



Instituto Nacional de Innovación y  
Transferencia en Tecnología Agropecuaria

# ALCANCES TECNOLÓGICOS

REVISTA DEL INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA EN TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

VOLUMEN 13

NÚMERO 1

AÑO 2020



# COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO

Carlomagno Salazar-Calvo<sup>1</sup>, José P. González-Venegas<sup>2</sup>, Daniel Corrales-Valverde<sup>3</sup>, José Lacayo-Vega<sup>4</sup>, Kevin Carrillo-Montoya<sup>5</sup> y Hugo Montero-González<sup>6</sup>

## RESUMEN

**Comparación de dos métodos para la determinación de la densidad aparente del suelo.** La densidad aparente ( $D_a$ ) es una de las determinaciones más utilizadas alrededor del mundo para medir la calidad de un suelo. Actualmente, las metodologías para determinar la calidad física de un suelo, presentan una pobre estandarización y existe una creciente necesidad de metodologías alternativas que sean de bajo costo y generen resultados confiables en un periodo corto de tiempo. Se realizó un experimento en un suelo, donde se comparó el método utilizado por el laboratorio de suelos del INTA, con uno propuesto por investigadores coreanos para la determinación de la  $D_a$  en campo. Se encontraron diferencias en cuanto al tipo de método utilizado ( $p < 0,0001$ ) y no se encontró correlación alguna entre métodos. Lo anterior sugiere que las metodologías arrojaron resultados diferentes de  $D_a$ , por lo que el método de Corea no pudo ser considerado como un método alternativo al utilizado en el laboratorio del INTA en Costa Rica.

**Palabras Clave:** Calidad física, metodologías alternativas, determinación en campo.

## INTRODUCCIÓN

Las propiedades físicas del suelo son determinantes para el desarrollo de cualquier cultivo ya que condicionan el crecimiento de las raíces de las plantas (Sequeira *et al.* 2014). Por otra parte, las propiedades físicas también cumplen un papel importante en cuanto al ingreso y almacenaje de agua, en otras palabras, establece si un suelo es un buen reservorio de agua o no, lo cual es de suma importancia para el desarrollo de cualquier actividad agrícola (Martín *et al.* 2017). Además, tienen gran efecto sobre la dinámica del agua a través de los horizontes del suelo, cuando ésta se infiltra.

Como es bien conocido y estudiado, las propiedades físicas del suelo son alteradas por el manejo agrícola que le da el hombre a dicho recurso, afectando de esta forma los diferentes

procesos químicos y biológicos que son esenciales para crear un ambiente adecuado para el desarrollo de los cultivos (Xu *et al.* 2016).

Varios autores sostienen que se debería de seleccionar y cuantificar un número mínimo de características del suelo, con el fin de evaluar la calidad del mismo (Larson y Pierce 1994; Govaerts *et al.* 2006). En este sentido, se han propuesto diferentes parámetros del suelo que incluyen propiedades tales como: MOS (materia orgánica del suelo), capacidad de infiltración, estabilidad de los agregados, sellado superficial, porosidad, pH,  $D_a$ , resistencia a la penetración, resistencia a la mecanización o labrado, salinidad, textura, capacidad de almacenamiento de agua, nitrógeno, fósforo disponible, biomasa microbiana y

1,2,3,4,5,6. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. Costa Rica.  
Contacto: csalazar@inta.go.cr. Sede del INTA, Ochomogo, Cartago.

Recepción: 10.11.2017. Aceptación: 29.07.2019.

respiración del suelo (Doran y Parkin 1994; Karlen y Stott 1994; Doran y Parkin 1996; Aparicio y Costa 2007; Campitelli *et al.* 2010).

Una de las propiedades físicas que es ampliamente utilizada para determinar la calidad física de un suelo es la Da (Sequeira *et al.* 2014). La Da se define como la relación de la masa de suelo seco por unidad de volumen del mismo ( $\text{g.cm}^{-3}$  o  $\text{Mg.m}^3$ ). Es importante destacar que la Da está íntimamente relacionada con el volumen de partículas sólidas y espacio poroso (Henríquez y Cabalceta, 2012). Por otra parte, esta propiedad del suelo es muy útil para transformar la humedad gravimétrica en volumétrica, calcular láminas de riego, estimar la masa de la capa arable, calcular la porosidad del suelo, obtener el índice de compactación (capas endurecidas), determinar la presencia de cantidades significativas de cenizas volcánicas, establecer el grado de meteorización y alteración del horizonte C formado a partir de rocas ígneas o metamórficas, detectar las pérdidas o adiciones de materiales entre horizontes y estimar la capacidad de aireación y drenaje (Alvarado y Forsythe, 2005; Buol *et al.* 2011; Henríquez y Cabalceta, 2012).

Es importante recalcar la relación existente entre la Da con la densidad de partículas y la porosidad total de un suelo. Un cálculo preciso de la densidad de partículas, como de la Da, es crítico a la hora de realizar mediciones volumétricas y gravimétricas del suelo, así como en el área de génesis y clasificación de suelos (Alvarado y Forsythe 2005). La densidad de partículas presenta una relación estrecha con la mineralogía dominante de los minerales primarios y secundarios del suelo y puede presentar valores entre  $2,00\text{-}2,65 \text{ g cm}^{-3}$  (Porta *et al.* 2003).

Como se mencionó anteriormente, la Da es un indicador de compactación del suelo en donde se determina la pérdida estructural del mismo (Keller y Håkansson 2010). Además, ayuda en la determinación de la resistencia del suelo a la penetración y elongación de las raíces (Keller y Håkansson 2010). Por otro lado, es bien conocido que la Da en la gran mayoría de los suelos aumenta con la profundidad en el perfil del suelo, esto es debido al peso del material superficial y al manejo que se le ha dado al suelo. Por ejemplo, la compactación provocada por la labranza, lo que

genera es una disminución del espacio poroso (Dexter 2004).

Para la determinación de la Da de un suelo, se han utilizado diferentes métodos que van desde observaciones en campo, hasta metodologías que requieren de instrumentación de laboratorio con algún grado de precisión. Uno de los métodos más utilizados en Costa Rica es el del cilindro, el cual es utilizado por el INTA en Costa Rica. Dicha estimación termo gravimétrica presenta la desventaja de requerir de un horno de alto costo y los resultados son obtenidos después de 24 horas (Radulovich 2009).

Por otro lado, el método coreano se basa en el principio de Arquímedes el cual indica que todo cuerpo sumergido en un fluido, experimenta un empuje o fuerza vertical hacia arriba igual al peso del fluido expulsado (Heuscher *et al.* 2005). Por lo tanto, con dicho principio se puede obtener la proporción de la fase sólida, líquida y gaseosa, para posteriormente realizar el cálculo de la Da de una muestra de suelo (Kyung-Hwa 2017). Al ser una metodología *in situ*, esta se realiza en un periodo corto de tiempo, además, no emplea equipo especializado por lo que es un método de bajo costo. Sin embargo, el método debe de validarse y compararse con la metodología utilizada por el INTA, con el fin de determinar su confiabilidad.

Debido a la gran importancia que tiene la Da en la determinación de la calidad física del suelo y a la necesidad de estandarizar las metodologías para obtener una opción más rápida, menos costosa y que permita realizar mediciones *in situ*, se estableció como objetivo general de la investigación determinar si el método de medición de Da propuesto por especialistas coreanos, puede ser un método alternativo al realizado por el laboratorio de suelos del INTA para realizar el cálculo de Da directamente en el campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

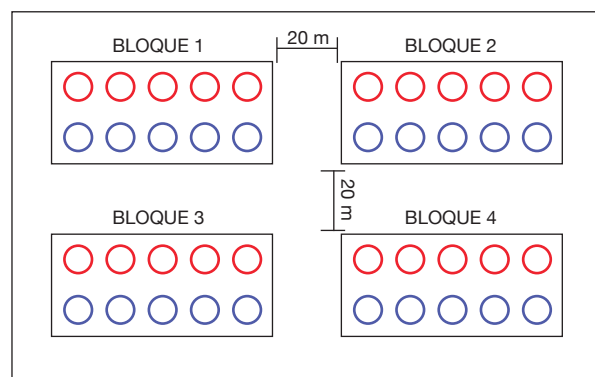
El experimento se realizó en el laboratorio de suelos del INTA, ubicado en el distrito de San Rafael, en el cantón de la Unión de la provincia de Cartago. Las muestras fueron tomadas en la finca del INTA, ubicada en el Alto de Ochomogo (9,90962o N, -83,96369o O).

El diseño experimental utilizado fue de bloques completamente al azar con el sitio de muestreo como factor de bloqueo. Se realizaron cuatro repeticiones y cada tratamiento constó de cinco réplicas. La unidad experimental estuvo definida por cilindros biselados individuales con muestras de suelo indisturbado (Figura 1 y 2). Se tomaron del suelo, un total de 40 muestras (20 muestras por método evaluado).



**Figura 1.** Procedimiento en campo para la toma de las muestras para la determinación de la Da. Cartago- Costa Rica, 2017.

Los tratamientos se definieron de acuerdo a las metodologías de estimación de la Da, los cuales fueron: i) metodología del cilindro (utilizada en el laboratorio del INTA) y ii) metodología de tres fases basada en la ley de Arquímedes (propuesta por investigadores de Corea). Las muestras de suelo para cada tratamiento fueron tomadas con cilindros biselados con un volumen de 81,11 cm<sup>3</sup> en la parte superficial del suelo (primeros 10 cm).



**Figura 2.** Diseño experimental del ensayo de comparación de métodos para la determinación de Da (método INTA-círculos rojos; método Corea-círculos azules). Cartago-Costa Rica, 2017.

La metodología del cilindro (utilizada en el INTA), es un procedimiento termo gravimétrico en donde cada muestra fue secada a una temperatura de 105 oC por 24 h (Uhland 1950; Forsythe 1980; Klute y Dinauer 1986; Lampurlanés y Cantero-Martinez 2003; Alvarado y Forsythe 2005). El valor de Da se obtuvo de la siguiente manera:

$$Da = \frac{\text{peso suelo seco (g)}}{\text{volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

De acuerdo con la metodología de tres fases propuesto por Corea, cada muestra de suelo húmedo fue pesada con la ayuda de una balanza granataria (A), luego se tomó una probeta de 1 litro a la cual se le adicionó 80 ml de agua destilada. Seguidamente se depositó el suelo lentamente en la probeta y la mezcla en la probeta (suelo + agua destilada) fue agitada con la ayuda de una espátula para eliminar los remanentes de aire (Kyung-Hwa 2017). Por último, se anotó el cambio en el volumen de la probeta (B) para luego obtener el valor de Da con la realización de los siguientes cálculos:

$$PG (\%) = \text{volumen del cilindro (cm}^3\text{)} - B$$

$$PS (\%) = (A - B) / DP - D \text{ agua}$$

$$PL (\%) = 100 - PG - PS$$

$$Da = DP \times PS / 100$$

Donde:

PG = Proporción de la fase gaseosa (%)

PS = Proporción de la fase sólida (%)

PL = Proporción de la fase líquida (%)

DP = Densidad de partículas (2,6 mg.m<sup>-3</sup>)

D agua = Densidad del agua (1,0 mg.m<sup>-3</sup>)

Da = Densidad aparente del suelo (g.cm<sup>-3</sup>)

A = Peso del suelo húmedo (g)

B = Volumen del suelo húmedo (cm<sup>3</sup>)

## Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa R (R for Statistical Computing-Version 1.0.153). Se realizó un análisis exploratorio de los datos de

la variable en cuestión (Da), en donde se aplicó las pruebas de Shapiro Wilk y la prueba de Bartlett para verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los datos cumplieron con los supuestos mencionados anteriormente.

En cuanto al análisis estadístico formal, se realizó un análisis de varianza de un modelo lineal y un modelo mixto (el método de estimación de Da se determinó como un factor fijo y el efecto del bloque o sitio de muestreo como un factor aleatorio), con el fin de determinar si habían diferencias o no entre las metodologías evaluadas. Se decidió realizar el análisis de varianza de acuerdo con el modelo lineal, ya que el resultado fue el mismo con ambos modelos. Las medias fueron comparadas con el método de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD), con un nivel de significancia de 0,05.

Por último, se determinó la asociación existente entre los resultados obtenidos de Da con cada uno de los métodos estudiados, mediante un análisis de correlación de Spearman.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias principalmente asociadas al método de determinación de la Da (Cuadro 1). Lo anterior se pudo deber a las diferencias en las fuerzas internas al usar un método con un suelo húmedo y otro método con un suelo seco. Dec et al. (2015) en su investigación, menciona que las fuerzas internas afectan la estructura de los suelos a través de los ciclos de mojado y secado. El secado del suelo provoca una disminución del tamaño de los agregados conocido como un proceso de contracción del suelo. La humectación provoca una hinchazón y lleva al suelo a un volumen similar al que tenía antes de la contracción, lo que depende de las características intrínsecas del suelo (cantidad y tipo de arcillas presentes, por ejemplo) y de la intensidad de secado.

De acuerdo con el método de estimación de la Da, se encontró una diferencia de 0,14 g.cm<sup>-3</sup> en donde el método utilizado por el laboratorio del INTA obtuvo valores de Da superiores a los obtenidos por

el método propuesto por investigadores de Corea (Cuadro 1). Lo anterior se pudo deber a la diferencia en el grado de humedad con el que se procesan las muestras según la metodología empleada. De acuerdo a lo anterior, el método coreano utiliza muestras de suelo con el grado de humedad en el momento en que son recolectadas en campo, lo cual puede influir a la hora de la determinación de la Da. Los ciclos de mojado y secado generan un ordenamiento en las partículas primarias del suelo provocando una variación en la estimación de la Da (Horn 1993).

Como se mencionó anteriormente, existen varios factores que influyen en la determinación de la Da y que pueden aportar variabilidad a la hora de realizar la estimación. Características como la textura y el contenido de materia orgánica, influyen en una adecuada determinación de la Da. Hay estudios como el realizado por Lestariningsih y Hairiah (2013), donde los valores de Da fueron mayores

con el método del cilindro, en comparación con los obtenidos con el método de la caja rectangular. Lo anterior se atribuyó a que los métodos de medición varían significativamente con la textura y el contenido de materia orgánica. Al comparar las desviaciones estándar de cada método, se obtuvo que el método del cilindro presentó menos variabilidad de acuerdo con las condiciones heterogéneas del suelo. Según los resultados obtenidos en la investigación, la diferencia en las desviaciones estándar fue mínima (Cuadro 2), pero factores como los mencionados anteriormente (textura y materia orgánica), pudieron generar las diferencias observadas entre los métodos utilizados. Por lo tanto, sería recomendable evaluar la sensibilidad de cada método a la variabilidad presente en campo y lograr determinar cuál método puede ser más confiable de acuerdo con los objetivos que se persiguen.

Otros investigadores, obtuvieron una fuerte correlación entre la materia orgánica y la Da. Chaudhari et al. (2013), declararon una correlación inversa entre la materia orgánica y la Da, por lo que se indica que con el aumento del contenido de materia orgánica la Da disminuye. Por otro lado, Sakin (2012) obtuvo una fuerte correlación entre la Da y el contenido de materia orgánica.

Aparte de la perturbación de la estructura del suelo causada por un método en particular, otro

factor importante a considerar en la determinación de la Da, es el tamaño y representatividad de la muestra. En el estudio realizado por Han *et al.* (2016), en donde se determinó el tamaño óptimo de muestra para el control del error en la estimación de la Da mediante un método tradicional y un método de bootstrap, se obtuvo que el tamaño de muestra necesario fue de 3 a 17 observaciones para la estimación de la Da con un nivel de precisión de  $\pm 10\%$  a un nivel de confianza de 95%. Según lo anterior, para este estudio, la toma de 20 muestras por método de medición, evidencia que fue correcto el tamaño de muestra utilizado en el estudio.

A nivel taxonómico, la selección de un método determinado para la estimación de una característica del suelo como lo es la Da, representa un punto importante. En esta investigación se obtuvo una diferencia de 0,14 g.cm<sup>-3</sup> entre los métodos evaluados, de acuerdo con las medias obtenidas. Lo anterior es crítico a la hora de definir un orden de suelo, ya que el resultado obtenido según el método utilizado, puede influir considerablemente. Por ejemplo, en un orden como el Andisol, que se caracteriza por tener una Da menor a 0,90 g.cm<sup>-3</sup> (Nanzyo 2002; Soil Survey Staff 2014), la diferencia o variabilidad encontrada entre métodos en esta investigación, puede ser suficiente para salirse de las características requeridas para clasificar un suelo como Andisol.

Cuadro 1. Densidad aparente del suelo obtenida mediante dos métodos diferentes. Cartago- Costa Rica, 2017.

Variable	Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )
Método (M)	
Corea	1,02 a ††
INTA	1,16 b
ANOVA	
M	***

\*, \*\*, \*\*\* Significancia a un nivel de probabilidad de 0,05, 0,01 y 0,001, respectivamente.

† La separación de medias se realizó con la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher sobre los datos originales.

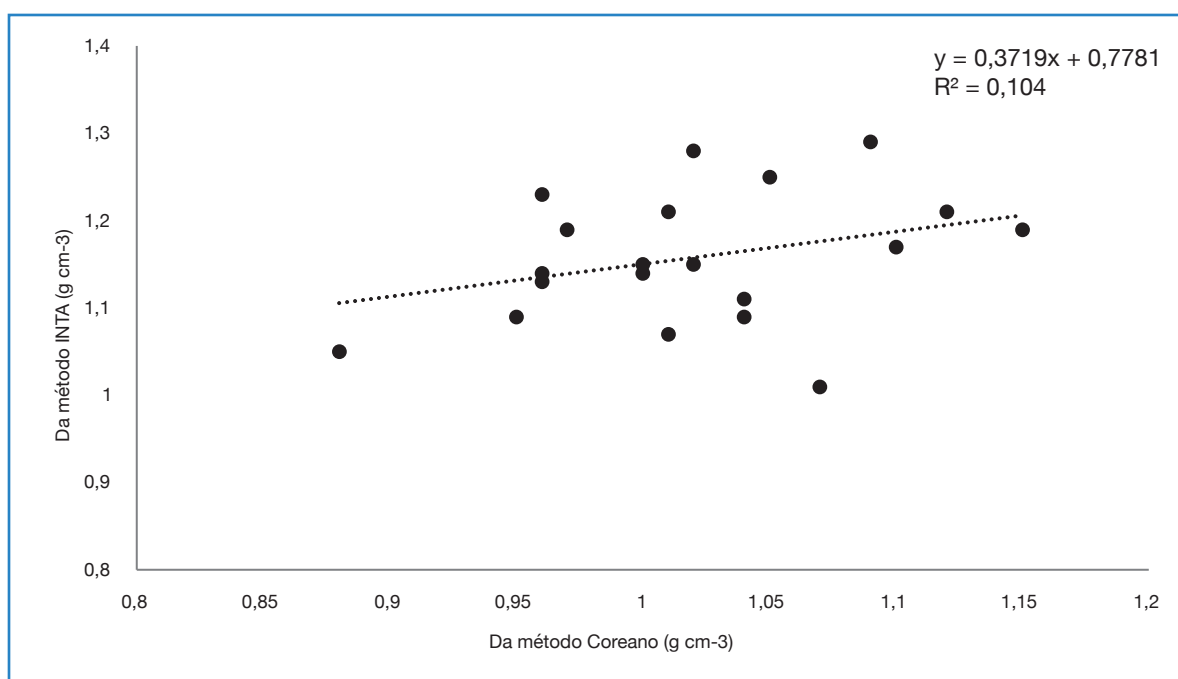
‡ Medias que no compartan una letra común dentro de las columnas son estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) de acuerdo a la prueba de diferencia mínima significativa.

Cuadro 2. Medidas resumen de los datos de densidad aparente por método. Cartago- Costa Rica, 2017.

Método	n	Media	D.E	CV (%)	Mínimo	Máximo
Corea	20	1,02	0,07	6,41	0,88	1,15
INTA	20	1,16	0,08	6,51	1,01	1,29

En esta investigación, no se encontró correlación entre los valores de Da obtenidos por el método del cilindro y los que resultaron con el método de tres fases en probeta (Figura 3). En el estudio realizado por INTA de Argentina (2012), comparando los métodos del cilindro (laboratorio), de parafina y el de probeta en un suelo franco arcilloso; no encontró correlación alguna entre los valores obtenidos con los métodos de parafina y probeta, con respecto al

del cilindro. De acuerdo con las medias obtenidas, el método de la parafina arrojó los valores más altos (presentando gran cantidad de valores extremos) y el de la probeta los más bajos. Los valores obtenidos con el método del cilindro fueron los más congruentes con los valores típicos para el tipo de textura evaluada. Se determinó al método del cilindro, como la metodología más confiable.



**Figura 3.** Análisis de correlación de Spearman entre los datos de densidad aparente obtenidos con el método utilizado por el INTA y el método coreano. Cartago- Costa Rica, 2017.

