

CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO REVENTADO, CARTAGO, COSTA RICA¹

Laura Ramírez², Alfredo Alvarado, Rosendo Pujol**, Luis Guillermo Brenes****

Palabras clave: Capacidad de uso de la tierra, erosión, degradación de suelos.

Keywords: Land capability, erosion, soil deterioration.

Recibido: 19/02/08

Aceptado: 18/06/08

RESUMEN

Se determinó la capacidad de uso de las tierras de la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica y se hizo una propuesta de uso adecuado, empleando la metodología del MAG, Costa Rica. Los suelos de las fincas estaban cultivados de hortalizas (66,5%), potreros (22,9%) y en menor escala por bosque, barbecho y flores. La capacidad de uso era 10,5% Clase II, 38,1% Clase III, 21,9% Clase IV, 1,8% Clase V, 8,9% Clase VI, 17,8% Clase VII y 1% Clase VIII. Un 60% de las fincas se encontraba en Clase III y Clase IV, cuyas limitantes son la pendiente, la erosión, la profundidad efectiva y la fertilidad de los suelos. El 25% de las fincas presentó un uso conforme de la tierra, 39% estaba ligeramente sobreutilizada y 36% del área severamente sobreutilizada. Se propone corregir el conflicto de uso con prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos, y en áreas de mayor pendiente con un cambio de uso por frutales de altura; en las parcelas Clase VII con cobertura de pastos se recomienda la siembra de árboles forestales. Del área, se determinó un uso potencial para hortalizas de 57%, 20% para potreros, 13% para cultivos perennes o frutales y 10% para reforestación. La erosión hídrica, en las actividades agrícolas, en la cuenca media, no limita la productividad de la zona, el 90% de las parcelas presentaron erosión de leve a moderada y pendientes <30%. Otros factores que influyeron en los procesos de degradación de los recursos

ABSTRACT

Physical properties in the middle watershed of the river Reventado, Cartago, Costa Rica. Land capability of the area of study was determined and a proposal for appropriate use was made using the Land Capability Methodology proposed by the Ministry of Agriculture and Livestock of Costa Rica. The soils of the farms sampled were being cultivated for vegetables (66.5%), pastures (22.9%), and in a lower scale by forests, fallow and flowers. The land capability consisted of 10.5% Class II, 38.1% Class III, 21.9% Class IV, 1.8% Class V, 8.9% Class VI, 17.8% Class VII and 1% Class VIII. Some 60% of the farms were in Classes III and IV, where the limitations were slope, erosion, effective depth and soil fertility. Some 25% of the farming areas showed appropriate use, 39% were slightly over-utilized and 36% were severely over-utilized. It is proposed that the conflict can be corrected by intensive management practices and soil conservation and in areas of greater slope by a change in use to high altitude fruit trees. In the lots of Class VII with grass cover, the planting of forests is recommended. For the study area, the land use potential was truck crops 57%, pastures 20%, perennial crops or fruit trees 13%, and 10% for reforestation. Water erosion in the agricultural activities in the middle watershed does not limit the productivity of the zone: some 90% of the lots showed light to moderate erosion with slopes less than 30%. Other factors that

1 Este trabajo forma parte de la tesis de M.Sc. del primer autor. Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: ramirezl@racsa.co.cr

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

** Programa de Desarrollo Urbano Sostenible (PRODUS). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

*** Escuela de Geografía. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

suelo y agua, son la minería abierta, los deslizamientos naturales y la carencia de obras de control de torrentes y sedimentos en las vías terrestres.

INTRODUCCIÓN

La importancia a nivel nacional, de la Cuenca del Río Reventado se debe a su potencial hídrico y a que es una de las principales regiones productoras de hortalizas. En su connotación histórico-geográfica está asociada a eventos naturales, por lo que hay un potencial de amenaza múltiple presente, unido a problemas de inestabilidad de las laderas y degradación de los recursos suelo y agua. Los desequilibrios hídricos, las fuertes pendientes, y el mal uso de las tierras son factores que influyen en la degradación del suelo en la cuenca.

La cuenca del río Reventado se encuentra inmersa en la geología del grupo Irazú (Krushensky 1972), en el cual se distingue las formaciones de Cervantes, Birrís, Sapper, y Reventado. Fernández et al. (1998) señalan que el grupo Irazú es característico de una zona volcánica joven, cubierta por una capa de cenizas volcánicas recientes de diferente espesor. El río Reventado y sus afluentes discurren a través de materiales arrojados por el volcán Irazú desde tiempos inmemoriales. Por sus características topográficas y geológicas, la cuenca presenta laderas inestables que pueden ocasionar derrumbes y avalanchas al presentarse un periodo lluvioso extremo (Bergoeing y Malavassi 1982). En la sección inferior del área de estudio, en el escarpe conocido como la Cuesta de la Chinchilla, se nota un relieve formado por abanicos coluviales coalescentes (Madrigal y Rojas 1980), y en la parte media de la zona se menciona la existencia de una avalancha (*debris avalanche*), conocida como Prusia-Tierra Blanca (Alvarado et al. 2004). Estos deslizamientos naturales provocan una erosión en masa de grandes proporciones, comparada con

affect the soil and water deterioration were open mine extraction, natural landslides and the lack of control structures for flow and sediments in the earth roadways.

la erosión hídrica en la cuenca. Cortés (1993) define el relieve multiconvexo, caracterizado por la repetición continua de un patrón gradual de pendientes, que oscilan entre 70% en las partes más pronunciadas y 4-8% en las partes bajas de la cuenca.

La cuenca media del río Reventado está ubicada en la vertiente Atlántica, muy cerca de la División Continental, constituyendo su borde occidental superior parte de esta División. Este hecho influye en su climatología, ya que recibe influencia del clima de ambas vertientes (MINAE 1996, Cortés y Oconitrillo 1987). De mayo a octubre predominan sobre la cuenca las lluvias orográficas, causadas por el flujo de aire húmedo del Pacífico, y de octubre a diciembre ocurren los temporales del Atlántico. La precipitación anual es de 1700 mm, con una estación seca que se extiende de enero a abril y otra lluviosa de mayo a diciembre. Se estima que los meses más lluviosos son octubre y setiembre; mientras que el mes más seco es febrero (Vargas 1998). La temperatura promedio es de 13°C.

En Costa Rica, históricamente se ha utilizado varios sistemas de clasificación de tierras: Sheng (1971), FAO (1976), Tosi (1985), MAG-MIRENEM (1995). Recientemente, también se emplea los modelos SOLUS y ALES, los cuales utilizan la tecnología de los sistemas de información geográfica, hacen modelación o escenarios para estimar la aptitud física y económica, el uso potencial, conflictos de uso y sirven en la toma de decisiones para la evaluación de las tierras (Arroyo 1995, Stoorvogel et al. 1995).

En la metodología oficial de clasificación de tierras (MAG-MIRENEM 1995), las 8 clases de tierra son divididas en subclases que agrupan suelos que poseen limitaciones y riesgos en

su uso similares. Cuando existen limitaciones similares, la subclase da prioridad en el siguiente orden: erosión, suelo, drenaje, y clima. Van Melle (1984), Tosi (1985), Alvarado (2004) mencionan que este sistema enfatiza en la determinación de la calidad del sitio para cultivos de secano, cultivos perennes y plantaciones forestales. Sin embargo, no considera los cultivos bajo riego, ni aspectos relacionados con tierras de vocación urbanística o con potencial turístico.

La sobreposición de los mapas (capas) de uso actual de la tierra y los de su capacidad de uso, permite diferenciar las áreas de uso correcto y de sobreuso (Ramakrishna 1997). El sobreuso es utilizar la tierra a una intensidad mayor a la que soporta en términos físicos (Ritchers 1995); puede generar importantes problemas ambientales, sociales, económicos, y llevar a procesos de degradación irreversibles, según apuntan Maldonado y Rodríguez (1997). La capacidad de uso de la tierra se determina únicamente con el análisis de parámetros biofísicos. Dicha capacidad se establece como punto de referencia, para determinar el uso potencial de la tierra, el cual consiste en asignar usos de la tierra a las categorías de capacidad de uso correcto y al subuso, adicionando al análisis factores económicos, sociales y culturales, tecnológicos e institucionales (Dengo et al. 1999, Comerma 1997).

