                    |                      | Variables no destructivas** |                     |                     |
|--------|------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|
|        | Color                  |                    |                      | Color                       |                     |                     |
|        | $L^*$                  | $a^*$              | $b^*$                | $L^*$                       | $a^*$               | $b^*$               |
| 0      | 51,15 <sup>a</sup>     | 23,98 <sup>b</sup> | 34,75 <sup>e</sup>   | 51,14 <sup>ab**</sup>       | 22,36 <sup>c</sup>  | 32,85 <sup>b</sup>  |
| 2      | 51,59 <sup>ab</sup>    | 21,94 <sup>a</sup> | 32,72 <sup>d</sup>   | 51,78 <sup>ab</sup>         | 21,12 <sup>a</sup>  | 31,40 <sup>a</sup>  |
| 3      | 51,65 <sup>ab</sup>    | 21,20 <sup>a</sup> | 31,57 <sup>bc</sup>  | 51,64 <sup>ab</sup>         | 21,62 <sup>ab</sup> | 31,82 <sup>a</sup>  |
| 4      | 51,90 <sup>bc</sup>    | 21,82 <sup>a</sup> | 32,25 <sup>cd</sup>  | 51,45 <sup>ab</sup>         | 21,68 <sup>ab</sup> | 31,78 <sup>a</sup>  |
| 5      | 51,70 <sup>abc</sup>   | 21,05 <sup>a</sup> | 31,38 <sup>abc</sup> | 52,15 <sup>b</sup>          | 21,69 <sup>ab</sup> | 31,61 <sup>a</sup>  |
| 6      | 52,15 <sup>bc</sup>    | 21,14 <sup>a</sup> | 31,10 <sup>ab</sup>  | 51,28 <sup>ab</sup>         | 21,78 <sup>bc</sup> | 31,89 <sup>ab</sup> |
| 7      | 52,34 <sup>c</sup>     | 20,92 <sup>a</sup> | 30,88 <sup>ab</sup>  | 50,69 <sup>ab</sup>         | 21,78 <sup>bc</sup> | 31,84 <sup>a</sup>  |
| 8      | 51,84 <sup>bc</sup>    | 20,44 <sup>a</sup> | 30,53 <sup>a</sup>   | 50,55 <sup>a</sup>          | 21,92 <sup>bc</sup> | 32,16 <sup>ab</sup> |

Letras distintas indican diferencias significativas según prueba Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

\*\*Grados de libertad conservadores.

conforme transcurrieron las semanas de almacenamiento, esta reducción en  $a^*$  y  $b^*$  podría afectar la calidad comercial. Estas variaciones en la coloración, especialmente del rojo y amarillo, pudieron deberse al efecto producido por los cepillos en el momento del lavado de las raíces, así como al frío de la cámara de almacenamiento o por factores fisiológicos como la oxidación de carotenoides o la formación de lignina, lo que provoca un cambio de color naranja intenso a naranja pálido (Uquiche y Cisneros 2002).

Al analizar la variable de color a través del tiempo ("variables no destructivas"), se encontraron pocos cambios en los componentes de color  $a^*$  y  $b^*$ , se observa que los valores iniciales coinciden estadísticamente con los valores finales,

además la interacción entre híbrido por semana no fue significativa, lo que concuerda con Rodríguez (2005) quién encontró que la coloración interna de la raíz no sufrió modificaciones a las diferentes condiciones de almacenamiento (6°C y 20°C) durante 10 días; lo cual permite determinar que las diferencias obtenidas en este estudio pudieron estar más relacionadas con factores externos como el lavado mediante cepillos. La componente  $L^*$  fue menor en la última semana de evaluación, posiblemente debido a la etapa de senescencia que iniciaban las zanahorias.

Al evaluar las variables de color de carácter destructivo por híbrido, Cuadro 2, se presentaron diferencias entre sí en cada variable evaluada. El híbrido Big Sur mostró un color

Cuadro 2. Componentes de la variable color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) de la cáscara de híbridos de zanahorias a través del tiempo de almacenamiento. Cot de Cartago, 2007.

| Híbrido     | Variables destructivas |                       |                       | Variables no destructivas |                      |                      |
|-------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
|             | Color                  |                       |                       | Color                     |                      |                      |
|             | $L^*$                  | $a^*$                 | $b^*$                 | $L^*$                     | $a^*$                | $b^*$                |
| Bangor F1   | 51,77 <sup>bc</sup>    | 21,02 <sup>abcd</sup> | 32,03 <sup>bcd</sup>  | 51,34 <sup>a</sup>        | 22,11 <sup>cde</sup> | 32,97 <sup>cd</sup>  |
| Big Sur     | 52,11 <sup>bc</sup>    | 24,81 <sup>e</sup>    | 35,06 <sup>e</sup>    | 51,50 <sup>a</sup>        | 24,82 <sup>f</sup>   | 34,51 <sup>d</sup>   |
| Bolero F1   | 51,86 <sup>bc</sup>    | 22,22 <sup>bcde</sup> | 31,28 <sup>abcd</sup> | 52,18 <sup>a</sup>        | 21,30 <sup>bcd</sup> | 32,00 <sup>bc</sup>  |
| Concerto F1 | 50,19 <sup>a</sup>     | 18,76 <sup>a</sup>    | 29,78 <sup>a</sup>    | 49,53 <sup>a</sup>        | 18,86 <sup>a</sup>   | 29,63 <sup>a</sup>   |
| XCR3688     | 50,82 <sup>ab</sup>    | 19,57 <sup>ab</sup>   | 30,01 <sup>ab</sup>   | 50,14 <sup>a</sup>        | 20,38 <sup>ab</sup>  | 30,90 <sup>ab</sup>  |
| Esperanza   | 52,58 <sup>c</sup>     | 22,34 <sup>bcde</sup> | 33,36 <sup>de</sup>   | 51,87 <sup>a</sup>        | 22,75 <sup>de</sup>  | 33,32 <sup>cd</sup>  |
| Nandrin F1  | 52,53 <sup>c</sup>     | 20,23 <sup>abc</sup>  | 31,35 <sup>abcd</sup> | 51,78 <sup>a</sup>        | 20,98 <sup>bc</sup>  | 32,07 <sup>bc</sup>  |
| Napoli F1   | 51,87 <sup>bc</sup>    | 20,76 <sup>abcd</sup> | 31,99 <sup>abcd</sup> | 51,28 <sup>a</sup>        | 20,55 <sup>abc</sup> | 31,34 <sup>abc</sup> |
| S-505       | 51,65 <sup>bc</sup>    | 23,28 <sup>de</sup>   | 32,46 <sup>cd</sup>   | 50,93 <sup>a</sup>        | 23,08 <sup>e</sup>   | 32,07 <sup>bc</sup>  |
| Sirkana     | 52,49 <sup>c</sup>     | 22,82 <sup>cde</sup>  | 31,96 <sup>abcd</sup> | 52,11 <sup>a</sup>        | 23,08 <sup>e</sup>   | 31,82 <sup>bc</sup>  |
| Dulce       | 51,72 <sup>bc</sup>    | 22,44 <sup>bcde</sup> | 32,57 <sup>cd</sup>   | 51,53 <sup>a</sup>        | 22,20 <sup>cde</sup> | 31,49 <sup>abc</sup> |
| Norwich F1  | 51,90 <sup>bc</sup>    | 20,48 <sup>abcd</sup> | 30,93 <sup>abc</sup>  | 51,80 <sup>a</sup>        | 20,79 <sup>bc</sup>  | 30,92 <sup>ab</sup>  |

Letras distintas indican diferencias significativas según prueba Tukey ( $p < 0,05$ ). Promedio durante las 8 semanas de evaluación.

naranja vívido (según nomenclatura del programa en el sitio de internet anteriormente mencionado) en comparación a los demás materiales (naranja opaco), encontrándose que Concerto F1 y XCR3688 fueron los materiales más opacos, lo cual no es deseable a nivel comercial.

Según los valores de los componentes de color L\*, a\* y b\*, del análisis no destructivo, los híbridos presentaron una coloración externa naranja opaco, excepto los materiales Big Sur y Esperanza los cuales fueron naranja vívido, característica que puede ser atractiva para el consumidor. Esta diferencia pudo deberse a que los híbridos Big Sur y Esperanza fueron los materiales que presentaron los mayores valores en la componente de color b\*.

El comportamiento general de las zanahorias fue mantener su firmeza durante las semanas de almacenamiento, característica deseable para la exportación, Cuadro 3. Sin embargo, la firmeza de las raíces varió significativamente entre híbridos, lo que permitió dividirlos en 3 grupos, Cuadro 4. Los de mayor valor, Bolero F1 y XCR3688; los de valor intermedio, Dulce, Big Sur, Sirkana,

S-505, Norwich F1, Esperanza, Concerto F1 y Bangor F1; y los de menor firmeza, Nandrin F1 y Napoli F1. En los casos donde las zanahorias deben ser transportadas o almacenadas por largo tiempo es deseable una firmeza de raíz alta para prolongar su vida útil.

La relación xilema/floema, Cuadro 3, para los diferentes híbridos en el transcurso de las semanas de evaluación no cambió, lo cual implica que el diámetro de las raíces tampoco varía. El híbrido con mayor relación xilema/floema fue Bangor F1, y el de menor valor en la relación fue XCR3688, Cuadro 4. Los materiales deben tener una relación xilema/floema baja (mayor diámetro de floema) para lograr una mayor cantidad de azúcares, característica deseable para la industria de jugos (Basset 1973, Krarup et al. 1980, Hosfiel et al. 1982).

Para la variable de grados brix, Cuadro 3, se encontró diferencias en el análisis realizado a través de las semanas para el conjunto de híbridos; sin embargo, no hubo cambios consistentes en el tiempo, probablemente porque el contenido de sólidos solubles en las zanahorias estuvo

Cuadro 3. Variables de firmeza de pulpa (N), relación xilema/floema, grados brix y pérdida de peso (%) de los híbridos de zanahorias evaluados durante el tiempo de almacenamiento. Cot de Cartago, 2007.

| Semana | Variables destructivas |                            |                     | Variables no destructivas |
|--------|------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------|
|        | Firmeza                | Relación Xilema/<br>Floema | °Brix               | % Pérdida Peso**          |
| 0      | 89,96 <sup>ab</sup>    | 0,79 <sup>a</sup>          | 7,45 <sup>a</sup>   | 0,00 <sup>a***</sup>      |
| 2      | 94,74 <sup>abc</sup>   | 0,75 <sup>a</sup>          | 7,94 <sup>cd</sup>  | 0,60 <sup>ab</sup>        |
| 3      | 89,34 <sup>a</sup>     | 0,73 <sup>a</sup>          | 7,77 <sup>bcd</sup> | 0,98 <sup>bc</sup>        |
| 4      | 94,87 <sup>bc</sup>    | 0,74 <sup>a</sup>          | 7,79 <sup>bcd</sup> | 1,07 <sup>bc</sup>        |
| 5      | 98,17 <sup>c</sup>     | 0,78 <sup>a</sup>          | 7,73 <sup>abc</sup> | 1,07 <sup>bc</sup>        |
| 6      | 97,54 <sup>c</sup>     | 0,76 <sup>a</sup>          | 7,55 <sup>ab</sup>  | 1,28 <sup>bc</sup>        |
| 7      | 97,31 <sup>c</sup>     | 0,73 <sup>a</sup>          | 8,03 <sup>d</sup>   | 1,36 <sup>bc</sup>        |
| 8      | 98,78 <sup>c</sup>     | 0,74 <sup>a</sup>          | 7,73 <sup>abc</sup> | 1,51 <sup>c</sup>         |

Letras distintas indican diferencias significativas según prueba Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

\*\*Comparación con el peso inicial. \*\*\*Datos acumulativos.



Cuadro 4. Variables de firmeza de pulpa (N), relación xilema/floema, grados brix y pérdida de peso (%) de híbridos de zanahoria. Cot de Cartago, 2007.

| Híbrido     | Firmeza             | Variables destructivas |                    | Variables no destructivas |
|-------------|---------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|
|             |                     | Relación Xilema/Floema | °Brix              | % Pérdida Peso*           |
| Bangor F1   | 93,12 <sup>bc</sup> | 1,02 <sup>c</sup>      | 7,45 <sup>bc</sup> | 0,90 <sup>a</sup>         |
| Big Sur     | 97,44 <sup>c</sup>  | 0,77 <sup>b</sup>      | 8,03 <sup>de</sup> | 0,84 <sup>a</sup>         |
| Bolero F1   | 103,48 <sup>d</sup> | 0,78 <sup>b</sup>      | 8,94 <sup>f</sup>  | 1,67 <sup>a</sup>         |
| Concerto F1 | 93,37 <sup>bc</sup> | 0,73 <sup>ab</sup>     | 7,75 <sup>cd</sup> | 0,72 <sup>a</sup>         |
| XCR3688     | 98,09 <sup>cd</sup> | 0,65 <sup>a</sup>      | 8,07 <sup>de</sup> | 0,79 <sup>a</sup>         |
| Esperanza   | 94,49 <sup>c</sup>  | 0,70 <sup>ab</sup>     | 7,31 <sup>bc</sup> | 0,81 <sup>a</sup>         |
| Nandrin F1  | 86,85 <sup>a</sup>  | 0,78 <sup>b</sup>      | 6,70 <sup>a</sup>  | 0,89 <sup>a</sup>         |
| Napoli F1   | 88,20 <sup>ab</sup> | 0,70 <sup>ab</sup>     | 7,08 <sup>ab</sup> | 1,22 <sup>a</sup>         |
| S-505       | 95,94 <sup>c</sup>  | 0,71 <sup>ab</sup>     | 8,01 <sup>de</sup> | 1,07 <sup>a</sup>         |
| Sirkana     | 97,12 <sup>c</sup>  | 0,69 <sup>ab</sup>     | 8,01 <sup>de</sup> | 0,99 <sup>a</sup>         |
| Dulce       | 97,74 <sup>c</sup>  | 0,77 <sup>b</sup>      | 8,21 <sup>e</sup>  | 0,81 <sup>a</sup>         |
| Norwich F1  | 95,22 <sup>c</sup>  | 0,72 <sup>ab</sup>     | 7,43 <sup>bc</sup> | 1,09 <sup>a</sup>         |

Letras distintas indican diferencias significativas según prueba Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Promedio durante las 8 semanas de evaluación. \*Comparación con el peso inicial.

influenciado por las características intrínsecas de los diferentes híbridos. Los valores de brix para los diferentes híbridos, Cuadro 4, presentaron diferencias significativas pudiéndose establecer 6 grupos, el primero constituido por Bolero F1, con el mayor contenido de sólidos solubles, el segundo grupo conformado por Dulce, XCR3688, Big Sur, S-505 y Sirkana; el tercer grupo por Concerto F1; el cuarto grupo formado por Bangor F1, Norwich F1 y Esperanza; el quinto grupo por Napoli F1 y el sexto grupo, constituido por Nandrin F1. Los valores del contenido de sólidos solubles en las zanahorias van de 7 a 14 en los distintos cultivares (Herrero 1987). El primero y segundo grupo pueden considerarse como materiales con buena concentración de sólidos solubles porque superan los 8 grados brix (Gabriel et al. 2005, Rodríguez 2005).