La determinación de la Da en campo, tiene el problema de la variabilidad que puede presentar el suelo y cómo disminuir el error que esto implica a la hora de la medición de la Da. Según Hossne y Cedeño (2012), al estimar la Da en campo a dos profundidades con tres metodologías diferentes (i. método del densímetro, ii. método del Uhland con caída libre de martillo y iii. método del Uhland con caída forzada), se obtuvo mucha variabilidad de un método con respecto al otro. Además, se

dieron valores diferentes de Da de acuerdo con la metodología utilizada y se demostró diferencia estadística entre los métodos. Los resultados de Hossne y Cedeño (2012), coinciden con los obtenidos en este ensayo.

En general, métodos directos e indirectos son utilizados para la medición de la Da actualmente. Aunque se ha encontrado que hay una concordancia general entre los resultados obtenidos con ambos

métodos, también se han reportado amplias diferencias entre métodos directos principalmente (Timm et al. 2005). Los resultados expuestos por Timm et al. (2005) concuerdan con los resultados obtenidos en esta investigación por lo que se confirma que hay una carencia en cuanto a la estandarización de métodos para la determinación de la Da.

Por último, debido a la gran importancia que tiene la Da en la determinación de la calidad física del suelo, es necesario ampliar el panorama en cuanto a definir y estandarizar metodologías, que permitan una medición rápida de la Da en campo y que sean de bajo costo. Aún así, el reto más grande está en lograr implementar una metodología en donde se integre más de una característica del suelo para realizar una evaluación más amplia de la calidad del suelo.

## 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.

Aparicio, V; Costa, JL. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research* 96(1):155-165.

Buol, SW; Southard, RJ; Graham, RC; McDaniel, PA. 2011. *Morphology and Composition of Soils: Soil Genesis and Classification*. Oxford, United Kingdom, Wiley-Blackwell. p. 35-87.

Campitelli, P; Aoki, A; Gudelj, O; Rubenacker, A; Sereno, R. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del suelo* 28(2):223-231.

Chaudhari, PR; Ahire, DV; Ahire, VD; Chkravarty, M; Maity, S. 2013. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3(2):1-8.

Dec, D; Ivelic-Sáez, J; Zúñiga, F. 2015. Parámetros de capacidad e intensidad del sistema poroso para evaluar la calidad física de un Andisol bajo pastoreo. *Agro sur* 43(2):77-87.

Dexter, A. 2004. Soil physical quality: part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120(3):201-214.

Doran, JW; Parkin, TB. 1994. *Defining and Assessing Soil Quality. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, WI Soil Science Society of America and American Society of Agronomy p.1-21. (SSSA Special Publication, no. 35).

Doran, JW; Parkin, TB. 1996. *Quantitative Indicators of Soil Quality: A Minimum Data Set. Methods for Assessing Soil Quality*. Madison, WI Soil Science Society of America p. 25-37. (SSSA Special Publication, no. 49).

Forsythe, W. 1980. *Física de suelos: manual de laboratorio*. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 212 p.

Govaerts, B; Sayre, KD; Deckers, J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research* 87(2):163-174.

Han, Y; Zhang, J; Mattson, KG; Zhang, W; Weber, TA. 2016. Sample sizes to control error estimates in determining soil bulk density in California forest soils. *Soil Science Society of America Journal* 80(3):756-764.

Heuscher, SA; Brandt, CC; Jardine, PM. 2005. Using Soil Physical and Chemical Properties to Estimate Bulk Density. *Soil Science Society of America Journal* 69(1):51-56.



Henríquez, C; Cabalceta, A. 2012. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. 2 ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo UCR/CIA-ACCS. 60 p.

Horn, R. 1993. Mechanical properties of structured unsaturated soils. *Soil technology* 6:47-75.

Hossne, AJ; Cedeño, HJ. 2012. Three methods of determining soil bulk density and solidity in three savanna sandy loam soils. *Revista Científica UDO Agrícola* 12(4):861-872.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina). 2012. Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa - Ensayos - Anlofava. 2017 (en línea). Provincia de Chaco, Argentina. 3 p. Consultado 13 nov. 2017. Disponible en <http://www.buenastareas.com/ensayos/Comparaci%C3%B3n-De-M%C3%A9todos-De-Determinaci%C3%B3n-En/24451436.html>

Karlen, DL; Stott, DE. 1994. A Framework for Evaluating Physical and Chemical Indicators of Soil Quality. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, WI, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, p. 53-72. (SSSA Special Publication, no. 35).

Keller, T; Håkansson, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* 154(3):398-406.

Klute, A; DINAUER, RC. 1986. Physical and mineralogical methods. *Planning* 8(9):363-375.

Kyung-hwa, H. 2017. Diagnóstico in situ de las propiedades físicas del suelo KoLFACI. Korea Rural Development Administration. p. 92-99.

Lampurlanés, J; Cantero-Martinez, C. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal* 95(3):526-536.

Larson, WE; Pierce, FJ. 1994. The Dynamics of Soil Quality as a Measure of Sustainable Management. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, WI, Soil Science Society

of America and American Society of Agronomy, p. 37-51, (SSSA Special Publication no. 35).

Lestariningsih, I; Hairiah, K. 2013. Assessing soil compaction with two different methods of soil bulk density measurement in oil palm plantation soil. *Procedia Environmental Sciences* 17:172-178.

Martín, MÁ; Reyes, M; Taguas, FJ. 2017. Estimating soil bulk density with information metrics of soil texture. *Geoderma* 287:66-70.

Nanzyo, M. 2002. Unique properties of volcanic ash soils. *Global Environmental Research* 6(2):99-112.

Porta, J; Reguerín, LA; de Laburu, MR. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. (en línea). Oaxaca, México. 929 p. Consultado 13 nov. 2017. Disponible en [https://books.google.co.cr/books/about/Edafolog%C3%ADa\\_para\\_la\\_agricultura\\_y\\_el\\_medioambiente.html?hl=es&id=GazqVtITqLUC&redir\\_esc=y](https://books.google.co.cr/books/about/Edafolog%C3%ADa_para_la_agricultura_y_el_medioambiente.html?hl=es&id=GazqVtITqLUC&redir_esc=y)

Radulovich, R. 2009. Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. *Agronomía costarricense* 33(1):121-124.

Sakin, E. 2012. Organic carbon organic matter and bulk density relationships in arid-semi arid soils in Southeast Anatolia region. *African Journal of Biotechnology* 11(6):1373-1377.

Sequeira, CH; Wills, SA; Seybold, CA; West, LT. 2014. Predicting soil bulk density for incomplete databases. *Geoderma* 213(397):64-73.

Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 147 p.

Timm, L; Pires, L; Reichardt, K; Roveratti, R; Oliveira, J; Bacchi, O. 2005. Soil bulk density evaluation by conventional and nuclear methods. *Soil Research* 43(1):97-103.

Uhland, R. 1950. Physical properties of soils as modified by crops and management. *Proceedings. Soil Science Society of America*, 1949 14:361-366.

Xu, L; He, N; Yu, G. 2016. Methods of evaluating soil bulk density: Impact on estimating large scale soil organic carbon storage. *CATENA* 144 (Supplement C): 94-101.

# CAPACIDAD PARASÍTICA DE *Beauveria bassiana* SOBRE EL PICUDO DEL PALMITO (*Metamasius hemipterus*). (Coleoptera: Dryophthoridae).

Cristina Vargas-Chacón<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Capacidad parasítica de *Beauveria bassiana* sobre el picudo del palmito (*Metamasius hemipterus*) (Coleoptera: Dryophthoridae).** El objetivo fue identificar una cepa de *B. bassiana*, eficaz contra adultos de *Metamasius hemipterus* a fin de que sea utilizada en el manejo de la plaga. El estudio se realizó en los laboratorios del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y se concluyó en el año 2013. El ensayo se estableció con un diseño completamente al azar con siete tratamientos y 20 repeticiones. Se estudiaron seis cepas del hongo codificadas como INTA H-25, INTA H-26, INTA H-28, INTA H-29, INTA H-31 e INTA H-50. Los insectos adultos, fueron expuestos al hongo a una concentración de 1X10<sup>8</sup> conidias/ml, se observaron diariamente hasta una semana después de la muerte. Se realizó un ANDEVA y una prueba de separación de medias mediante la prueba Duncan con un 95% de confianza. Se encontraron diferencias altamente significativas entre los tiempos letales TL<sub>50</sub> y TL<sub>90</sub> (P<0,0001). La cepa INTA-H-25 eliminó el 90% de la población antes de los cinco días y las cepas INTA-H-26, INTA H-31 e INTA-H-50 eliminaron el 50 % de la población de picudos antes de los cinco días, superando al resto de tratamientos. En el parasitismo se observó, que la cepa INTA-H-50 fue la que produjo más micelio sobre el insecto y la cepa INTA-H-31 la mayor cantidad de conidias; siendo estas características importantes para la diseminación del hongo e infección del insecto. Los mejores tratamientos fueron INTA-H-25, INTA-H-26, INTA-H-31 e INTA-H-50.

**Palabras clave:** Control biológico, pejibaye, hongo entomopatógeno.

## INTRODUCCIÓN

El coleóptero *Metamasius hemipterus* es un “gorgojo barrenador del tallo” que se encuentra en América Central, Sur América y en las Indias Occidentales y es considerada una plaga de importancia económica que afecta a las plantaciones de bromelias, caña de azúcar, bananos y palmas (Weissling *et al.* 2003, Nehei y Pavarini 2011). La cosecha y la poda en algunos de estos cultivos, ofrecen puntos de entrada al insecto (Alpizar *et al.* 2002). La hembra aprovecha estos daños y oviposita (27 días después de aparearse con los machos) en

la base de los tallos cortados. La larva emerge, a los 57 días aproximadamente y perfora la base del tallo y el rizoma iniciando la destrucción de los tallos maduros, ocasionando puntos de entrada a hongos y otras plagas (Alpizar *et al.* 2002, Weissling *et al.* 2003). La larva de *Metamasius* sp., se alimenta de 30-60 días del tallo de la planta y luego produce una pupa, los adultos viven de 60 a 90 días (Alpizar 2002).

El manejo de adultos de *M. hemipterus* se ha realizado tradicionalmente, con formulaciones

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. Costa Rica. cvargas@inta.go.cr. Sede del Laboratorio de Servicios de Fitoprotección del INTA. Sabana Sur, San José.

Recepción: 10.07.2018. Aceptación: 26.08.2019.

químicas comerciales, entre las que se encuentran plaguicidas organofosforados, organoclorados, piretroides, carbamatos y neocicotinoides (Giblin-Davis *et al.* 1996). Sin embargo, los métodos de control biológico son una alternativa promisorio al uso de plaguicidas químicos tradicionales (Moraes 2008).

Existen varios estudios, en los cuales se ha demostrado la efectividad de hongos entomopatógenos en el manejo de plagas insectiles, entre éstos se encuentran *B. bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, ambos han sido estudiados en el control del insecto *M. hemipterus* entre otros insectos. En

algunos casos utilizando hongos entomopatógenos nativos, se han obtenido mortalidades del insecto plaga hasta del 80% (Carballo y Arias 1994; Badilla-Fernández 2002; Orduño-Cruz 2011).

El banco de microorganismos del INTA mantiene cepas del hongo *Beauveria* sp., obtenidas de diferentes insectos y diferentes zonas geográficas del país. Estos hongos, en estudios previos, han evidenciado cierta especificidad, por lo que el objetivo de este estudio fue identificar cual de las cepas es eficaz contra adultos de *M. hemipterus*, a fin de poder utilizarlas en el manejo integrado de la plaga en diferentes cultivos agrícolas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Insecto plaga

Los adultos de *M. hemipterus*, fueron capturados en plantaciones de palmito de pejibaye en la zona atlántica del país, específicamente en la Estación Experimental Los Diamantes (EELD) del INTA. Para ello, se colocaron trampas secas de plástico conteniendo en su interior trozos de caña de azúcar, a fin de atraer los insectos. Los picudos vivos, fueron colocados dentro de una caja entomológica de madera y transportados al Laboratorio de Servicios de Fitoprotección del INTA, ubicado en San José. En este lugar, los insectos se mantuvieron en cajas de cría de vidrio de 35X35X35 cm durante tres días a temperatura y humedad relativa ambientales (aproximadamente 26 °C y 60% HR). Dentro de la caja se colocaron pequeños trozos de caña de azúcar y una gaza con agua, para que sirvieran de fuente de carbohidratos y agua al picudo. Solo los insectos vivos fueron utilizados en la investigación.

### Tratamientos y revigorización

Los hongos utilizados provenían del banco de microorganismos del INTA. Estos fueron revigorizados para potenciar su virulencia, para lo cual se preparó una suspensión concentrada de esporas de cada una de las cepas a estudiar. Seguidamente, cinco insectos se sumergieron en cada solución durante un minuto, luego fueron colocados individualmente en un vial de vidrio de 25 ml, conteniendo un trozo de toalla húmeda en el fondo. Los insectos fueron observados diariamente y cuando murieron, se esperaron siete días más, hasta visualizar el crecimiento del hongo sobre el insecto.

El hongo fue re-aislado de los insectos parasitados, cultivando el micelio en el medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA por sus siglas en inglés), acidificado con ácido láctico al 25% a un pH de 4,0. Se corroboró la identidad taxonómica de los hongos mediante sus características morfológicas macro y microscópicas. Además, fueron enviados al laboratorio de genómica del Centro Nacional de Biotecnología (CENIBiot) para su identificación molecular. Los tratamientos utilizados se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en el estudio. San José, Costa Rica. 2013.

Nº tratamiento	Código	Tratamiento
1	INTA-H 29	<i>Beauveria</i> sp. aislamiento usurpadora
2	INTA-H 50	<i>Beauveria</i> sp. aislado de afido <i>Autocarhum solani</i> en cultivo de lechuga.
3	INTA-H-25	<i>Beauveria</i> sp. aislamiento tijerilla (Dermaptera).
4	INTA-H-26	<i>Beauveria</i> sp. aislamiento San Carlos.
5	INTA-H-31	<i>Beauveria</i> sp. aislamiento San Antonio. Aislado de <i>Hypothenemus hampei</i> en cultivo de café
6	INTA-H-28	<i>Beauveria</i> sp. aislamiento 114 cedido por el CATIE.
7	-----	Testigo: agua con Tween al 0,01%

Por cada tratamiento, se utilizaron 50 ml de una solución acuosa estéril con Tween al 0,01% y las esporas del hongo a una concentración de  $1 \times 10^8$  conidias/ml. Para lo anterior, se raspó el hongo revigorizado del medio de cultivo PDA y se agregó a la solución de Tween. La suspensión se agitó vigorosamente durante 4 minutos y se determinó la cantidad de conidias/ml utilizando una cámara de conteo de células (hematocitómetro Neubauer), de ser necesario se ajustó la concentración agregando más hongo o realizando las diluciones necesarias.

## Bioensayo

Se utilizaron 20 picudos por tratamiento, los cuales fueron previamente desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio al 2% por dos minutos, el exceso de cloro se eliminó pasando los insectos por agua destilada estéril (tres lavados). El exceso de humedad se eliminó colocando los insectos en placas Petri estériles con papel absorbente en el fondo.

Los *M hemipterus* de cada tratamiento, fueron sumergidos en la solución de esporas del hongo correspondiente por un minuto, pasándolos luego a placas Petri estériles con papel toalla en el fondo para reducir la humedad. Los insectos fueron colocados en forma individual, en un vial de vidrio estéril con capacidad de 25 ml con papel absorbente en el fondo. Los viales se cubrieron con algodón estéril y papel parafinado para evitar el escape de los picudos.

Los insectos fueron observados a diario y cada dos días se les agregó dos gotas de agua destilada estéril a fin de mantener una humedad relativa alta. Se anotó el día de la muerte y, además se evaluaron las características del micelio producido sobre el insecto.

Para tener alguna forma de clasificar y categorizar el crecimiento micelial, se desarrolló una escala de crecimiento con los parámetros de clasificación que se utilizaron en este estudio.

El parasitismo con *B. bassiana*, se confirmó mediante el re-aislamiento del hongo en PDA, a partir del cuerpo del insecto, utilizando la misma metodología expuesta en la revigorización del hongo.

## Análisis estadístico

Para la determinación de los tiempos de muerte, se utilizó un diseño completamente al azar con repeticiones en el tiempo, con siete tratamientos y 20 repeticiones para un total de 140 unidades experimentales.

Se realizó análisis de varianza para los tiempos letales 50 y 90 ( $TL_{50}$  y  $TL_{90}$ ) a fin de determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de los tratamientos y una comparación de medias mediante la prueba Duncan con un nivel de significancia de 0,05.

Los datos fueron analizados mediante el programa estadístico SAS System Versión 9.

El modelo estadístico para el arreglo de los tratamientos fue el siguiente:

$$Y_{ijh} = \mu + T_i + DDT_j + (t_i * DDT)_{ij} + E_{ijk}.$$

Donde:

$Y_{ijh}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Media poblacional

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

DDT = Efecto del  $j$ -ésimo tiempo

$(t_i * DDT)_{ij}$  = interacción tiempo \* tratamiento

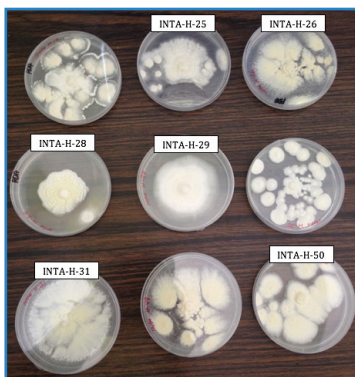
$E_{ijk}$  = Término de error experimental, supuestamente con distribución normal con media cero y varianza constante.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Revigorización e Identificación Molecular

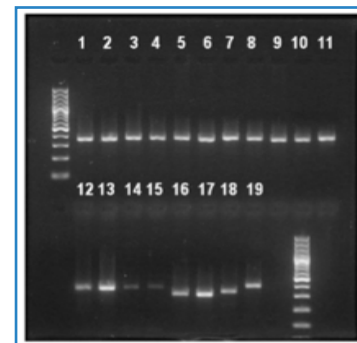
Las cepas de *B. bassiana* incluidas en el estudio fueron revigorizadas mediante la metodología propuesta. Este fue un proceso importante, ya que los hongos han estado inactivos durante su conservación en el banco de microorganismos del INTA, por lo que se requiere reactivar su metabolismo para reestablecer el potencial real que el hongo posee en su capacidad entomopatógena.

Las cepas del hongo *Beauveria* sp., preservadas en el banco de microorganismos del INTA, presentaron diferencias fenotípicas en color, crecimiento en el medio de cultivo artificial, esporulación y textura, así como en la eficacia biológica contra *M hemipterus*. Esta respuesta, hizo que se considerara la posibilidad de la presencia de diferentes especies de *Beauveria* sp. (Figura 1).



**Figura 1.** Diferencias fenotípicas de cepas de *Beauveria* sp. del banco de microorganismos del INTA. Se resaltan los que se utilizaron en este estudio. INTA. 2013.

En la identificación molecular, la amplificación de las regiones 28S fueron satisfactorias (Figura 2) y mediante los análisis de secuencias ADN<sub>r</sub> con ITS todos los hongos analizados pertenecen a la misma especie *Beauveria bassiana*.



**Figura 2.** Electroforesis del producto de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) de un fragmento de subunidad grande (LSU) del gen ribosomal 28S. *Beauveria* INTA (1-6), *Beauveria* control (7). INTA, 2018

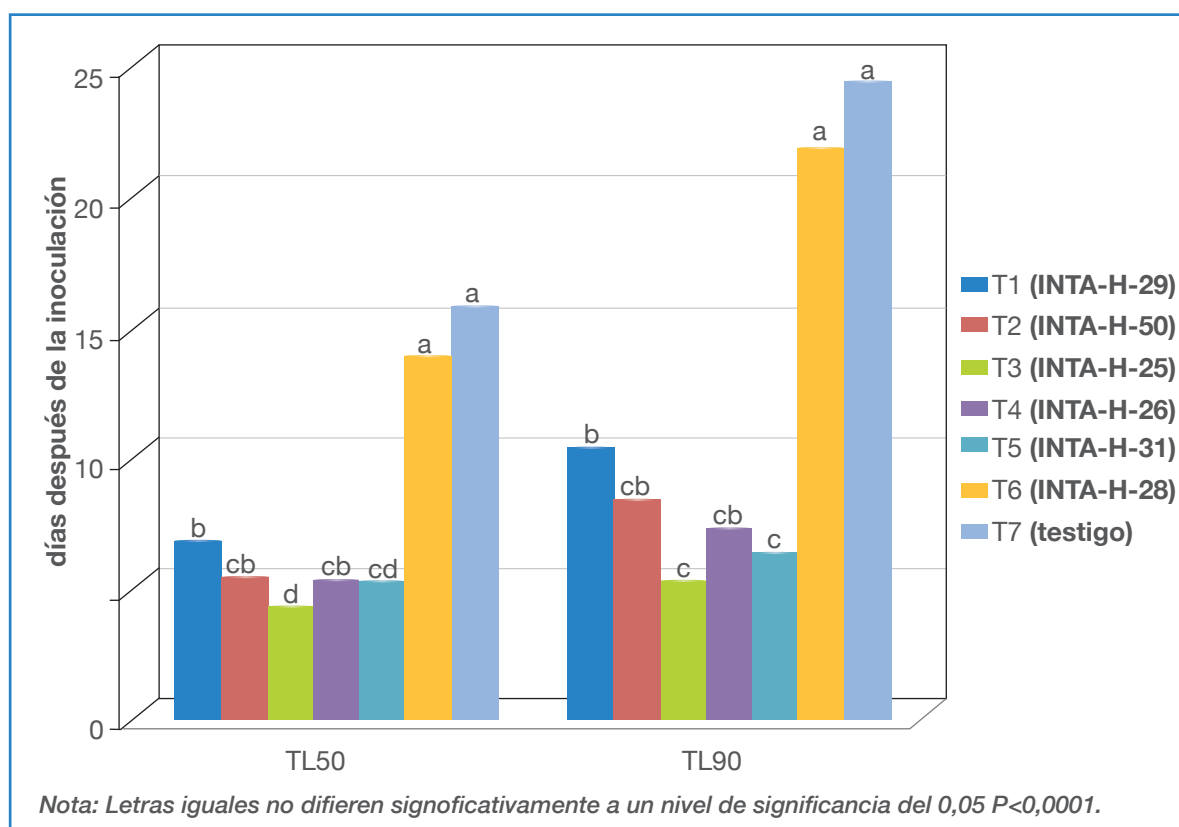
La no detección de especies diferentes en el organismo entomopatógeno estudiado, podría deberse a que las pequeñas características moleculares que los hace fenotípica y biológicamente diferentes, no se detectaron mediante los marcadores moleculares utilizados en la identificación. De acuerdo con estos resultados, se recomienda en el futuro utilizar marcadores moleculares que sean capaces de identificar pequeños cambios en las bases nitrogenadas dentro de un segmento genómico. Al respecto varios autores han logrado encontrar diferencias moleculares entre cepas de la especie *B. bassiana*,

mediante el uso de marcadores de secuencias simples repetidas (SSR por sus siglas en inglés) o microsátelites (Hollingsworth *et al.* 2011, Rehner *et al.* 2011).