La planificación del uso de la tierra es un instrumento cuya función es la de orientar a planificadores, autoridades políticas y facilitadores de procesos de desarrollo, para lograr el uso duradero y la conservación de los recursos naturales (Müller 1999, Quesada 1990). Un proceso de planificación, tendiente al desarrollo de sistemas sostenibles, requiere de un inventario adecuado de los recursos suelo (Vargas 1998) y clima que, en forma integral, deben combinarse para establecer un sistema de capacidad de uso de la tierra, que refleje el uso más intensivo y sostenible al que puede someterse un área o región en particular. La definición de la capacidad de uso de las tierras de la región está definida por parámetros edáficos, topográficos y climáticos (Beets 1990, Higgins et al. 1984). La evaluación

permite tomar decisiones sobre las áreas más apropiadas para ubicar los cultivos y sobre los procesos de degradación de las tierras, con el fin de tomar medidas para su manejo y conservación. El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad de uso de los suelos en la cuenca media del río Reventado, como una herramienta de apoyo para la planificación y manejo de los sistemas de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La cuenca del río Reventado está ubicada al norte de la ciudad de Cartago, en el flanco suroeste del Volcán Irazú, entre las coordenadas geográficas 83° 51' 28" a 83° 57' 19" de longitud oeste y entre 9° 50' 25" a 9° 58' 28" latitud norte, que corresponden a la proyección Lambert de 202,700 a 217,250 N y 541,500 a 552,150 E de la hoja topográfica Istarú (IGN 3445-IV).

La Cuenca se origina en las faldas de los cerros Sapper (3400 msnm), Retes (3161 msnm) y Cabeza de Vaca (3020 msnm), quedando su extremo más oriental 2 km al sureste del cráter activo del volcán Irazú. Forma parte del sistema fluvial del río Reventazón.

Tiene una extensión de 2.227,6 ha. La altitud oscila entre 1838 y 2546 msnm y pertenece a la zona de vida de Bosque Húmedo Montano Bajo (Holdridge 1987). El cauce principal tiene una longitud de 12 km caracterizado por tener fuertes pendientes y un corto periodo de concentración. El río desciende aproximadamente 1050 m en su recorrido aproximado de 6 km (MINAE 1996).

La cuenca media del río Reventado tiene como límites al norte: Parque Nacional Prusia, al sur: Misión Norte en Tierra Blanca, al este: Potrero Cerrado y al oeste: Los Ángeles de Llano Grande. Administrativamente el área de estudio abarca parte del distrito 8 de Tierra Blanca y del distrito 10 de Llano Grande de la provincia de Cartago, Costa Rica (Figura 1). La actividad productiva principal es el cultivo de papa y

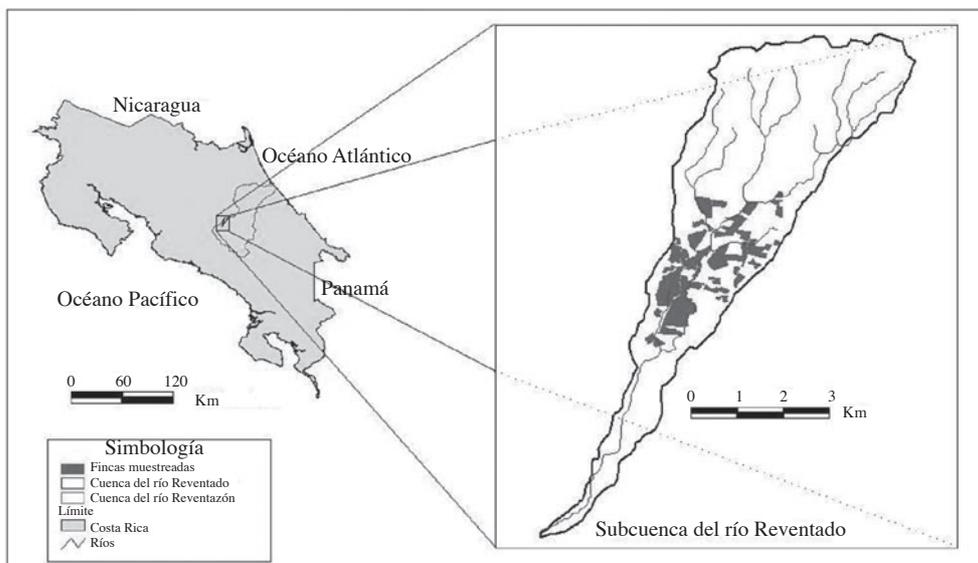


Fig. 1. Área de la investigación, cuenca media río Reventado, Cartago. 1998.

cebolla en rotación con zanahoria, remolacha y leguminosas.

Metodología

Se seleccionó al azar una muestra de 80 fincas (25% del total de las fincas), correspondiente a 123 parcelas en la cuenca media del río Reventado. En la zona de Llano Grande la muestra consistió de 36 fincas, correspondiente a 63 parcelas. Para Tierra Blanca la muestra fue de 44 fincas correspondiente a 60 parcelas. El área comprendida en esta investigación fue de 241,7 ha que representa una cobertura del 10,85% del área total de la cuenca (2.227,6 ha).

En 1995, se tomaron 246 muestras de suelo de 123 perfiles en parcelas de uso agrícola. En cada parcela se identificaron las unidades productivas (por tipo de cultivo, suelo, topografía, manejo), las que para efecto de esta investigación llamaremos "parcelas". A cada parcela se le realizó un análisis de suelo; las muestras se tomaron a 2 profundidades (0-20 cm y 20-40 cm) previo a las siembras. Los parámetros evaluados fueron pH, Al, Ca, Mg, K, P, Zn, Mn, Cu, Fe, N, S, MO, y textura. El pH se midió en agua 1:10; el Al, Ca y

Mg en CaCl 1N; el K, P, Fe, Zn, Cu y Mn en Olsen Modificado, la lectura del P se realizó en forma colorimétrica; el N se determinó por el método de destilación Kjeldahl; el S con fosfato monobásico de calcio (turbidimétrico); la MO por el método Walkley y Black, además se realizó una prueba de "t student" de 2 muestras o variables distintas, para analizar si había diferencias en los contenidos de MO; la textura por el método de Bouyoucos (Bertsh 1995, Henríquez y Cabalceta 1999). Los análisis de suelo se realizaron en el Laboratorio de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Estos análisis se utilizaron para evaluar la fertilidad y la textura, parámetros incluidos en la metodología oficial de capacidad de uso de la tierra (MAG-MIRENEM 1995).

Con observaciones de campo se evaluó en cada parcela las variables de: pendiente (con clinómetro); erosión hídrica (con base en la metodología de la FAO (MAG-FAO-UNED 1994); profundidad efectiva con un barreno; drenaje; pedregosidad; clima (meses secos, neblina, viento); textura; y color del suelo. Con apoyo de un profesional del Instituto Tecnológico de Costa Rica se llevó a cabo la clasificación taxonómica

de los diferentes suelos presentes en el área de la investigación (Núñez et al. 1998).

En 1998, se midió cada finca y parcela con el equipo GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Con la ubicación y perímetro de las fincas, se elaboró los croquis de capacidad de uso y uso actual de cada una. Para determinar la capacidad de uso de los suelos, se utilizó la metodología oficial de determinación de uso de tierras de Costa Rica (MAG-MIRENEM 1995). La información analizada se procesó con el programa de información geográfica ARC-View (versión 3.1). Posteriormente, se comparó el uso actual con la capacidad de uso, mediante la sobreposición de las capas para obtener las áreas de conflicto o divergencias de uso. Se elaboró los mapas de capacidad de uso, uso actual y conflicto de uso para cada una de las fincas con la escala 1:10.000. Estas labores se realizaron con el apoyo del Programa de Desarrollo Urbano Sostenible –PRODUS– de la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad de Costa Rica.

En el 2004 se realizó nuevamente un recorrido por la cuenca para verificar y ajustar cambios en el uso de los suelos y se generó otro mapa de uso actual para dicho periodo. Posteriormente se elaboró un mapa de uso potencial y se propuso alternativas de manejo para disminuir los conflictos de uso de los suelos en la cuenca media del río Reventado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelos

Los suelos de la región han sido influenciados por el aporte de ceniza volcánica y brechas y fragmentos de lava, dada la cercanía del área de estudio al cráter del volcán Irazú (Bergoeing y Malavassi 1982, Víquez 1984).

En el presente trabajo se identificó los órdenes: Andisoles (92,5%); Inceptisoles (6,9%); y Entisoles (0,6%) en la parte media de la cuenca del río Reventado (Núñez et al. 1998). Los suelos más abundantes son los derivados de cenizas volcánicas provenientes del volcán Irazú, dentro de los cuales dominan los Thaptic Haplustands, Dystric Haplustands y Thaptic Ustivitrands: Otros suelos clasifican como Ustandic Humitropepts, Typic Dystropepts y Typic Ustorthents. Los suelos oscuros clasificados como Thaptic y Dystric Haplustands, predominan en la parte alta de la cuenca media, contrastan con las inclusiones de suelos clasificados como Typic Usthorments, reconocibles por su coloración blanquizca debido a la exposición de material parental (“Tierra Blanca”) por procesos erosivos en laderas escarpadas y cimas de relieve ondulado dominante (Cuadro 1).

Esta clasificación concuerda con lo observado por Alvarado et al. (2001), quienes mencionan que la distribución de Andisoles en la

Cuadro 1. Unidades taxonómicas en los suelos de la cuenca media del río Reventado, Cartago. 1998. (tomado de Núñez et al. 1998).