La disminución de peso en general fue leve durante el tiempo de almacenamiento, Cuadro 3. Al final de las 8 semanas de almacenamiento, la pérdida fue baja (1,51%) en comparación con lo informado por Marín (2006), quien encontró

pérdidas de 1 a 1,13%, en 17 días de almacenamiento, en los cultivares Bangor y Bolero. Bevan et al. (1997) mencionan que una pérdida de peso superior al 8% afecta severamente la calidad, lo que provoca deshidratación y arrugamiento. El porcentaje de pérdida de peso no difirió estadísticamente entre híbridos, con valores comprendidos entre 0,72 y 1,67%, Cuadro 4.

La incidencia de los factores de deterioro poscosecha al final de la evaluación se observan en el Cuadro 5. La brotación en las raíces fue rigurosamente evaluada y se detectó a partir de la cuarta semana para todos los híbridos. Los valores oscilaron entre el 70% (híbrido Dulce) y el 100% (híbrido Concerto F1), con 8 materiales que superan el 90% de brotación, lo que podría causar la salida del híbrido del mercado de exportación. El híbrido Dulce presentó el menor porcentaje de brotación.

La rajadura observada en la raíz de zanahoria en la etapa poscosecha fue muy semejante al daño mecánico; sin embargo, se diferencia

Cuadro 5. Valores porcentuales de la incidencia de factores de deterioro poscosecha al final de la evaluación, en híbridos de zanañoria. Cot de Cartago, 2007.

| Híbrido     | Brotación           | Rajadura raíz       | Rajadura ápice       | Porcentajes          |                     |                    |                   | Mancha longitudinal | Pseudomonas       |
|-------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
|             |                     |                     |                      | Perforaciones        | Erwinia             | Pythium            | Mancha gris       |                     |                   |
| Bangor F1   | 95,83 <sup>ab</sup> | 25,00 <sup>a</sup>  | 43,75 <sup>c</sup>   | 58,33 <sup>c</sup>   | 18,75 <sup>b</sup>  | 0,00 <sup>a</sup>  | 0,00 <sup>a</sup> | 8,33 <sup>a</sup>   | 2,08 <sup>a</sup> |
| Big Sur     | 93,75 <sup>ab</sup> | 27,08 <sup>a</sup>  | 41,67 <sup>c</sup>   | 52,08 <sup>bc</sup>  | 4,17 <sup>ab</sup>  | 10,42 <sup>a</sup> | 2,08 <sup>a</sup> | 12,50 <sup>a</sup>  | 0,00 <sup>a</sup> |
| Bolero F1   | 95,84 <sup>ab</sup> | 33,34 <sup>ab</sup> | 41,67 <sup>c</sup>   | 50,00 <sup>abc</sup> | 8,33 <sup>ab</sup>  | 37,50 <sup>b</sup> | 0,00 <sup>a</sup> | 16,67 <sup>a</sup>  | 0,00 <sup>a</sup> |
| Concerto F1 | 100,00 <sup>b</sup> | 62,50 <sup>c</sup>  | 18,75 <sup>ab</sup>  | 52,08 <sup>bc</sup>  | 10,42 <sup>ab</sup> | 6,25 <sup>a</sup>  | 4,17 <sup>a</sup> | 8,33 <sup>a</sup>   | 6,25 <sup>a</sup> |
| XCR3688     | 81,25 <sup>ab</sup> | 35,42 <sup>ab</sup> | 29,17 <sup>bc</sup>  | 56,25 <sup>c</sup>   | 2,08 <sup>a</sup>   | 8,33 <sup>a</sup>  | 0,00 <sup>a</sup> | 8,33 <sup>a</sup>   | 4,17 <sup>a</sup> |
| Esperanza   | 93,75 <sup>ab</sup> | 37,50 <sup>ab</sup> | 25,00 <sup>abc</sup> | 60,42 <sup>c</sup>   | 14,59 <sup>ab</sup> | 2,08 <sup>a</sup>  | 0,00 <sup>a</sup> | 12,50 <sup>a</sup>  | 4,17 <sup>a</sup> |
| Nandrin F1  | 77,08 <sup>ab</sup> | 37,50 <sup>ab</sup> | 25,00 <sup>abc</sup> | 60,42 <sup>c</sup>   | 18,75 <sup>b</sup>  | 4,17 <sup>a</sup>  | 2,08 <sup>a</sup> | 14,59 <sup>a</sup>  | 2,08 <sup>a</sup> |
| Napoli F1   | 97,92 <sup>ab</sup> | 52,09 <sup>bc</sup> | 16,67 <sup>ab</sup>  | 37,50 <sup>abc</sup> | 8,33 <sup>ab</sup>  | 2,08 <sup>a</sup>  | 2,08 <sup>a</sup> | 18,75 <sup>a</sup>  | 0,00 <sup>a</sup> |
| S-505       | 89,59 <sup>ab</sup> | 20,83 <sup>a</sup>  | 6,25 <sup>a</sup>    | 22,92 <sup>a</sup>   | 4,17 <sup>ab</sup>  | 4,17 <sup>a</sup>  | 0,00 <sup>a</sup> | 10,42 <sup>a</sup>  | 4,17 <sup>a</sup> |
| Sirkana     | 95,84 <sup>ab</sup> | 22,92 <sup>a</sup>  | 14,59 <sup>ab</sup>  | 33,33 <sup>abc</sup> | 4,17 <sup>ab</sup>  | 4,17 <sup>a</sup>  | 2,08 <sup>a</sup> | 20,83 <sup>a</sup>  | 2,08 <sup>a</sup> |
| Dulce       | 70,83 <sup>a</sup>  | 16,67 <sup>a</sup>  | 6,25 <sup>a</sup>    | 27,09 <sup>ab</sup>  | 2,08 <sup>a</sup>   | 0,00 <sup>a</sup>  | 0,00 <sup>a</sup> | 8,33 <sup>a</sup>   | 0,00 <sup>a</sup> |
| Norwich F1  | 97,92 <sup>ab</sup> | 18,75 <sup>a</sup>  | 35,42 <sup>bc</sup>  | 39,58 <sup>abc</sup> | 4,17 <sup>ab</sup>  | 8,33 <sup>a</sup>  | 0,00 <sup>a</sup> | 10,42 <sup>a</sup>  | 2,08 <sup>a</sup> |

Letras distintas indican diferencias significativas según prueba Duncan ( $p < 0,05$ ).

porque se inicia como una decoloración amarilla que luego llega a tener una apariencia fibrosa. Posibles causas de este síntoma son daño mecánico en poscosecha, el ataque de *Pythium*, (Umaña G. 2008. Comunicación personal Laboratorio de Poscosecha Universidad de Costa Rica) deficiencia nutricional o la relación de todas. Los materiales con menor incidencia fueron Dulce, Norwich F1, S-505, Sirkana, Bangor F1 y Big Sur.

Los híbridos con los menores valores para la variable rajadura en ápice fueron Dulce y S-505, este último también presentó el valor más bajo para la variable perforaciones. Los mayores valores los obtuvieron Bangor F1, Big Sur, Bolero F1.

Para la variable “perforaciones” se observó una mayor incidencia en los híbridos Esperanza y Nandrin F1, y los menores valores se registraron para el S-505 y Dulce, estadísticamente diferentes. No se conoce la causa exacta de este síntoma.

Los valores para la variable *Erwinia* permitieron diferenciar 3 grupos; el de los menores valores donde estuvieron XCR3688 y Dulce, ambos con un 2,08%; el de las mayores incidencias, donde se ubicaron Bangor F1, Nandrin F1 y un tercer grupo, con valores intermedios en donde estuvieron el resto de los híbridos.

La lesión por *Pythium* spp. se manifestó como una mancha amarilla, la cual llegó a conformar posteriormente costras amarillas. Al analizar su incidencia se distinguen 2 grupos, el primer grupo donde los materiales presentaron valores bajos e iguales y el otro grupo conformado por el híbrido Bolero F1 con el mayor valor (37,50%).

Los híbridos presentaron el mismo comportamiento para las variables mancha gris, mancha longitudinal y *Pseudomonas*.

La mancha gris se observó como una decoloración en la superficie de la raíz; la cual según

Galati et al. (2007), puede desarrollarse cuando las zanahorias son lavadas y almacenadas en cuartos fríos por largos periodos antes del empaque. La mancha gris, se observó a partir de la segunda semana en el híbrido Sirkana, y en la cuarta semana para los híbridos Bolero F1, Concerto F1, Esperanza, Nandrin F1 y Napoli F1; Dulce mostró síntomas hasta la octava semana.

La mancha longitudinal, hundida, de color lila, que se asemeja con la descrita por Snowden (1992) citado por Davis y Raid (2002) asociada con el patógeno *Aspergillus niger*.

El síntoma causado por *Pseudomonas* se caracterizó por ser una pequeña mancha negra hundida en la raíz de la zanahoria (Umaña G. 2008. Comunicación personal Laboratorio de Poscosecha Universidad de Costa Rica), de borde oscuro y presentó una baja incidencia, Cuadro 5. Los valores en forma general fueron bajos, donde. Los híbridos Big Sur, Bolero F1, Napoli F1 y Dulce no presentaron esta lesión.

Según la norma establecida por el MEIC-MAG-S (2004) los límites de tolerancia permitida para defectos encontrados en raíces de zanahoria al momento de la cosecha oscilan del 1 al 6%. En el conjunto de variables evaluadas como factores de deterioro poscosecha, Figura 1, cabe destacar que con excepción de la mancha gris y *Pseudomonas*, los valores obtenidos superaron el 6% de tolerancia permitida por el MEIC-MAG-S (2004) después de la cuarta semana de evaluación, lo que indica un tiempo crítico para las zanahorias almacenadas. Los altos valores presentados pueden obedecer al largo tiempo de almacenamiento; además, cabe destacar que dichos valores indican la incidencia de la variable evaluada y no así su severidad.

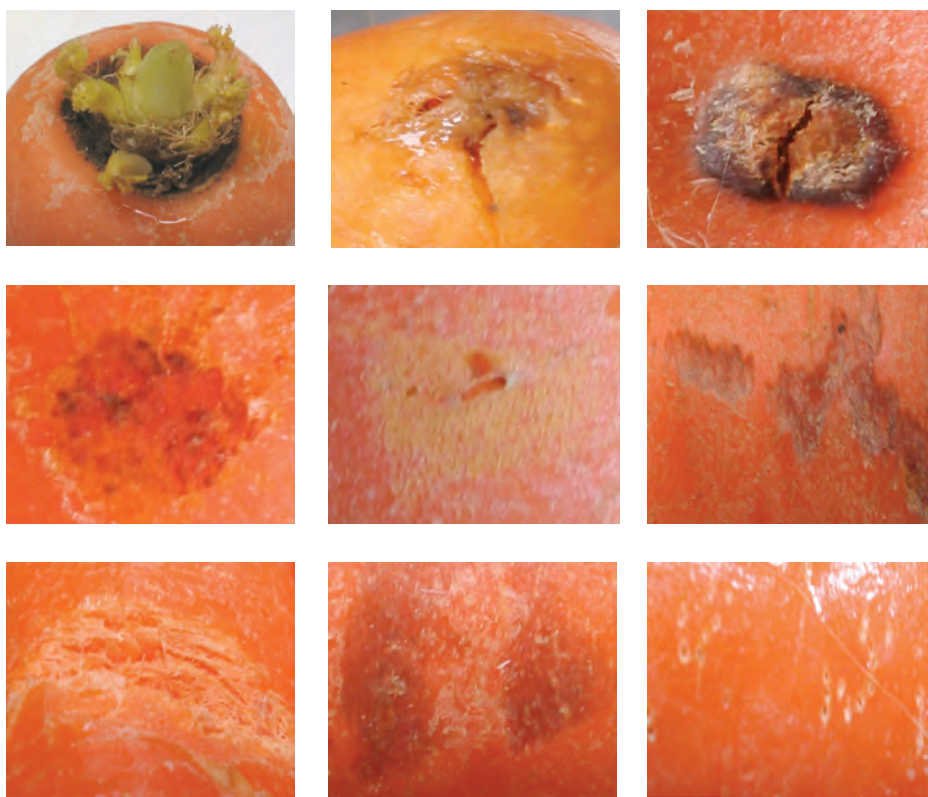


Fig. 1. Problemas poscosecha detectados en zanahoria. I. Daños fisiológicos: A) Brotación, B) Rajadura del ápice; II. Agentes patológicos: C) *Pseudomonas*, D) *Erwinia*, E) *Pythium*; III. Sin agente causal conocido: F) Mancha longitudinal, G) Rajadura en raíz, H) Mancha gris, I) Perforaciones.

### CONCLUSIONES

El comportamiento de los híbridos no difirió durante el transcurso de las semanas de almacenamiento para cada una de las variables evaluadas, excepto para el porcentaje de pérdida de peso, el cual aumentó levemente. Las diferencias en los valores en la variable color de cáscara ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) posiblemente se debieron al efecto del cepillado de la raíz y al periodo de almacenamiento; y las diferencias en los valores de firmeza y sólidos solubles totales (brix) probablemente se debieron a que las evaluaciones se realizaron en raíces diferentes todas las semanas. Por el contrario, se encontraron diferencias entre los materiales evaluados para las otras variables, excepto para el porcentaje de pérdida de peso.