## Mortalidad

El análisis de varianza obtuvo resultados altamente significativos con  $p < 0,0001$  y un  $R^2$  de 0,76 a un nivel de significancia de 0,05. Los tratamientos 1, 2, 3, 4 y 5 se diferenciaron estadísticamente del testigo, lo cual no se dio con el tratamiento 6. Los tratamientos 1, 2, 4 y 5 no se diferenciaron estadísticamente entre sí en los





tiempos  $TL_{50}$  y  $TL_{90}$ . El tratamiento 3 se diferenció estadísticamente del resto de los tratamientos según los  $TL_{50}$ , a excepción del tratamiento 5. En el  $TL_{90}$  el tratamiento 3 no se diferenció de los tratamientos 2, 4 y 5. De acuerdo con lo anterior los mejores tratamientos para alcanzar una mortalidad del 50% de la población antes de los cinco días fueron los tratamientos 3 y 5. Para un 90% de mortalidad no se encontró diferencia entre los tratamientos 2, 3, 4 y 5, pero el tratamiento 3 causó una mortalidad del 90% de la población antes de los cinco días, seguido por el tratamiento 5 (Figura 3).



**Figura 3:** Tiempos letal medio ( $TL_{50}$ ) y 90% ( $TL_{90}$ ) del *M. hemipterus* según los días después de la inoculación con *B. bassiana*. INTA. 2013.

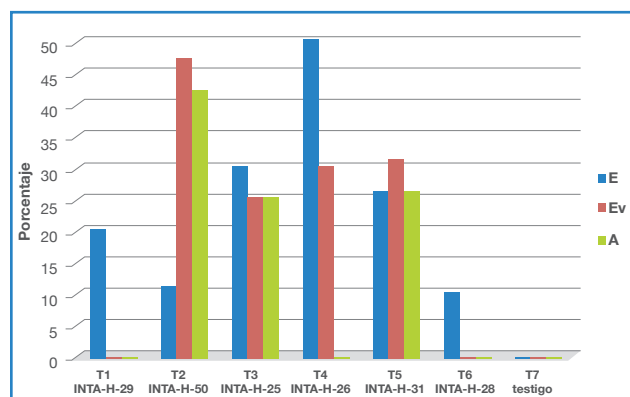
La producción de micelio y esporas en el cuerpo del insecto parasitado, es otro factor importante, además de los tiempos letales, para seleccionar el hongo a ser utilizado en el manejo en campo. Esto porque la producción de micelio y la esporulación favorecerá la dispersión del hongo y el efecto entomopatógeno se incrementa, lo que se favorece también por las características gregarias de *Metamasius hemipterus*.

Al morir todas las unidades experimentales, se observó que los tratamientos presentaron diferencias en el crecimiento sobre el cuerpo del insecto y dado que no se encontró en la literatura una forma de diferenciar este hecho, se desarrolló una escala de crecimiento micelial (Figura 4) con la cual se lograron obtener los porcentajes de cada tratamiento según cada clasificación o categoría.

Crecimiento de micelio sobre el insecto	Clasificación	Apariencia
Sin micelio	0	
Micelio visible solamente en antenas y articulaciones de patas	E: Escaso 1	
Micelio visible entre segmentos de cabeza tórax y abdomen	EV: Evidente 2	
Micelio sobresaliente, que cubre gran parte del cuerpo del insecto.	A: Abundante 3	

**Figura 4.** Escala utilizada en la evaluación del crecimiento y cantidad de micelio del hongo *B. bassiana* sobre *M. hemipterus*. INTA. 2013.

Los porcentajes de clasificación de crecimiento micelial, según el tratamiento se muestran en la Figura 5. En forma general, con el tratamiento 2, un 90 % de los insectos presentó micelio y con el tratamiento 5 un 83%, con muy poca diferencia le siguieron los tratamientos 3 y 4 con un 80%. El tratamiento 4, presentó aproximadamente un 50% de micelio escaso y menos de un 30% de micelio evidente. Los menores porcentajes de desarrollo micelial los obtuvieron los tratamientos 1 y 6 con valores que variaron entre 10 y 20 %. Las características de estos aislamientos dificultarían la diseminación del hongo en campo, al tener pocas estructuras expuestas.



E: Escaso Ev: Evidente A: Abundante

**Figura 5:** Producción de micelio según tratamiento a un 100% de mortalidad. INTA. 2013.

La presencia de micelio sobre el insecto parasitado va a favorecer la transmisión de estructuras infectivas del hongo hacia otros insectos cercanos. Solo tres de los hongos produjeron abundante micelio que cubrió más de la mitad del cuerpo del insecto. Los mayores porcentajes de micelio abundante se dieron con el tratamiento 2, con una incidencia del 41%, seguido por los tratamientos 3 y 5 con un 24% y 25% respectivamente. Los tratamientos 1 y 6 presentaron un micelio escaso, observable en algunas articulaciones de las patas y en la porción distal de las antenas (Figura 5).

En la categoría de micelio evidente, nuevamente el tratamiento 2 con un 46% supero al resto de los tratamientos, observándose micelio en articulaciones de patas, antenas y algo del mismo en cabeza, tórax y abdomen. Le siguieron los tratamientos 3, 4 y 5 con 24 %, 29% y 30% respectivamente.

Se observó que los insectos parasitados con el tratamiento 5 presentaron gran cantidad de conidias, el cual es otro aspecto para tomar en cuenta al seleccionar un hongo, dado el potencial que presenta el poseer estructuras infectivas y de fácil dispersión por el agro-ecosistema.

Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos 2, 3 ,4 y 5 (INTA-H-50, INTA-H-25, INTA-H-26 e INTA-H-31). Se deberán realizar más estudios controlando las condiciones ambientales en las que se desarrolla el insecto plaga ya que este estudio se realizó a una temperatura aproximada de 26 °C y 60% HR condiciones óptimas para el hongo. Además es recomendable realizar estudios en campo con estas tres cepas, para evaluar su eficacia biológica contra *M. hemipterus* ya que la caracterización de diferentes aislamientos, respecto a la preferencia de temperatura y la virulencia contra el organismo plaga, son herramientas útiles en la selección de hongos entomopatógenos dentro de un programa de control biológico bajo condiciones climáticas particulares (Orduño-Cruz *et al.* 2011). Algunos autores indican que el mejor aislamiento debe ser seleccionado en relación con la temperatura a la cual el hospedero normalmente ocurre (Yeo *et al.* 2003).

Varios autores (Feng *et al.* 1985, Pena *et al.* 1995Gindin *et al.* 2006; Ondiaka *et al.* 2008; Orduño-Cruz 2011) han demostrado que hay variación en la susceptibilidad de diferentes aislamientos de

hongos según edad, estado de desarrollo y sexo del insecto plaga, así como las condiciones ambientales a las cuales pueden afectar la biología y ecología de los entomopatógenos. Debido a lo anterior, se

recomienda realizar estudios de eficacia biológica contra estadios inmaduros de *M. hemipterus*, ya que pueden presentar variaciones en la susceptibilidad a las diferentes cepas de *B. bassiana*

## LITERATURA CITADA

Alpízar, D; Fallas, M; Oehlschlager, AC; González, LM; Chinchilla, CM; Bulgarelli, J. 2002. Pheromone mass trapping of the west indian sugarcane weevil and the american plan weevil (Coleoptera: Curculionidae) in palmito palm. Florida Entomologist 85(3):426-430.

Badilla-Fernández, F. 2002. Un programa exitoso de control biológico de insectos plaga de la caña de azúcar en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología 64: 77-87.

Carballo, VM; Arias de López, M. 1994. Evaluation of *Beauveria bassiana* for the control of *Cosmopolites sordidus* and *Metamasius hemipterus* (Coleoptera:Curculionidae) under field conditions. 1994. Manejo Integrado de Plagas 31:22-24.

Feng, Z; Carruthers, RI; Roberts, DW; Robson, DS. 1985. Age specific dose mortality effects of *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) on the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae). Journal Invertebrate Pathology 46: 259-264.

Gindin, G; Levski, S; Glazer, I; Soroker, V. 2006. Evaluation of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* against the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus*. Phytoparasitica 34:370-379.

Giblin-Davis, RM; Pena, JE; Duncan, RE. 1996. Evaluation of an entomopathogenic nematode and chemical insecticides for control of *Metamasius hemipterus sericeus* (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Entomological Science 31:240-251.

Hollingsworth, RG; Lysy, A; Matsumoto, TK. 2011. Preliminary study of genetic variation in Hawaiian isolates of *Beauveria bassiana* (Hypocreales, Cordycepsales). Journal of Invertebrate Pathology 106:422-425

Moraes, APR; Angelo, I da C; Fernandes, EKK; Bittencourt, VREP; Bittencourt, AJ. 2008. Virulence of *Metarhizium anisopliae* to eggs and immature stages of *Stomoxys calcitrans*. Annals of the New York Academy of Sciences 1149:384-387.

Nehei SS; Pavarini, R. 2011. Taxonomic redescription and biological notes on *Diagia angusta* (Diptera, Tachinidae): parasitoid of the palm boring weevils *Metamasius ensirosris* and *M. hemipterus* (Coleoptera Dryophthoridae). ZooKeys 84:23-36.

Ondiaka, S; Maniania, NK; Nyamasyo, GHN; Nderitu, JH. 2008. Virulence of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* to sweet potato weevil *Cylas puncticollis* and effects on fecundity and egg viability. Annals of Applied Biology 153(1):41-48.

Orduño-Cruz, NO; Guzmán-Franco, AW; Rodríguez-Leyva, E; López-Collado, J; Valdéz-Carrasco, JM; Mora-Aguilera, G. 2011. Susceptibility of the cactus weevil *Metamasius spinolae* to *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* under laboratory and field conditions. Journal of Applied Microbiology 111:939-948.

Pena, JE; Gilbin-Davis, RM; Duncan, R. 1995. Impact of indigenous *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin on banana weevil and rotten sugarcane weevil (Coleoptera: Curculionidae) populations in banana in Florida. Journal of Agricultural Entomology 12:163-167.

Rehner, SA; Minnis, AM; Sung, GiHo. 2011. Phylogeny and systematics of theanamorphic, entomopathogenic genus *Beauveria* (en línea). Mycologia 103(5):1055-1073. Consultado 22. may. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.3852/10-302>

Weissling, T; Giblin-Davis, R; Center, B; Heath, R; Peña, J. 2003. Oviposition by *Metamasius hemipterus sericeus* (Coleoptera: Dryophthoridae: Rhynchophorinae). Florida Entomologist. 86:174-177.

Yeo, H; Pell, JK; Alderson, PG; Clark, SJ; Pye, BJ. 2003. Laboratory evaluation of temperature effects on the germination and growth of entomopathogenic fungi and on their pathogenicity to two aphid species. Pest Management Science 59:156-165.



# Variación espacial y temporal de la emisión de óxido nitroso en un suelo dedicado a ganadería de carne en el trópico seco de Costa Rica

J. Montenegro<sup>1</sup>, E. Barrantes<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Variación espacial y temporal de la emisión de óxido nitroso en un suelo dedicado a ganadería de carne en el trópico seco de Costa Rica.** Con el objetivo de determinar el efecto de la topografía y de la época climática en la emisión del óxido nitroso en una pastura de *B. brizantha* bajo pastoreo con ganado de carne en el trópico seco de Costa Rica y estimar la emisión anual de este gas, se implementaron cuatro experimentos. El primero de ellos se efectuó de abril a mayo en la transición de la época seca a la lluviosa; el segundo se estableció de agosto a setiembre durante la época lluviosa; el tercero se realizó de noviembre a diciembre en la transición de la época lluviosa a la seca. Finalmente el último de ellos se estableció de febrero a marzo durante la época seca. Cada uno de ellos consideró tres estratos topográficos: alto (A) y relativamente plano (<5° de inclinación); medio (M) con pendiente aproximada del 20% y, bajo (B) con pendiente similar al estrato A. Utilizando la técnica de la cámara estática se recolectaron muestras gaseosas hasta 30 días después de la salida de los bovinos en pastoreo. Se determinó el efecto de la topografía ( $P < 0,051$ ) en los niveles de emisión, siendo inferior los valores en el estrato M. Con respecto a la época climática, esta también mostró influencia en la emisión del  $N_2O$  ( $P < 0,047$ ) ya que durante la época seca se observaron los menores valores. En consecuencia, aún en el trópico se debe considerar la época del año, así como también la topografía cuando se va a desarrollar investigación tendiente a la obtención de un factor de emisión.

**Palabras clave:** Topografía, época climática, pastoreo, trópico, gases con efecto invernadero, cambio climático.

## ABSTRACT

**Spatial and temporal variation of nitrous oxide emission in a soil dedicated to livestock farming in the dry tropics of Costa Rica.** With the objective of determining the topographic and seasonal climatic effect on the emission of nitrous oxide in a pasture of *B. brizantha* under grazing with beef cattle in the dry tropics of Costa Rica, and to estimate the annual emission of this gas, four experiments were implemented. The first one was carried out from April to May in the transition from the dry to the rainy season; the second was established from August to September during the rainy season; the third was carried out from November to December in the transition from the rainy to the dry season. Finally the last one was established from February to March during the dry season. Each of them considered three topographic strata: high (A) and relatively flat (<5° inclination); medium (M) with an approximate slope of 20% and, low (L) with a slope similar to stratum A. Using the static chamber technique, gaseous samples were collected up to 30 days after the grazing time. Was determined effect of topography ( $P < 0.051$ ) on the emission levels, being lower the values in the stratum M. With respect to the climatic season, this also showed influence in the emission of  $N_2O$  ( $P < 0.047$ ) since during the dry season the lowest values were observed. Consequently, even in the tropics, the climatic effect has be considered, as well as the topography when research is being carried out to obtain an emission factor.

**Keywords:** Topography, climatic season, grazing, tropic, greenhouse gases, climate change

1 Investigador en Cambio Climático y Agricultura, Convenio: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Agropecuaria (INTA) – Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Costa Rica. jmontenegro@imn.ac.cr, jmontenegro@inta.go.cr. Teléfono (506) 2222-5616 / Fax (506) 2223-1837.

2 Director de Investigación y Transferencia, Universidad Técnica Nacional - Sede Atenas, Alajuela, Costa Rica. ebarrantes@utn.ac.cr Teléfono (506) 2455-1004.

Recepción: 08.07.2019. Aceptación: 28.10.2019.

## INTRODUCCIÓN

El óxido nitroso ( $N_2O$ ) es un potente gas con efecto invernadero (GEI) que tiene un potencial de calentamiento 310 veces mayor al del dióxido de carbono ( $CO_2$ , IPCC, 2006). Globalmente la emisión de este gas ha sido estimada en alrededor de 17,7 Tg de N por año (IPCC, 2007), siendo el sector agrícola una importante fuente, aunque existe bastante incertidumbre asociada con estos estimados (Hirsch *et al.* 2006). Por esta razón, se requiere que la cuantificación del  $N_2O$  sea lo más precisa posible, no solo para conocer la emisión, sino también para mejorar la precisión de los inventarios de gases con efecto invernadero.

El  $N_2O$  se forma mediante los procesos de nitrificación y denitrificación que ocurren en el suelo y son los responsables de la emisión de este gas en suelos agrícolas. La nitrificación es la oxidación aeróbica de  $NH_4^+$  a  $NO_3^-$ , mientras que la denitrificación es el proceso de reducción de  $NO_3^-$  a  $N_2$ . Este proceso puede ser completo, dando como resultado  $N_2$ , o puede ser incompleto, y una fracción variable de N puede emitirse como  $N_2O$  (Signor y Pellegrino 2013).

De acuerdo con Snyder *et al.* (2009), diferentes características del suelo influyen en estos procesos, siendo la temperatura y la densidad del suelo importantes en la nitrificación, mientras que para la denitrificación es el contenido de agua del suelo. Sin embargo, debido a que la temperatura del suelo no varía mucho en el trópico, el contenido de agua del suelo es el factor más significativo que afecta las variaciones temporales y espaciales de la respiración del suelo (Davidson *et al.* 2000) ya que controla la actividad microbiana y los procesos relacionados, por lo que se convierte en el parámetro de suelo más importante para la emisión de gases.

Debido a que las bacterias productoras de  $N_2O$  requieren condiciones anaeróbicas, la mayor producción de este gas nitrogenado se presenta cuando el espacio poroso lleno de agua (EPA) es de aproximadamente 60%; consecuentemente valores de EPA inferiores a 30% conllevan a producciones bajas de  $N_2O$  (Gao *et al.* 2014). Es por ello que cuando se presentan períodos de sequía se reducen de manera importante la emisión de este gas, e inclusive en algunas ocasiones el suelo podría convertirse en un sumidero de  $N_2O$  tal y como se ha

observado en bosques (Goldberg y Gebauer 2009) y algunos cultivos (Meijide *et al.* 2009).

Existe muy poca información disponible para el trópico de la cuantificación del  $N_2O$  en suelo bajo pastoreo con ganado de carne. En Costa Rica, evaluaciones previas han sido realizadas en trabajos de corta duración con *Ischaemum indicum* e *Hypharrena rufa* ambas sin fertilizar, reportándose emisiones de 2,58 y 3,9 ng  $N_2O$ -N  $cm^{-2} h^{-1}$  respectivamente (Montenegro y Abarca 2001). Más recientemente en pasturas de *Kikuyuochloa* clandestina bajo pastoreo de ganado de leche y sin fertilización, Montenegro y Herrera (2012) determinaron emisiones anuales de 0,89 ng  $N_2O$ -N  $cm^{-2} h^{-1}$ .

Un trabajo previo realizado por Veldkam *et al.* (1998) mostró emisión promedio anual de  $2,67 \pm 1,44$  ng  $N_2O$ -N  $cm^{-2} h^{-1}$  en pasturas de *Ischaemum indicum* y de  $4,88 \pm 2,06$  ng  $N_2O$ -N  $cm^{-2} h^{-1}$  para *B. brizantha* asociado con la leguminosa *Arachis pintoi*, ambos sin fertilización y pastoreadas por vacas lecheras en el trópico húmedo de Costa Rica.

En Colombia, Pastrana *et al.* (2011) determinó con diferentes accesiones (679, 16888, 26159) de *B. humidicola* sin fertilizar, que esta especie y particularmente la accesión 16888 parece tener un efecto inhibitorio de la nitrificación y en consecuencia, hace que las emisiones de este gas sean sumamente bajas (Subbarao *et al.* 2013). De igual forma Schumann (2013) en Brasil utilizando *B. brizantha* pastoreado y sin fertilizar, determinó un rango de emisión desde -0,06 hasta 12,5 ng  $cm^{-2} h^{-1}$  con un promedio de 2,5 ng  $cm^{-2} h^{-1}$ .

Por otra parte, existe información previa que muestra la influencia de las condiciones climáticas en los niveles de emisión del  $N_2O$  (Du, Lu y Wang 2006; van der Weeden *et al.* 2016) en diferentes latitudes pero no en el trópico.