Paisaje	Unidad mapeo	Unidad Taxonómica	Área (ha)	Porcentaje (%)
Terrazas moderadamente disectadas	Asociación Varillal	Thaptic Haplustands Dystric Haplustands	2047,0	91,9
	Consociación Sanatorio	Thaptic Ustivitrands	18,4	0,8
	Consociación Banderillas	Ustandic Humitropepts	135,2	6,1
Escarpes de ladera	Consociación La Laguna	Typic Ustorthents	13,1	0,6
Escarpes río Reventado	Consociación El Alto	Typic Dystropepts	13,9	0,6
Total			2.227,6	100,0

parte media de las laderas volcánicas de Costa Rica incluyen la mayoría de los suelos oscuros y profundos clasificados como Hapludands y en las partes medias y baja del relieve los suelos amarillos a rojizos clasificados como Haplustands. Cuando la adición de ceniza es frecuente, los mismos autores señalan que el desarrollo edáfico es poco y pueden encontrarse suelos clasificados como Vitrudands e incluso Inceptisoles y Entisoles. Otros autores confirman lo anteriormente mencionado (Gómez 1999, Sánchez y Cochrane 1980, Bel Ingeniería 1987, Hoppgood 1999).

La acumulación de materia orgánica (MO) y la formación de alofana son 2 de los principales procesos envueltos en la formación de Andisoles, lo que a su vez afecta otras propiedades químicas y físicas de estos suelos, tales como la densidad aparente, la capacidad de intercambio de cationes, la estructura y la retención de humedad. En el cuadro 2 se presenta los contenidos de MO de los suelos del área de estudio, se encontró que los mismos son significativos al 5% para casi todos los casos según el tipo de suelo (Cuadro 3). Es

probable que las diferencias entre los Andisoles y Entisoles en cuanto al contenido de MO no sean muy marcadas, dado que el tiempo transcurrido entre la última deposición de cenizas y la combinación de otros factores formadores de suelos no permite aún la diferenciación encontrada por otros autores (Alvarado et al. 2001). En el caso de los Entisoles, se nota que la tasa de erosión del suelo en las posiciones erosionables del terreno es mayor que la de formación de los mismos, por lo que no se nota alguna acumulación importante de MO. Los niveles de MO encontrados son similares a los obtenidos por Gómez (1999), quien encontró niveles de 2,68% a 1,9% de MO para Tierra Blanca.

Uso actual

El uso actual de la tierra en la cuenca media del río Reventado, muestra que domina un sistema de cultivo limpio de sucesiones continuas para la producción de hortalizas como papa, cebolla, zanahoria y remolacha, y en menor porcentaje se encuentran las praderas y escasas áreas

Cuadro 2. Niveles de materia orgánica en las diferentes clases de suelo, en la cuenca media río Reventado, Cartago. 1995.

Clasificación de suelos (tomado de Núñez 1998)	N.º Observaciones	Contenido de materia orgánica (%)			Coef. Variación
		Mínimo	Máximo	Promedio	%
Distrito Tierra Blanca (n=59)					
Dystric Haplustands	14	0,53	3,80	2,53	6,20
Thaptic Haplustands	22	2,44	6,18	3,96	4,03
Thaptic Ustivitrands	5	2,80	4,58	3,73	12,93
Typic Dystropepts	7	1,70	3,60	2,64	8,72
Typic Ustorthents	7	0,80	2,82	1,62	10,43
Ustandic Humitropepts	4	3,00	4,80	3,78	19,41
Distrito Llano Grande (n=63)					
Dystric Haplustands	27	1,32	3,89	2,86	2,39
Thaptic Haplustands	18	2,20	5,36	3,62	4,49
Thaptic Ustivitrands	4	2,03	2,93	2,43	10,29
Typic Ustorthents	2	0,86	2,47	1,67	56,92
Ustandic Humitropepts	12	2,59	4,75	3,78	4,89

Cuadro 3. Prueba de “t student” para los contenidos de materia orgánica según el tipo de suelo en las muestras de Llano Grande (LLG) y Tierra Blanca (TB). Cartago. 1995.

Tipo Suelo	D-H		TH-H		TH-U _s		Ty-Dyr		Ty-U		Ud-Hp	
	TB	LLG	TB	LLG	TB	LLG	TB	LLG	TB	LLG	TB	LLG
Dystric Haplustands												
Thaptic Haplustands	*	*										
Thaptic Ustivitrands	*		ns									
Typic Dystrypepts	ns	*	*	*	*							
Typic Ustorthents	*	*	*	*	*		*	ns				
Ustandic Humitropepts	*	*	ns	ns	ns		*	*	*	*		

Probabilidad del 5%.

de bosque secundario, que se observan a orillas de ríos y quebradas. Mientras que en la década de los 70, 80% del área estaba bajo cobertura de pasto y 20% estaba sembrada con cultivos anuales, para 1995 la relación se había invertido, de manera que el 80% del área estaba sembrada con hortalizas (Säuer 1995).

En el presente trabajo, se determinó el uso de los suelos de las fincas muestreadas en los años 1998 y 2004 (Figura 2 y 3, respectivamente). Para el año 1998 se determinó que 66,5% de las tierras estaban cultivadas con hortalizas, 0,2% de flores; 22,9% de potrero; 5,3% en barbecho; 0,6% de árboles y 3,9% de bosque. Para el año 2004, el área de barbecho bajó a 3,2% y el área de potrero bajo de 22,9 a 21,1%, de manera que el área reducida se aumentó al uso de hortalizas; este fenómeno se considera que ocurre desde hace más de 50 años (Núñez et al. 1998). En un periodo de 6 años, 5,9% del área cambió de uso, aumentando el porcentaje del área de hortalizas a 72,1%, y 0,3% pasó a un uso de flores bajo invernadero, principalmente en la zona de Llano Grande, mientras que los otros usos se mantuvieron similares (Figura 4). Estos cambios reafirman que la actividad hortícola sigue siendo importante en la zona y que además hay diversificación de las actividades productivas.

Datos similares encontraron Cortés y Oconitrillo (1987) en donde los cultivos anuales ocupaban el 81% del área, la ganadería el 13%

y el bosque el 6%. Sánchez (1993), siguiendo la metodología de Sheng (1971), concluyó que 89% de la cuenca podría ser utilizada para la producción de diversos cultivos (hortalizas, pastos, agroforestería, frutales), siempre y cuando se realizara prácticas de conservación de suelos, por lo que se puede considerar que el uso actual concuerda con el uso potencial de la misma.

Capacidad de uso

Para lograr que los agroecosistemas mantengan rendimientos similares a largo plazo, se debe considerar la capacidad de uso de la tierra. En este sentido, en el presente trabajo se determinó que 10,5% es de Clase II, 38,1% es de Clase III, 21,9% es de Clase IV, 1,8% es de Clase V, 8,9% es de Clase VI, 17,8% es de Clase VII y 1% es de Clase VIII (Figura 5). Esto significa que el 60% de las fincas muestreadas se encuentran en Clase III y Clase IV, es decir tienen capacidad para uso agrícola y que las principales limitantes de estos terrenos son la pendiente y la erosión sufrida (Cuadro 4). Para todas las Clases, en algunas parcelas se encontró limitaciones de profundidad efectiva y de fertilidad, este tipo de terrenos requieren de un manejo adecuado y prácticas de conservación de suelos.

De manera similar, Gómez (1999) determinó a nivel de la cuenca del río Reventado que 49% de los suelos eran de Clase II, III y IV y

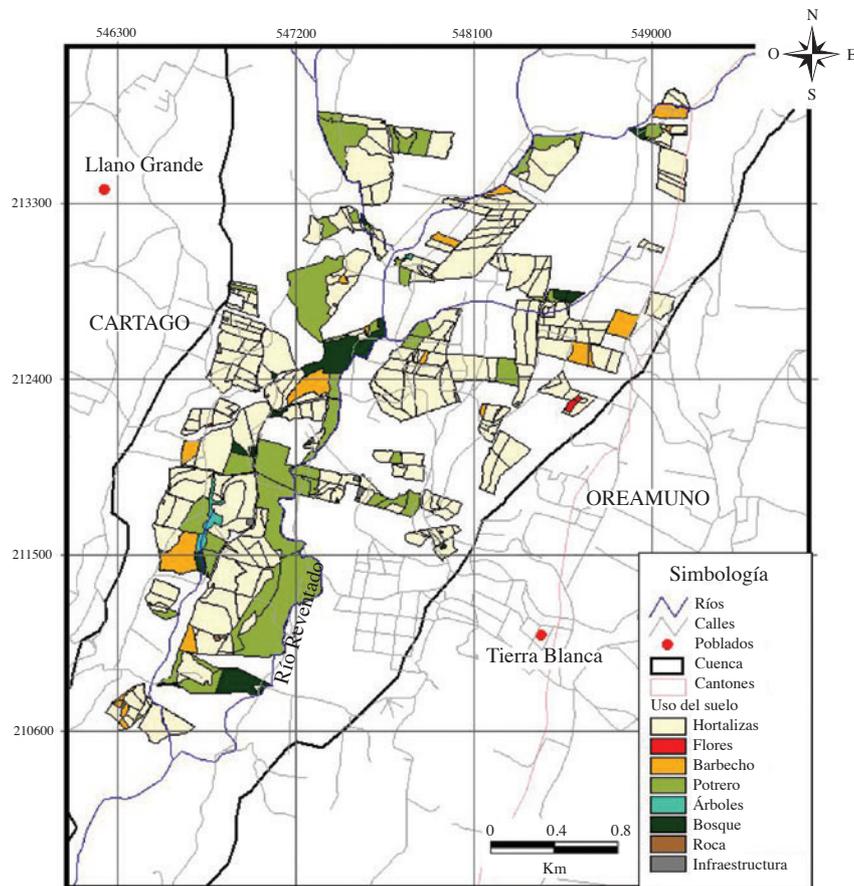


Fig. 2. Uso actual de la tierra para las fincas muestreadas en la cuenca media del río Reventado en el año 1998. Cartago, Costa Rica.

correspondían a suelos de vocación agrícola, 23% con vocación para cultivos perennes y 23% con aptitud forestal. El mismo autor encontró limitaciones por pendiente, riesgo a la erosión y altas precipitaciones en ciertas épocas del año, que hacen a los suelos susceptibles a la degradación física.