Se encontraron 3 tipos de daños en las raíces de los híbridos: I. Daño fisiológico: brotación y rajadura del ápice, II. Agentes patogénicos: *Erwinia*, *Pythium*, *Pseudomonas*, y III. Sin agente causal conocido: mancha longitudinal, manchas grises, rajadura en raíz y perforaciones.

El comportamiento de los materiales evaluados fue el siguiente: el color externo solo difirió en Big Sur y Esperanza con respecto a los demás híbridos, XCR3688 y Bolero F1 mostraron una mayor firmeza, Bolero F1 presentó el mayor valor para grados brix. Los híbridos con menos rajaduras en la raíz fueron Dulce, Norwich F1, S-505, Sirkana, Bangor F1 y Big Sur. Los que obtuvieron los menores valores para la variable rajadura en el ápice fueron Dulce y S-505, este

último también presentó el valor más bajo para la variable perforaciones. Los híbridos en los que se registró la menor incidencia de *Erwinia* fueron XCR3688 y Dulce. Bolero F1 tuvo la mayor incidencia de *Pythium*. Los híbridos con el mejor comportamiento poscosecha fueron Dulce, S-505, XCR3688 y Big Sur.

## AGRADECIMIENTOS

Al personal del Programa de Hortalizas de la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno y del Laboratorio de Tecnología Poscosecha, Centro de Investigaciones Agronómicas, ambos de la Universidad de Costa Rica; a la Corporación Hortícola Nacional y a la empresa agrícola Hermanos Masís Masís.

## LITERATURA CITADA

- BASSET M. 1973. Relationship between core size, specific gravity and soluble solids in carrots. *HortScience* (USA) 8:139.
- BEVAN J.R., FIRTH C., NEICHO M. 1997. Storage of organically produced crops. MAFF Project no: OF0127T. Ministry of Agriculture Fisheries and Food (MAFF). UK. 216 p. Consultado 10 ago. 2007. Formato HTML. Disponible en: [www.academicpress.com](http://www.academicpress.com).
- DAVIS R.M., RAID R.N. 2002. Compendium of umbelliferous crop diseases. Minnesota, USA. The American Phytopathological Society (APS Press). 75 p.
- EDIFARM 2003. Manual de hortalizas Edifarm® Centroamérica, Panamá y República Dominicana. Edifarm Internacional Centroamérica. Imprenta Mariscal, Quito, Ecuador. 522 p.
- GABRIEL E.L., VENTRERA N., VIGNONI L. 2005. Evaluación de tratamientos de fumigación poscosecha sobre la calidad de raíces de zanahoria. Informe Anual de Progresos. INTA. Argentina. p. 225-226.
- GALATI A., McKAY A., CHYE-TAN S. 2007. Minimising post-harvest losses of carrots. *Farmnote*. N°. 75/95. Australia. 4 p.
- HERRERO E. 1987. Evaluación de cultivares de zanahoria (*Daucus carota*) para industrialización y consumo fresco en Tierra Blanca de Cartago. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica. Grecia, Costa Rica. 51 p.
- HOSFIEL S., SPEEL S., CURTIN D. 1982. A direct and analytical method for determining water soluble sugars for a simple extract of carrot roots tissue. *Journal of American Society Horticultural Science* (USA) 107(1):1401-106.
- KRARUP H., MOSNAIM S. 1980. Algunos parámetros de calidad de diez cultivares de zanahoria (*Daucus carota*) cultivados en Valdivia. *Agro Sur* (Chile) 8(1):5-9.
- MARÍN F. 2006. Análisis preliminar del sistema de hidro-enfriamiento de zanahorias en la Corporación Hortícola Nacional (CHN). Consejo Nacional de Producción (CNP), Cartago, Costa Rica. 6 p.
- MATA R. 1991. Los órdenes de suelos de Costa Rica. Taller de Erosión. Memoria. MADE, UNA. Heredia, Costa Rica. 246 p.
- MEIC-MAG-S. MEIC (Ministerio de Economía, Industria y Comercio, CR)-MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR)-S (Ministerio de Salud, CR). 2004. Decreto N°. 31889-MEIC-MAG-S RTCR 380:2004 Zanahoria para consumo en estado fresco. Publicado en La Gaceta N°. 141 del 20 de julio del 2004. San José, Costa Rica.
- REINA C.E., BONILLA J.F. 1997. Manejo poscosecha y evaluación de calidad para la zanahoria (*Daucus carota* L.) que se comercializa en la ciudad de Neiva. Universidad Surcolombiana. Formato PDF. Neiva, Colombia. 89 p.
- RODRÍGUEZ J. 2005. Vida útil de hortalizas: almacenamiento de zanahorias. Consejo Nacional de Producción (CNP). Boletín Poscosecha N°. 46 p 6.
- SELJÅSEN R., HOFTUN H., BENGTTSSON G. 2003. Critical factors for reduced sensory quality of fresh carrots in the distribution chain. International Conference on Quality in Chains. An Integrated View on Fruit and Vegetable Quality. *Acta Horticulturae* (ISHS) 604:761-767.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, CR). 2009. Boletín Estadístico Agropecuario N°. 19. Serie Cronológica 2004-2008. San José, Costa Rica. Consultado 12 mar. 2010. Formato PDF. Disponible en [www.infoagro.go.cr](http://www.infoagro.go.cr).

UQUICHE E., CISNEROS L. 2002. Efecto del escaldado y recubrimiento higroscópico sobre la calidad de las zanahorias (*Daucus carota* var. Chantenay)

pre-cortadas durante el almacenamiento. ALAN (Caracas) 52:2. Suplem. 2.



## Nota técnica

# DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN, AL CORTE TANGENCIAL, DENSIDAD APARENTE Y TEMPERATURA EN UN SUELO CAFETALERO, JUAN VIÑAS, COSTA RICA

*Carlos Henríquez<sup>1/\*</sup>, Oscar Ortiz<sup>\*\*</sup>, Keneth Largaespada<sup>\*\*\*</sup>, Pamela Portuguéz<sup>\*\*\*</sup>,  
Maylin Vargas<sup>\*\*\*</sup>, Pamela Villalobos<sup>\*\*\*</sup>, Diego Gómez<sup>\*\*\*</sup>*

**Palabras clave:** Propiedades físicas del suelo, compactación, densidad, penetrabilidad.  
**Keywords:** Physical soil properties, compaction, density, penetrability.

Recibido: 05/10/10

Aceptado: 01/04/11

## RESUMEN

En un suelo cultivado con café en Juan Viñas, Costa Rica, se determinó la resistencia a la penetración (con 2 tipos de penetrometros) y al corte tangencial, densidad aparente, humedad gravimétrica y temperatura en la superficie y a 15 cm de profundidad; se eligieron y georeferenciaron 3 puntos dentro de un lote de 0,35 ha en un Dystrudept ubicado en Juan Viñas, Costa Rica. Los valores de resistencia a la penetración en la superficie fueron 1,60 y 0,30 MPa con el tipo de penetrometro “Chatillón” y “Soil-Test” respectivamente, en tanto que los obtenidos a 15 cm fueron de 0,73 y 0,15 MPa en el mismo orden; asimismo, el contenido de humedad gravimétrica fue de 30,37 y 42,08%, respectivamente. A pesar de que también se encontraron mayores valores en la superficie que a los 15 cm, tanto para la resistencia al corte tangencial (0,028 y 0,025 Mpa) como para la densidad aparente (0,98 y 0,93 Mg.m<sup>-3</sup> respectivamente), estas diferencias no fueron significativas. Los valores de resistencia a la penetración de ambos tipos

## ABSTRACT

**Penetration resistance, tangential shear strength, bulk density and temperature in a soil planted with coffee, Juan Viñas, Costa Rica.** Bulk density, tangential shear strength, resistance to penetration (with two types of penetrometer), gravimetric moisture and temperature at the surface and 15 cm deep, were determined in a soil planted with coffee. Three points were georeferenced inside a 0.4 ha lot in a Dystrudept located in Juan Viñas, Costa Rica. By comparing the 2 depths, significant differences were found only for the variables resistance to penetration (1.60 and 0.73 MPa with the penetrometer “Chatillon”; and 0.30 and 0.15 MPa with the penetrometer “Soil Test” ) and gravimetric moisture content (30.37 and 42.08%, respectively). Although higher values were also found on the surface for both the tangential shear strength (0.028 and 0.025 MPa) and for bulk density (0.98 and 0.93 Mg.m<sup>-3</sup> respectively), these differences were not significant. The values of resistance to penetration of both types of

1/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: carlos.henriquez@ucr.ac.cr

\* Centro de Investigaciones Agronómicas y Sede del Atlántico de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

\*\* Empresa Hacienda Juan Viñas. Costa Rica.

\*\*\* Estudiantes del Curso Relación Suelo Planta AF-0122 (2010), Sede del Atlántico de la Universidad de Costa Rica.

de penetrómetros correlacionaron positivamente entre sí (0,65\*\*). La densidad aparente y la resistencia a la penetración medidas con el aparato “Chatillon” guardaron una correlación positiva (0,41+), lo cual concuerda con el hecho de que ambas variables son utilizadas para diagnosticar problemas de compactación. Se encontró además una correlación negativa entre la resistencia a la penetración y el contenido de humedad (-0,68\*\*) y una correlación positiva entre esta última variable y la temperatura (0,41+). Con base en los resultados de este estudio, se logró constatar que la superficie del suelo del lote evaluado presentó una mayor compactación que a la profundidad de 15 cm, lo cual se puede relacionar con 2 aspectos: el tránsito humano intenso sobre la plantación, producto de las prácticas agrícolas realizadas en el cultivo, y en cierta forma el menor valor de humedad presentado.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de las propiedades físicas del suelo tiene un papel preponderante en la caracterización de su productividad. En particular, la compactación afecta negativamente tanto en forma directa como indirecta diversas propiedades del suelo como la estructura, la dinámica del agua y el aire así como procesos de oxidación-reducción y poblaciones de organismos, por citar solo algunos ejemplos (Henríquez y Cabalceta 1999, Porta et al. 2003). La compactación del suelo es un empaquetamiento de las partículas que constituyen la fracción sólida, lo que se traduce en una disminución del espacio poroso total y consecuentemente, en un aumento de la densidad aparente. Al ocurrir esto, también se restringe el desarrollo radical, aspecto que fue reportado en trabajos como los de Veihmeyer y Hendrickson (1948) y Bengough y Mullins (1991), quienes establecieron la relación directa que existe entre la penetración de raíces con la densidad del suelo y la resistencia a la

penetrometer correlated positively with each other (0.65\*\*). Bulk density and penetration resistance measured with the device “Chatillon” kept a positive correlation (0.41+), which agrees with the fact that both variables are used to diagnose compaction problems. There was also a negative correlation between penetration resistance and moisture content (-0.68\*\*) and a positive correlation between the latter variable and temperature (0.41+). Based on the results of this study, it could be verified that the surface had a higher compaction than the 15 cm-depth, which can be related to the frequent human traffic on the plantation, as a result of farming practices carried out in the crop, and also because of the lower soil humidity values found there.

penetración. Forsythe et al. (2005) menciona que el diagnóstico de las condiciones intermedias de compactación puede ayudar a detectar a tiempo el apareamiento de condiciones extremas lo cual puede permitir llevar a cabo acciones preventivas. Alvarado y Forsythe (2005) reportan que para 111 suelos de Costa Rica representativos de 9 órdenes según el sistema USDA (Soil Survey Staff 2010), la densidad aparente varió de 0,53 a 2,00 Mg.m<sup>-3</sup>, datos que dejan en manifiesto el efecto de la diversidad pedogenética sobre esta variable. Henríquez y Cabalceta (1999) mencionan que la densidad aparente en conjunto con la resistencia a la penetración y el espacio aéreo, han sido utilizados como índices para medir la compactación del suelo. La compactación se refleja también en un aumento de la resistencia mecánica o dureza del suelo, la cual es posible medirla con un penetrómetro. Este aparato mide la combinación de falla tangencial, compactación y flujo plástico; el valor crítico para esta variable propuesto por Forsythe (1985) ha sido de 2,96 MPa a capacidad de campo. Este mismo autor

propone igualmente la utilización de cuchillas de torsión como otra medida indirecta de la dureza del suelo. Este aparato mide el esfuerzo que se debe realizar para hacer un corte tangencial al suelo, característica que luego se puede relacionar con la potencia de maquina requerida para su preparación (Henríquez y Cabalceta 1999). Otras propiedades físicas de importancia son la humedad y la temperatura. Con el contenido de humedad del suelo es posible caracterizar el estado de saturación y calcular junto con otras variables la lámina de agua correspondiente. La temperatura por otro lado, tiene un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas así como en procesos químicos y el grado de actividad de diversos tipos de organismos en el suelo (Henríquez y Cabalceta 1999, Gavande 1979, Porta et al. 2003).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar del ensayo

El sitio estuvo ubicado en la localidad de Juan Viñas, cantón de Jiménez, Costa Rica. Allí se eligió un lote de aproximadamente 0,35 ha el cual había estado sembrado con café por más de 20 años. El suelo clasificado como Dys-trudept, presentó una topografía ondulada con

30% de pendiente. En el lote se ubicaron en forma aleatoria 3 puntos los cuales fueron geo-referenciados con una GPS; luego se procedió a hacer las determinaciones que se realizaron a 2 profundidades: una superficial y otra a 15 cm. La posición geográfica en CRTM05 de los 3 sitios fue: Punto 1 N-1093074,51 O-527860,53 Punto 2 N-1093071,53 O-527850,05 y Punto 3 N-1093083,38 O-527825,92 (Figura 1). En cada punto y para cada una de las 2 profundidades, se determinaron por triplicado las variables que se describen a continuación, lo que produjo un total de 9 repeticiones por variable y por cada profundidad evaluada.