Flechard *et al.* (2007) demostraron el efecto del clima en la emisión del  $N_2O$  en pasturas ubicadas a través de Europa. De igual manera Kiese *et al.* (2003) reportaron que en Australia las variaciones en la emisión de este gas están estrechamente relacionadas con la lluvia, la cual influye directamente en la humedad del suelo, que como se

mencionó anteriormente, es un factor condicionante para la formación de este gas. En el trópico, la lluvia es la variable que marca cambios en las épocas climáticas.

Adicionalmente, variaciones propias del terreno como la topografía también han mostrado tener influencia en la emisión de  $N_2O$  (Izaurre et al. 2004; Vilain et al. 2010; Sakata et al. 2016) ya que influye en la temperatura y humedad del suelo (Luizao et al. 2004; Leiva et al. 2015) y con ello en la actividad de nitrificadores y denitrificadores (Zhu et al. 2013). Sin embargo, tanto el efecto del clima como de la topografía en la emisión de este gas, solo se ha evaluado en otras latitudes.

Sin embargo, hasta la fecha no existe estudio alguno en Costa Rica que evalúe el efecto de la

época climática y la topografía en la emisión de  $N_2O$ , por lo que existe la necesidad de generar este tipo de información para incluirla dentro del proceso de desarrollo de factores de emisión nacional, dadas las características topográficas y climáticas bajo las cuales se desarrolla la actividad agrícola en nuestro país. Sin duda, esto contribuirá de manera significativa a conocer de manera más precisa la emisión de gases con efecto invernadero en el sector agrícola, aspecto que es fundamental para el desarrollo de opciones de mitigación.

Por lo anteriormente expuesto, los objetivos de esta investigación fueron: determinar el efecto de la topografía y de la época climática en la emisión del óxido nitroso en una pastura de *B. brizantha* bajo pastoreo con ganado de carne en el trópico seco de Costa Rica y estimar la emisión anual de este gas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en la Universidad Técnica Nacional (UTN), Sede Atenas (450 msnm), Costa Rica, en un clima típico del ecosistema de bosque seco tropical, con un promedio anual de 2.131 mm de lluvia y 26°C de temperatura. Esta región presenta seis meses sin lluvia, período que se extiende de noviembre a abril.

Los experimentos se establecieron en una pastura de *Brachiaria brizantha* con más de cinco años de sembrada, seleccionándose un apartado de topografía variable y típica de la región, la cual se caracteriza por la presencia de pendientes de variable inclinación así como también, partes planas.

Esta pastura no recibió fertilización alguna, ni ningún tipo de insumo químico, siendo pastoreada con ganado cebuino de carne (2 UA ha<sup>-1</sup>) con ciclos que variaron dependiendo de la época del año. Durante la época lluviosa (mayo-noviembre) se pastoreó cada 35-40 días, mientras que durante la época seca los pastoreos se realizaron de manera continua con baja carga animal (0,75 UA ha<sup>-1</sup>), época durante la cual se les proporcionó pacas de *Brachiaria* a los animales.

### 2.1. Emisión de óxido nitroso

#### 2.1.1. Efecto de topografía

Para determinar el efecto de la topografía en la emisión del óxido nitroso se seleccionó un apartado de 3,6 ha por su representatividad de la pendiente con relación al panorama de la zona y esta se clasificó en tres estratos topográficos: alto (A) y relativamente plano (<5° de inclinación); medio (M) con pendiente aproximada del 20% y bajo (B) con pendiente similar al estrato A. El mismo apartado y estratos seleccionados se utilizaron para todos los experimentos.

#### 2.1.2. Efecto de la época del año

Para determinar la variación temporal en la emisión de óxido nitroso se establecieron cuatro experimentos. El primero de ellos, se efectuó de abril a mayo en la transición de la época seca a la lluviosa; el segundo se estableció de agosto a setiembre durante la época lluviosa; el tercero se realizó de noviembre a diciembre en la transición de la época lluviosa a la seca. Finalmente el último de ellos se estableció de febrero a marzo durante la época seca. En cada uno de los experimentos y en cada estrato topográfico (A, M, B) se colocaron tres cámaras estáticas distribuidas de manera aleatoria; en el caso del estrato M las cámaras fueron colocadas horizontalmente con respecto a la pendiente.

### 2.1.3. Muestreo de N<sub>2</sub>O

En cada uno de los experimentos los muestreos de gas se iniciaron el día siguiente de la salida de los bovinos en pastoreo. Los muestreos de gases se realizaron durante las mañanas (entre las 9:00 a.m. y 12 md), y para capturar el gas se utilizó la técnica de la cámara estática, de 30 cm de alto y circunferencia de 94,2 cm, provista de un septum por donde se recolectó la muestra gaseosa utilizando una jeringa y trasvasando inmediatamente a viales de vidrio previamente evacuados al vacío. En cada cámara y cada día de muestreo se colectaron dos muestras, una al momento de colocarla en el campo (t<sub>0</sub>) y otra 45 minutos después (t<sub>1</sub>) (Luo *et al.* 2011, Berneze *et al.* 2014, Bell *et al.* 2015).

En cada estrato topográfico se colocaron tres cámaras estáticas y para cada una de ellas, se realizó la recolección de las muestras gaseosas considerando que mayores emisiones de N<sub>2</sub>O se presentan durante los primeros días luego de la salida de los animales en pastoreo (Montenegro y Herrera 2012). De manera que la primera semana luego del pastoreo se muestreó diariamente para reducirse a tres y dos días en las subsiguientes dos semanas. Posterior a ello se muestreó un día la siguiente semana donde se completó el muestreo que se realizó hasta 30 días después de la salida de los bovinos del aparcadero. En total se muestreó durante 13 días.

### 2.1.4. Análisis de las muestras gaseosas

Las muestras gaseosas se analizaron en el Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), utilizando un cromatógrafo de gases (Agilent Modelo 7890A Santa Clara, CA, Estados Unidos) equipado con un detector de captura de electrones (ECD). La concentración de N<sub>2</sub>O en las muestras gaseosas se determinó por interpolación a partir de las curvas de calibración construidas con estándares de concentración conocida y trazable a NIST (Scott-Marrin, Inc., Ca.). Como control de calidad se utilizaron muestras estándar las cuales se analizaron intercaladamente con las muestras provenientes del campo.

### 2.1.5. Flujo acumulado

El flujo acumulado se calculó integrando todos los valores para cada experimento y para ello se utilizó el método de integración trapezoidal mediante

la función “suma-producto” en Excel. El valor total anual se obtuvo mediante la multiplicación de la emisión promedio diaria de cada época, por la duración de la misma y luego se sumaron los cuatro productos.

### 2.1.6. Mediciones adicionales

#### 2.1.6.1 Humedad y temperatura del suelo

Se realizaron muestreos del suelo para determinar el contenido de humedad del mismo. Para ello se utilizó un barrenador y se recolectaron muestras de suelo (0-10 cm de profundidad) a la par de cada cámara de donde se recolectó la muestra de gas y de cada uno de los niveles topográficos (A, M, y B) durante el ciclo completo de muestreo de la pastura.

Cada muestra de suelo se depositó en una bolsa plástica previamente identificada, posteriormente el suelo se introdujo en una estufa a 60°C, previo a la respectiva determinación del peso húmedo y luego de 48 horas se determinó el peso seco por gravimetría.

La temperatura del suelo se determinó a 10 cm de profundidad, con un termómetro digital cerca del lugar donde se recolectaron las muestras para humedad de suelo.

#### 2.1.6.2. Densidad aparente del suelo

También se determinó la densidad aparente del perfil superficial del suelo (0-10cm), utilizándose un cilindro metálico de 5,2 cm de diámetro y 10 cm de longitud. Las muestras se recolectaron de sitios cercanos al lugar donde se ubicaron las cámaras estáticas.

#### 2.1.6.3. Humedad del suelo

Los resultados de la humedad gravimétrica y densidad aparente se utilizaron para determinar el espacio poroso lleno de agua (EPA). El EPA utiliza una escala de 0% (suelo completamente seco) a 100% (suelo sobre saturado de agua), en el cual entre 30% (punto de marchitez permanente) y 60% (capacidad de campo) se encuentra el agua disponible para las plantas, condición que se asocia con adecuados contenidos de humedad y oxígeno para la actividad microbiana del suelo.

En consecuencia, conforme los valores del EPA se incrementan de 60% de igual forma se aumenta la limitación de oxígeno del suelo y con ello se favorecen las condiciones para la formación del N<sub>2</sub>O (Linn y Doran 1984).

#### 2.1.6.4. Datos climáticos

Se obtuvo información diaria de precipitación y temperatura del aire correspondiente a cada período experimental de una estación meteorológica, propiedad del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), ubicada a menos de 1 Km del sitio experimental.

#### 2.1.6.5. Análisis estadístico

Los resultados de los análisis de las muestras gaseosas se analizaron de acuerdo con un diseño de bloques al azar repetido en el tiempo. Se realizaron comparaciones de medias usando la diferencia mínima significativa de Infostat (Di Rienzo *et al.* 2015) y utilizando la prueba de Tuckey al 5%.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Topografía

Se determinó efecto ( $P < 0,051$ ) de la topografía en la emisión acumulada de óxido nitroso, donde la menor emisión se observó en el estrato medio (M), mientras que superiores y similares entre sí se determinaron en los restantes dos estratos (Cuadro 1).

#### 3.2. Época climática

La época climática mostró ser importante en la emisión de este gas, donde los menores ( $P < 0,047$ ) valores se determinaron durante el período seco (Cuadro 2), siendo superiores y similares entre sí en las restantes épocas. En consecuencia, se observó un patrón de emisión donde estas tienden a ser superiores durante las épocas lluviosas (Figura 1).

Cuadro 1. Emisión diaria de N<sub>2</sub>O-N, proveniente del suelo cubierto por *B. brizantha*, según estrato topográfico. Atenas, Costa Rica. 2016.

Estrato topográfico	g N <sub>2</sub> O-N ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	EE
Alto	0,85 <sup>a</sup>	0,22
Medio	0,35 <sup>b</sup>	0,14
Bajo	0,82 <sup>a</sup>	0,21

Valores promedio con diferente letra difieren al nivel  $P < 0,05$ , EE: error estándar.

Cuadro 2. Emisión diaria de N<sub>2</sub>O-N proveniente del suelo cubierto por *B. brizantha*, según época climática. Atenas, Costa Rica. 2016.

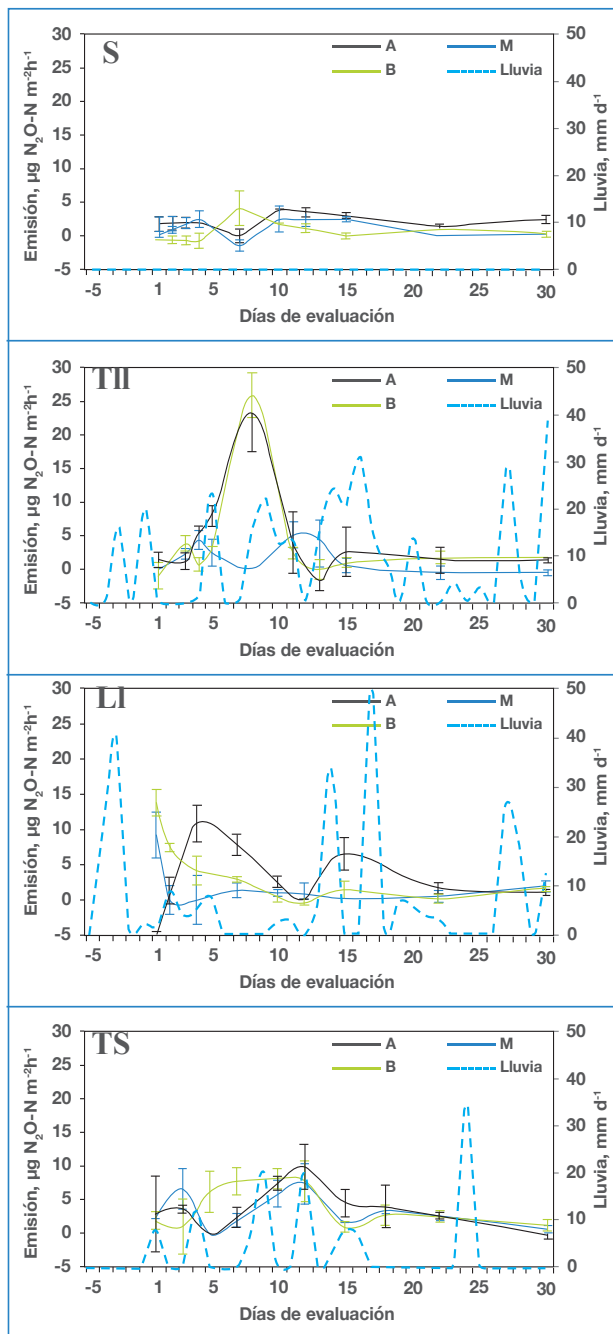
Época climática	g N <sub>2</sub> O-N ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	EE
Seca	0,16 <sup>b</sup>	0,09
Transición a lluvias	0,96 <sup>a</sup>	0,32
Lluviosa	0,71 <sup>a</sup>	0,19
Transición a seca	0,86 <sup>a</sup>	0,27

Valores promedio con diferente letra difieren al nivel  $P < 0,05$ , EE: error estándar.

El patrón de emisión también muestra que los eventos de emisión del N<sub>2</sub>O se presentan principalmente durante los primeros 10 días de evaluación, particularmente durante la transición a la época lluviosa (Figura 1B) y durante esta (Figura 1C).

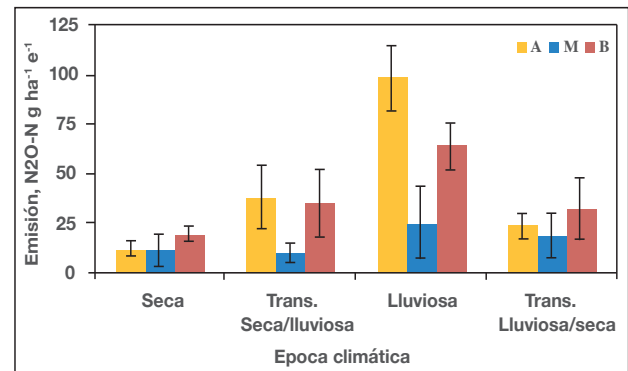
Aun y cuando no se determinó interacción significativa entre época climática y topografía, las emisiones fueron menores en el estrato medio (Figura 2) como resultado del movimiento del agua en el suelo, que no se acumula por la fuerza gravitacional, y en consecuencia no se presentan condiciones propicias para la generación del gas en estudio.

Esto se puede apreciar claramente en la Figura 2, en la cual se observa que este estrato topográfico tiende a tener menores contenidos de humedad en el suelo.



Época climática: S: Seca; TII: Transición a lluvia; LI: Lluviosa; TS: Transición a seca; Estrato topográfico: A: Alto; B: medio; B: bajo

**Figura 1.** Flujos de N<sub>2</sub>O-N determinados en diferentes épocas climáticas en un suelo con *B. brizantha* en el trópico seco de Costa Rica. 2016.



**Figura 2.** Emisión de N<sub>2</sub>O-N determinados en diferentes épocas climáticas y estrato topográfico en un suelo con *B. brizantha* en el trópico seco de Costa Rica. 2016.

### 3.3. Humedad del suelo

A pesar de que no se determinó correlación alguna entre humedad del suelo y emisión, esta última fue mayor para los estratos A y B en las épocas donde se presentan lluvias (Figura 2). Durante la época seca los contenidos de agua en el suelo fueron muy bajos (inferiores a 30% de EPA, Figura 3S) y los valores de emisión también (Figuras 2 y 1S).

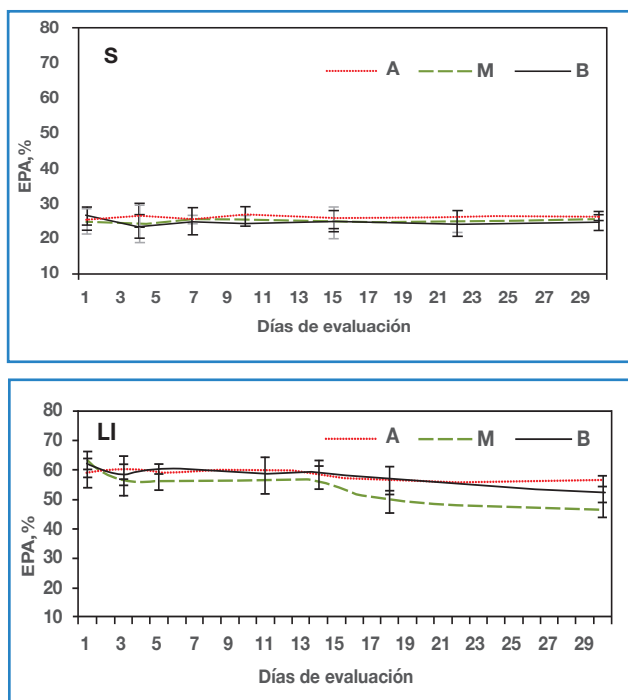
En la época lluviosa la humedad del suelo se mantuvo entre 60 y 50% de EPA (Fig. 3LI) y se determinaron mayores valores de emisión (Figs. 1LI y 2).

Con respecto a la temperatura del suelo, fue similar entre las diferentes posiciones topográficas en las diferentes épocas climáticas, y mostró un rango entre 25,4 y 30,1 °C, y no hubo relación estadística alguna con la emisión del N<sub>2</sub>O.

### 3.3. Factor de emisión

El factor de emisión determinado varió con la topografía, fue inferior para el estrato medio y mayor en el estrato alto e intermedio en la zona baja (Cuadro 3) cuando este se calculó por unidad de área para cada estrato.

La topografía es un factor que influye en la emisión del N<sub>2</sub>O, aspecto que ha sido mencionado por diferentes investigadores (Vilain *et al.* 2010; Sakata *et al.* 2016; Arias *et al.* 2017), quienes de manera similar a la determinada en la presente investigación, detectaron menos emisión de este gas en el estrato topográfico medio (M).



**Figura 3.** Humedad del suelo expresada como EPA, según estrato topográfico, para la época seca (S) y lluviosa (LI) en el trópico seco de Costa Rica. 2016.

Cuadro 3. Emisión anual de N<sub>2</sub>O-N proveniente del suelo cubierto por *B. brizantha*, según estrato topográfico. Atenas, Costa Rica. 2016.

Estrato topográfico	kg N <sub>2</sub> O-N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	EE
Alta	0,267	0,123
Media	0,101	0,113
Baja	0,235	0,086

Valores promedio con diferente letra difieren al nivel P<0,05, EE: error estándar.

Esto puede ser explicado por diferentes razones; una de ellas es la humedad del suelo (Vilain *et al.* 2010, 2011; Negassa *et al.* 2015). La topografía influye en ella, debido a que la escorrentía superficial y el drenaje sub-superficial es más rápido en las pendientes que en las partes planas (Fang *et al.* 2009), por lo que en una topo-secuencia ellas son más secas.

En nuestra investigación ello se reflejó en el espacio poroso lleno de agua (EPA), el cual fue menor en el estrato topográfico medio (M) con respecto al A y B, en la medición realizada durante la época lluviosa (Figura 3LI) y aunque no hubo

correlación estadística con la emisión del N<sub>2</sub>O como la reportada en otros estudios (Negassa *et al.* 2015; Arias *et al.* 2017), si se observó una clara tendencia que a mayor EPA mayor emisión (Figuras. 1 y 3). Probablemente se requieren mayores niveles de humedad para lograr establecer una correlación estadística entre ambas variables (Arias *et al.* 2017).

La emisión de N<sub>2</sub>O fue mayor en los estratos A y B (Figura 2) durante la medición realizada en la época lluviosa cuando el EPA era de aproximadamente 60% (Figura 3LI), condición que favoreció la formación del N<sub>2</sub>O (Linn y Doran 1984; Gao *et al.* 2014). Mayores emisiones en posiciones altas o bajas de pendientes han sido reportadas por diferentes investigadores (Arias *et al.* 2017).

El efecto del estrato topográfico en la emisión del N<sub>2</sub>O durante la estación seca fue nulo comparado con aquellas determinadas en la época lluviosa o de transición a esta (Figuras 1 y 2). La razón es que la humedad del suelo ejerce un efecto controlador de la actividad microbiana y de diferentes procesos que ocurren en el suelo (Signor y Pellegrino 2013). Por ello cuando la humedad del suelo es muy baja, menor al 30% como la determinada durante el período seco (Figura 3S), la emisión del N<sub>2</sub>O (Figura 1S, Cuadro 2) fue muy reducida (Gao *et al.* 2014; Montenegro, Barrantes e Ivanckovich 2019).

En pasturas sin fertilizar, el reciclaje de nitrógeno (N) que realizan los bovinos en pastoreo es muy importante para la sostenibilidad del sistema productivo y contribuye a explicar las diferencias observadas en la emisión del gas en evaluación (Bhandral *et al.* 2007; de Klein *et al.* 2014).

La deposición de las excretas sólidas y líquidas, debido al contenido de N, tiene una marcada influencia en la emisión del N<sub>2</sub>O (Rafique, Hennessy y Kiely 2011). En este sentido, el patrón de comportamiento durante el pastoreo y el descanso de los bovinos influyen la distribución de las deposiciones y con ello la posterior emisión del N<sub>2</sub>O (Saggar *et al.* 2015).