Áreas con conflicto de uso

Los resultados del presente estudio, permitieron determinar que:

- el 24,8% de las parcelas estaban en uso adecuado, de las cuales 19,6% correspondían a hortalizas y potreros y 5,2% del terreno correspondió a áreas de bosque en uso correcto de la tierra.
- el 29% estaba ligeramente sobreutilizada, categoría que incluye tierras de Clase III y presentaban pocas prácticas de manejo y conservación de suelos.
- el 10,2% estaba ligeramente sobreutilizada, categoría que incluye tierras de Clase IV empleadas para la producción de hortalizas con pocas prácticas de conservación de suelos.
- el 36% del área estaba severamente sobreutilizada y correspondió a tierras en las Clases IV y VI (sembradas de

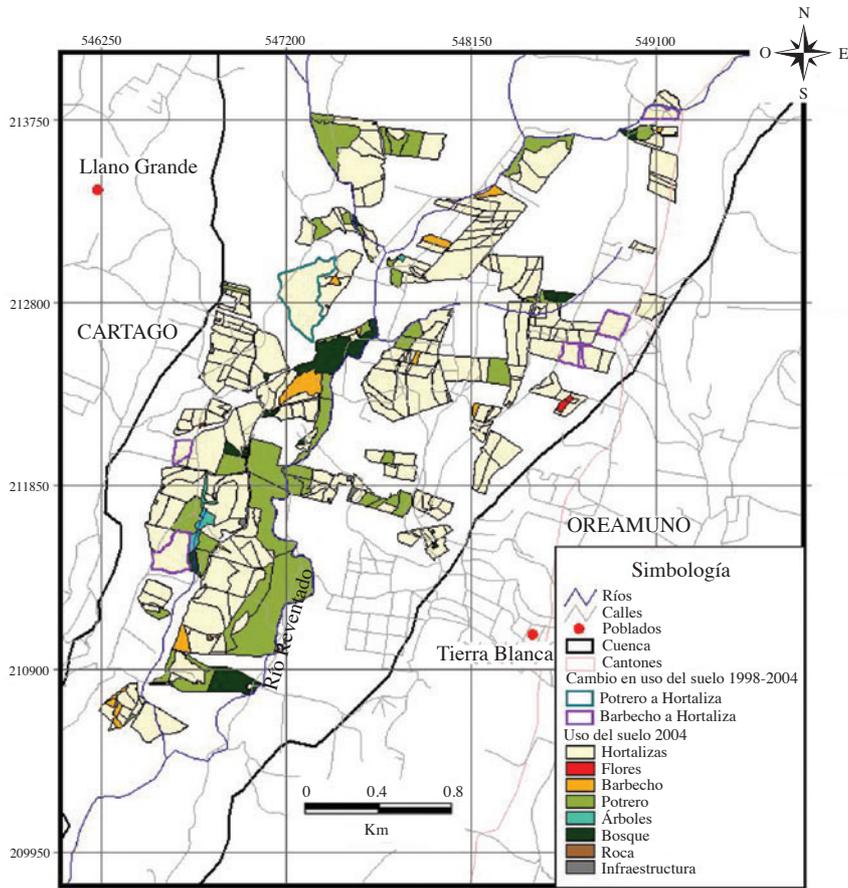


Fig. 3. Uso actual de la tierra para las fincas muestreadas en la cuenca media del río Reventado en el año 2004. Cartago, Costa Rica.

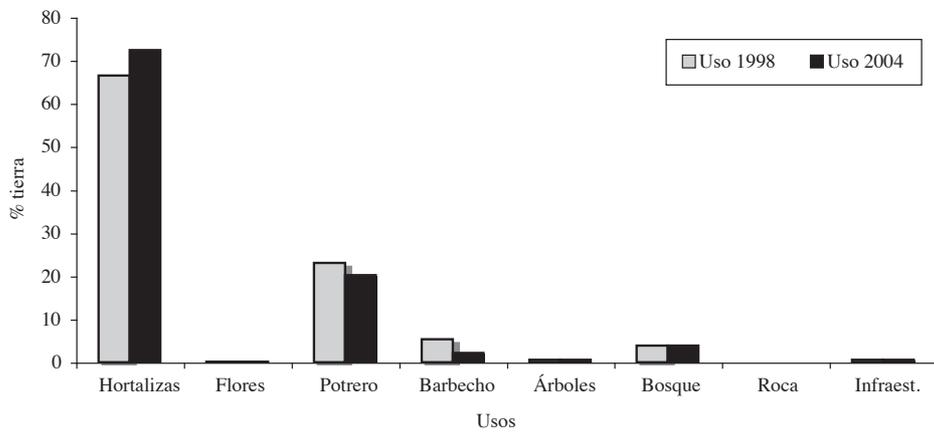


Fig. 4. Cambio de uso del suelo de la cuenca media del río Reventado en el periodo 1998-2004, Cartago, Costa Rica.

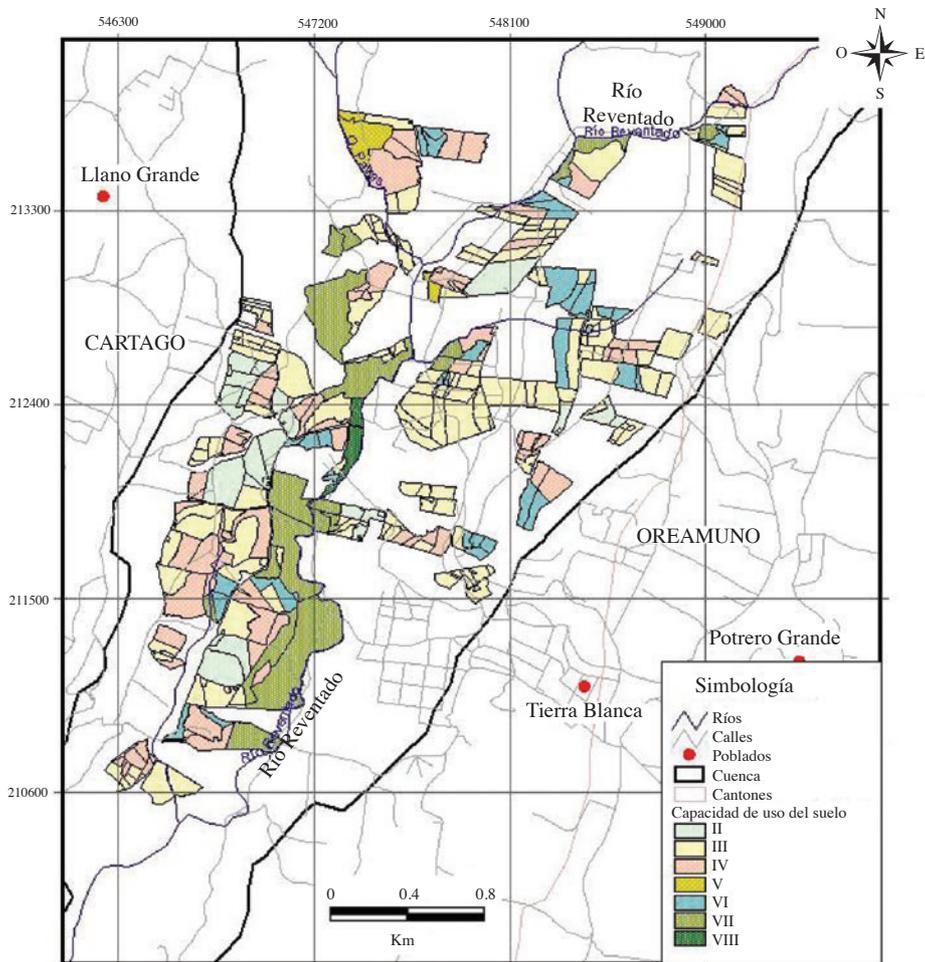


Fig. 5. Capacidad de uso de la tierra para las fincas muestreadas en la cuenca media del río Reventado, Cartago. Costa Rica. 1998.

hortalizas y con limitadas prácticas de conservación de suelos) y Clase VII sembradas de pastos.