### Evaluaciones

Las evaluaciones fueron realizadas en mayo iniciada ya la época lluviosa. La resistencia a la penetración se determinó con 2 tipos de penetómetros ambos de pistón y del tipo estático que en este estudio se denominarán “chatillon” y “soil test”. En este caso la diferencia entre ambos fue el diámetro del pistón: 5 y 6 mm respectivamente. Para hacer cada determinación, se procedió a limpiar la superficie con el fin de asegurarse de hacer las determinaciones sobre el suelo y no sobre alguna piedra o material extraño (Figura 2); esto mismo se aplicó para las otras variables

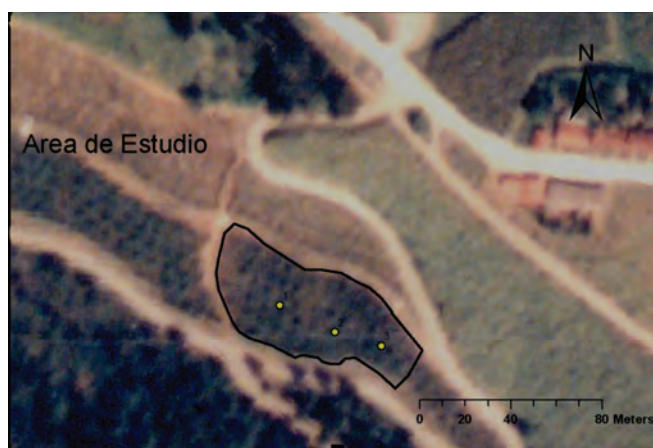


Fig. 1. Foto aérea con la ubicación de los puntos de muestreo usados en este estudio en una plantación de café, Juan Viñas, Turrialba.



Fig. 2. Representación de la determinación de la resistencia a la penetración utilizando los penetrómetros “Chatillón” y “soil test” en un suelo cultivado con café en Juan Viñas, Costa Rica.

del estudio y tanto en la determinación a nivel superficial como a los 15 cm de profundidad. Para esta última se procedió a escarbar con una pala y medir con una cinta métrica hasta alcanzar la profundidad deseada de 15 cm. Una vez lista la superficie de determinación, el penetrómetro se introdujo suavemente en el suelo y en forma constante hasta alcanzar la marca de penetración la cual es de 5 mm de profundidad (Henríquez y Cabalceta 1999).

Para la determinación de la resistencia al corte tangencial se utilizó una cuchilla de torsión “Torvane” sugerida por Forsythe (1985), la cual

se introdujo al suelo hasta la altura de las cuchillas y luego se hizo girar suavemente el rotor en el sentido de las manecillas del reloj hasta encontrar el punto de falla o corte (Figura 3); luego de ello la lectura en la escala fue anotada.

La temperatura fue determinada con un termómetro digital de punta metálica de 10 cm de largo con una precisión de 0,01°C, el cual fue introducido en el suelo y dejado allí por 2 min para su estabilización, luego de lo cual se procedió a tomar la lectura correspondiente.

Para la densidad aparente se tomaron muestras indisturbadas con la utilización de



Fig. 3. Representación de la determinación del corte tangencial con una cuchilla de torsión “Torvane” sobre la superficie de un suelo cultivado con café en Juan Viñas, Costa Rica.

cilindros metálicos de 131,67 cm<sup>3</sup> de volumen los cuales fueron introducidos en el suelo hasta alcanzar el borde superior, luego de lo cual fue extraído del suelo con la muestra, aforado y limpiado externamente y colocado en una bolsa plástica cerrada herméticamente para su transporte al laboratorio. Posteriormente con estas mismas muestras se procedió a hacer la determinación de humedad gravimétrica del suelo, para lo cual se pesó el suelo con la humedad de campo y luego se secó por 48 h a 105°C (Henríquez y Cabalceta 1999, Radulovich 2009, Topp y Ferré 2002).

### Análisis estadístico

Los datos obtenidos a partir de las variables medidas en las 2 profundidades, fueron sometidos al análisis paramétrico o prueba de “t de Student” para el análisis de 2 poblaciones de datos, esto con el fin de determinar la diferencia estadística entre ambos. También se utilizó el análisis de correlación simple de Pearson con el

fin de relacionar las variables evaluadas así como de regresiones lineales simples.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los resultados de este estudio se encontró un nivel de compactación diferencial, en la cual la superficie del suelo mostró los mayores valores de las variables relacionadas a la compactación que los valores encontrados a los 15 cm (Cuadro 1). Los autores consideran que es importante aclarar que ello es posible aseverarlo y aplicaría solamente para la zona entre-plantas, lugar dentro de la plantación de café que como se mencionó anteriormente, fue en donde se hicieron las evaluaciones para este estudio; ello significa que es factible encontrar valores y tendencias diferentes de las variables evaluadas en otras zonas dentro de la plantación de café, por ejemplo en la zona justo debajo de la planta o bien en la entrecalle, aspectos que no fueron evaluados en este estudio.

Cuadro 1. Promedio y parámetros estadísticos de la resistencia a la penetración y al corte, densidad aparente, humedad gravimétrica y temperatura, medida a 2 profundidades de suelo en la zona entre plantas de una plantación de café, en Juan Viñas, Costa Rica.

| Variable                                      | Dif | Prof. | Promedio | Máximo | Mínimo | Desviación estándar | %Variación |
|-----------------------------------------------|-----|-------|----------|--------|--------|---------------------|------------|
| Resistencia a la penetración (MPa)–Chatillon- | **  | 0     | 1,60     | 2,73   | 0,80   | 0,68                | 42,14      |
|                                               |     | 15    | 0,73     | 1,14   | 0,34   | 0,28                | 38,88      |
| Resistencia a la penetración (Mpa)-Soil Test- | **  | 0     | 0,30     | 0,51   | 0,15   | 0,10                | 34,16      |
|                                               |     | 15    | 0,15     | 0,29   | 0,05   | 0,07                | 48,07      |
| Resistencia al corte tangencial (MPa)         |     | 0     | 0,028    | 0,039  | 0,020  | 0,008               | 27,06      |
|                                               |     | 15    | 0,025    | 0,034  | 0,015  | 0,007               | 28,28      |
| Densidad aparente (Mg.m <sup>-3</sup> )       |     | 0     | 0,98     | 1,10   | 0,91   | 0,05                | 5,58       |
|                                               |     | 15    | 0,93     | 1,08   | 0,81   | 0,09                | 9,59       |
| Humedad gravimétrica (%) +                    | **  | 0     | 30,37    | 33,41  | 28,66  | 1,39                | 4,57       |
|                                               |     | 15    | 41,08    | 45,03  | 36,92  | 2,76                | 6,73       |
| Temperatura (°C)                              |     | 0     | 24,42    | 25,40  | 23,40  | 0,64                | 2,61       |
|                                               |     | 15    | 24,79    | 25,10  | 24,30  | 0,30                | 1,20       |

\*\* diferencias significativa a p menor a 0,01 entre las medias de 2 poblaciones según la prueba de “t de student”.

+ el valor de humedad de Capacidad de Campo fue de 35,8% de humedad gravimétrica, datos no publicados.



## Resistencia a la penetración y al corte tangencial

A pesar de que los valores absolutos de la resistencia a la penetración medida con los 2 tipos de penetrómetros fueron diferentes entre sí, se encontró una tendencia similar entre ambos aparatos; esto es, en ambos se encontró que el valor encontrado en la superficie casi duplicó el valor obtenido a los 15 cm. Los valores de resistencia a la penetración en la superficie fueron de 1,60 y 0,30 MPa con el tipo de penetrómetro “Chatillón” y “Soil-Test” respectivamente, en tanto que los obtenidos a 15 cm fueron de 0,73 y 0,15 MPa en el mismo orden. Estas diferencias entre las profundidades fueron estadísticamente significativas (Cuadro 1).

La diferencia en los valores absolutos entre los aparatos se podría explicar por la relación que existe entre el diámetro del pistón y la resistencia interna del resorte. Según Forsythe (1985), estudios previos han demostrado que el penetrómetro de pistón tipo “Chatillón” ha sido muy apropiado para representar la variaciones en la resistencia a la penetración de los suelos y ha sido igualmente el más utilizado en estudios en Costa Rica; Forsythe et al. (2005) determinaron como un valor crítico de resistencia a la penetración para el rendimiento en el cultivo de maíz, un valor de 2,75 MPa. El mismo autor también reporta el

valor de 2,96 MPa como valor limitante para el crecimiento de las raíces (Forsythe 1985).

Esta tendencia de mayores valores de resistencia a la penetración en las capas superficiales del suelo, ha sido encontrado por otros investigadores principalmente en sistemas de pastoreo. Forsythe et al. (2005) menciona el efecto de la compactación superficial en áreas dedicadas a la explotación ganadera así como el apareamiento de encharcamiento y apareamiento de coloraciones grises (gleización) lo cual es evidencia de mala infiltración y de procesos de reducción en el suelo. Stankoviocova et al. (2008) evaluaron la resistencia a la penetración en pasturas bajo 3 diferentes sistemas y encontraron los mayores valores entre 0,09 y 0,33 m con valores que oscilaron entre 3,78 y 3,81 MPa con una tendencia a la disminución de la variable al aumentar la profundidad.

Por otro lado, al relacionar las lecturas de ambos aparatos entre sí, se obtuvo una relación directamente proporcional y altamente significativa ( $r$  de 0,65) la cual puede observarse en la Figura 4.

Guillén et al. (2006) encontraron valores menores de resistencia a la penetración aún en los meses de menor precipitación con valores promedio de 0,2 MPa. Reportan en su estudio una relación inversa entre la resistencia a la

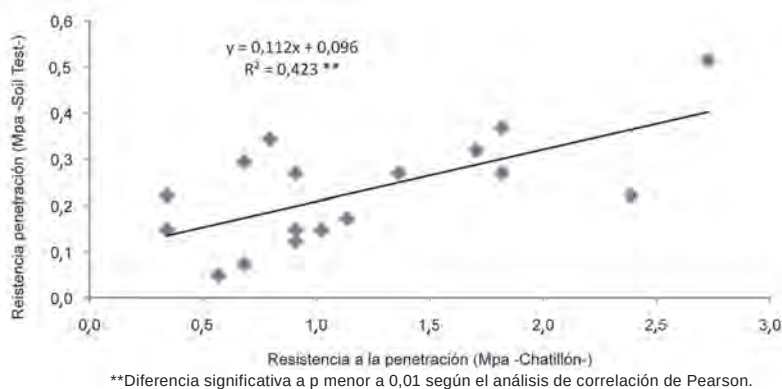


Fig. 4. Relación entre la resistencia obtenida entre el penetrómetro Chantillón y Soil Test en mediciones realizadas en la zona entre plantas de una plantación de café, en Juan Viñas, Costa Rica.

penetración y la cantidad de colémbolos en el suelo de este cultivo.

En relación con la resistencia al corte, los valores guardaron la misma tendencia que la resistencia a la penetración. En la superficie se determinó un valor de 0,028 MPa y a los 15 cm de 0,025 MPa, pese a ello, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

### Densidad aparente

En concordancia con la tendencia obtenida con los datos de las variables de resistencia a la penetración y al corte, se encontró que la superficie del suelo presentó mayor densidad aparente con un valor promedio de 0,98 Mg.m<sup>-3</sup> en tanto que a 15 cm de profundidad se encontró un valor promedio de 0,93 Mg.m<sup>-3</sup>, valores que sin embargo no fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 1).

La similitud encontrada en la tendencia de estas 3 variables (densidad aparente, resistencia al corte y a la penetración), podría explicar el hecho de que la superficie del suelo presenta una compactación diferente a la capa subsuperficial. Esto puede deberse al pisoteo humano que ocurre al llevarse a cabo las prácticas agrícolas que se realizan rutinariamente en el cultivo del café.

Esta tendencia sin embargo, difiere de lo reportado por Alvarado y Forsythe (2005) para otros cultivos y quienes encontraron que los valores de densidad aparente, aumentaron con la profundidad al tiempo que reportan un amplio ámbito de variación (0,53 a 2,00 Mg.m<sup>-3</sup>). Forsythe y Schwiezer (2001) por otro lado, reportan que cuando la condición del suelo no permite la penetración de raíces de la planta, los valores de densidad aparente variaron desde 1,09 Mg.m<sup>-3</sup> para un Andisol a 1,8 Mg.m<sup>-3</sup> para un suelo aluvial. Para el caso de este estudio, los valores de densidad aparente encontrados fueron menores de 1 Mg.m<sup>-3</sup>, lo que sugiere también la influencia de cenizas volcánicas en la génesis de estos suelos, debido a su cercanía a los volcanes Irazú y Turrialba.

En la Figura 5 se muestra la relación encontrada entre la resistencia a la penetración (con el penetrómetro tipo Chatillón) y la densidad aparente ( $r$  de 0,41). Como se observa, la relación fue directamente proporcional comportamiento que concuerda con el hecho de que ambas variables son utilizadas como índices de diagnóstico para problemas de compactación (Forsythe 1985).

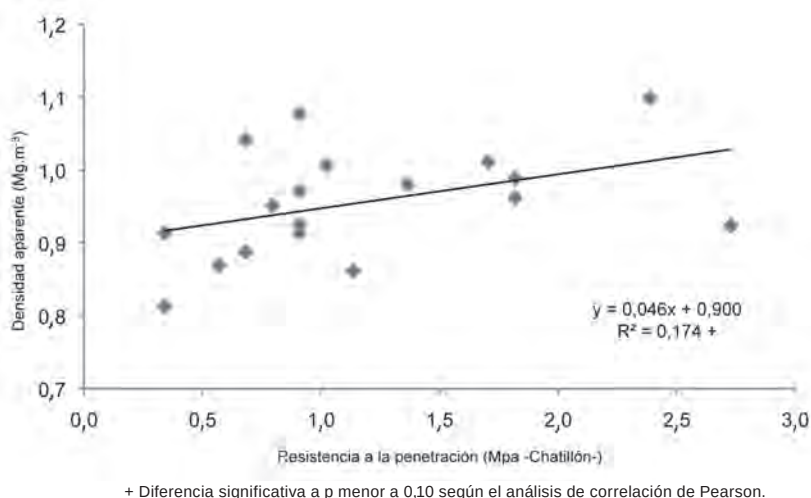


Fig. 5. Relación entre la resistencia a la penetración con el penetrómetro tipo Chantillón y la densidad aparente medida en la zona entre-plantas en una plantación de café, Juan Viñas, Costa Rica.