Cuando la topografía es irregular, como en el caso del apartado donde se realizaron las determinaciones de la presente investigación, los bovinos tienden a pastorear por mayores lapsos en las partes altas y bajas que en aquellos lugares con pendiente. Además, los descansos los realizan

básicamente en esos mismos estratos topográficos (de Klein *et al.* 2014; Saggar *et al.* 2015) y ello implica mayor cantidad de deposiciones en A y B. Como resultado se presenta mayor emisión en los mencionados estratos (Cuadro 1).

También hay que considerar que compuestos nitrogenados como el nitrato, un precursor del  $N_2O$ , al ser hidrosoluble se mueve con el agua pendiente abajo. Menores concentraciones de este compuesto nitrogenado fueron asociadas con bajas emisiones de este gas en el estrato topográfico medio (Montenegro 2013) y con ello contribuye a explicar los menores valores de emisión determinados en M (Cuadro 1).

En lo que respecta a los factores de emisión determinados en la presente investigación, los mismos se encuentran en el rango reportado por Schumann (2013) en Brasil para pasturas sin fertilizar. En Guyana, Petitjean *et al.* (2015) y Meurer *et al.* (2016) en Brasil determinaron valores (0,88 y 0,90 kg  $N_2O-N ha^{-1} a^{-1}$ , respectivamente) similares a las detectadas en esta investigación. Mayor emisión (1,2 kg  $N_2O-N ha^{-1} a^{-1}$ ) fue reportada por Piotto (2016) en Brasil para pasturas de *B. brizantha* cv Marandú.

Por otra parte, el clima y las variaciones estacionales del mismo que ocurren a lo largo del año, han sido mencionadas como factores importantes que influyen en la emisión de  $N_2O$ . En este sentido y de acuerdo con van der Weerden *et al.* (2016), gran parte de la variación observada en las emisiones de óxido nitroso se explican por el efecto de las estaciones del año; esto coincide con nuestros resultados los cuales mostraron que la mayor variación en la emisión anual se presentó por las épocas climáticas típicas que se presentan a lo largo del año (Cuadro 2, Figura 2).

Los valores de emisión fueron mayores durante la época lluviosa comparada con la detectada en la

época seca. En este sentido, previas evaluaciones realizadas en una pastura en un sistema de producción de leche por Montenegro, Barrantes e Ivanckovich (2019) mostraron el efecto de la época del año en la emisión del  $N_2O$ . Estos resultados también son coincidentes con los reportados en la Amazonía brasileña con pasto *Brachiaria brizantha* cv Marandú (Nogueira *et al.* 2015) donde se determinaron variaciones importantes en la emisión del  $N_2O$  como resultado de la época climática. De igual forma Luo *et al.* (2007) en Nueva Zelandia, reportaron variaciones importantes en el factor de emisión como resultado de la época climática, ya que detectaron un rango desde 0% durante la época seca, hasta 1,56% para la época lluviosa. La misma tendencia fue determinada por Wang *et al.* (2016) en Australia.

Las variaciones estacionales y espaciales, representadas por la época del año y la topografía, mostraron ser de importancia y deben ser consideradas cuando se desarrolla investigación tendiente a la obtención de factores de emisión.

La emisión del óxido nitroso fue baja durante la época seca y las mayores emisiones se presentaron cuando se presentan las lluvias, lo cual mostró la influencia directa del nivel de humedad del suelo en la emisión. Por su parte el estrato topográfico medio fue donde se presentaron las menores emisiones en comparación con las observadas en los estratos alto y bajo.

Por esta razón se requiere considerar las variaciones estacionales del clima que ocurren a lo largo del año cuando se desarrollan factores de emisión, ya que la emisión varía sustancialmente entre la época seca y la lluviosa.



## LITERATURA CITADA

- Arias, C; Díaz-Pinés, E; Klatt, S; Brandt, P; Rufino, M; Butterbach-Bahl, K; Verchot, L. 2017. Spatial variability of soil N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> fluxes in different topographic positions in a tropical montane forest in Kenya. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 122:514–527.
- Barneze, A; Mazzetto, A; Zani, C; Misselbrook, T; Cerri, C. 2014. Nitrous oxide emissions from soil due to urine deposition by grazing cattle in Brazil. *Atmospheric Environment* 92:394–397. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.04.046
- Bell, M; Rees, R; Cloy, J; Topp, C; Bagnall, A; Chadwick, R. 2015. Nitrous oxide emissions from cattle excreta applied to a Scottish grassland: Effects of soil and climatic conditions and a nitrification inhibitor. *Science of the Total Environment* 508:343–353. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.008
- Bhandral, R; Saggar, S; Bolan, N; Hedley, M. 2007. Transformation of nitrogen and nitrous oxide emission from grassland soils as affected by compaction. *Soil and Tillage Research* 94:482–492.
- Davidson, E; Verchot, L; Cattanio, J; Ackerman, I. 2000. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry* 48(1):53–69.
- de Klein, C; Shepherd, M; van der Weerden, T. 2014. Nitrous oxide emissions from grazed grasslands: interactions between the N cycle and climate change—a New Zealand case study *Current Opinion in Environmental Sustainability* 9:131–139.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Du, R; Lu, D; Wan, G. 2006. Diurnal, seasonal, and inter-annual variations of N<sub>2</sub>O fluxes from native semi-arid grassland soils of inner Mongolia. *Soil Biology and Biochemistry* 38(12):3474–3482.
- Fang, Y; Gundersen, P; Zhang, W; Zhou, G; Christiansen, J; Mo, J; Dong, S; Zhang, T. 2009. Soil-atmosphere exchange of N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> along a slope of an evergreen broad-leaved forest in southern China. *Plant Soil* 319(1–2):37–48.
- Flechard, C; Ambus, P; Skiba, U; Rees, R; Hensen, A; van Amstel, A; van den Pol-van, A; Soussana, JF; Jonesk, M; Clifton-Brown, J; Raschi, A; Horvath, L; Neftel, A; Jocher, M; Ammann, C; Leifeld, J; Fuhrer, J; Calanca, P; Grosz, B. 2007. Effects of climate and management intensity on nitrous oxide emissions in grassland systems across Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 121(1–2):135–152.
- Gao, B; Ju, X; Su, F; Meng, Q; Oenema, O; Christie, P; Chen, X; Zhang, F. 2014. Nitrous oxide and methane emissions from optimized and alternative cereal cropping systems on the North China Plain: a two-year field study. *Science of the Total Environment* 472:112–124.
- Goldberg, S; Gebauer, G. 2009. N<sub>2</sub>O and NO fluxes between a Norway spruce forest soil and atmosphere as affected by prolonged summer drought. *Soil Biology and Biochemistry* 41:1986–1995.
- Hirsch, A; Michalak, A; Bruhwiler, L; Peters, W; Dlugokencky, E; Tans, P. 2006. Inverse modeling estimates of the global nitrous oxide surface flux from 1998–2001. *Global Biogeochem Cycles*. 20:1–17.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual*, 4. Intergovernmental Panel on Climate Change. 128 p. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Summary for policy makers, in: *Climate Change 2007: The physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In Solomon, S; Qin, D; Manning, M; Chen, Z; Marquis, M; Averyt, KB; Tignor, M; Miller, HL (eds.) Cambridge, UK and New York, USA. Páginas.

- Izaurrealde, R; Lemke, R; Goddard, T; McConkey, B; Zhang, Z. 2004. Nitrous oxide emissions from agricultural toposequences in Alberta and Saskatchewan. *Soil Science Society of America Journal* 68:1285-1295.
- Kiese, R; Hewett, B; Graham, A; Butterbach-Bahl, K. 2003. Seasonal variability of N<sub>2</sub>O-emissions and CH<sub>4</sub>-uptake from/by a tropical rainforest soil of Queensland, Australia. *Global Biogeochemical Cycles* 17(2):1043.
- Leiva, N; Rubiano, Y; Peña, A. 2015. Evaluation of soil moisture using topographic (DEM), climate and soil parameters in a piedmont area of Villavicencio. *Revista EIA* 12(2):E61-E75.
- Linn, D; Doran, J. 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal*, 48:1267-1272.
- Luo, J; van der Weerden, T; Hoogendoorn, C; de Klein, C. 2011. Determination of the N<sub>2</sub>O emission factor for animal dung applied in spring in three regions of New Zealand. *MAF Technical Paper No: 2011/30*
- Luo, J; Ledgard, S; Lindsey, S. 2007. Nitrous oxide emissions from application of urea on New Zealand pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 50:1-11.
- Luizao, R; Luizao, F; Paiva, R; Monteiro, T; Sousa, L; Kruijt, B. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology* 10:592-600.
- Mejjide, A; Garcia-Torres, L; Arce, A; Vallejo, A. 2009. Nitrogen oxide emissions affected by organic fertilization in a non-irrigated Mediterranean barley field. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132(1-2):106-115.
- Meurer, K; Franko, U; Stange, C; Dalla, J; Madari, B; Jungkunst, H. 2016. Direct nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) fluxes from soils under different land use in Brazil—a critical review. *Environmental Research Letters* 11:023001.
- Montenegro, J; Abarca, S. 2001. Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Instituto Meteorológico Nacional. 96 p.
- Montenegro, J; Herrera, J. 2012. Determinación de la emisión de óxido nitroso en pasto kikuyo (*Kikuyuochloa clandestina*) bajo pastoreo: Efecto de diferentes fuentes y niveles de nitrógeno. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 12:9-21.
- Montenegro, J; Barrantes, E; Ivankovich, S. 2019. Variación de la emisión de óxido nitroso con gramíneas en pastoreo del trópico húmedo montano bajo en diferentes épocas climáticas, Costa Rica. En prensa.
- Negassa, W; Price, R; Basir, A; Snapp, S; Kravchenko, A. 2015. Cover crop and tillage systems effect on soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes in contrasting topographic positions. *Soil and Tillage Research* 154:64-74.
- Nogueira, A; Rodrigues, R; Castro, B; Nogueira, T; da Silva, J; Behling, M; Mombach, M; Armacolo, N; Silveira, J. 2015. Emissões de óxido nitroso e metano do solo em áreas de recuperação de pastagens na Amazonia Matogrossense. *Química Nova* 38(7):937-943.
- Pastrana, I; Reza, S; Espinosa, M; Suárez, E; Díaz, E. 2011. Efecto de la fertilización nitrogenada en la dinámica del óxido nitroso y metano en *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickhardt. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 12(2):134-142.
- Petitjean C; Henault C; Perrin A; Pontet C; Metay A; Bernoux, J; Viard A; Roggy, J. 2015. Soil N<sub>2</sub>O emissions in French Guiana after the conversion of tropical forest to agriculture with the chop-and-mulch method. *Agriculture Ecosystems and Environment* 208:64-74.
- Piotto, V. 2016. Mitigação da emissão de gases de efeito estufa em pasto de *Brachiaria brizantha* cv Marandu sob pastejo. Tesis Ph. D. Ciudad, País. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de Sao Paulo. 86 p.

- Rafique, R; Hennessy, D; Kiely, G. 2011. Nitrous oxide emission from grazed grassland under different management systems. *Ecosystems* 14(4): 563-582.
- Saggar, S; Giltrap, D; Davison, R; Gibson, R; de Klein, C; Rollo, M; Ettema, P; Rys, G. 2015. Estimating direct N<sub>2</sub>O emissions from sheep, beef, and deer grazed pastures in New Zealand hill country: accounting for the effect of land slope on the N<sub>2</sub>O emission factors from urine and dung. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 205:70–78.
- Sakata, R; Shimada, S; Yoshioka, N; Yoshioka, R; Aoki, H; Kimoto, N; Sakamoto, A; Inubushi, K. 2016. Effect of topography on N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions and dissolved N<sub>2</sub>O in oil palm plantation in Riau, Indonesia. *Tropical Agriculture and Development* 60(4):226-235.
- Schumann, A. 2013. Emissão de gases de efeito estufa em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. marandu. Instituto de Zootecnia, APTA/SAA. Tesis Mag. Sc. Ciudad, País. Instituto de Zootecnia Programa de Pós-Graduação em Produção Animal Sustentável. 62 p.
- Signor, D; Pellegrino, C. 2013. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesquisa Agropecuaria Tropical* 43(3):322-338.
- Snyder, C; Bruulsema, T; Jensen, T; Fixen, P. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133(3-4):247-266.
- Subbarao, GV; Rao, IM; Nakahara, K; Sahrawat, KL; Ando, Y; Kawashima, T. 2013. Potential for biological nitrification inhibition to reduce nitrification and N<sub>2</sub>O emissions in pasture crop–livestock systems. *Animal* 7(2):322–332.
- van der Weerden, T; Cox, N; Luo, J; Dic, H; Podolyan, A; Phillips, R; Saggar, S; de Klein, C; Ettem, P; Rys, G. 2016. Refining the New Zealand nitrous oxide emission factor for urea fertiliser and farm dairy effluent. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 222:133–137.
- Veldkamp, E; Keller, M; Nuñez, M. 1998. Effects of pasture management on N<sub>2</sub>O and NO emissions from soils in the humid tropics of Costa Rica. *Global Biogeochemical Cycles* 12(1):71-79.
- Vilain, G; Garnier, J; Passy, P; Silvestre, M; Billen, G. 2011. Budget of N<sub>2</sub>O emissions at the watershed scale: Role of land cover and topography (the Orgeval basin, France). *Biogeosciences Discussions* 8(6):10823–10857.
- Vilain, G; Garniera, J; Tallec, G; Cellier, P. 2010. Effect of slope position and land use on nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions (Seine Basin, France). *Agricultural and Forest Meteorology* 150:1192–1202.
- Wang, W; Park, G; Reeves, S; Zahmel, M; Heenan, M; Salter, B. 2016. Nitrous oxide emission and fertiliser nitrogen efficiency in a tropical sugarcane cropping system applied with different formulations of urea. *Soil Research* 54:572–584.
- Zhu, J; Mulder, J; Meng, X; Wu, L; Wang, Y; Dörsch, P. 2013. Spatial and temporal variability of N<sub>2</sub>O emissions in a subtropical forest catchment in China. *Biogeosciences* 10:1309-1321.

# Comparación de dos métodos de muestreo para el análisis de fertilidad de suelos

Carlomagno Salazar-Calvo<sup>1</sup>, Anyelo Moya-García<sup>2</sup>, José P. González Venegas<sup>3</sup>, Heiner Rodríguez-Díaz<sup>4</sup> y Daniel Corrales-Valverde<sup>5</sup>.

## RESUMEN

**Comparación de dos métodos de muestreo para el análisis de fertilidad de suelos.** En el desarrollo de estudios cartográficos de suelo a gran escala, es de suma importancia contar con métodos de muestreo y medición eficientes que permitan un uso eficaz de los recursos y obtener resultados de calidad. Se realizó una comparación de dos métodos de muestreo para el análisis de la fertilidad de suelos del cantón de Alvarado, un método de muestra compuesta y un método puntual de una sola muestra. No se obtuvo diferencia entre los métodos de muestreo cuando se analizaron las variables pH, K, Ca, Mg, Acidez Extraíble (Ac. Ext.), P, Fe, Cu, Zn, Mn, Suma de Bases (SB), Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE), Saturación de Acidez (SA) y Materia Orgánica (MO); al tomar en cuenta la incertidumbre de la medición para cada variable, determinada por el laboratorio de suelos del INTA. Se encontró diferencia en cuanto al tiempo requerido para realizar cada método de muestreo ( $P < 0,001$ ), en donde la realización del método de cuarteo tardó 170,32 s más que el método puntual o simple. Además, el método simple generó un ahorro de ₡151 100 000 en comparación con el método compuesto.

**Palabras clave:** Métodos, muestreo, medición, fertilidad.

## INTRODUCCIÓN

Entender la variabilidad del suelo se ha vuelto un reto importante en la planificación del sistema de producción agrícola y su manejo. Los análisis de suelos definen a través de un conjunto de determinaciones, su constitución y contenido en elementos minerales disponibles para los cultivos. En consecuencia, ofrecen al agricultor la posibilidad de aportar al suelo la cantidad y calidad necesaria de elementos nutritivos. (Dembele *et al.* 2016).

Si se desea estudiar alguna de las propiedades del suelo, la estimación generalmente se realiza con base al promedio de un número determinado de muestras analizadas en campo y en laboratorio (Sánchez *et al.* 2003). Sin embargo,

estas propiedades presentan gran variabilidad en el espacio (superficie y profundidad), por lo que el proceso del muestreo se convierte en un punto crucial para obtener resultados confiables (Buduba 2004).

Uno de los métodos más utilizados para estudio de la fertilidad del suelo es el del cuarteo, el cual consiste en la conformación de una muestra mediante la combinación de varias submuestras (Buol *et al.* 2011). Por lo general, en campo se depositan las submuestras sobre una manta o bolsa, se mezclan y se van cuarteando en forma de X hasta dejar una cantidad equivalente a 500 g. Para este tipo de muestreo, es importante considerar la topografía del terreno a estudiar,

1,2,3,4,5. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria INTA. Costa Rica.  
Contacto: csalazar@inta.go.cr. Sede del INTA, Ochomogo, Cartago.

Recepción: 23.03.2018. Aceptación: 28.10.2019.

ya que entre más uniforme sea el área de estudio, menor será la variabilidad en los resultados (Tan 2005). Dentro de otros factores a tomar en cuenta a la hora de muestrear para determinar la fertilidad del suelo están la erosión, el color, la vegetación y las diferencias de manejo como tipo de labranza, fertilizaciones, rotaciones y tipo de cultivo. Por otro lado, se debe tener cuidado de no muestrear cerca de corrales, caminos y sectores de carga y descarga de fertilizantes (Cunningham *et al.* 2017).

En el caso de los cultivos extensivos e intensivos, los análisis del suelo se realizan de una manera más intensificada ya que es necesario asegurar la calidad del suelo e incrementar la productividad de los cultivos. Bajo un sistema agrícola intensivo, los análisis de fertilidad se realizan cada 3 a 5 años o en cada ciclo de rotación (FAO 2004). El momento ideal para esta labor es cuando se dispone de suficiente tiempo para efectuar un buen muestreo, generalmente después de una cosecha y antes de cualquier fertilización (Ribeiro *et al.* 2015).

El método de cuarteo ofrece la ventaja de incrementar la precisión mediante el uso de varias unidades muestrales en la conformación de la muestra a analizar (Landon 2014). Sin embargo, este tipo de esquema de muestreo puede ser contraproducente a la hora de realizar mapas de fertilidad a gran escala, debido a su alta demanda en cuanto a tiempo y costo (Dembele *et al.* 2016).

Es importante considerar los objetivos propuestos, a la hora de realizar un muestreo de fertilidad de suelos, para definir la metodología a seguir. En la determinación de la fertilidad de una finca productiva es necesario un método más preciso, en donde se disminuya la variabilidad y se supla el requerimiento nutricional de los cultivos de la manera más exacta posible (Osorio y Casamitjana 2011). Por otra parte, en el caso de los proyectos a gran escala en donde se busca cartografiar los suelos de un país, el método de muestreo debería ser más eficiente en cuanto al aprovechamiento de los recursos y el tiempo disponible (Schweizer 2010).

La escogencia de un esquema de muestreo apropiado para un estudio cartográfico de suelo a nivel macro, es crucial ya que cada método de muestreo varía en cuanto a representatividad y tiempo de realización. Debido a la necesidad de contar con un método de muestreo que pueda reducir el tiempo de trabajo en campo, reducir costos de muestreo y que genere información de calidad (representatividad de la muestra) en los estudios cartográficos de suelo realizados a gran escala, se fijó como objetivo general del trabajo el determinar si el método de un solo punto puede ser un método alternativo al método de cuarteo, en el estudio de la fertilidad del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el cantón de Alvarado, provincia de Cartago, Costa Rica (Figura 1). Las muestras de suelo fueron procesadas en el laboratorio de suelos del INTA en Ochomogo, Cartago.

Cuadro 1. Georreferenciación de los cateos realizados.