La figura 6 permite observar que 75% del área en conflicto de uso se encuentra cerca de los cauces de ríos y quebradas; en estas áreas los factores físicos más limitantes son la pendiente y el riesgo a la erosión. Datos similares se obtuvieron en la zona de Tierra Blanca (MAG-FAO 1994a) en donde 22,1% del área estaba siendo subutilizada, 15,4% con uso adecuado, 48,4%

levemente sobreutilizada y 11,7% severamente sobreutilizada, es decir 60% del área muestreada estaba en conflicto de uso. De la misma manera, Melo (1991), con base en la metodología USDA, determinó que el 75,5% de los suelos del área del Proyecto de Riego del SENARA en Tierra Blanca, estaban en sobreuso, las pendientes superaban al 8% y no tenían prácticas de conservación de suelos.

La Clase III que contempla el mayor porcentaje de terrenos muestreados, debería tener prácticas intensivas de manejo y conservación

Cuadro 4. Subclases de manejo para las fincas muestreadas en la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1998.

Clase	Subclase	Área (ha)	Porcentaje del área en esta subclase
II	II e ₁₂ s ₁₄	15,9	13,89
	II e ₁₂ s ₁ d ₁	0,9	0,80
III	III e ₁ s ₂₄	1,0	0,84
	III e ₁₂ s ₁	5,6	4,86
	III e ₁₂ s ₁₂	2,4	2,08
	III e ₁₂ s ₁₂₃	0,3	0,23
	III e ₁₂ s ₁₃	0,7	0,64
	III e ₁₂ s ₁₃₄	0,3	0,22
	III e ₁₂ s ₁₄	13,8	12,02
	III e ₁₂ s ₄	1,9	1,64
	III e ₁₂ s ₁₂₄	4,5	3,91
	III e ₁₂ s ₁₄	15,8	13,76
	III e ₁₂ s ₃₄	0,7	0,59
	III e ₁₂ s ₁₂₃ d ₁	0,3	0,24
	III e ₁₂ s ₁₂	2,0	1,76
	III e ₁₂ s ₁₂₃	0,7	0,61
	III e ₁₂ s ₁₃₄	0,9	0,75
IV	IV e ₁₂ s ₁	5,4	4,74
	IV e ₁₂ s ₁ d ₁	2,2	1,89
	IV e ₁₂ s ₁₂₄	1,3	1,15
	IV e ₁₂ s ₁₃	1,2	1,05
	IV e ₁₂ s ₁₃ d ₁	0,7	0,60
	IV e ₁₂ s ₁₄	13,5	11,81
	IV e ₁₂ s ₂₄	0,4	0,37
VI	VI e ₁₂ s ₁₂	1,4	1,19
	VI e ₁₂ s ₁₃	0,8	0,72
	VI e ₁₂ s ₁₃ d ₁	0,2	0,16
	VI e ₁₂ s ₁₂₃ d ₁	4,9	4,24
	VI e ₁₂ s ₁	1,3	1,13
	VI e ₁₂ s ₁₂ d ₁	0,4	0,34
	VI e ₁₂ s ₁₃	3,5	3,02
	VI e ₁₂ s ₁₃ d ₁	2,0	1,74
VI e ₁₂ s ₁₃₄	0,9	0,82	
VI e ₁₂ s ₁₄	5,4	4,68	
VII	VII e ₁₂ s ₁₃	1,7	1,49
Total con perfil		114,6	100,00

de suelos, mientras que la Clase IV, que le sigue en importancia, permite cultivos anuales solo en forma ocasional y con prácticas muy intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas (MAG-MIRENEM 1995).

Se debe trabajar sobre los factores limitantes para disminuir las disconformidades de uso de la tierra. Para el 2001, se estimó que a nivel nacional 20% del territorio estaba en sobreuso (CADETI 2004, Dengo et al. 1999). Afortunadamente, estimaciones recientes mencionan que el sobreuso de la tierra a nivel nacional ha disminuido cerca de la mitad de los valores registrados 15 años atrás (Bertsch 2004).

Factores que determinan la degradación de los suelos

El suelo es un recurso finito y la falta de protección y pérdida conduce a una reducción de su capacidad productiva (Etchevers 1999); este problema se asocia a la pendiente del terreno, su cobertura, la longitud de la pendiente, la erosividad del suelo y la erodabilidad de la lluvia (Kinglebiel y Montgomery 1961). En este estudio se determinó que los factores más limitantes para el caso de las parcelas muestreadas fueron la pendiente, la erosión y en menor grado la profundidad efectiva y la fertilidad de los suelos.

Los desequilibrios hídricos, las fuertes pendientes y el mal uso de las tierras, son factores que influyen en la degradación de estos suelos. Los problemas de erosión hídrica analizados en esta investigación, se agudizan en la estación lluviosa y se relacionan con el grado de cobertura de los suelos durante las labores de labranza, siembra y cosecha, ya que la mayoría de los cultivos de la zona no dejan rastrojos en el campo. Otro factor que acelera la degradación de los suelos, en la parte media de la cuenca del río Reventado, es la forma de preparación de los suelos, la cual se realiza 2 veces al año, la mayor parte de las veces a favor de la pendiente, empleando maquinaria pesada, arado de rastra y rotavator, equipos que pueden provocar compactación y pulverizan el suelo, factores que tienden a impermeabilizar el suelo y facilitar la escorrentía y arrastre de

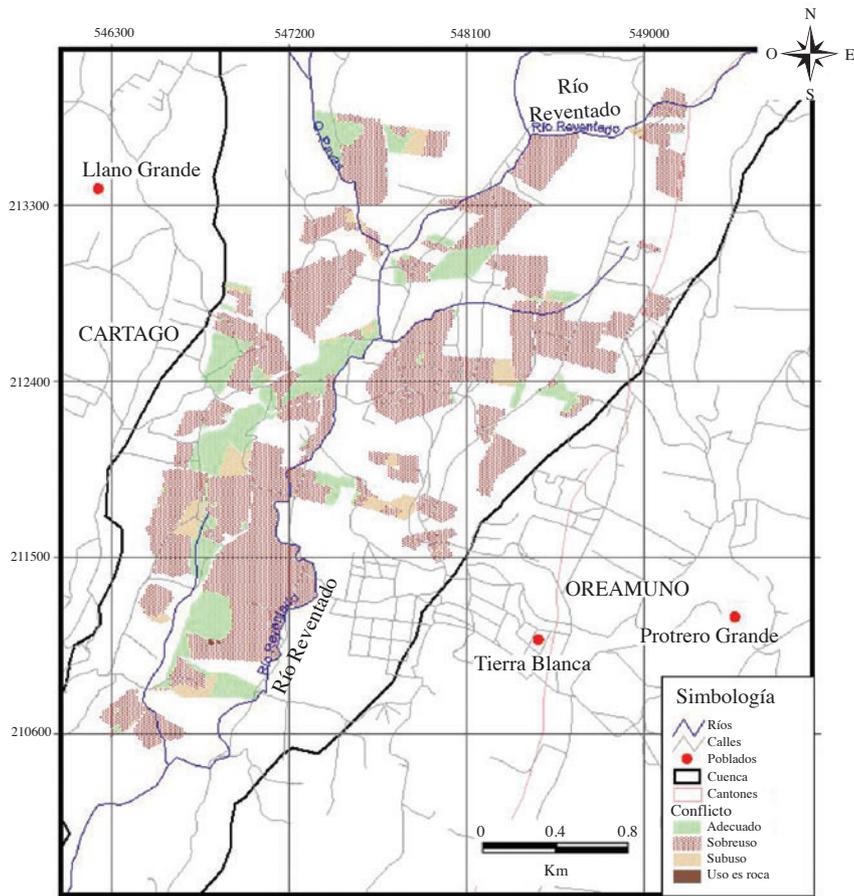


Fig. 6. Conflicto de uso de la tierra en las fincas muestreadas en la cuenca media del río Reventado, Cartago. 1998.

la capa arable (MAG-FAO-UNED 1994). En la cuenca, otros agentes erosivos lo constituyen: 1) las taltuzas (*Orthogeomys heterodus*), roedores que ocasionan daños a las obras de conservación de suelos y conducción de agua de riego; 2) la carencia de obras de control de torrentes y erosión en las vías terrestres, aunado a la erosión de taludes y formación de zanjas en las márgenes de los caminos que provocan el arrastre de grandes cantidades de sedimentos (MINAE 1996, Sogreah Ingenierie et al. 1999); y 3) los deslizamientos naturales producen erosión en masa de mayores proporciones, siendo el de San Blas el

más grande y activo (Villegas 1995, Gómez 2002, Marchamalo 2004).