## Temperatura y humedad

En relación con la temperatura, no se encontró diferencia estadística entre ambas profundidades (24,42 y 24,79°C en la superficie y a 15 cm respectivamente, Cuadro 1). Se encontró un ámbito amplio entre el valor mínimo y máximo en la superficie (Figura 6); este comportamiento puede obedecer al efecto de calentamiento y enfriamiento en una forma más drástica, en tanto que al aumentar la profundidad este efecto disminuye sustancialmente ya que provoca menor variación entre las temperaturas máximas y mínimas (Porta et al. 2003). Guillén et al. (2006) encontró que para el cultivo del café, se presenta muy poca variación de la temperatura de la superficie del suelo a través del año y reporta

datos cercanos a 20°C, valores menores que los encontrados en este estudio. En suelos de Turrialba por otro lado, Forsythe (2002) reporta un valor promedio dentro de los 50 cm de profundidad de 25,4°C que se clasifica con ello, en el régimen de temperatura como isohipertérmico. Este mismo autor encontró menores temperaturas a mayor profundidad, debido a una advección de agua fría causada por la penetración del agua de lluvia. Este último aspecto concuerda con lo encontrado en este estudio en relación con el agua del suelo, debido a que a los 15 cm se encontró mayor contenido de humedad gravimétrica (42,08%) que en la superficie (30,37%), valores cercanos a 35% que es la que correspondió a la condición de Capacidad de Campo.

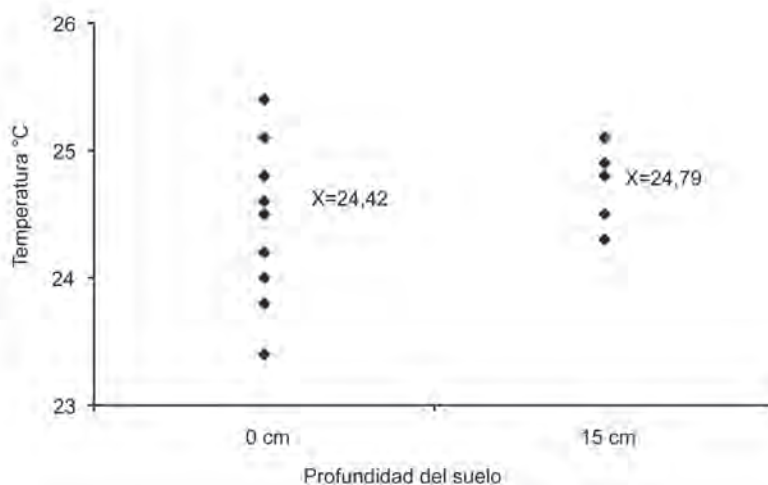


Fig. 6. Variación de la temperatura a 2 profundidades de suelo medida la zona entre-plantas en una plantación de café, Juan Viñas, Costa Rica.

## Correlación entre variables

Al correlacionar las variables determinadas en este estudio, se encontró que los valores de los 2 penetrómetros correlacionaron positivamente (0,65) y en forma altamente significativa, datos que se presentan en el Cuadro 2 y que se

presentaron anteriormente en forma gráfica en la Figura 4. Aunque los valores absolutos obtenidos en cada tipo de aparato fueron diferentes, ambos guardaron cierto grado de proporcionalidad ya que miden esta propiedad del suelo bajo el mismo fundamento.

Cuadro 2. Correlación simple de Pearson entre las variables evaluadas en la zona entre plantas de una plantación de café, en Juan Viñas, Costa Rica.

|            | R.R. "Cha" | R.R. "ST" | R.C.T. | Den. Apar. | Humedad |
|------------|------------|-----------|--------|------------|---------|
| Temp.      | -0,15      | 0,05      | -0,18  | 0,42       | +       |
| R.R. "Cha" | -          | 0,65      | **     | 0,21       | -0,69   |
| R.R. "ST"  |            | -         | 0,04   | -0,59      | **      |
| R.C.T.     |            |           | -      | -0,23      | 0,37    |
| Den. Apar. |            |           |        | -          | -0,46   |

Temp: Temperatura en grados centígrados.

R.R. "Cha": Resistencia a la penetración con el penetrómetro "Chatillón" (MPa).

R.R. "ST": Resistencia a la penetración con el penetrómetro Soil Test (MPa).

R.C.T.: Resistencia al corte tangencial (MPa).

Den. Apar.: Densidad aparente ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ).

Humedad: Humedad gravimétrica (%).

+Diferencia significativa a p menor a 0,10; análisis de correlación de Pearson.

\*Diferencia significativa a p menor a 0,050; análisis de correlación de Pearson.

\*\*Diferencia significativa a p menor a 0,01; análisis de correlación de Pearson.

Se encontró igualmente una relación inversa y altamente significativa entre los valores de ambos penetrómetros y la densidad aparente del suelo, ya que se presenta más alta con el penetrómetro tipo "Chatillón" (-0,69\*\*), que apoya lo sugerido por Forsythe (1985) en cuanto a que este tipo de aparato representa mejor las propiedades mecánicas del suelo desde un punto de vista agrícola. Otra relación que se encontró fue entre la densidad aparente y la humedad del suelo, la cual fue inversa (-0,46\*).

## CONCLUSIÓN

La evaluación de las propiedades físicas del suelo con la utilización de metodologías y determinaciones rápidas de campo, es una práctica que debe ser implementada en forma más rutinaria con el fin de aumentar la cantidad de datos disponibles a nivel nacional. Particularmente la compactación del suelo, es una manifestación negativa que tiene un impacto relevante en la producción agrícola así como en otros aspectos como por ejemplo la dinámica de infiltración del agua en el suelo en los sistemas agroproductivos. Su determinación rápida así como de otras

propiedades del suelo, puede facilitar sin duda la evaluación de la productividad de los suelos a nivel de las fincas y su posible impacto a nivel ambiental.

## AGRADECIMIENTO

A la compañía Hacienda Juan Viñas por su permanente disposición y aporte al desarrollo de la investigación y la docencia en el área agrícola.

## LITERATURA CITADA

- AGÜERO J.M., ALVARADO A. 1983. Compactación y compactabilidad de suelos agrícolas y ganaderos de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 7(1/2):27-33.
- ALVARADO A., FORSYTHE W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1):85-94.
- BENGOUGH A.G., MULLINS C.E. 1991. Penetrometer resistance, root penetration resistance and root elongation rate in two Sandy soils. *Plant and Soil*. 131(1):59-66.
- FORSYTHE W. 1986. Manual de laboratorio. Física de suelos. IICA. San José, Costa Rica. 212 p.

- FORSYTHE W., SCHWEIZER S. 2001. La resistencia a la penetración y la rata de infiltración como indicadores de las condiciones físicas de un suelo de Costa Rica. In: Memorias del XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, 11 al 16 de noviembre, 2001.
- FORSYTHE W. 2002. Parámetros ambientales que afectan la temperatura del suelo en Turrialba, Costa Rica y sus consecuencias para la producción de cultivos. *Agronomía Costarricense*. 26(1):43-62.
- FORSYTHE W., SANCHO F., VILLATORO M. 2005. Efecto de la compactación de los suelos sobre el rendimiento de maíz en tres localidades de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(3):175-185.
- GAVANDE S.A. 1979. Física de suelos: principios y aplicaciones. 1 ed. México, Limusa. 135 p.
- GUILLÉN C., SOTO-ADAMES F., SPRINGER M. 2006. Variables físicas, químicas y biológicas del suelo sobre las poblaciones de colémbolos en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 30(2):19-29.
- HENRÍQUEZ C., CABALCETA G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque Agrícola. ACCS. 1 ed. San José, Costa Rica. 111 p.
- PORTA C.J., LÓPEZ-ACEVEDO R.M., ROQUERO D.C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. España. 3ª ed. 929 p.
- RADULOVICH R. 2009. Método gravimétrico para determinar in situ a humedad volumétrica del suelo. *Agronomía Costarricense* 33(1):121-124.
- SOIL SURVEY STAFF. 2010. Keys of soil taxonomy. Eleventh edition. United States Department of Agriculture. 338 p.
- TOPP G.C., FERRÉ P.A. 2002. Thermogravimetric determinations using convective oven-drying, pp. 422-424. In: J.H. Dane and G.C. Topp (eds). Methods of soil analysis. part 4, physical methods. Soil Science Society of America, Inc. Madison.
- STANKOVIČOVÁ K., NOVÁK J., BAJLA J., CHLPÍK J. 2008. Penetration resistance of soil on the year-long using mountainin pasture by the cattle. *Journal Central European Agriculture* 9(2):311-316.
- VEIHMEYER F.J., HENDRICKSON A.H. 1948. Soil density and root penetration. *Soil science* 65:487-493.

## Nota técnica

# POBLACIÓN DE NEMATODOS EN FORRAJES TROPICALES EN DOS RANGOS DE ALTURA EN EL CANTÓN DE SAN CARLOS, ALAJUELA<sup>1</sup>

Rodolfo WingChing-Jones<sup>2/\*</sup>, Luís Salazar Figueroa<sup>\*\*</sup>

**Palabras clave:** Pastos tropicales, *Pratylenchus* sp., Sistemas de producción láctea, Pasto de piso, Pasto de corta.

**Keywords:** Tropical grass, *Pratylenchus* sp., Production systems, Pasture, Fodder grass.

Recibido: 09/11/10

Aceptado: 30/03/11

## RESUMEN

Se caracterizó la población de nematodos fitoparásitos presente en los pastos Sorgo negro (*Sorghum almus*), Camerún (*Pennisetum purpureum* var Camerun), King grass (*Pennisetum purpureum* var King grass), Tanzania (*Panicum maximum* var Tanzania), Brizantha (*Brachiaria brizantha*), Toledo (*Brachiaria brizantha* var Toledo), Estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), Mombaza (*Panicum maximum* var Mombaza), Ratana (*Ischaemum ciliare*) y la leguminosa maní forrajero (*Arachis pintoi*) en la localidad de San Carlos, Alajuela, de junio a noviembre del 2003. Se tomaron 5 muestras compuestas de suelo y de las raíces contenidas en el volumen de suelo para los forrajes evaluados, excepto para el pasto King grass, el Ratana y el Maní forrajero, en donde el número de muestras compuestas fue de 10 para cada material. Los nematodos *Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Tylenchus* sp., *Criconebella* sp., se identificaron en 8 de los pastos y en la leguminosa evaluada. El género *Psilenchus* sp., solo se presentó en el pasto Tanzania, mientras que el género *Xiphinema* sp., en los forrajes Tanzania, Brizantha, Ratana y en el

## ABSTRACT

**Plant-parasitic nematode population in tropical forages in 2 altitude range of San Carlos County, Alajuela.** Plant-parasitic nematode populations in Black sorghum grass (*Sorghum almus*), Cameroon grass (*Pennisetum purpureum* var Camerun), King grass (*Pennisetum purpureum* var King grass), Tanzania grass (*Panicum maximum* var Tanzania), Brizantha grass (*Brachiaria brizantha*), Toledo grass (*Brachiaria brizantha* var Toledo), African star grass (*Cynodon nlemfuensis*), Mombaza grass (*Panicum maximum* var Mombaza), Smutgrass (*Ischaemum ciliare*) and perennial peanut legume (*Arachis pintoi*) were characterized during June to November 2003 at San Carlos, Alajuela. Five compound samples of roots and associated soil of with grazing forages were taken, except for King grass, Smutgrass and peanut legume, where the number of samples was 10 for each forage. The nematodes *Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Tylenchus* sp., and *Criconebella* sp., were identified in 8 forages and the perennial peanut legume. *Psilenchus* sp., was present only in Tanzania grass, while *Xiphinema* sp., was found

1 Proyecto N°. VI-739-A3-097.

2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: rodolfo.wingching@ucr.ac.cr

\* Escuela de Zootecnia, Centro de Investigación en Nutrición Animal, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

\*\* Escuela de Agronomía, Centro de Investigación en Protección de Cultivos, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

maní forrajero. El género *Paratylenchus* sp., se contabilizó con los forrajes Tanzania, Brizantha y Ratana. En el pasto Toledo, Camerún y en el maní forrajero se observó *Hemicycliophora* sp. En cambio, *Meloidogyne* sp., se encontró en los pastos Brizantha y Ratana. Los nematodos no fitoparásitos se identificaron en los 9 pastos y la leguminosa evaluada.

## INTRODUCCIÓN

La distribución y fluctuación de las poblaciones de nematodos en el sistema productivo de la planta puede depender de la morfología y distribución de las raíces, las características químicas, físicas y biológicas del suelo, prácticas de manejo del suelo y del cultivo, capacidad de asociación con hongos, algas, líquenes y musgos; cambios climáticos que afectan el patrón de lluvias y de temperatura de los microclimas, la capacidad reproductiva y migratoria del mismo, la presencia de parásitos y depredadores según la posición en la cadena trófica (Norton 1978).