Id cateo	Longitud	Latitud	Altura	Id cateo	Longitud	Latitud	Altura
1	-83.82099	9.948551	2427	22	-83.819402	9.951056	2479
2	-83.820767	9.948351	2420	23	-83.819836	9.951554	2491
3	-83.8204	9.947889	2405	24	-83.819218	9.951942	2492
4	-83.817214	9.942845	2264	25	-83.820342	9.951267	2487
5	-83.816382	9.942807	2256	26	-83.820339	9.950504	2470
6	-83.816057	9.942944	2256	27	-83.81357	9.944761	2260
7	-83.815865	9.942381	2235	28	-83.815843	9.967476	2816
8	-83.814581	9.940745	2177	29	-83.80995	9.964292	2698
9	-83.814499	9.94027	2166	30	-83.809984	9.964193	2695
10	-83.813912	9.94046	2164	31	-83.810059	9.960554	2605
11	-83.820321	9.94702	2386	32	-83.811951	9.95696	2547
12	-83.819415	9.947201	2387	33	-83.817638	9.950445	2442
13	-83.819934	9.948568	2422	34	-83.818196	9.949715	2435
14	-83.814127	9.942167	2202	35	-83.818662	9.949597	2438
15	-83.81418	9.942914	2214	36	-83.819391	9.949119	2433
16	-83.815118	9.941907	2212	37	-83.813472	9.944747	2260
17	-83.815502	9.941418	2206	38	-83.815666	9.967406	2810
18	-83.813455	9.93994	2153	39	-83.814143	9.966994	2780
19	-83.813731	9.939491	2145	40	-83.809987	9.960302	2600
20	-83.813108	9.939228	2138	41	-83.811953	9.956761	2543
21	-83.819391	9.951048	2479	42	-83.81927	9.950577	2467

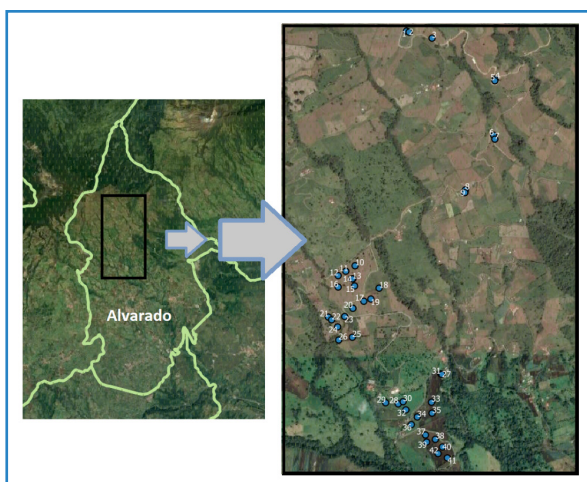


Figura 1. Puntos de muestreo realizados en el cantón de Alvarado, Cartago.

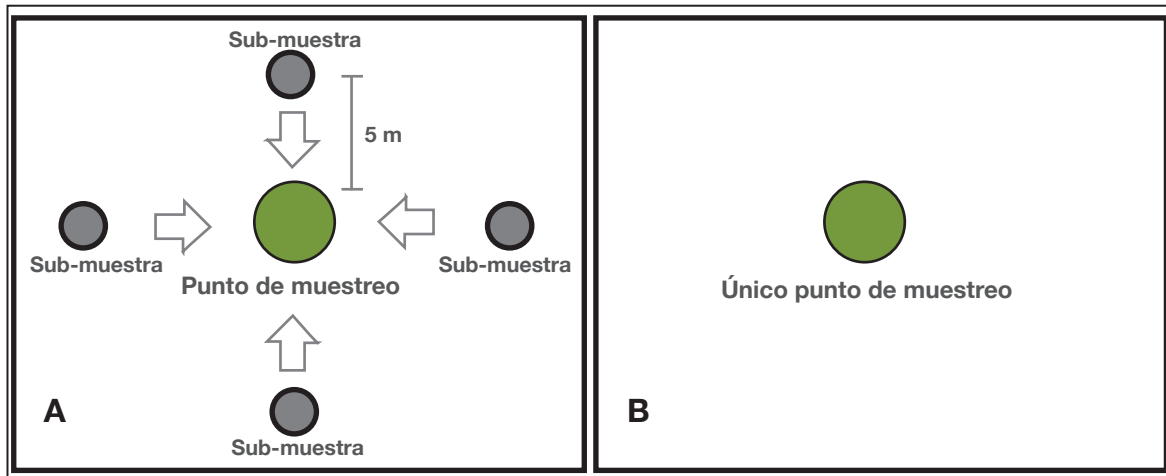
Las muestras fueron tomadas de diferentes fincas y se realizaron 42 puntos de muestreo en total. En cada punto se tomó una muestra por método de muestreo: método simple o puntual y otra utilizando el método de cuarteo (Figura 2). Se georreferenciaron todos los puntos con la ayuda de un GPS Garmin Montana 680. Una vez tomadas las muestras, éstas fueron almacenadas en bolsas plásticas debidamente identificadas.

Para cada punto de muestreo se llenó una boleta en donde se anotó el tiempo de duración del muestreo, coordenadas geográficas y tipo de muestreo empleado. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos en donde se les realizó un análisis químico completo, además, se realizó un análisis para la determinación de la MO de cada muestra.

El método de cuarteo se realizó tomando cuatro sub-muestras con la ayuda de un barreno Edelman. Las sub-muestras se tomaron en los cuatro puntos cardinales a 5 m del punto georreferenciado (Figura 2). Las sub-muestras fueron depositadas en un saco

y se les realizó el cuarteo necesario hasta obtener aproximadamente 500 g de muestra (Figura 3).

En el caso del método simple, se tomaron aproximadamente 300 g de suelo con la ayuda de un barreno Edelman.



**Figura 2.** Métodos de muestreo de fertilidad de suelo empleados. A. Método de cuarteo: conformación de la muestra con cuatro sub-muestras. B. Método simple o puntual: toma de la muestra de un único punto.

De acuerdo con el diseño del muestreo, la distribución de los puntos se realizó siguiendo la metodología de mapeo libre, mismo método utilizado para el diseño del muestreo del proyecto de cartografía de suelos (PCS) de los cantones costeros de Costa Rica.

El levantamiento libre de suelos se refiere al método por el cual se crean mapas del tipo área-clase-polígono, en donde el investigador es libre de escoger los puntos de muestreo de tal forma que se pueda confirmar sistemáticamente el modelo mental de las relaciones suelo-paisaje, por lo tanto, dibuja límites y determina la composición de la unidad de mapeo (McBratney *et al.* 2018). En este tipo de estrategia de muestreo, la experiencia del reconocedor cumple un papel muy importante en la definición de la distribución de los puntos de muestreo en el área de interés. Siguiendo este enfoque, algunas áreas pueden tener muy pocas observaciones si se considera que el patrón espacial del suelo puede ser predicho fácilmente y otras áreas (áreas problema) pueden ser muestreadas a detalle por lo que se busca una mayor densidad de observaciones para una mejor representatividad de dichas localidades (Masters 2012).

Además, la planificación de la distribución de los puntos de muestreo bajo un esquema de mapeo libre, se refuerza con la ayuda de la técnica de fotointerpretación (definición de puntos de acceso, zonas agrícolas y zonas boscosas), análisis de pendientes mediante modelos de elevación digital, utilización de capas vectoriales de caminos y ríos, imágenes satelitales y mapas geológicos (Brus y de Gruijter 1997) based on classical sampling theory, to the model-based approach, which is based on geostatistics. However, in design-based sampling, independence has a different meaning and is determined by the sampling design, whereas in the model-based approach it is determined by the postulated model for the process studied. Design-based strategies are therefore also valid in areas with autocorrelation. Design-based and model-based estimates of spatial means are compared in a simulation study on the basis of the design-based quality criteria. The simulated field consists of four homogeneous units that are realizations of models with different means, variances and variograms. Performance is compared for two sample sizes (140 and 1520).

Para el análisis estadístico se utilizó el programa R (R for Statistical Computing-Versión 1.0.153). Se realizó un análisis exploratorio de todas las variables con el fin de determinar si cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Las variables analizadas fueron: pH, K, Ca, Mg, Ac. Ext, P, Fe, Cu, Zn, Mn, SB, CICE, SA y MO. Además, se analizó el tiempo tardado para tomar la muestra con cada método como otra variable.



Figura 3. Cuarteo de una muestra compuesta en campo.

Se realizó un análisis de varianza para determinar las diferencias entre las variables estudiadas, de acuerdo con el método de muestreo. Las medias se compararon con el método de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD) con un nivel de significancia menor a 0,05 de probabilidad.

Por último, se realizó un análisis económico para comparar los costos asociados al uso de cada uno de los métodos analizados, durante un proyecto cartográfico de suelos a nivel macro.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias asociadas principalmente al método de muestreo utilizado, asociadas con el tiempo que se tardó en realizar cada uno de los procedimientos (Cuadro 2). Se encontró una diferencia de 170,32 segundos (2,83 minutos) en el tiempo promedio tardado entre un método y otro, empleándose la mayor cantidad de tiempo para el método de cuarteo (Cuadro 2).

Lo anterior se debe a que el método de cuarteo requiere tomar cuatro sub-muestras en el punto georreferenciado para poder conformar la muestra que posteriormente será enviada al laboratorio. Por otra parte, con el método simple únicamente se ocupa tomar una sola sub-muestra (que será la muestra), lo que evidencia que el método de cuarteo requiere invertir mayor cantidad de tiempo.

Dikko *et al.* (2010) resaltan la diferencia entre un método y el otro, al indicar que el método simple, de una sola extracción de suelo, es utilizado en trabajos de investigación y en suelos muy homogéneos.

Se recomiendan cuatro puntos de muestreo por hectárea, de aproximadamente 1 kg de suelo cada una. El método de cuarteo o compuesto, se refiere a la muestra de suelo obtenida por la extracción de varias sub-muestras. El método del cuarteo es más utilizado para la planificación de la fertilización en fincas productivas, en donde se necesita información de calidad para cumplir con los requerimientos nutricionales de los cultivos. Se recomiendan de 15 a 20 sub-muestras por parcela de muestreo (Martín *et al.* 2017).

Se obtuvieron diferencias en cuanto al método de muestreo para las variables acidez extraíble (Ac Ext.), P, Fe, Cu, Zn y Mn (Cuadro 3). Las diferencias se descartaron al tomar en cuenta la incertidumbre en la estimación del valor para cada variable registrada por el laboratorio de suelos del INTA (Figura 4; observar traslape de barras de error). Las barras de error se ajustaron de acuerdo con los valores de las incertidumbres facilitado por el laboratorio de suelos del INTA.



Cuadro 2. Resumen del análisis estadístico de las variables estudiadas.

Método/Variable	Cuarteo		Simple		ANOVA
	Media	D.E	Media	D.E	p
SB	2,52	1,46	2,49	1,40	0,9131
CICE	2,83	1,44	2,71	1,33	0,3169
SA	13,18	10,07	11,46	9,62	0,2031
MO	13,69	1,11	13,72	1,03	0,8999
Tiempo	193,25	30,4	22,93	9,84	<0,001

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que, a nivel de las variables del análisis de suelo en los puntos muestreados, no existe diferencia significativa entre los métodos de muestreo analizados. Se pueden utilizar ambos métodos de muestreo a nivel de campo, para los estudios cartográficos de suelo. Sin embargo, para futuros estudios que quieran diferenciar ambos métodos, es importante que se tomen en cuenta otros factores como el orden de suelo, el relieve y el uso actual del suelo, dado que éstos pueden influir considerablemente en los valores que se determinen en los análisis de suelo y afectar la definición de la fertilidad del suelo, incurriendo en un error importante que debe ser tomado en cuenta a la hora de definir un esquema de muestreo adecuado.

Según sea la dimensión de un estudio cartográfico de suelos, es crucial seleccionar el método que mejor se adapte al presupuesto y al periodo de tiempo estipulado para realizar dicho proyecto. Dembele *et al.* (2016) menciona que, en el caso de cultivos intensivos, como hortalizas y ornamentales, es recomendable muestrear áreas menores a 2 ha. Por otro lado, en cultivos extensivos como arroz, pasto y banano, se pueden tomar muestras cada 5-10 ha. Por último, en áreas extensas sin fertilizar y homogéneas en su manejo, puede ser suficiente una muestra cada 10-20 ha.

Cuadro 3. Análisis estadístico de las variables estudiadas.

Método/ Variable	Cuarteo		Simple		ANOVA	D.LAB
	Media	D.E	Media	D.E	p	
pH	5,72	0,39	5,75	0,4	0,717	0-5%
K	0,23	0,16	0,24	0,16	0,676	10-15%
Ca	1,99	1,19	1,95	1,17	0,739	10-15%
Mg	0,31	0,21	0,3	0,19	0,867	10-15%
Ac. Ext.	0,33	0,22	0,26	0,13	0,02586	20-25%
P	39,73	16,28	30,25	9,34	0,00203	25-30%
Fe	137,65	66,18	110,65	60,32	0,004168	25-30%
Cu	11,38	2,01	10,05	2,02	0,00434	15-20%
Zn	4,47	1,48	3,76	1,69	0,048	20-25%
Mn	11,35	3,91	9,18	3,92	0,015	15-20%

El método de cuarteo puede ser una excelente opción en caso de que se desee conocer la fertilidad de los suelos de una finca o parcela productiva. No obstante, para lograr conocer los datos de fertilidad en un estudio de suelos a mayor escala, por cuestiones de rendimiento y rapidez de muestreo, la mejor opción sería el método simple.

Actualmente, el Proyecto de Cartografía de Suelos del INTA (PCS), tiene por objetivo muestrear

los suelos de todos los cantones costeros de Costa Rica y es necesario que en cada punto de muestreo se obtenga una muestra para análisis de fertilidad. Se tiene proyectado, que serán necesarios 127.750 puntos de muestreo (Cuadro 4), como el número de puntos es muy grande, es necesario poder reducir al máximo los tiempos de muestreo, por lo tanto, el método simple parece ser el que mejor se adapta a la necesidad de dicho proyecto.

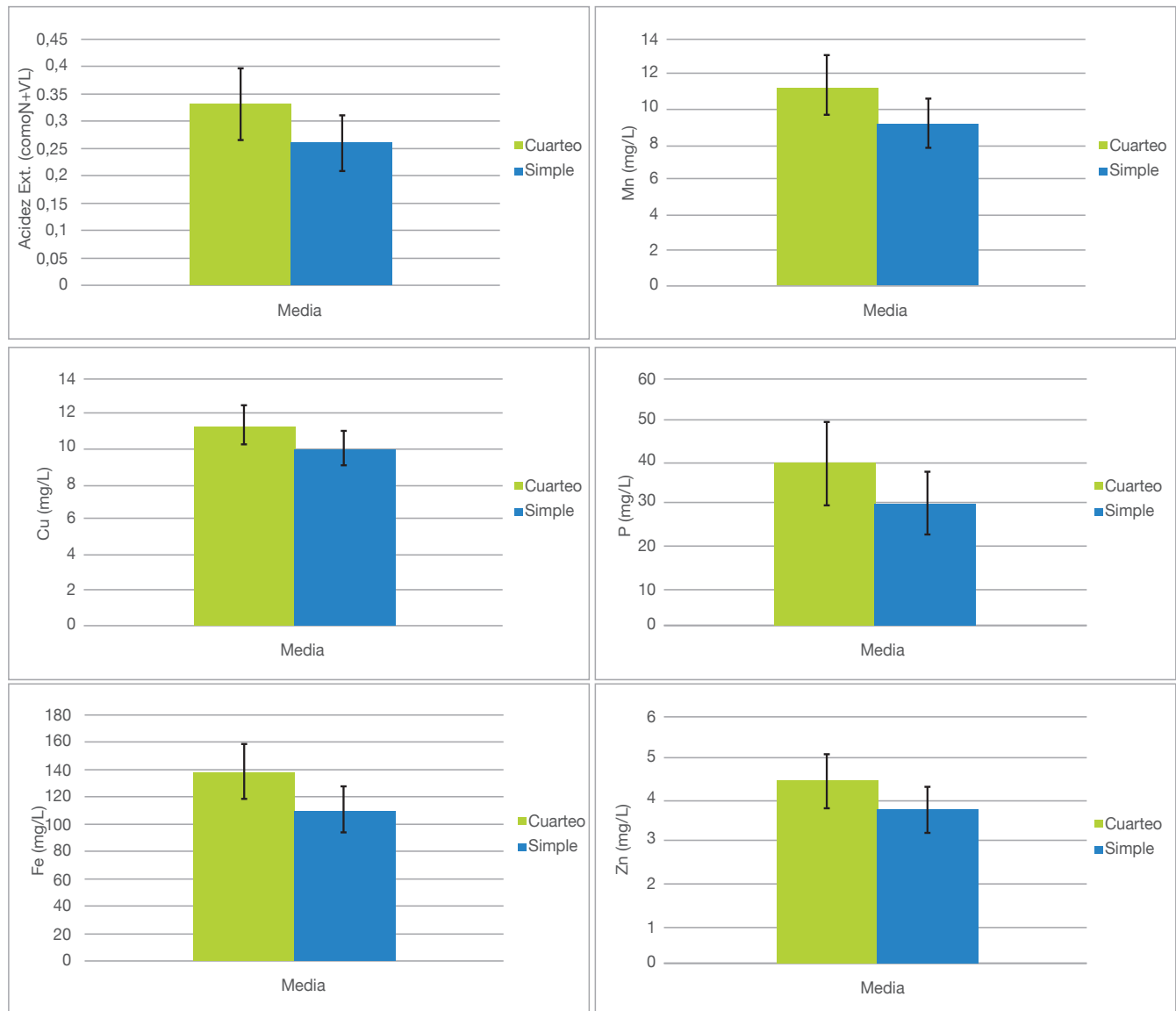


Figura 4. Variables que pierden la significancia estadística a la hora de ajustar los valores a la incertidumbre del laboratorio del INTA. Las variables fueron: Ac Ext., Mn, Cu, P, Fe y Zn.

Para un proyecto como el PCS, es de suma importancia considerar el costo operativo de la realización del muestreo. En el Cuadro 4, se muestra el costo operativo total para el método de cuarteo (¢171 440 000) y para el método simple (¢20 340 000); por lo tanto, al optar por la metodología simple, el proyecto estaría generando un ahorro de ¢151 100 000.

Cuadro 4. Costos Operativos según método de muestreo

<b>Área de Costa Rica (km<sup>2</sup>)</b>	51 100
<b>Área Cantones Costeros (km<sup>2</sup>)</b>	25 550
<b>Barrenazos/km<sup>2</sup></b>	5
<b>Total de Barrenazos (25 550 km<sup>2</sup>)</b>	127 750
<b>Costo de hora profesional</b>	¢25 000 ≈ \$45*

	<b>Método de Muestreo</b>	
	<b>Cuarteo</b>	<b>Simple</b>
<b>Tiempo de muestreo (s)</b>	193,24	22,93
<b>Tiempo total de muestreo (horas)</b>	6857,6 (286 días)	813,6 (34 días)
<b>Jornadas laborales (8 h)</b>	857 (2,3 años)	102 (0,3 años)
<b>Costo (colones)</b>	¢171 440 000 ≈ \$303 434	¢20 340 000 ≈ \$36 000
<b>Diferencia de costo</b>	¢151 100 000 ≈ \$267 434	

\*Tipo de cambio en el momento de la conversión: ¢565.

## LITERATURA CITADA

Brus, DJ; de Gruijter, JJ. 1997. Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil (with discussion). *Geoderma* 80(1):1-44. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00072-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00072-4).

Buduba, C. 2004. Muestreo de suelos. Criterios básicos. *Patagonia Forestal* (1):9-12.

Buol, SW; Southard, RJ; Graham, RC; McDaniel, PA. 2011. *Soil Genesis and Classification*. John Wiley & Sons. Iowa, USA. 544 p.

Cunningham, SC; Roxburgh, SH; Paul, KI; Patti, AF; Cavagnaro, TR. 2017. Generating spatially and statistically representative maps of environmental variables to test the efficiency of alternative sampling protocols. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 243:103-113.

Dembele, D; Traore, K; Quansh, C; Jnr, EMO; Sire, BD; Ballo, M. 2016. Optimizing soil fertility management decision in mali by remote sensing and GIS. *Donnish Journals* 3(4):22-34.

Dikko, A; Abdullahi, A; Ousseini, M. 2010. Soil fertility assessment of The Lugu Main Canal Of Wurno Irrigation Project, Sokoto State, Nigeria, five years after rehabilitation. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences* 18(2): 243-248.

FAO. 2004. *Fertilidad de suelos: conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible*. 19 p.

Landon, JR. 2014. *Booker tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. Routledge. New York, USA. 474 p.

Martín, MA; Reyes, M; Taguas, FJ. 2017. Estimating soil bulk density with information metrics of soil texture. *Geoderma* 287:66-70.

Masters, B. 2012. Australian Soil and Land Survey Field Handbook, 3rd edition. vol.37. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2012.02363.x>.

McBratney, AB; Minasny, B; Stockmann, U. 2018. *Pedometrics* (en línea). s.l., Springer International Publishing, (Progress in Soil Science). Consultado 19 nov. 2018. Disponible en [//www.springer.com/us/book/9783319634371](http://www.springer.com/us/book/9783319634371).

Osorio, W; Casamitjana, M. 2011. Toma de muestras de suelo para evaluar la fertilidad del suelo. *Suelos Ecuatoriales* 41(1):23-28.

Ribeiro, AA; Adams, C; Manfredini, S; Aguilar, R; Neves, WA. 2015. Dynamics of soil chemical properties in shifting cultivation systems in the tropics: a meta-analysis (en línea). *Soil Use and Management* 31(4):474-482. Consultado 16 ene 2018. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/sum.12224>

Sanchez, PA; Palm, CA; Buol, SW. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 114(3):157-185.

Schweizer Lassaga, S. 2010. Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. San José, Costa Rica. INTA/MAG: 18 p.

Tan, KH. 2005. Soil sampling, preparation, and analysis. CRC press. Boca Ratón, Florida, Estados Unidos de América. p. 9-10.