En el cuadro 5, se observa que 56% de las parcelas presentaban pendientes menores a 15% y los niveles de erosión eran de moderados a leves; el 29% de las parcelas con pendientes entre 16-30% tenían niveles de erosión de moderada a leve excepto 1,6% del 29% de las parcelas que mostraba signos de erosión severa; el 12% de las parcelas se encontraba en pendientes entre 31-60% y presentaban niveles de erosión de moderada a severa y el 3% de las parcelas tenía pendientes entre 61-75% con niveles de erosión severa. Ochenta y cinco por ciento de las parcelas

presenta pendientes menores al 30% con predominio de erosión moderada. Estos datos se asemejan a lo mencionado por Sánchez (1993), quien encontró que 64% del área de la cuenca presenta pendientes entre 0-36%, 26% entre 36-58% y 11% con pendientes mayores a 58%. La figura 7 muestra que los terrenos con pendientes menores al 30% son más abundantes en las parcelas de Tierra Blanca, así como que las parcelas ubicadas más cerca del cauce del río Reventado presentan un relieve de fuertemente ondulado a escarpado. Tierras en pendientes mayores a 36%, se consideran todavía cultivables pero requieren estructuras permanentes de conservación de suelos.

La información concuerda además con lo citado por Müller (1997), en el sentido de que la erosión correlaciona significativamente con la pendiente del terreno. Así, los suelos en pendientes fuertes son susceptibles a la erosión debido a su mayor intensidad de uso e inestabilidad geológica, sobretodo cuando se remueve la cobertura del suelo para establecer cultivos (Figura 8). La escorrentía se acelera cuando el suelo queda descubierto y esta es la primera causa de la erosión natural en los trópicos húmedos (Figura 9). Sogreah Ingenierie et al. (1999), en la cuenca bajo estudio, determinaron una erosión promedio de 32,3 t.ha⁻¹.año⁻¹ y que el aporte en sedimentos al total registrado en la represa de Cachí es del 22%, que se traduce en externalidades. Lo más relevante es que esta pérdida de suelos representa un aumento de los costos de producción para el productor.

Sin embargo, varios autores (Suazo 1995, Cortés y Oconitrillo 1987, Villalobos 1988), empleando mediciones en parcelas de escorrentía, mencionan niveles de erosión de suelos mayores para la cuenca del río Reventado, de manera que para la parte alta de la misma los niveles de erosión pueden ser de 30 t.ha⁻¹.año⁻¹, en la parte media de 96-108 t.ha⁻¹.año⁻¹ (bajo una condición de 66% de pendiente y cero cobertura), y en la parte baja de un promedio de 50 t.ha⁻¹.año⁻¹. A modo de comparación si se considera que la erosión mencionada en el presente trabajo es de 0, 1-10, 11-30, 31-50 y >50 t.ha⁻¹.año⁻¹ para las categorías nula, leve, moderada, severa y muy severa (no encontrada en el área de estudio), respectivamente; los valores de la literatura para el área de la investigación se podrían considerar como moderada para la parte alta, muy severo para la parte media y severo para la parte baja de la cuenca. Lo mencionado no concuerda con lo observado en el campo en el presente trabajo, en el cual la erosión en la parte media de la cuenca fue mayormente moderada. Además, la información mencionada por Suazo (1995), Cortés y Oconitrillo (1987) y Villalobos (1988) es puntual, la diferencia entre estos valores y lo encontrado en el presente trabajo puede deberse a que en este último la erosión se estimó por el método visual de la FAO, empleado en el sistema de clasificación de tierras oficial de Costa Rica (MAG-MIRENEM 1995). Los datos de esta investigación, así como los mencionados por Sogreah Ingenierie et al. (1999), sugieren que hay que profundizar más en la manera de estimar

Cuadro 5. Relación entre la pendiente y la erosión en las parcelas de estudio en la cuenca media del río Reventado, Cartago, 1998.

Relieve	Pendiente (%)	Nivel de erosión				
		Nulo	Leve	Moderado	Severo	Total
Ligero a Mod. ondulado	0-15	1*(0,8)**	27 (21,6)	42 (33,6)		70 (56,0)
Ondulado	16-30		7 (5,6)	27 (21,6)	2 (1,6)	36 (28,8)
Fuertemente ondulado	31-60			7 (5,6)	8 (6,4)	15 (12,0)
Escarpado	61-75				4 (3,2)	4 (3,2)

Nota: Niveles de erosión con base en la metodología de la FAO (MAG-MIRENEM 1995).

* N.º. de parcelas, ** % de parcelas.

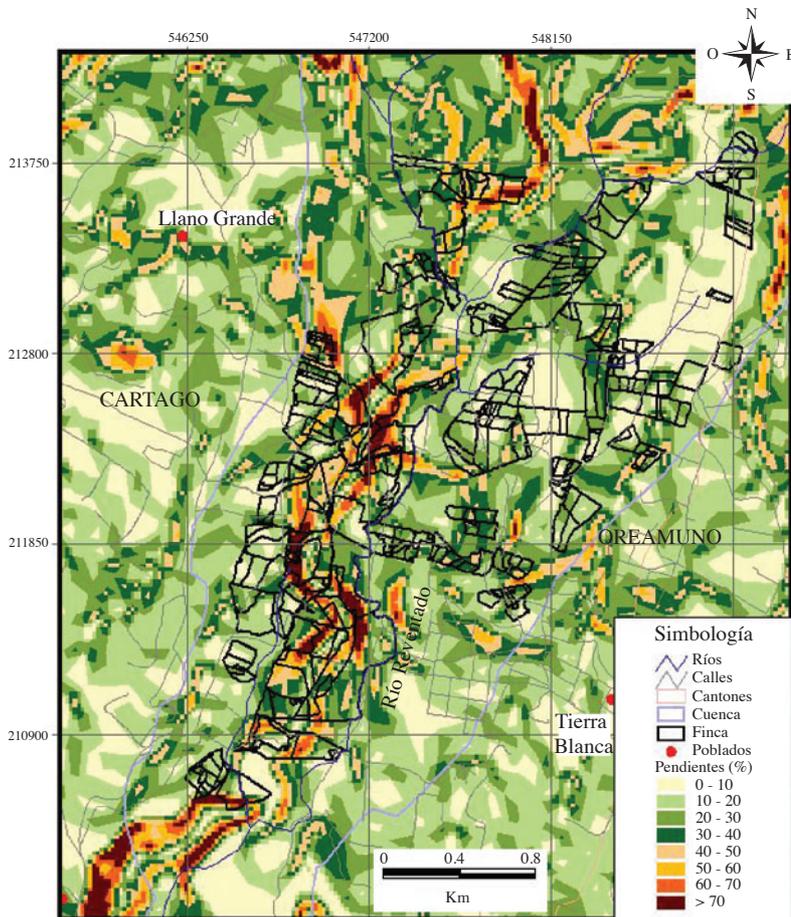


Fig. 7. Clases de pendiente en la cuenca media del río Reventado, Cartago Costa Rica. 1998.

la erosión en esta cuenca, y solo pueden servir de base para futuras investigaciones.

Propuesta de uso potencial

Las variables pendiente, erosión sufrida, pedregosidad y fertilidad natural del suelo pueden corregirse parcial o totalmente con prácticas específicas de manejo y conservación de suelos. Se propone corregir el conflicto de uso en las parcelas de capacidad de uso Clase III y Clase IV con prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos, tales como: uso del arado de cincel para mejorar la infiltración, cultivos a contorno,

zanjas de ladera para la conducción de las aguas, canales de guardia, cultivos de mayor cobertura, entre otras (Cubero y Viera 1994). En las parcelas Clase VI se propone un cambio de uso del cultivo por frutales de altura como higo (*Ficus carica*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*), durazno (*Prunus persica*) y membrillo (*Gustavia superba*). En las parcelas de Clase VII con cobertura de pastos se recomienda la siembra de árboles forestales para la implementación de sistemas silvopastoriles (Figura 10). En síntesis, 57 % del área total de la cuenca media se puede utilizar para la siembra de hortalizas, 20% para potreros,



Fig. 8. Relieve en la cuenca media río Reventado. 1998.



Fig. 9. Erosión hídrica en la cuenca media río Reventado. 1998.

13% para cultivos perennes o frutales y 10% para reforestación.

Actualmente, se llevan a cabo iniciativas de mejoramiento de los sistemas de producción en la cuenca, apoyadas por el Programa de Manejo de la Cuenca del río Reventazón y por diferentes organismos internacionales y centros académicos y de investigación. En la cuenca del río Reventazón hay 3400 ha preparadas con arado de cincel, 60 fincas con frutales de altura establecidas y 1.315.000 árboles sembrados (ICE 2003, 2005, MAG-FAO 1994b).