Con base en los resultados obtenidos por WingChing-Jones et al. (2008) donde se confirma la presencia de nematodos en 7 forrajes de uso común en sistemas de producción de leche de altura, se hace necesario profundizar en este tema para generar información que describa la población de nematodos presentes en especies forrajeras por debajo de los 1100 msnm, en la comunidad de San Carlos, Alajuela. Otro aspecto importante es que el daño físico que provoca el nematodo durante el proceso de alimentación, permite el ingreso de bacterias, hongos y virus, lo que potencia el daño a la planta, medida en reducción de la productividad del mismo (Dropkin 1980). Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue la de identificar los nematodos presentes en áreas utilizadas para pastoreo y de corta-acarreo

in Tanzania grass, Brizantha grass, Smutgrass and perennial peanut legume. *Paratylenchus* sp., was recorded in Tanzania grass, Brizantha grass and Smutgrass. *Hemicycliophora* sp., was observed in Toledo grass, Cameroon grass and perennial peanut legume; *Meloidogyne* sp., was found in Brizantha grass and Smutgrass. Non-plant parasitic nematodes were identified in the perennial peanut legume and all 9 forages evaluated.

de materiales forrajeros que se utilizan entre los 501 a 1100 msnm y por debajo de los 500 msnm.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**a. Pastos evaluados y número de muestras tomadas.** Se evaluaron 9 especies forrajeras y una leguminosa distribuida entre los 0 a los 1100 msnm, en las localidades de ciudad Quesada, La Tabla, Jabillos y Santa Clara; durante junio a noviembre del 2003. En el rango de altura de 501 a 1100 msnm se trabajó con el pasto de corta Sorgo negro (*Sorghum almus*), Camerún (*Pennisetum purpureum* var Camerun) y King grass (*Pennisetum purpureum* var King grass). Como pasto de piso se empleó el Tanzania (*Panicum maximum* var Tanzania), Brizantha (*Brachiaria brizantha* CIAT 6780), Toledo (*Brachiaria brizantha* var Toledo CIAT 26110) y Estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*). Por debajo de los 500 msnm se utilizó el pasto Mombaza (*Panicum maximum* var Mombaza), Ratana (*Ischaemum ciliare*) y la leguminosa maní forrajero (*Arachis pintoï*). Además en este rango de altura, se repite el muestreo en los forrajes Sorgo negro, Tanzania, Brizantha y Toledo. En promedio se tomaron 5 muestras compuestas de suelo y de las raíces contenidas en el volumen de suelo para los forrajes evaluados, excepto para el pasto King grass, el

Ratana y el maní forrajero, en donde el número de muestras compuestas fue de 10 para cada especie.

**b. Manejo y análisis de las muestras.** En este trabajo se siguió el mismo patrón metodológico descrito por WingChing-Jones et al. (2008) para la escogencia de los sistemas de producción, la toma y análisis de la muestra, en donde cada muestra compuesta procede de 5 submuestras, y cada submuestra se tomó a una profundidad de 0-20 cm con ayuda de un palín, en una área total de muestreo de 5 ha en forrajes de piso y de 2 ha para los pastos de corta. Para maní forrajero se muestrearon en 1,9 ha en total. Las muestras de suelo y de raíces fueron procesadas por el método de cernido y centrifugado en solución azucarada (Alvarado y López 1985), y su lectura se realizó con la ayuda de un microscopio estereoscopio a 45X, iy se identificaron los nematodos a nivel de género, por medio del sistema de clasificación descrito por Maggenti (1991). Los datos de las poblaciones de nematodos determinadas en cada forraje se expresó en términos de número de nematodos.100 ml<sup>-1</sup> de suelo o de número de nematodos.100 g<sup>-1</sup> de raíces.

Los datos de población de nematodos presentes en las muestras de suelo y de raíces fue organizada por tipo de forraje y rango de altura, y los parámetros de densidad máxima (DM), densidad promedio (DP) así como frecuencia absoluta (FA) descritos por Quintana (1996).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información obtenida en este trabajo esta organizada en 4 cuadros según el rango de altura y el tipo de forraje.

**Pasto Ratana (I. ciliare).** Se determinó la presencia de *Pratylenchus* sp., *Criconemella* sp., *Meloidogyne* sp., y *Paratylenchus* sp., en las muestras de raíces, mientras que, en las muestras de suelo, se identificó *Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Tylenchus* sp., *Criconemella* sp., *Xiphinema* sp., *Meloidogyne* sp., y *Paratylenchus* sp. (Cuadro 1). En el caso de los nematodos

presentes en las raíces, llama la atención, las altas poblaciones de *Pratylenchus* sp., *Meloidogyne* sp., y *Paratylenchus* sp. Estos géneros se caracterizan por ser endoparásitos en el caso de los 2 primeros y ectoparásito en el caso del *Paratylenchus* sp., los cuales se alimentan de las raíces del cultivo, lo que reduce la capacidad de absorción de agua y nutrimentos. Es importante describir, que durante los muestreos, el pasto Ratana, no presentó signos de clorosis o sitios en el potrero donde la producción de biomasa se mermara. Sin embargo los problemas del pasto Ratana en los sistemas productivos, es su baja producción de biomasa por hectárea ya que su perfil nutricional es similar al de otros forrajes (Villareal 1992).

**Pasto Tanzania y Mombaza (*P. maximum*).** El pasto Tanzania presentó 3 géneros de nematodos fitoparásitos en el rango de menor altura (<500 msnm), tanto en las muestras de suelo (*Tylenchus* sp., *Psilenchus* sp., y *Xiphinema* sp.) como en las raíces (*Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., y *Paratylenchus* sp.) (Cuadro 1). En cambio, en el rango de mayor altura (501-1100 msnm), solo *Pratylenchus* sp. se identificó en las muestras de raíces. Mientras que en las muestras de suelo se encontró la presencia de *Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Tylenchus* sp., y *Criconemella* sp. En todas las muestras evaluadas de raíces y de suelo, de ambos cultivos de *P. maximum*, se determinó la presencia de nematodos no fitoparásitos (Cuadro 1). En el caso de las poblaciones recuperadas en raíces, podría estar relacionada a porciones de suelo adheridas a las raíces y proceso de alimentación en raíces en estado de descomposición. En cambio, en el cultivar Mombaza (Cuadro 1), solo se observó la presencia de *Pratylenchus* sp., y *Helicotylenchus* sp., en las muestras de raíces y de suelo.

En condiciones de laboratorio, Carneiro et al. (2006), demostraron que el pasto Mombaza y Tanzania presentaron resistencia a *M. incognita*, *M. paranaenses* y *M. javanica*, en donde se observó una reducción en el número de huevos, comparado a un cultivo susceptible, en este caso el tomate. Dichas experiencias, podrían



Cuadro 1. Frecuencia absoluta, densidad promedio y máxima de nematodos en raíces y suelos en los pastos Mombaza, Ratana y Tanzania a 2 alturas en el cantón de San Carlos, Alajuela.

| Forraje                  | Mombaza             |                 |                 |      | Ratana |       |        |     | Tanzania |      |     |      |
|--------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|------|--------|-------|--------|-----|----------|------|-----|------|
|                          | Elevación (msnm)    |                 |                 |      | <500   |       |        |     | <500     |      |     |      |
|                          | Nº de muestras      |                 |                 |      | 5      |       |        |     | 5        |      |     |      |
| Parámetros de evaluación | FA <sup>3</sup>     | DP <sup>4</sup> | DM <sup>5</sup> |      | FA     | DP    | DM     |     | FA       | DP   | DM  |      |
| <i>Pratylenchus</i>      | Suelo <sup>1</sup>  | 100             | 6,2             | 8    | 70     | 20,7  | 120    | -   | -        | -    | -   | 4    |
|                          | Raíces <sup>2</sup> | 80              | 464             | 1280 | 70     | 1680  | 10000  | 60  | 64       | 160  | 80  | 3040 |
| <i>Helicotylenchus</i>   | Suelo               | 100             | 35,8            | 78   | 50     | 53,6  | 208    | -   | -        | -    | 100 | 54   |
|                          | Raíces              | 20              | 16              | 80   | -      | -     | -      | 100 | 47,8     | 87   | -   | -    |
| <i>Tylenchus</i>         | Suelo               | -               | -               | -    | 30     | 0,5   | 2      | 20  | 0,2      | 1    | 100 | 4    |
|                          | Raíces              | -               | -               | -    | -      | -     | -      | -   | -        | -    | -   | -    |
| <i>Psilenchus</i>        | Suelo               | -               | -               | -    | -      | -     | -      | 40  | 0,4      | 1    | -   | -    |
|                          | Raíces              | -               | -               | -    | -      | -     | -      | -   | -        | -    | -   | -    |
| <i>Crictonemella</i>     | Suelo               | -               | -               | -    | 70     | 32    | 90     | -   | -        | -    | 100 | 32   |
|                          | Raíces              | -               | -               | -    | 30     | 80    | 400    | -   | -        | -    | -   | -    |
| <i>Xiphinema</i>         | Suelo               | -               | -               | -    | 20     | 2,8   | 17     | 80  | 1,4      | 3    | -   | -    |
|                          | Raíces              | -               | -               | -    | -      | -     | -      | -   | -        | -    | -   | -    |
| <i>Paratylenchus</i>     | Suelo               | -               | -               | -    | 40     | 2,1   | 8      | -   | -        | -    | -   | -    |
|                          | Raíces              | -               | -               | -    | 50     | 20040 | 68800  | 20  | 32       | 160  | -   | -    |
| <i>Meloidogyne</i>       | Suelo               | -               | -               | -    | 40     | 120   | 688    | -   | -        | -    | -   | -    |
|                          | Raíces              | -               | -               | -    | 40     | 99660 | 417000 | -   | -        | -    | -   | -    |
| No fitoparásitos         | Suelo               | 100             | 18,6            | 40   | 90     | 30,1  | 54     | 100 | 30       | 41   | 100 | 60   |
|                          | Raíces              | 100             | 880             | 1360 | 50     | 560   | 1600   | 100 | 864      | 1920 | 80  | 640  |

<sup>1</sup> Muestra de suelos (Unidades): N° nematodos; 100 ml<sup>-1</sup> de suelo. <sup>2</sup> Muestra de raíces (Unidades): N° nematodos; 100 g<sup>-1</sup> de raíces.

<sup>3</sup> FA= Frecuencia absoluta (%). <sup>4</sup> DP=Densidad promedio. <sup>5</sup> DM=Densidad máxima.

explicar la ausencia de este género en las muestras evaluadas.

**Pasto Brizantha y Toledo (*B. brizantha*).** Para los casos del pasto Brizantha y Toledo se presenta un resumen en el Cuadro 2. Se muestra la presencia de 3 géneros de nematodos fitoparásitos en las muestras de raíces en ambos rangos de altura, en donde *Pratylenchus* sp. y *Helicotylenchus* sp., están presentes en ambas alturas, pero *Paratylenchus* sp., solo esta por debajo de los 500 msnm, mientras que *Tylenchus* sp. en el rango mayor. En las muestras de suelo, se identificaron 4 géneros de nematodos fitoparásitos, por debajo de los 500 msnm (*Tylenchus* sp., *Criconemella* sp., *Xiphinema* sp., y *Meloidogyne* sp.) y 3 géneros en el ámbito de altura que comprende los 501 msnm hasta los 1100 msnm (*Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., y *Tylenchus* sp.). Por su parte en el pasto Toledo, se hayó un único género de nematodos fitoparásitos en el rango de altura entre 501 y 1100 msnm, que fue *Pratylenchus* sp. (Cuadro 2). Para las muestras de suelo y raíces por debajo de los 500 msnm, se encontraron 3: *Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., y *Tylenchus* sp. En ambas alturas con cultivares de pasto Brizantha, se determinó la presencia de nematodos no fitoparásitos en el suelo y las raíces, los cuales podrían participar en el reciclaje de nutrimentos, depredación y descomposición de la materia orgánica (Bardgett et al. 1999).

En un estudio realizado en Brasil por Sharma et al. (2001) sobre la población de nematodos fitoparásitos en pasto Brizantha cv Marandu, se determinó en orden decreciente la presencia de *Aphelenchoides subtenuis*, *Ditylenchus terricolus*, *Tylenchus* sp., *Pratylenchus zae*, *Aphelenchus avenae*, *Helicotylenchus dihystra*, *Meloidogyne* sp., y *Criconemella* sp., resultados que coinciden en esta investigación, con los géneros *Pratylenchus* sp., *Tylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Meloidogyne* sp., y *Criconemella* sp. Otro estudio realizado por Stanton et al. (1989) en

Colombia, hace referencia a *Longidorus laeovicapitatus*, *Helicotylenchus* sp., *Pratylenchus* sp., y *Xiphinema* sp., como nematodos presentes en áreas cultivadas con pasto Brizantha. Al comparar los resultados de Brasil, Colombia y los de esta investigación, se podría considerar al pasto Brizantha hospedero para *Pratylenchus* sp. y *Helicotylenchus* sp.

**Pasto Camerún y King grass (*P. purpureum*).** En el pasto Camerún se encontró *Pratylenchus* sp., y *Helicotylenchus* sp., en las muestras de raíces y de suelo (Cuadro 3). Solo en las muestras de suelo de este forraje, se cuantificaron especímenes de *Tylenchus* sp., *Criconemella* sp., y *Hemicyclophora* sp. Similar comportamiento en géneros de nematodos se obtuvo para el pasto King grass en las muestras de raíces y de suelo excepto *Hemicyclophora* sp. (Cuadro 3). En ambos cultivares de *Pennisetum*, sobresalen las poblaciones de *Pratylenchus* sp., obtenidas. Se desconoce el impacto que este nematodo pueda provocar sobre la productividad y el número de cosechas de estos forrajes. Los resultados obtenidos en esta investigación, contradicen lo informado por WingChing-Jones et al. (2008), en donde indican la no presencia de *Pratylenchus* sp., en áreas de corta de pasto Camerún y de potreros de pasto kikuyo sobre los 1100 msnm, lo cual se asocia a un factor en las raíces que reduce la colonización del nematodo. Con respecto a la ausencia de *Meloidogyne* sp., en ambos pastos, se podría asociar al efecto supresivo de este forraje descrito por Coyne et al. (2009).