# SELECCIÓN DE LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ A PARTIR DE GENERACIONES AVANZADAS

José Roberto Camacho Montero<sup>1</sup>, José Steven Navarro Ovares<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Selección de líneas promisorias de arroz a partir de generaciones avanzadas.** Durante la estación lluviosa del 2018, se evaluaron en Cañas, Guanacaste, 78 líneas avanzadas de arroz originarias del CIAT, Colombia y los testigos Lazzarroz FL, Palmar 18, Puitá INTA CL, INTA CR-1508 y CR-5272. Se usó un diseño experimental de Bloques Aumentados de Federer con seis repeticiones. Las condiciones experimentales permitieron la selección para variables como aceptabilidad fenotípica, rendimiento de campo, grano entero y grano yesoso, entre otras. Estas cuatro primeras variables se incorporaron en un índice para facilitar la selección de los genotipos. En total, se seleccionaron 44 líneas con índices de selección de entre 0,86 y 0,66, mientras que el rango de los testigos fue de 0,85 (CR-5272) y 0,65 (INTA CR-1508). Entre estas 44 líneas se presentaron valores máximos para rendimiento de campo de 6291,8 kg ha<sup>-1</sup> y para rendimiento de grano entero de 62,8 g; mientras que los testigos tuvieron valores máximos de 5925 kg ha<sup>-1</sup> (CR-5272) y 62,1 g (Puitá INTA CL). Las líneas A-1875, A-1693, A-2019, A-1670, A-1686, A-1667, A-2068, A-1668, A-2032 y A-2110 son ejemplos de materiales promisorios por sus altos valores para el índice de selección y que presentaron niveles entre altos y aceptables para sus componentes individuales. La evaluación posterior de estas 44 líneas, permitirá identificar con mayor certeza genotipos élite que continuarán en el proceso de desarrollo de variedades comerciales de arroz.

**Palabras Clave:** Fitomejoramiento, aceptabilidad fenotípica, rendimiento de grano, grano entero, grano yesoso, índice de selección.

## ABSTRACT

**Promising Rice Lines Selection from Advanced Generations.** During the rainy season of 2018, 78 advanced rice lines from CIAT, Colombia and checks Lazzarroz FL, Palmar 18, Puita INTA CL, INTA CR-1508 and CR-5272 were evaluated in Canas, Guanacaste. A Federer Augmented Randomized Complete Block Design with six repetitions was used. Experimental conditions favored selection for variables such as phenotypic acceptability, grain yield, head rice yield, grain chalkiness, among others. These first four variables were incorporated in an index to facilitate selection of genotypes. In total, the 44 selected lines presented indexes between 0,86 and 0,66, while the checks ranged from 0,85 (CR-5272) to 0,65 (INTA CR-1508). Among these 44 lines, the maximum value for grain yield was 6291,8 kg ha<sup>-1</sup> and 62,8 g for head rice yield; while checks had maximum values of 5925 kg ha<sup>-1</sup> (CR-5272) and 62,1 g (Puita INTA CL). Lines A-1875, A-1693, A-2019, A-1670, A-1686, A-1667, A-2068, A-1668, A-2032 and A-2110 are examples of promising materials because of their high selection indexes and with levels between high and acceptable for the individual components. Subsequent evaluation of these 44 lines will help to identify elite genotypes with greater confidence, which will continue in the development process of new commercial rice varieties.

**Keywords:** Plant breeding, phenotypic acceptability, grain yield, head rice, chalky grain, selection index.

<sup>1</sup> Autor para correspondencia. Investigador del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), San José, Costa Rica. rcamacho@inta.go.cr

<sup>2</sup> Estudiante de Licenciatura en Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica Nacional (UTN), Guanacaste, Costa Rica. jnavarro@est.utn.ac.cr

Recepción: 01.07.2019. Aceptación: 26.11.2019.

## INTRODUCCIÓN

El arroz es alimento básico más importante para la humanidad, debido a que más de la mitad de la población mundial depende de este como la principal fuente calórica (FAO 2012). El cultivo del arroz es también una actividad económica muy importante en Costa Rica y su grano es el componente principal de la dieta de los costarricenses. Durante el periodo 2017-2018, en el país se sembraron 37560 ha y se produjeron 157930 TM del grano, suficientes para abastecer el 43% del consumo nacional. Durante ese periodo, el rendimiento promedio en Costa Rica fue 4,2 TM ha<sup>-1</sup>, con el 53% del área cultivada en seco y el 47% bajo riego (Conarroz 2018).

La producción moderna de arroz en Costa Rica fue impulsada inicialmente por el desarrollo de variedades semi-enanas como CR-1113, CR-1821 y CR-5272, originarias del *International Rice Research Institute* (IRRI), del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y liberadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) entre las décadas de los 70's y 80's (León y Arroyo 2011 Tinoco y Acuña 2008). Estas tres variedades tenían en común su porte bajo de 85 - 89 cm al nudo ciliar; sin embargo, CR-1113 y CR-1821 eran de ciclo tardío (90-100 días a floración) y alto potencial de rendimiento (8,0 – 8,5 TM ha<sup>-1</sup>); mientras CR-5272 era de ciclo más precoz y de un menor potencial de rendimiento (Valdés *et al.* 1992).

Durante los últimos 20 años variedades liberadas por la empresa privada se han posicionado en la producción nacional. En la actualidad las principales variedades de arroz en el país son Lazarroz FL (13,514 ha), Palmar 18 (10,235 ha), Puitá INTA CL (4,543 ha), Nayuribe B FL (2,022 ha), Nayudel FL

(1,717 ha) y Sierpe FL 250 (1,639 ha) (Conarroz, 2018). El origen de la mayor parte de estas variedades es el Fondo Latinoamericano del Arroz de Riego (FLAR) (ONS 2019), siendo la única excepción la variedad resistente a las imidazolinonas Puitá INTA CL, desarrollada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (PROARROZ 2015).

En la actualidad, los esfuerzos de mejora genética en el país se mantienen tanto a nivel público, como privado debido a la necesidad de aumentar el potencial de rendimiento de las variedades comerciales, así como para mantener niveles adecuados de resistencia a las principales plagas y enfermedades del cultivo, entre otros objetivos (Dingkuhn *et al.* 2015, Jennings 1979, Peng *et al.* 1999). Lo anterior resulta especialmente importante ante el escenario actual de cambio en los patrones climáticos, en la dinámica de plagas y enfermedades y la incertidumbre que esto causa sobre la seguridad alimentaria global (Peng *et al.* 2015).

Las líneas evaluadas en la presente investigación fueron desarrolladas por el Programa de Arroz del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia y fueron introducidas a Costa Rica por el INTA. Este estudio tuvo por objetivo evaluar preliminarmente la adaptación, rendimiento y calidad del grano de estos genotipos bajo las condiciones edafoclimáticas características de la producción de arroz en Costa Rica, para la selección de aquellos con mayor potencial para continuar su proceso de selección en diferentes localidades y épocas de siembra.

<sup>1</sup> Autor para correspondencia. Investigador del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), San José, Costa Rica. rcamacho@inta.go.cr

<sup>2</sup> Estudiante de Licenciatura en Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica Nacional (UTN), Guanacaste, Costa Rica. jnavarro@est.utn.ac.cr

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción de las Condiciones Experimentales

El presente estudio se desarrolló en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEEJN), Cañas, Guanacaste, Costa Rica, propiedad del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). La EEEJN tiene una altitud media de 12 msnm, cuenta con suelos inceptisoles/molisoles y riego proveniente del Distrito de Riego Arenal - Tempisque (DRAT); esta se encuentra dentro del Corredor Seco Mesoamericano, caracterizado por poseer vegetación nativa del tipo Bosque Seco Tropical, con precipitaciones promedio de 1700 mm y temperaturas promedio de 28° C. La estación lluviosa en esta región se desarrolla de mediados de mayo a mediados de noviembre y la seca de mediados de noviembre a mediados de mayo.

El experimento fue establecido el 11 de julio del 2018 bajo condiciones típicas de la época lluviosa. El riego se aplicó de forma intermitente debido a la dificultad de mantener inundación permanente en el terreno utilizado. La densidad de siembra fue de 100 kg ha<sup>-1</sup> para todos los tratamientos. La nutrición se suplió con 140 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno ureico de forma fraccionada, 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O y 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Se utilizaron insecticidas para el control de plagas como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y el chinche del arroz (*Oebalus insularis*), pero se evitó el uso de fungicidas y bactericidas.

Los tratamientos evaluados fueron 78 líneas avanzadas provenientes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), mientras que las variedades comerciales Lazarroz FL, Palmar 18, Puitá INTA CL, INTA CR-1508 y CR-5272 sirvieron como testigos. El diseño experimental empleado fue de Bloques Aumentados de Federer. Este diseño fue presentado por Federer (1961) para facilitar la evaluación de mayor cantidad de genotipos en los programas de selección varietal y en general acelerar el proceso de mejora genética; en este diseño solamente son replicados los tratamientos testigo y por lo tanto el análisis estadístico se realiza con los mismos (Rojas 2005).

En este experimento los testigos contaron con seis repeticiones, mientras que las líneas con una única observación. En total el experimento contó

con seis bloques, que incluían los cinco testigos replicados y trece líneas experimentales. La unidad experimental fue de 7,5 m<sup>2</sup>, con 5 m de longitud, 1,5 m de ancho y un total por parcela de 6 surcos distanciados 25 cm.

### Variables Agronómicas y Rendimiento de Campo

Las variables agronómicas como días a floración, aceptabilidad fenotípica, altura y volcamiento emplearon el Sistema de Evaluación Estándar de Arroz (SES, por siglas en inglés; CIAT 1983). El rendimiento de campo se registró en gramos por parcela total, igualmente se evaluaron los porcentajes de humedad e impurezas por parcela. El rendimiento de campo fue extrapolado a kg ha<sup>-1</sup>, a 13% de humedad y 1,5% de impurezas. El rendimiento de campo de las líneas fue ajustado para el efecto bloque, utilizando el programa para SAS 9.4., diseñado por Parsad *et al.* (2011).

Los días a floración se registraron desde la emergencia hasta el 50% de floración en la parcela y la aceptabilidad fenotípica según el SES se clasificó como excelente: 1, buena: 3, regular: 5; pobre: 7; e inaceptable: 9. La altura se registró en centímetros desde la base del tallo hasta el extremo de la panícula más alta para un total de tres plantas por parcela y el volcamiento o acame según el SES se clasificó como tallos fuertes: 1, tallos moderadamente fuertes: 3, tallos moderadamente débiles: 5, tallos débiles: 7 y tallos muy débiles: 9.

### Calidad de Molienda, Grano Yesoso y Contenido de Amilosa

La calidad de molienda se determinó con el pulidor de laboratorio de PAZ 1DTA, marca Zaccaria, en el Laboratorio de Granos y Semillas de la EEEJN. Con este equipo se procedió inicialmente al descascarado y pulido de una muestra de 100 g para estimar el rendimiento de arroz integral y arroz blanco, respectivamente. Posteriormente, el arroz blanco fue separado en las fracciones de grano entero, grano quebrado grueso y puntilla, utilizando tambores de alveolos de 5,5, 4,5 y 3,5 mm. El rendimiento de pilada y de grano entero de las líneas fue ajustado para el efecto bloque, utilizando el programa estadístico diseñado por Parsad *et al.* (2011).

Para la evaluación del grano yesoso se diseñó una escala visual siguiendo como modelo la escala general del SES, esta incluye en una sola categoría la condición de panza, espalda o centro blanco, así como los granos yesosos. Diez gramos de arroz entero fueron colocados en una caja *Petri* de 9 cm con fondo negro. Se utilizó la siguiente escala de evaluación: excelente o 1: de 0% a 1% de granos yesosos; buena o 3: de 1% a 5% de granos yesosos; regular o 5: de 5% a 10% de granos yesosos; pobre o 7: de 10% a 50% de granos yesosos; e inaceptable o 9: de 50% a 100% de granos yesosos. Como último componente de la evaluación de calidad, el contenido aparente de amilosa de los testigos y 44 materiales seleccionados fue estimado por el Laboratorio de Micotoxinas del Centro de Investigación en Granos y Semillas de la Universidad de Costa Rica (CIGRAS-UCR).

## Índice de Selección

Para facilitar la selección de genotipos se diseñó un índice que asignó el mismo peso específico a las variables aceptabilidad fenotípica (0.25), rendimiento de campo (0.25), rendimiento de grano entero (0.25) y evaluación visual de grano yesoso (0.25). En el caso de la aceptabilidad fenotípica y la evaluación visual de grano yesoso, las escalas de evaluación respectivas fueron interpretadas de la siguiente manera: excelente o 1 es igual 0.25 en el componente del índice; bueno o 3 es igual a 0.20; regular o 5 es igual a 0.15; pobre o 7 es igual a 0.10 e inaceptable o 9 es igual a 0.05. Para las variables continuas rendimiento de campo y rendimiento de grano entero, la calificación de un genotipo con valores de entre 0 y 0.25 depende de su desempeño del mismo con respecto al testigo o línea que obtuvo los mejores valores para cada variable.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables Agronómicas y Rendimiento de Campo

Tomando como base el comportamiento de los testigos CR-5272, Lazarroz FL, Palmar 18, INTA Puita CL e INTA CR-1508, este experimento se identificó como adecuado para discriminar entre genotipos y seleccionar con respecto a las principales variables agronómicas y rendimiento de campo. Los datos de volcamiento no son reportados porque este experimento no resultó adecuado para discriminar con respecto a este factor.

En promedio las líneas florecieron a los  $82 \pm 4$  días después de la emergencia y los testigos a los  $78 \pm 4$  días; aunque se presentaron diferencias visibles entre las líneas con respecto al ciclo, este no fue un factor incluido en el índice de selección dado que ningún genotipo fue descartado por ser excesivamente precoz o tardío. De forma similar, la altura promedio de las líneas fue de  $107 \pm 8$  cm y la de los testigos  $108 \pm 6$  cm; y aunque se presentaron diferencias medibles en altura, ningún genotipo fue descartado por ser extremadamente enano o alto y este rubro no fue considerado en el índice de selección (Cuadro 1).

Para aceptabilidad fenotípica y el rendimiento de campo, se obtuvieron diferencias importantes que permitieron categorizar los

genotipos e incorporar dichas variables en un índice de selección. La aceptabilidad fenotípica está asociada con el ideotipo o tipo de planta ideal y por ende con el valor agronómico y potencial de rendimiento estimado por los fitomejoradores (Cassman 1994; Peng *et al.* 2004) El valor más común de aceptabilidad fenotípica para las líneas en este experimento fue cinco o regular, mientras que el de los testigos fue tres o bueno. Dado que múltiples líneas presentaron también valores de uno o tres, el experimento ofreció condiciones ideales para realizar selección positiva con respecto a este parámetro (Cuadro 1).

La variable rendimiento de campo mostró diferencias significativas entre testigos, entre líneas y entre testigos versus líneas ( $p < 0.01$ ), lo que muestra la utilidad de este experimento para seleccionar para este factor (Cuadro 1). Las líneas A-2032, A-2068 y A-2110 no mostraron diferencias con respecto al testigo CR-5272, mientras que las líneas A-2019, A-1667 y A-1670 no mostraron diferencias con respecto a los testigos Lazarroz FL y Palmar 18 (prueba LSD, resultados no mostrados).

A pesar de lo anteriormente expuesto, debe considerarse que el rendimiento de campo es una característica poligénica altamente influenciada por las condiciones ambientales y por ende un



único ambiente no resulta adecuado para tomar decisiones de selección con respecto a esta variable (Fehr 1991; Simmonds 1979). Esta fue una de las razones por las que se tomó la decisión de diseñar y

utilizar un índice de selección de variables múltiples para categorizar los genotipos y tomar decisiones sobre su avance en la línea de mejoramiento.

**Cuadro 1.** Días a floración, aceptabilidad fenotípica, altura y rendimiento de campo ajustado de testigos y una muestra de las líneas seleccionadas en el experimento de parcelas de observación de arroz. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Julio, 2018.

Tratamientos	Días a Floración**	Aceptabilidad Fenotípica**	Altura (cm)**	Rendimiento de Campo Ajustado kg ha <sup>-1</sup> ***
<b>Testigos*</b>				
CR-5272	66	3	105	5925
Lazarroz FL	86	1	117	5238
Palmar 18	78	3	112	4899
Puitá INTA CL	76	5	102	3781
INTA CR-1508	86	5	104	3123
<b>Líneas Seleccionadas*</b>				
A-2032	74	5	105	6292
A-2068	74	5	107	5315
A-2110	78	3	106	5132
A-2019	83	1	121	4934
A-1667	82	3	113	4799
A-1670	80	3	113,	4738
A-1875	83	3	101	4381
A-1693	87	3	116	4375
A-1686	84	1	104	4371
A-1668	80	1	102	4014

\* Datos de los testigos provienen del promedio de seis repeticiones, para las líneas se contó con una sola observación. En ambos casos para altura se registraron tres mediciones por repetición. Se presenta un subgrupo de diez líneas destacadas, en total 44 líneas fueron seleccionadas en este experimento para continuar el proceso de evaluación a nivel de pruebas multi-ambientales en el año 2019.

\*\* Días a floración de emergencia a 50% de floración; aceptabilidad fenotípica según el Sistema de Evaluación Estándar de Arroz (SES, por sus siglas en inglés), excelente: 1, buena: 3, regular: 5; pobre: 7; inaceptable: 9; altura en centímetros desde la base del tallo hasta el extremo de la panícula más alta. Para la aceptabilidad, los datos de los testigos corresponden a la moda.

\*\*\* Rendimiento de campo de los testigos es el promedio de seis repeticiones, para las líneas se contó con una sola observación. El dato reportado para las líneas fue ajustado para el efecto bloque según procedimientos estándares para el diseño de bloques aumentados de Federer, programa SAS 9.4. Diferencias estadísticamente significativas entre testigos, líneas y testigos vs. líneas ( $p < 0.01$ ).



**Figura 1.** Línea seleccionada A-1670 (Fotografía corresponde al ensayo de parcelas de observación, Finca La Ligia, Parrita, Mayo 2019).



**Figura 2.** Línea seleccionada A-2068 (Fotografía corresponde al ensayo de parcelas de observación, Finca La Ligia, Parrita, Mayo 2019).

### Calidad de Molienda, Grano Yesoso y Contenido de Amilosa

Este experimento resultó adecuado para la evaluación y selección de líneas por sus parámetros de calidad de molienda. Para el rendimiento de grano entero se encontraron diferencias entre testigos, entre líneas y entre testigos versus líneas ( $p < 0.01$ , Cuadro 2). Las líneas A-1670, A-1875 y A-1686 no mostraron diferencias con los testigos Puitá INTA CL, CR-5272 y INTA CR-1508; mientras que las líneas A-2068, A-1693, A-1668, A-2032, A-2019 y A-1667 no mostraron diferencias con respecto a los testigos Lazarroz FL y Palmar 18 (prueba LSD, resultados no mostrados).

Para el rendimiento de pilada no se encontraron diferencias entre testigos, pero si se encontraron entre líneas, y en la comparación entre testigos y líneas ( $p < 0.01$ , Cuadro 2). Las líneas A-1670, A-2068 y A-1686 presentaron niveles estadísticamente comparables con las variedades CR-5272, INTA CR-1508 e Puitá INTA CL, mientras que las líneas A-2032, A-2019, A-1693, A-1875, A-1668 y A-1667 presentaron rendimientos de pilada comparables con las variedades comerciales Lazarroz FL y Palmar 18 (prueba LSD, resultados no mostrados).

Los testigos Puitá INTA CL, CR-5272 y Palmar 18 fueron los que presentaron los mejores valores con respecto a grano yesoso, con valores de 1, 3 y 3, respectivamente (Cuadro 2). Considerando lo anterior y el desempeño de las líneas, este experimento resultó valioso para realizar selección entre los materiales con respecto al grano yesoso. Resulta destacable que alrededor del 50% de las líneas obtuvieron calificaciones de excelente a bueno para la evaluación visual de grano yesoso, con nueve líneas calificadas con uno y 29 clasificadas como tres, respectivamente. Sin embargo, la selección para esta variable y su inclusión en el índice fue factible debido a que al menos una línea obtuvo un valor de nueve o inaceptable, 13 líneas valores de siete o pobre y 26 líneas valores de cinco o regular.

Respecto al contenido de amilosa, todos los testigos y líneas evaluadas presentaron perfiles típicos para las variedades de grano largo tipo *indica* disponibles en el mercado costarricense. El contenido de amilosa promedio de las variedades comerciales Puitá INTA CL, CR-5272, INTA CR-1508, Lazarroz FL y Palmar 18 fue de  $34,5 \pm 1,2\%$ , mientras que el promedio de las líneas seleccionadas fue  $34,0 \pm 1,5\%$  (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Rendimiento de grano pilado, rendimiento de grano entero, evaluación visual de grano yesoso y contenido de amilosa de testigos y una muestra de las líneas seleccionadas en el experimento de parcelas de observación de arroz. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Julio, 2018.