En esta zona se consideró que los factores de clima, pedregosidad y erosión no limitan tanto la producción de los cultivos hortícolas, como si lo hacen la cobertura, la pendiente y la profundidad de los suelos como factores determinantes, de acuerdo a los criterios empleados por León (1994), quien determinó que 48% de las tierras de la cuenca alta del Reventazón tienen aptitud física para la papa. Debido a la apertura de mercados, probablemente sería de conveniencia pensar en sustituir la rotación papa-cebolla por cebolla-zanahoria, ya que la papa tendría mayor competencia en el mercado internacional, mientras que la zanahoria podría exportarse a la cuenca del Caribe. Además, se requiere de investigación de mercados para promover la siembra de frutales de altura y de incentivos para las áreas de reforestación y los sistemas silvopastoriles.

Un factor poco considerado sobre este tema es la presión sobre la tierra, causada por la falta de planificación urbana en la región. En este sentido, el anillo de contención de la Gran Área Metropolitana es un instrumento que ayuda a disminuir esta presión, ya que los distritos de Tierra Blanca y Llano Grande están fuera de dicho anillo, impidiendo la expansión hacia la región de estudio. Las tierras además tienen un uso potencial para el desarrollo de actividades turísticas, como el ecoturismo o agroturismo, integrándolas para generar valor agregado en los sistemas de producción. En un uso integrado de los recursos naturales, los Parques Nacionales se pueden sumar al turismo como un rubro generador de divisas en sus actividades de recreación.

CONCLUSIONES

1. El 60% de las fincas muestreadas se clasificaron en las clases de capacidad de uso agrícola III y IV y en ellas las principales limitantes fueron la pendiente y la erosión sufrida.
2. El 36% del área presentó conflicto de uso severo, principalmente tierras sembradas con hortalizas en la Clase VI y con pastos en la Clase VII. El 39% de las tierras estaban ligeramente sobreutilizadas en otras

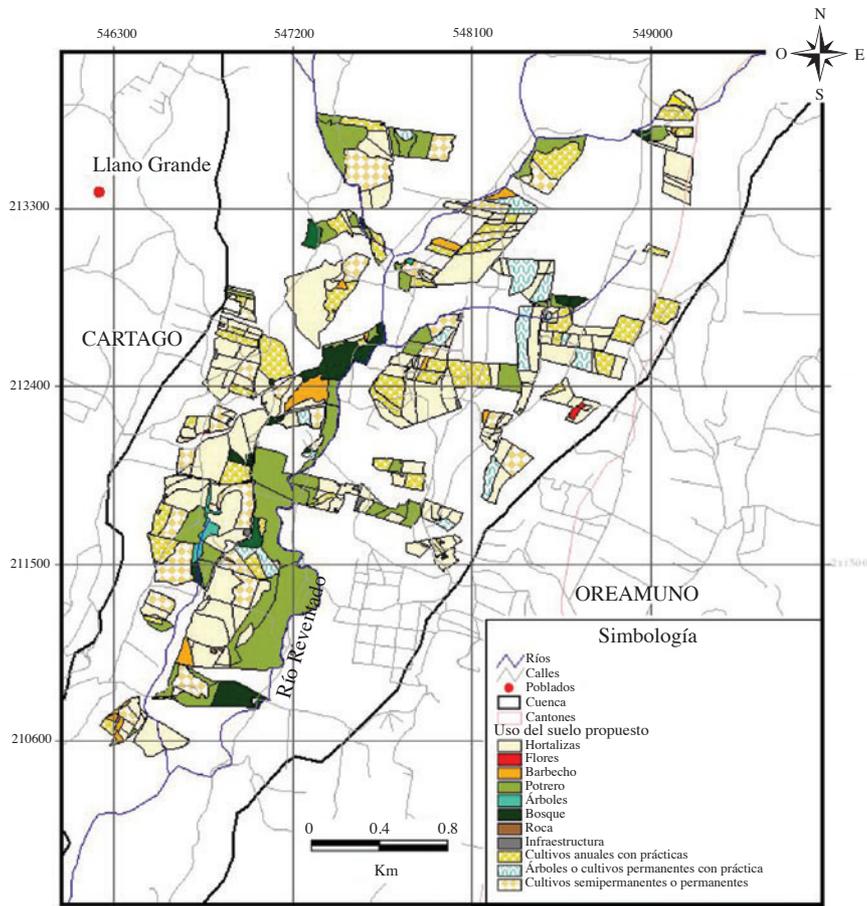


Fig. 10. Uso potencial de la tierra en la cuenca media del río Reventado, Cartago.1998.

Clases y se pueden corregir con prácticas de conservación de suelos.

- En un periodo de 6 años, 5,9% del área cambió de uso, aumentando el porcentaje del área de uso en hortalizas e incrementando el área para producción bajo invernadero. Estos cambios reafirman que la actividad hortícola sigue siendo importante en la zona y que además hay diversificación de las actividades productivas.
- Se propone como uso potencial para la cuenca media un área de 57% para la siembra de hortalizas, 20% para potreros, 13%

para cultivo perennes o frutales y 10% para reforestación.

- La erosión proveniente de las actividades agrícolas en la cuenca media es una limitante menor para la obtención de cosechas, 90% de las parcelas muestreadas presentaron niveles de erosión de leve a moderada.
- La pendiente fue limitante en parcelas con grados en la clase más alta, pero como el 85% de las parcelas tienen pendientes menores a 30%, de las cuales 27% de las parcelas presentaron erosión leve y 55% presentaron niveles de erosión moderada,

este factor no afecta significativamente en la mayoría de la zona.

7. Para la cuenca media del río Reventado la erosión proveniente de las actividades agrícolas fue moderada. Hay otros factores que influyen en los procesos de degradación del recurso suelo y agua, tales como: las taltuzas, la carencia de obras de control de torrentes y erosión en las vías terrestres, la erosión de taludes y formación de zanjas en las márgenes de los caminos, la extracción inadecuada de materiales de minería abierta y los deslizamientos naturales, los cuales deben considerarse en un programa de manejo integral de la cuenca.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda desarrollar nueva investigación en la cuenca media del río Reventado para medir las tasas de erosión bajo las condiciones reales de los sistemas de producción por un tiempo prolongado. A la fecha, no se dispone de datos actualizados dándole un alto peso de responsabilidad a la actividad agrícola.
2. Es necesario implementar políticas e incentivos para promover el manejo adecuado de los suelos que permitan el cultivo de hortalizas en forma rentable sin agudizar el problema de erosión y las externalidades que conlleva.
3. Se debe planificar las siembras y no dejar el terreno descubierto en las épocas de mayor precipitación, meses de mayo, setiembre y octubre.
4. Desarrollar una estrategia integrada de transferencia de tecnología bajo la modalidad de aprender haciendo, explotando las relaciones sinérgicas entre los objetivos de productividad y conservación.
5. Debe reducirse el uso de maquinaria pesada en la preparación de los suelos y la labranza cuando el suelo esta húmedo para evitar la compactación. El uso del arado de cincel permite reducir la compactación y la pulverización de los suelos y mejorar

la infiltración del agua con la consecuente reducción de la escorrentía superficial.

6. Se debe promover la aplicación de sistemas de conservación de suelos, agroforestales y silvopastoriles que ayuden a disminuir los problemas de erosión y compactación de suelos; el aumento de la cobertura boscosa podría mejorar la estabilidad de los suelos y el balance hidrológico.
7. Se recomienda mantener un sistema de vigilancia sobre los deslizamientos naturales, así como implementar medidas para reducir el impacto de la extracción de minería abierta para que el problema de erosión de suelos y de arrastre de sedimentos río abajo pueda ser disminuido.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto IICA-GTZ sobre Agricultura Sostenible y Recursos Naturales por el financiamiento de esta investigación. A los productores de la cuenca media del río Reventado por contribuir en el desarrollo de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO A., BERTSCH F., BORNEMIZA E., CABALCETA G., FORSYTHE W., HENRÍQUEZ C., MATA R., MOLINA E., SALAS R. 2001. Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. ACCS. San José, CR. 111 p.
- ALVARADO G.E., VEGA E., CHAVES J., VÁSQUEZ M. 2004. Los grandes deslizamientos (volcánicos y no volcánicos) de tipo *debris avalanche* en Costa Rica. Revista Geológica de América Central 30:83-99.
- ARROYO L. 1995. Método de evaluación de tierras para cultivos anuales, por medio de Sistemas de Información Geográfica. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 142 p.
- BEETS W.C. 1990. Raising and sustaining productivity of smallholder farming systems in the tropics: a handbook of sustainable agricultural development. AgBé Publishing. Alkmaar, Ho. 738 p.
- BEL INGENIERÍA. 1987. Estudio de prefactibilidad para el riego de pequeñas áreas en la zona norte de Cartago y diseño de un plan piloto. San José, CR. 120 p.