**Pasto Estrella Africana (*C. nlemfuen-sis*).** En este forraje se identificó a *Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., y *Tylenchus* sp., en las muestras de raíces y a *Helicotylenchus* sp., *Tylenchus* sp., y *Criconemella* sp., en las muestras de suelo (Cuadro 3). En comparación con los resultados informados por WingChing-Jones et al. (2008) en potreros de pasto Estrella Africana sobre los 1100 msnm, se contabilizan en ambos trabajos los géneros de nematodos fitoparásitos

Cuadro 2. Frecuencia absoluta, densidad promedio y máxima de nematodos en raíces y suelos en los pastos Brizantha y Toledo en 2 alturas en el cantón de San Carlos, Alajuela.

| Géneros presentes | Parámetros de evaluación | Forraje             |                 |                 |      | Brizantha |      |          |      | Toledo |     |          |      |
|-------------------|--------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|------|-----------|------|----------|------|--------|-----|----------|------|
|                   |                          | Elevación (msnm)    |                 |                 |      |           |      | 501-1100 |      | <500   |     | 501-1100 |      |
|                   |                          | N° de muestras      |                 |                 |      |           |      | 5        |      | 5      |     | 5        |      |
|                   |                          | FA <sup>3</sup>     | DP <sup>4</sup> | DM <sup>5</sup> | FA   | DP        | DM   | FA       | DP   | DM     | FA  | DP       | DM   |
|                   | <i>Pratylenchus</i>      | Suelo <sup>1</sup>  | -               | -               | 60   | 2,4       | 7    | 60       | -    | -      | 60  | 1        | 3    |
|                   |                          | Raíces <sup>2</sup> | 100             | 800             | 100  | 5152      | 9040 | 100      | 304  | 400    | 100 | 672      | 1440 |
|                   | <i>Helicotylenchus</i>   | Suelo               | -               | -               | 100  | 38,2      | 65   | 100      | 18,6 | 30     | -   | -        | -    |
|                   |                          | Raíces              | 60              | 112             | 40   | 32        | 80   | 40       | 32   | 80     | -   | -        | -    |
|                   | <i>Tylenchus</i>         | Suelo               | 20              | 0,6             | 100  | 3,4       | 8    | 100      | 4,2  | 5      | 100 | 9,8      | 19   |
|                   |                          | Raíces              | -               | -               | 20   | 16        | 80   | 40       | 48   | 160    | -   | -        | -    |
|                   | <i>Criticonemella</i>    | Suelo               | 60              | 2               | 5    | -         | -    | 20       | 0,4  | 2      | -   | -        | -    |
|                   |                          | Raíces              | -               | -               | -    | -         | -    | -        | -    | -      | -   | -        | -    |
|                   | <i>Xiphinema</i>         | Suelo               | 20              | 0,2             | 1    | -         | -    | -        | -    | -      | -   | -        | -    |
|                   |                          | Raíces              | -               | -               | -    | -         | -    | -        | -    | -      | -   | -        | -    |
|                   | <i>Hemicyclophora</i>    | Suelo               | -               | -               | -    | -         | -    | 20       | 0,2  | 1      | -   | -        | -    |
|                   |                          | Raíces              | -               | -               | -    | -         | -    | -        | -    | -      | -   | -        | -    |
|                   | <i>Meloidogyne</i>       | Suelo               | 20              | 0,6             | 3    | -         | -    | -        | -    | -      | -   | -        | -    |
|                   |                          | Raíces              | -               | -               | -    | -         | -    | -        | -    | -      | -   | -        | -    |
|                   | <i>Paratylenchus</i>     | Suelo               | -               | -               | -    | -         | -    | -        | -    | -      | -   | -        | -    |
|                   |                          | Raíces              | 80              | 1424            | 4000 | -         | -    | -        | -    | -      | -   | -        | -    |
|                   | No fitoparásitos         | Suelo               | 100             | 69,8            | 94   | 100       | 29,4 | 100      | 45   | 77     | 100 | 32,4     | 56   |
|                   |                          | Raíces              | 100             | 1750            | 3580 | 100       | 384  | 100      | 3264 | 7840   | 100 | 848      | 1760 |

<sup>1</sup> Muestra de suelos (Unidades): N.º nematodos.100 ml<sup>-1</sup> de suelo. <sup>2</sup> Muestra de raíces (Unidades): N.º nematodos.100 g<sup>-1</sup> de raíces.

<sup>3</sup> FA=Frecuencia absoluta (%). <sup>4</sup> DP=Densidad promedio. <sup>5</sup>DM=Densidad máxima.

Cuadro 3. Frecuencia absoluta, densidad promedio y máxima de nematodos en raíces y suelos en los pastos Camerún, King grass y Estrella entre los 501-1100 msnm en el cantón de San Carlos, Alajuela.

| Géneros presentes | Forraje                  |                     | Camerún         |                 |                 | King grass |      |       | Estrella |     |      |
|-------------------|--------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|------|-------|----------|-----|------|
|                   | Elevación (msnm)         |                     | 501-1100        |                 |                 | 501-1100   |      |       | 501-1100 |     |      |
|                   | Nº de muestras           |                     | 5               |                 |                 | 10         |      |       | 5        |     |      |
|                   | Parámetros de evaluación |                     | FA <sup>3</sup> | DP <sup>4</sup> | DM <sup>5</sup> | FA         | DP   | DM    | FA       | DP  | DM   |
|                   |                          |                     |                 |                 |                 |            |      |       |          |     |      |
|                   | <i>Pratylenchus</i>      | Suelo <sup>1</sup>  | 80              | 2,6             | 5               | 40         | 1,6  | 8     | -        | -   | -    |
|                   |                          | Raíces <sup>2</sup> | 100             | 9008            | 15920           | 80         | 4448 | 12640 | 20       | 496 | 2480 |
|                   | <i>Helicotylenchus</i>   | Suelo               | 100             | 29              | 37              | 100        | 38,1 | 77    | 100      | 58  | 96   |
|                   |                          | Raíces              | 20              | 96              | 480             | 60         | 232  | 800   | 80       | 320 | 720  |
|                   | <i>Tylenchus</i>         | Suelo               | 80              | 7               | 28              | 50         | 1    | 4     | 100      | 3   | 5    |
|                   |                          | Raíces              | -               | -               | -               | -          | -    | -     | 60       | 80  | 160  |
|                   | <i>Criconemella</i>      | Suelo               | 80              | 1,6             | 3               | 70         | 7,6  | 31    | 20       | 0,6 | 3    |
|                   |                          | Raíces              | -               | -               | -               | -          | -    | -     | -        | -   | -    |
|                   | <i>Hemicycliophora</i>   | Suelo               | 20              | 0,2             | 1               | -          | -    | -     | -        | -   | -    |
|                   |                          | Raíces              | -               | -               | -               | -          | -    | -     | -        | -   | -    |
|                   | No fitoparásitos         | Suelo               | -               | -               | -               | 100        | 32,8 | 61    | 100      | 28  | 41   |
|                   |                          | Raíces              | 60              | 704             | 1280            | 90         | 576  | 1440  | 100      | 912 | 1760 |

<sup>1</sup> Muestra de suelos (Unidades): N.º nematodos.100 ml<sup>-1</sup> de suelo. <sup>2</sup> Muestra de raíces (Unidades): N.º nematodos.100 g<sup>-1</sup> de raíces. <sup>3</sup> FA= Frecuencia absoluta (%). <sup>4</sup> DP=Densidad promedio. <sup>5</sup> DM=Densidad máxima.

*Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Tylenchus* sp., y *Criconemella* sp. Igualmente, Sharma (1978) informa de la presencia de *Pratylenchus* sp. y *Tylenchus* sp., en el pasto Estrella africana en los cerrados brasileños, con poblaciones de 960 nematodos.100 g<sup>-1</sup> raíces y de 160 nematodos.100 g<sup>-1</sup> raíces, lo que podría indicar que este forraje cumple función de cultivo hospedero para estos géneros de nematodos.

En relación con el pasto *Cynodon* sp., McGroary et al. (2009) informan que *Belonolaimus longicaudatus*, es el nematodo más importante para el pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*), pues provoca daños severos a las raíces laterales, por reducción en la capacidad de toma de agua, nutrimentos y reduce la tasa de evapotranspiración.

**Pasto Sorgo negro (*S. almus*).** En ambas alturas, se determinó la presencia de *Pratylenchus* sp., como nematodo endoparásito, *Helicotylenchus* sp., *Tylenchus* sp., *Criconemella* sp., (Nematodo ectoparásito) y el grupo de los nematodos no fitoparásitos (Cuadro 4). En este sentido, McSorley y Gallaher (1993) informan de poblaciones de *Criconemella* spp., *Meloidogyne incognita*, *Paratrichodorus minor*, *Pratylenchus* spp., y *Xiphinema* spp., en muestras de suelo cultivado con *Sorghum bicolor*. Estas poblaciones fluctuaron entre 26-378, 11-71, 40-56, 15-140 y 0-46 individuos.100 cc<sup>-1</sup> de suelo, respectivamente. Resultados que concuerdan en esta investigación con *Pratylenchus* sp., y *Criconemella* sp.

En el caso de *Pratylenchus* sp., las poblaciones contabilizadas en las muestras de raíces, en los 2 pisos altitudinales evaluados, son frecuentes y mayores a 6800 individuos en 100 g de raíces. Lo que podría indicar que el sorgo es un forraje hospedero sin importar la altura y el tipo de sistema. A la vez, estas poblaciones podrían afectar el rendimiento del cultivo (kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> MS), como la vida útil del mismo, medida en número de cortes (Boschini y Elizondo 2005).

La ausencia de *Meloidogyne* sp., en las muestras analizadas, podría ser explicada por la resistencia que presenta este cultivo a este

género (Carneiro et al. 2007, Silva y Silva 2009), debido a que se emplea en sistemas de rotación con gramíneas de la familia de las brachiarias y con leguminosas como el maní, como medida de supresión (Kokalis-Burelle et al. 2002). Resultados que concuerdan con lo descrito por Coyne et al. (2009), donde cita al sorgo (*Sorghum bicolor* y *Sorghum sudanense*) como un material que presenta un efecto supresivo sobre las poblaciones de *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. hapla* y *M. javanica*.

El caso de los recuentos de nematodos no fitoparásitos obtenidos en las muestras de raíces del sorgo (Cuadro 4), podrían estar relacionadas con el proceso de degradación, producto de la senescencia de las raíces en respuesta a la extracción de la biomasa del forraje, por ciclos de pastoreo o por actividad de corta y acarreo para la suplementación en canoa (Georgieva et al. 2005).

**Maní forrajero (*A. pintoi*).** Los géneros de nematodos fitoparásitos determinados en este trabajo fueron 5, tanto en las muestras de suelo (*Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Criconemella* sp., *Hemicycliophora* sp., y *Tylenchus* sp.) como en las de raíces (*Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Criconemella* sp., *Hemicycliophora* sp., y *Xiphinema* sp.) (Cuadro 4). Aunque, se presentaron valores de poblaciones de nematodos menores a 32 individuos en 100 g de raíces en las muestras evaluadas, presentan frecuencias menores al 50%, lo que podría indicar que el maní forrajero, no es un buen cultivo hospedero de nematodos fitoparásitos. Al respecto, Santiago et al. (2001) indican que las leguminosas presentan un antagonismo sobre la población de nematodos fitoparásitos, producto de la liberación de exudados o de un mecanismo de resistencia.

En el caso de los nematodos no fitoparásitos, se encontraron poblaciones promedio mayores a 1000 individuos en 100 g de raíces, las cuales podrían estar favorecidas por la producción y acumulación de biomasa producto del crecimiento del cultivo, como también a la capacidad

Cuadro 4. Frecuencia absoluta, densidad promedio y máxima de nematodos en raíces y suelos en el pasto Sorgo y la leguminosa Maní forrajero y Ratana en 2 rangos de altura en el cantón de San Carlos, Alajuela.

| Forraje                  | Sorgo               |                 |                 |       |     | Maní forrajero |       |      |
|--------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-------|-----|----------------|-------|------|
|                          | Elevación (msnm)    |                 | 501-1100        |       |     | <500           |       |      |
|                          | Nº de muestras      |                 | 5               |       |     | 10             |       |      |
| Parámetros de evaluación | FA <sup>3</sup>     | DP <sup>4</sup> | DM <sup>5</sup> | FA    | DP  | DM             | FA    | DP   |
| <i>Pratylenchus</i>      | Suelo <sup>1</sup>  | 100             | 12,2            | 21    | 40  | 0,3            | 3     | 1,9  |
|                          | Raíces <sup>2</sup> | 100             | 7000            | 13760 | 100 | 6840           | 9600  | 32   |
| <i>Helicotylenchus</i>   | Suelo               | -               | -               | -     | 100 | 3,4            | 5     | 18,3 |
|                          | Raíces              | 100             | 23              | 35    | 20  | 16             | 80    | 8    |
| <i>Tylenchus</i>         | Suelo               | 100             | 2,8             | 4     | 60  | 2,6            | 6     | 1    |
|                          | Raíces              | -               | -               | -     | -   | -              | -     | -    |
| <i>Criconemella</i>      | Suelo               | 100             | 18              | 43    | 100 | 3              | 5     | 0,3  |
|                          | Raíces              | 20              | 32              | 160   | -   | -              | -     | 8    |
| <i>Xiphinema</i>         | Suelo               | -               | -               | -     | -   | -              | -     | -    |
|                          | Raíces              | -               | -               | -     | -   | -              | -     | -    |
| <i>Hemicycliophora</i>   | Suelo               | -               | -               | -     | -   | -              | -     | 0,1  |
|                          | Raíces              | -               | -               | -     | -   | -              | -     | 8    |
| No fitoparásitos         | Suelo               | 100             | 38,4            | 56    | 100 | 106            | 175   | 61,7 |
|                          | Raíces              | 60              | 560             | 1760  | 100 | 4994           | 13600 | 1160 |
|                          |                     |                 |                 |       |     |                |       | 3280 |

<sup>1</sup> Muestra de suelos (Unidades): N.º nematodos/100 ml<sup>-1</sup> de suelo. <sup>2</sup> Muestra de raíces (Unidades): N.º nematodos/100 g<sup>-1</sup> de raíces. <sup>3</sup> FA=Frecuencia absoluta (%). <sup>4</sup> DP=Densidad promedio. <sup>5</sup>DM=Densidad máxima.



de fijar nitrógeno atmosférico del maní (Argel y Villareal 1998).

Según Carneiro et al. (2003), el *A. pinto* presenta un efecto antagónico sobre las poblaciones de *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica* y *M. arabicida*, cuando fue sembrada en asocio. Iguales resultados encuentran Santiago et al. (2001) sobre la presencia de agallas y masa de huevos de *M. incognita* en muestras de raíces de *A. pinto* y en muestras de raíces de tomate sembrado en suelos con incorporación de *A. pinto* como abono verde. Por otro lado, Church et al. (2005) informan de la presencia de un gen de resistencia a *M. arenaria* en *Arachis* sp., híbrido. Ambas investigaciones, podrían explicar la no presencia de *Meloidogyne* sp., en las muestras de raíces y del suelo evaluadas en esta investigación. Por otro lado, en Costa Rica, el uso del maní forrajero como planta de cobertura para proteger la estructura y fertilidad del suelo (Sancho y Cervantes 1997), genera inconvenientes en relación con la productividad como es el caso del banano y el nematodo barrenador *Rhadopholus similis*, por su efecto en el sistema radical (Araya y Cheves 1997).

### CONCLUSIONES

Se confirma la presencia de nematodos fitoparásitos en pastos de uso común en sistemas de producción láctea en la zona de San Carlos, Alajuela por debajo de los 1100 msnm.

Los pastos Sorgo, Tanzania, Mombaza, Brizantha, Toledo, Camerún, King grass, Estrella y Ratana, podrían considerarse como cultivos hospederos del nematodo *Pratylenchus* sp., pero a la vez se desconoce en las condiciones estudiadas el impacto de este nematodo sobre la productividad y vida útil del cultivo.

Los pastos tropicales evaluados en este trabajo, como el maní forrajero presenta resistencia a ser colonizado por el nematodo *Meloidogyne* sp., esto debido a que en las muestras evaluadas se determinaron poblaciones promedio menores a 1 nematodo en 100 g de raíces. Caso contrario, las poblaciones obtenidas en el pasto

Ratana, permiten considerarlo como un cultivo hospedero.

Las poblaciones de nematodos de los géneros *Pratylenchus* sp., *Meloidogyne* sp. y *Paratylenchus* sp. en el pasto Ratana podrían estar relacionadas con los problemas de persistencia del mismo, debido a la carga residual de estos nematodos en el área a renovar.

### AGRADECIMIENTOS

Al Comité de Educación y Bienestar Social y al Ing. Franklin Ramírez de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L., por el apoyo brindado en el desarrollo de este trabajo.

### LITERATURA CITADA

- ALVARADO M., LÓPEZ R. 1985. Extracción de algunos nematodos fitoparásitos mediante modificaciones de las técnicas de centrifugación-flotación y embudo de Bareman modificado. *Agronomía Costarricense* 9(2):175-180.
- ARAYA M., CHEVES A. 1997. Poblaciones de los nematodos parásitos del banano (*Musa* AAA), en plantaciones asociadas con cobertura de *Arachis pinto* y *Geophilla macropoda*. *Agronomía Costarricense* 21(2):217-220.
- ARGEL P., VILLAREAL M. 1998. Nuevo maní forrajero perenne (*Arachis pinto* Krapovickas y Gregory). Cultivar Porvenir (CIAT 18744): Leguminosa herbácea para alimentación animal, el mejoramiento y conservación del suelo y el embellecimiento del paisaje. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG), Centro Internacional de Agricultura (CIAT). Boletín técnico. 32 p.
- BARDGETT R., COOK R., YEATES G., DENTON C. 1999. The influence of nematodes on below-ground processes in grassland ecosystems. *Plant and Soil* 212:23-33.
- BOSCHINI C., ELIZONDO J. 2005. Determinación de la calidad y la producción de sorgo negro forrajero (*Sorghum almun*) en edades para ensilar. *Agronomía mesoamericana* 16(101):29-36p.
- CARNEIRO R., CARNEIRO R., DAS NEVES D., ALMEIDA M. 2003. Nova raça de *Meloidogyne*

- javanica* detectada em *Arachis pintoi* no estado do Paraná. Nematologia Brasileira 27(2):219-221.
- CARNEIRO R., MÔNACO A., LIMA A., NAKAMURA K., MORITZ M., SCHERER A., SANTIAGO D. 2006. Reação de gramíneas a *Meloidogyne incognita*, a *M. paranaensis* e a *M. javanica*. Nematologia Brasileira, Brasília 30(3):287-291.
- CARNEIRO R., MORITZ M., MÔNACO A., NAKAMURA K., SCHESER A. 2007. Reação de Milho, Sorgo e Milheto a *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *M. paranaensis*. Nematologia Brasileira 31(2):9-13.
- CHURCH G., STARR J., SIMPSON C. 2005. A recessive gene for resistance to *Meloidogyne arenaria* in interspecific *Arachis* ssp., hybrids. Journal of Nematology 37(2):178-184.
- COYNE D., FOURIE H., MOENS M. 2009. Current and future management strategies in resource poor farming, pp: 444-475. In: R. Perry, M. Moens, J. Starr. Root knot nematodes. CAB International. London, UK. 488 p.
- DROPKIN V. 1980. Introduction to plant nematology. John Wiley & Sons, Inc. EE.UU. 293 p.
- GEORGIEVA S., CHRITENSEN S., STEVNBK K. 2005. Nematode succession and microfauna-microorganism interactions during root residue decomposition. Soil Biology & Biochemistry 37:1763-1774.
- MAGGENTI A.R. 1991. Nemata: higher classification, pp. 147-187. In: W.R. Nickle (ed.) Manual of Agricultural Nematology. Marcel Dekker, Inc., New York, USA.
- McGROARY P., CROW W., McSORLEY R., GIBLIN-DAVIS R., CISAR J. 2009. Seasonal fluctuations of *Belonolaimus longicaudatus* in Bermudagrass. Nematropica 39:99-110.
- McSORLEY R., GALLAHER R. 1993. Population dynamics of plant-parasitic nematodes on cover crops of corn and sorghum. Journal of Nematology 25(3):446-453.
- NORTON D. 1978. Ecology of plant-parasitic nematodes. A Wiley interscience. John Wiley & Sons, New York, USA 268 p.
- QUINTANA C. 1996. Elementos de inferencia estadística. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica. 219 p.
- SANCHO F., CERVANTES C. 1997. El uso de plantas de cobertura en sistemas de producción de cultivos perennes y anuales en Costa Rica. Agronomía Costarricense 21(1):111-120.
- SANTIAGO D., HOMECHIN M., KRZYŻANOWSKI A., DE CARVALHO S. 2001. Efeito antagônico de *Arachis pintoi* sobre *Meloidogyne incognita* Raça 2 em solo de mata e solo esterilizado. Nematologia Brasileira 25(1):45-51.
- SHARMA R. 1978. Nematodes associated with gramineous forage crops in Cerrado soil. Soc. Brasileira Nematologia 3:53-54.
- SHARMA R., CAVALCANTE M., VALENTIM J. 2001. Nematóides associados ao capim *Brachiaria brizantha* cv Marandu no estado do Acre, Brasil. Nematologia Brasileira 25(2):217-222.
- SILVA K., SILVA G. 2009. Reação de gramíneas e leguminosas a *Meloidogyne mayaguensis*. Nematologia Brasileira 33(2):198-200.
- SKERMAN J., RIVEROS F. 1992. Gramíneas tropicales. Colección FAO. Producción y protección vegetal N° 23. FAO, Roma. 849 p.
- STANTON J., SIDDIQUI M., LENNÉ J. 1989. Plant parasitic nematodes associated with tropical pasture in Colombia. Nematropica 19(2):169-175.
- VARGAS G. 2006. Geografía de Costa Rica. EUNED, San José, Costa Rica. 265 p.
- VILLAREAL M. 1992. Evaluación comparativa de Ratana (*Ischaemum ciliare*) como especie forrajera. Agronomía Costarricense 16(1):37-44.
- WINGCHING-JONES R., SALAZAR-FIGUEROA L., FLORES-CHÁVEZ L., ROJAS-BOURRILLÓN A. 2008. Reconocimiento de nematodos en pastos tropicales en las comunidades de Sucre y San Vicente, Cantón de San Carlos. Agronomía Costarricense 32(2):129-136.



[illegible]

[illegible]

# EDITORIAL UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

## Diseños experimentales especiales en la investigación con ganado lechero

Serie Agrotecnológica

*Carlos Boschini Figueroa*



1.a ed. 2008  
17,78 cm x 25,4 cm  
118 pp.  
ISBN 978-9968-46-019-4

Esta obra acumula la experiencia en diseños experimentales aplicados en el campo de la producción animal, con énfasis en la ganadería de leche. Tiene el objetivo de explicar el planteamiento de un grupo selecto de diseños experimentales con características particulares y ofrece a la vez una guía del análisis matemático propio en cada uno de ellos.

**EDITORIAL  
UCR**  
*fundada en 1942*

[www.editorial.ucr.ac.cr](http://www.editorial.ucr.ac.cr)  
Tels.: 2511 5853 • 2511 5957

**LIBRERÍA — UCR**

Tels.: 2511 5858 • 2511 5859





# Portal DE LA Investigación

Ciencia universitaria a su alcance

## ⌘ Información

- Noticias de ciencia y tecnología
- Proyectos de investigación
- Agenda de investigación
- Nuevas publicaciones

## ⌘ Opinión

- Vox populi
- Opinión
- Foro

## ⌘ Plataforma de medios

- Programa En la Academia
- Serie televisiva Girasol
- Revista Girasol digital
- Cápsula Girasol



[www.vinv.ucr.ac.cr](http://www.vinv.ucr.ac.cr)



## Estimados suscriptores:

Las revistas académicas de la Universidad de Costa Rica difunden los más recientes avances en las artes, filosofía, ciencias y tecnología. Nuestras revistas se caracterizan por su alta calidad y precios muy accesibles, pero solo podemos lograr nuestros objetivos de calidad y difusión con el apoyo de quienes leen estas publicaciones.

Le invito a renovar su suscripción.

El pago se puede realizar mediante depósito bancario o transferencia electrónica de fondos en la Cuenta Maestra 100-01-080-000980-6 de la Universidad de Costa Rica (UCR) con el Banco Nacional y enviarnos copia del comprobante por fax al N° (506) 2511-5257 ó (506) 2511-5417. También puede cancelar en nuestra oficina frente a la Facultad de Bellas Artes (UCR San Pedro de Montes de Oca) o en la oficina de la revista.

También puede enviarnos esta boleta.

### SUSCRIPCIÓN DE REVISTAS • JOURNAL SUBSCRIPTION FORM

Nombre / Name: \_\_\_\_\_

Dirección / Address: \_\_\_\_\_

Apartado / P.O. Box: \_\_\_\_\_ Teléfono / Telephone: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_

| Suscripción anual /<br>Annual subscription                    |            | Suscripción anual /<br>Annual subscription               |            | Suscripción anual /<br>Annual subscription                 |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------|------------|
| <input type="checkbox"/> ACTUALIDADES EN PSICOLOGÍA           | ¢ 2 000,00 | <input type="checkbox"/> CIENCIA Y TECNOLOGÍA            | ¢ 4 000,00 | <input type="checkbox"/> GEOLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL      | ¢ 4 000,00 |
| <input type="checkbox"/> AGRONOMÍA COSTARRICENSE              | ¢ 4 000,00 | <input type="checkbox"/> EDUCACIÓN                       | ¢ 4 000,00 | <input type="checkbox"/> HISTORIA                          | ¢ 4 000,00 |
| <input type="checkbox"/> ANUARIO DE ESTUDIOS CENTROAMERICANOS | ¢ 2 000,00 | <input type="checkbox"/> ESTUDIOS DE LINGÜÍSTICA CHIBCHA | ¢ 1 500,00 | <input type="checkbox"/> INGENIERÍA                        | ¢ 4 000,00 |
| <input type="checkbox"/> BIOLOGÍA TROPICAL                    | ¢ 6 000,00 | <input type="checkbox"/> ESTUDIOS (EST. GENERALES)       | ¢ 2 000,00 | <input type="checkbox"/> KÁÑINA DE ARTES Y LETRAS          | ¢ 4 000,00 |
| <input type="checkbox"/> CIENCIAS ECONÓMICAS                  | ¢ 4 000,00 | <input type="checkbox"/> FILOSOFÍA                       | ¢ 6 000,00 | <input type="checkbox"/> MATEMÁTICA: TEORÍA Y APLICACIONES | ¢ 4 000,00 |
| <input type="checkbox"/> CIENCIAS SOCIALES                    | ¢ 6 000,00 | <input type="checkbox"/> FILOLOGÍA Y LINGÜÍSTICA         | ¢ 4 000,00 | <input type="checkbox"/> REFLEXIONES                       | ¢ 4 000,00 |

#### Precios internacionales / International prices

América Latina, Asia y África  
Excepto Estudios de Lingüística Chibcha

US\$ 20,00

US\$ 5,00

Resto del mundo  
Excepto Biología Tropical y Ciencias Sociales  
Estudios de Lingüística Chibcha  
Filosofía

US\$ 50,00

US\$ 80,00

US\$ 20,00

US\$ 70,00

| Precios                                  | Costa Rica | Others countries |
|------------------------------------------|------------|------------------|
| Número suelto:                           | ¢ 2 000,00 | US\$ 20,00       |
| Excepto: Estudios de Lingüística Chibcha | ¢ 1 500,00 | ¢ 1 500,00       |

FAVOR HACER SU PAGO A NOMBRE DE: • PLEASE MAKE CHECK PAYABLE:  
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

[www.editorial.ucr.ac.cr](http://www.editorial.ucr.ac.cr)

Librería: [libros@libreriaucr.com](mailto:libros@libreriaucr.com) Costado sur del Edificio Sapriisa, frente al parqueo Red Point,  
San Pedro, Montes de Oca • Teléfonos: (506) 2511-5858 • (506) 2511-5859.

© Editorial Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. Costa Rica.

Apdo.: 11501-2060 • Tel.: (506) 2511-5310 • Fax: (506) 2511-5257 • [administracion.siedin@ucr.ac.cr](mailto:administracion.siedin@ucr.ac.cr)

Unidad de Distribución y Ventas: Tel.: (506) 2511-5853 • (506) 2511-5957 • Fax: (506) 2511-5417 • [distribucionyventas.siedin@ucr.ac.cr](mailto:distribucionyventas.siedin@ucr.ac.cr)



Esta revista se terminó de imprimir en la Sección  
de Impresión del SIEDIN, en octubre de 2011.

Universidad de Costa Rica  
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica  
IG 910