- BERGOEING J.P., MALAVASSI E. 1982. Geomorfología del Valle Central de Costa Rica (explicación de la carta geomorfológica (1-50.000). Convenio UCR- Departamento de Geografía-MOPT, Instituto Geográfico Nacional. Universidad de Costa Rica. San José, CR. 49 p.
- BERTSCH F. 2004. El recurso suelo. In: Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: Armonía con la naturaleza. Informe N.º 10. San José, CR. p. 246-285.
- BERTSCH F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. ACCS. San José, CR. 157 p.
- CADETI (Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras, CR). 2004. Programa de acción nacional de lucha contra la degradación de tierras en Costa Rica. MINAE. 2 ed. San José, CR. 111 p.
- COMERMA J. 1997. Directivas del proceso de evaluación de tierras y premisas para la descripción de unidades de tierras y tipos de utilización de la tierra (TUT). In: Curso evaluación de tierras y sostenibilidad de la agricultura en la Región Andina. PROCIANDINO/REDAMACS. Maracay, Vz, IICA. 97 p.
- CORTÉS V. 1993. Factores socioculturales asociados a la erosión hídrica en un sistema hortícola: el caso de Cot y Tierra Blanca de Cartago. San José, CR, UCR. Anuario de Estudios Centroamericanos 19(1):79-90.
- CORTÉS V., OCONITRILLO G. 1987. Erosión de suelos hortícolas en el área de Cot y Tierra Blanca de Cartago. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 158 p.
- CUBERO D., VIEIRA M. 1994. Curso planificación conservacionista participativa de fincas. MAG/FAO. San José, CR. 25 p. (Documento de Campo N.º 19).
- DENGO J.M., COTERA J., LÜCKE O., ORLICH D. 1999. Escenarios de uso del territorio para Costa Rica en el año 2025. In: Escenarios de uso del territorio para Costa Rica en el año 2025. A Rodríguez.(ed) Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. San José, CR. 108 p.
- ETCHEVERS J. 1999. Indicadores de la calidad del suelo. In: Reunión conservación y restauración de suelos, Programa Universitario del Medio Ambiente. UNAM. México DF, Mx. 22 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1976. A Framework for land evaluation. Waaganin, Ho. 360 p. (Publication N.º 22).
- FERNÁNDEZ M., MORA M., BARQUERO R. 1998. Los procesos sísmicos en el volcán Irazú (Costa Rica). Revista Geológica de América Central 21:47-59.
- GÓMEZ F. 2002. Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 191 p.
- GÓMEZ O. 1999. Estudio semidetallado de suelos de la zona de Tierra Blanca, Potrero Cerrado y Llano Grande, Cartago. MAG. San José, CR. 125 p.
- HENRÍQUEZ C., CABALCETA G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, CR, ACCS. 111 p.
- HOLDRIDGE L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Trad. H Jiménez. San José, CR, IICA. p. 8-9.
- HOPGOOD M. 1999. The formation of volcanic ash soils in the Parque Recreativo Ricardo Jiménez de Oreamuno. Tesis Bachillerato en Suelos. Universidad de Aberdeen. Inglaterra. 67 p.
- ICE (Instituto Costarricense Electricidad, CR). 2003. Unidad de manejo de la cuenca Reventazón (UEN). Informe anual 2002. San José, CR. 162 p.
- ICE (Instituto Costarricense Electricidad, CR). 2005. Unidad de manejo de la cuenca Reventazón (UEN). Informe anual 2004. San José, CR. 201 p.
- KLINGEBIEL A.A., MONTGOMERY P. 1961. Land capability classification. USDA. Soil Conservation Handbook. USA. 210 p.
- KRUSHENSKY R. 1972. Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica. Geological Survey Bulletin 1358. 46 p.
- LEÓN C. 1994. Evaluación de tierras en la cuenca superior del río Reventazón. Costa Rica: aplicación de un sistema automatizado (ALES) y un Sistema de Información Geográfica (IDRISI). Tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 239 p.
- MADRIGAL R., ROJAS E. 1980. Manual descriptivo del mapa geomorfológico de Costa Rica (escala 1:200.000). SEPSA. San José, CR. 79 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR) / FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1994a. Alternativas técnicas para las áreas piloto. Tierra Blanca de Cartago. Proyecto GCP/COS/020/NET. Cartago, CR. 35 p.

- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR) / FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1994b. Análisis de los niveles de adopción y de conocimiento sobre prácticas de conservación de suelos de los grupos de agricultores de las áreas piloto de Tierra Blanca, Cartago, CR. 100 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR) / FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT) / UNED (Universidad Estatal a Distancia, CR). 1994. Manual de manejo y conservación de suelos y aguas. D Cubero (ed). EUNED. San José, CR. 278 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR) / MIRENEM (Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas, CR). 1995. Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. San José, CR. 59 p.
- MALDONADO T., RODRÍGUEZ C. 1997. Estudio, análisis y cartografía de la capacidad de uso de la tierra en las clases forestales, Costa Rica. Fundación Neotrópica. San José, CR. 34 p.
- MARCHAMALO M. 2004. Ordenación del territorio para la producción de servicios ambientales hídricos. Aplicación a la cuenca del río Berrís (Costa Rica). Tesis Ph.D. Universidad Politécnica de Madrid, España. 409 p.
- MELO H.M. 1991. La conservación de suelos en Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica: niveles de adopción y alternativas para incrementarlos. Tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 143 p.
- MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía, CR). 1996. Comisión de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca río Reventado. Sistema Nacional de Áreas de Conservación Cuencas Hidrográficas. Proyecto de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Reventado. San José, CR. 27 p.
- MÜLLER S. 1997. Evaluating the sustainability of agriculture. The case of the Reventado river watershed in Costa Rica. European University Studies Series V. Economics and Management. Alemania. 2194:1-223 p.
- MÜLLER U. 1999. Planificando el uso de la tierra. Catálogo de herramientas y experiencias. In: Foro de Proyectos de Desarrollo Rural y Manejo de Recursos Naturales en América Latina. GTZ. Bogotá, Co. 158 p.
- NÚÑEZ J., MÜLLER S., RAMÍREZ L. 1998. Indicadores para el uso de la tierra: el caso de la cuenca del río Reventado, Costa Rica. Proyecto IICA/GTZ. San José, CR, IICA. 58 p. (Serie Documentos de Discusión N.º 5).
- QUESADA C.A. 1990. Estrategia de conservación para el desarrollo sostenible de Costa Rica. Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas. ECODES. San José, CR. 180 p.
- RAMAKRISHNA B. 1997. Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. Proyecto IICA-GTZ. San José, CR, IICA. 338 p. (Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible N.º 3).
- RITCHERS J. 1995. Manejo del uso de la tierra en América Central: hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra. San José, CR, IICA. 440 p. (Documento N.º 28).
- SÁNCHEZ E. 1993. Determinación de áreas críticas mediante sistemas de información geográfica, cuenca del río Reventado. Tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 116 p.
- SANCHEZ P.A., COCHRANE T. 1980. Soil constraints in relation to major farming systems of Tropical América. In: Priorities for alleviating soil related constraints to food production in the tropics. JF Metz y NC Brady (ed). Los Baños, Ph. IIRRI. p. 107-139.
- SAÜER E. 1995. Fomento y aplicación de prácticas de conservación y manejo de tierras en Costa Rica. Informe Final. Proyecto MAG/FAO-GCP/COS/012/NET. San José, CR. 68 p.
- SHENG T.C. 1971. Proyecto de clasificación de la tierra orientada a su tratamiento para tierras marginales montañosas del Trópico Húmedo. Kingston, Ja, FAO. 169 p.
- SOGREAH INGENIERIE SNC, GÓMEZ CAJIAO Y ASOCIADOS S.A., SINERGIA 69 S.A. 1999. Plan de manejo integral de la cuenca del río Reventazón. Informe de diagnóstico: caracterización geomorfológica y erosión. San José, CR. 51 p.
- STOORVOGEL J., SCHIPPER R., JANSEN D. 1995. USTED: a methodology for a quantitative analysis of land use scenarios. Netherlands Journal of Agricultural Science 43: 5-18.
- SUAZO M. 1995. Caracterización y sistematización de las tecnologías sobre prácticas y obras de conservación de suelos en la cuenca media del río Reventado, Cartago. Tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica 170 p.

- TOSI J. 1985. Sistema para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. Centro Científico Tropical. San José, CR. 106 p.
- VAN MELLE G. 1984. Estudio sobre la capacidad de uso de la tierra en dos áreas de las subregiones Puriscal y Carraigres, Costa Rica. ASCOVA. Cooperación Técnica Holandesa. San José, CR. 47 p.
- VARGAS A. 1998. Balance hídrico en la cuenca alta del río Reventazón, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Revista Geológica de América Central 21: 37-46.
- VILLALOBOS F. 1988. Estudio sobre la erosión de los suelos de la zona norte de Cartago. Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 102 p.
- VILLEGAS J. 1995. Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Reventado. Bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad. Tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 144 p.
- VÍQUEZ V. 1984. Formación Reventado. In: Manual de geología de Costa Rica. P Sprechmann (ed). Estratigrafía Editorial. Universidad de Costa Rica. San José, CR. 1:1-320.