Tratamientos	Rendimiento de Grano Pilado (g)**	Rendimiento de Grano Entero (g)**	Grano Yesoso***	Contenido de Amilosa (%) ****
<b>Testigos*</b>				
Puitá INTA CL	67,3	62,1	1	32,9
CR-5272	68,2	59,2	3	34,9
INTA CR-1508	67,9	59,0	5	33,8
Lazarroz FL	66,9	55,6	5	35,1
Palmar 18	66,9	53,6	3	35,8
<b>Líneas Seleccionadas*</b>				
A-1670	67,8	61,5	3	31,6
A-1875	65,5	59,9	1	32,4
A-1686	67,0	57,6	5	35,5
A-2068	67,2	56,2	3	33,3
A-1693	66,1	54,5	1	34,3
A-1668	65,4	53,2	5	32,3
A-2032	66,8	52,4	5	34,7
A-2019	66,3	51,6	3	33,9
A-1667	65,1	50,6	3	33,4
A-2110	64,4	48,5	5	35,1

\* Datos de los testigos provienen del promedio de seis repeticiones, para las líneas se contó con una sola observación. Se presenta un subgrupo de diez líneas destacadas, en total 44 líneas fueron seleccionadas en este experimento para continuar el proceso de evaluación a nivel de prueba multi-ambientales en el año 2019.

\*\* Rendimiento de grano pilado y rendimiento de grano entero se estimaron sobre una muestra de 100 g de arroz en granza seco y limpio (13% de humedad, 1,5% de impurezas), utilizando el pulidor de laboratorio Zaccaria PAZ-1/DTA. Los datos reportados para las líneas fueron ajustados para el efecto bloque según procedimientos estándares para Bloques Aumentados de Federer, programa SAS 9.4. Rendimiento de pilada: No hay diferencias estadísticamente significativas entre testigos, diferencias estadísticamente significativas entre líneas y testigos vs. líneas ( $p < 0.01$ ). Rendimiento de grano entero: Diferencias estadísticamente significativas entre testigos, líneas y testigos vs. líneas ( $p < 0.01$ ).

\*\*\*La evaluación de grano yesoso utilizó escala visual modificada por el Laboratorio de Granos y Semillas del INTA siguiendo el patrón general del Sistema de Evaluación Estándar de Arroz, (SES, por sus siglas en inglés), excelente: 1, buena: 3, regular: 5; pobre: 7 e inaceptable: 9. Los datos de los testigos corresponden a la moda.

\*\*\*\* El contenido aparente de amilosa (%) fue evaluado por el Laboratorio de Análisis de Micotoxinas del Centro de Investigación en Granos y Semillas de la Universidad de Costa Rica (CIGRAS-UCR).

## Índice de Selección

Para facilitar la selección a nivel de campo y laboratorio se implementó un índice que asignó igual peso específico a las variables aceptabilidad fenotípica, rendimiento de campo, rendimiento de grano entero y evaluación visual de grano yesoso. La utilidad práctica del índice se evidencia por los valores obtenidos por las variedades testigo, CR-5272, Lazarroz FL y Palmar 18 con calificaciones de 0,85, 0,81 y 0,79 respectivamente, que se encontraron en la parte superior de la categorización (Cuadro 3). La representación gráfica del índice de selección para los testigos muestra un desempeño ideal para los tres testigos mencionados anteriormente, en el que tanto el índice como sus componentes, se encuentran agrupados en el perímetro del gráfico radial en el área de mejor calificación para cada uno de ellos. Materiales como INTA CR-1508 e Puitá INTA CL muestran una

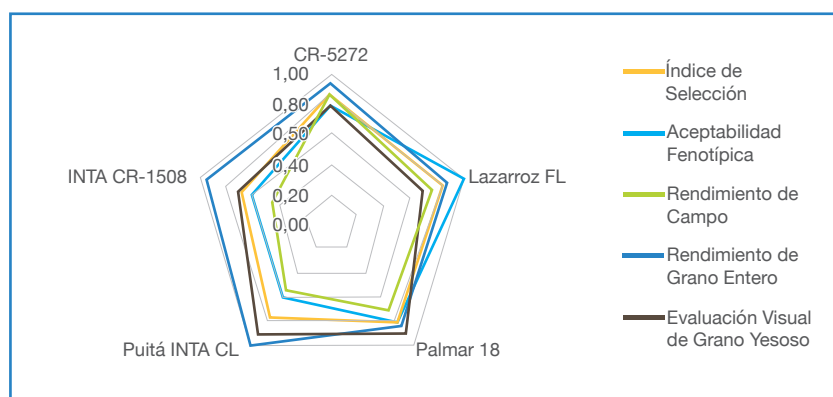
distribución dispersa, situación no ideal para fines de selección (Figura 3).

El desempeño de las líneas con respecto a este índice fue considerablemente más variable. El promedio de estas fue  $0,69 \pm 0,09$ , un valor máximo de 0,86 y un mínimo de 0,49; por lo que el mismo se consideró de utilidad para realizar selección. Para avanzar en el proceso de evaluación se identificaron 44 materiales con índices de selección entre 0,86 y 0,66, que corresponde al rango obtenido entre los testigos CR-5272 (0,85) e INTA CR-1508 (0,65). En la Figura 4 se muestra el desempeño de diez de las líneas seleccionadas para el índice de selección y sus componentes, de forma similar al análisis de los testigos, se observan algunos materiales con distribuciones más concentradas hacia la periferia del gráfico radial (A-1667) y potencialmente de mayor valor, mientras que otros materiales presentan distribuciones más dispersas (A-2110; Figura 4).

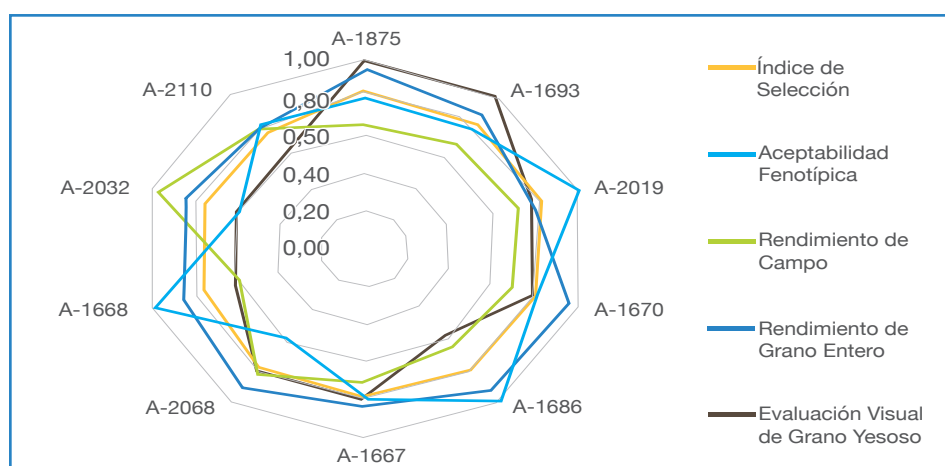
**Cuadro 3.** Índice de selección y sus componentes, aceptabilidad fenotípica, rendimiento de campo, rendimiento de grano entero y evaluación visual de grano yesoso, de testigos y una muestra de las líneas seleccionadas en el experimento de parcelas de observación de arroz. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Julio, 2018.

Tratamientos	Componente**				Índice de Selección
	Aceptabilidad Fenotípica	Rendimiento de Campo	Rendimiento Grano Entero	Grano Yesoso	
<b>Testigos</b>					
CR-5272	0,20	0,22	0,24	0,20	0,85
Lazarroz FL	0,25	0,19	0,22	0,15	0,81
Palmar 18	0,20	0,18	0,21	0,20	0,79
Puitá INTA CL	0,15	0,14	0,25	0,25	0,79
INTA CR-1508	0,15	0,11	0,24	0,15	0,65
<b>Líneas Seleccionadas*</b>					
A-1875	0,20	0,16	0,24	0,25	0,85
A-2019	0,25	0,18	0,21	0,20	0,84
A-1693	0,20	0,16	0,22	0,25	0,83
A-1670	0,20	0,17	0,25	0,20	0,82
A-1686	0,25	0,16	0,23	0,15	0,79
A-1667	0,20	0,18	0,20	0,20	0,78
A-2068	0,15	0,19	0,22	0,20	0,77
A-1668	0,25	0,15	0,21	0,15	0,76
A-2032	0,15	0,23	0,21	0,15	0,74
A-2110	0,20	0,19	0,19	0,15	0,73

\* Datos de los testigos provienen del promedio de seis repeticiones, para las líneas se contó con una sola observación. Se presenta un subgrupo de diez líneas destacadas, en total 44 líneas fueron seleccionadas en este experimento para continuar el proceso de evaluación a nivel de prueba multi-ambientales en el año 2019. \*\* Valor máximo por componente del índice de selección 0,25.



**Figura 3.** Índice de selección y sus componentes, aceptabilidad fenotípica, rendimiento de campo, rendimiento de grano entero y evaluación visual de grano yesoso, de testigos del experimento de parcelas de observación de arroz. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Julio, 2018.



**Figura 4.** Índice de selección y sus componentes, aceptabilidad fenotípica, rendimiento de campo, rendimiento de grano entero y evaluación visual de grano yesoso, de una muestra de las líneas seleccionadas en el experimento de parcelas de observación de arroz. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Julio, 2018.

## CONSIDERACIONES FINALES

Como resultado del presente experimento se seleccionaron 44 líneas con índices de selección de entre 0,86 y 0,66, mientras que el rango de los testigos fue de 0,85 (CR-5272) y 0,65 (INTA CR-1508). Las líneas seleccionadas presentaron igualmente valores entre excelentes y aceptables para los componentes del índice de selección y otras variables evaluadas. Estas tuvieron valores máximos para el rendimiento de campo de 6291,8 kg ha<sup>-1</sup>, 68,5 g para el rendimiento de grano pilado, 62,1 g para el rendimiento de grano entero y múltiples líneas presentaron valores de entre 1 y 3 para aceptabilidad fenotípica y grano yesoso. En comparación, los testigos presentaron valores máximos de 5925 kg ha<sup>-1</sup> para el rendimiento de

campo, 68,2 g para el rendimiento de pilada, 62,1 g para el rendimiento de grano entero, y de entre 1 y 5 para aceptabilidad fenotípica y grano yesoso.

La evaluación de los 44 materiales seleccionados, en múltiples localidades arroceras durante el año 2019; permitirá confirmar las características de interés identificadas en este experimento. Al final se identificará un grupo reducido y selecto de líneas con excelente adaptación, rendimiento, calidad de grano y resistencia a los principales limitantes bióticos y abióticos de la producción de riego y secano favorecido de Costa Rica.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a las siguientes personas por su colaboración en el desarrollo de la presente investigación: Ing. Luis Enrique Carrera Hidalgo, Ing. Juan Carlos Jiménez Vargas, Ing. Edwin Quirós Ramos, Sr. José Armando Cárdenas Flores, Sr. Paolo Andrés Delgado Chavarría, Sra. Ana Argery Alvarado Rodríguez, Ing. Katherine Bonilla Mora del INTA, Ing. Diego Bogantes Ledezma, Sr. Danilo Alvarado Quesada (CIGRAS-UCR), y la M.Sc. Paola Mosquera (Louisiana State University).

## LITERATURA CITADA

- Cassman, KG. (Ed). 1994. Breaking the yield barrier: proceedings of a workshop on rice yield potential in favorable environments. International Rice Research Institute. Manila, Filipinas.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1983. Sistema de evaluación estándar para arroz. 2 ed. Cali, Colombia. 61 p.
- Conarroz (Corporación Arrocería Nacional). 2018. Informe anual estadístico 2017/2018 (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 1 jul. 2019. Disponible en [https://www.conarroz.com/userfile/file/INFORME\\_ANUAL\\_ESTADISTICO\\_PERIODO\\_2017\\_2018.pdf](https://www.conarroz.com/userfile/file/INFORME_ANUAL_ESTADISTICO_PERIODO_2017_2018.pdf)
- Dingkuhn, M; Laza, MR; Kumar, U; Mendez, KS; Collard, B & Sow, A. 2015. Improving yield potential of tropical rice: achieved levels and perspectives through improved ideotypes. *Field Crops Research* 182:43-59.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2002. Concern about rice production practices (en línea). Consultado 29 oct. 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/english/newsroom/news/2002/7538-en.html>
- Fehr, WR. 1991. Principles of Cultivar Development: Theory and Technique. Macmillian Publishing Company. 536 p
- Jennings, PR; Coffman, WR; Kauffman, HE. 1979. Rice improvement. Manila, Filipinas. International Rice Research Institute. 186 p.
- León, JL; Arroz, N. 2011. Producción, tecnología y comercialización del arroz en Costa Rica 1950-2005: estudios en Ciencias Económicas. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 133 p.
- ONS (Oficina Nacional de Semillas). 2019. Registro de variedades comerciales: variedades comerciales vigentes al 20 de junio 2019 (en línea). Consultado 1 jul. 2019. Disponible en [http://ofinase.go.cr/wp-content/uploads/rvc\\_vigentes.pdf](http://ofinase.go.cr/wp-content/uploads/rvc_vigentes.pdf)
- Parsad, R; Dhandapani, A; Khandelwal, MK. 2011. SAS Macro for analyzing augmented block designs (en línea, programa informático). Nueva Delhi, India. National Agricultural Research System. Consultado 1 jul. 2019. Disponible en <http://apps.iasri.res.in/sscnars/augblkdsgn.aspx>
- Peng, S; Cassman, KG; Virmani, SS; Sheehy, J; Khush, GS. 1999. Yield potential trends of tropical rice since the release of IR8 and the challenge of increasing rice yield potential. *Crop Science* (1999):1552-1559.
- Peng, S; Laza, RC; Visperas, RM; Khush, GS; Virk, P; Zhu, D. 2004. Rice: progress in breaking the yield ceiling. In Proceedings of the 4th International Crop Science Congress. Brisbane, Australia.
- Peng, S; Neue, HU; Ziska, LH. 1995. Climate change and rice. Manila, Filipinas. International Rice Research Institute. 374 p.
- PROARROZ. 2015. Puitá INTA CL (en línea). Entre Ríos, Argentina. Consultado 29 oct. 2019. Disponible en <http://proarroz.com.ar/informacion-de-interes/variedades-de-arroz/puita-inta-cl>
- Rojas, BA. 2005. Bloques aumentados (repasso: Federer, 1961). *Agrociencia*, 39(6), 693-695. Tinoco, R; Acuña, A. 2008. Manual de recomendaciones técnicas: cultivo de arroz (*Oryza sativa*). San José, Costa Rica. 78 p.
- Simmonds, NW. 1979. Principles of Crop Improvement. Longman Scientific and Technical. 408 p
- Valdés, V; Aguilar, J; Sanabria, A. 1992. Tecnología de Producción para el Cultivo de Arroz en Riego: Mejores Alternativas en el Distrito de Riego Arenal (En línea). Convenio MAG-SENARA-IICA. Cañas, Guanacaste, Costa Rica. 9 p. Consultado 25 oct. 2019. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/biblioteca-virtual/AV-1389.pdf>

## NOTA TÉCNICA

# EVALUACIÓN POSCOSECHA Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIAL DE ACEROLA (*Malpighia emarginata*) CLON INTA 92.

Daniel Saborío Arguello<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Evaluación poscosecha y caracterización físico-química de material de acerola (*Malpighia emarginata*) Clon INTA 92.** La acerola (*Malpighia emarginata*) es un arbusto que se desarrolla desde el sur de México hasta el norte de Suramérica. La fruta es jugosa y suave, contiene un alto contenido de vitamina C o ácido ascórbico. En Costa Rica, el INTA introdujo varios materiales de acerola de los cuales el clon INTA 92 se destacó a nivel agronómico, por lo cual es importante caracterizar física y químicamente este material para posteriormente, poder ser considerado en alternativas con valor agregado. El objetivo fue caracterizar física y químicamente frutos de acerola del clon INTA 92, determinar su tasa de respiración y manejo poscosecha. Los frutos fueron cosechados en la localidad de Grifo Bajo de Puriscal en dos índices o grados de maduración: semimaduros y maduros, posteriormente fueron evaluados en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha de la Universidad de Costa Rica (UCR), donde se realizaron los análisis de las variables: peso, diámetro y altura del fruto, pH, grados Brix, acidez titulable, firmeza de la cáscara, tasa de respiración y color de la cáscara. Los resultados obtenidos fueron valores promedio de 3,25 g para peso, diámetro de 2,06 cm y para altura 1,68 cm. Se obtuvo un pH en los frutos semimaduros de 3,41 y en los frutos maduros 3,52. Para brix los frutos semimaduros obtuvieron un valor de 8,06% y los maduros 8,09%, en acidez titulable (AT) en frutos semimaduros fue de 1,27% y 1,18% para los frutos maduros. En firmeza de la cáscara se presentaron valores con diferencias altamente significativas; los frutos semimaduros obtuvieron un valor de 4,44 N, mientras que en los frutos maduros la firmeza fue de 1,50 N. En cuanto a la medición de la tasa de respiración, en la primera hora los frutos maduros obtuvieron los valores más altos de producción con 20246,27 CO<sub>2</sub>/kg\*h en comparación con los frutos semimaduros (18404,94 CO<sub>2</sub>/kg\*h). En la siguiente hora, los valores para los dos estados de madurez de la fruta redujeron su producción de CO<sub>2</sub>, pero manteniendo la tendencia de mayor producción de CO<sub>2</sub> en la fruta madura con 5199,14 CO<sub>2</sub>/kg\*h y 3597,05 CO<sub>2</sub>/kg\*h en la semimadura, lo que refleja un mayor metabolismo de respiración en este estado fisiológico de maduración. En la evaluación del color externo, los frutos de acerola presentaron valores de L, a y b para los frutos semimaduros con 44,65 L, 18,07 a y 23,95 b y en los maduros valores de 27,90 L, 41,14 a y 3,13 b.

**Palabras claves:** Acerola, poscosecha, caracterización física y química.

## INTRODUCCIÓN

La acerola (*Malpighia emarginata*) es un arbusto que habita en ambientes de baja precipitación desde el sur de México hasta el norte de Suramérica (Vivaldi 1979). La especie se caracteriza por presentar un crecimiento que varía entre semipos-trado a erecto y de compacto a abierto, con ramas largas sobre las cuales se disponen lateralmente

ramas de entrenudos cortos; las inflorescencias son pedunculadas y se originan en las axilas de las hojas inferiores de las ramas del último crecimiento y en las ramas laterales cortas; los frutos consisten en drupas globulares con tres huesos (Ledín, 1958, Nakasone *et al.* 1968, Vivaldi 1979). La fruta madura de la acerola, *Malpighia emarginata* contiene altos

Recepción: 18.12.2018. Aceptación: 28.10.2019.

contenidos de ácido ascórbico o vitamina C además de vitamina A, hierro y calcio (Calvo, 2007).

La descripción de este frutal es un arbusto que mide entre 1,5 a 3 m de altura, de corteza oscura; tiene numerosas ramas, generalmente dirigidas hacia arriba, frágiles y cortas, que en estado silvestre poseen espinas (las especies cultivadas carecen de espinas). La fruta es redonda con un tamaño promedio de 1,9 cm, un diámetro de 2,2 cm y un peso de 5 gramos (Calvo, 2007).

La contextura de la acerola es jugosa y suave, el gusto sin el añadido de azúcar es agrídulce-ácido, lo que revela un alto contenido de vitamina C, por lo que esta fruta es considerada como una de las fuentes naturales de más alto aporte de L-ascórbico o Vitamina C. (MATTA *et al.*, 2004; MEZADRI *et al.*, 2006).

Las plantas de acerola han mostrado una gran diversidad respecto a características tales como: precocidad, hábito de crecimiento, floración, productividad, capacidad de enraizamiento y calidad de la fruta; motivo por el cual, es de importancia caracterizar los frutos de plantas o materiales ya seleccionados en sistemas de producción de Costa Rica. Como siguiente paso, es importante considerar estos materiales dentro de un programa de investigación para obtener subproductos con valor agregado, al respecto se informa que con la pulpa de la acerola se preparan bebidas, licores,

jugos, helados, dulces, productos de farmacia, para cosméticos y tintes para el cabello. Tanto la fruta fresca como su jugo son poseedores de importantes propiedades nutritivas, siendo además muy eficaz para disminuir los síntomas del cansancio, el estrés, la fatiga y el desgano; también refuerza el sistema inmunológico ayudando a prevenir resfríos, gripes e infecciones, entre otras enfermedades.

Es importante caracterizar física y químicamente el material de acerola, ya que es la materia prima que se utilizará para cumplir con los objetivos de buscar alternativas de valor agregado para el cultivo.

Esta investigación evaluó algunas características físicas y químicas del material denominado clon INTA 92 de frutos de acerola ya seleccionado anteriormente por el INTA para ser considerado dentro de un programa de agroindustria financiado por la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (FITTACORI) en el año 2012. En este sentido, se planteó la siguiente investigación con los siguientes objetivos:

**Objetivo.** Evaluar y caracterizar física y químicamente frutos de acerola (*Malpighia Emarginata*) Clon INTA 92, determinar su tasa de respiración e identificar las actividades de manejo poscosecha en Grifo Bajo de Puriscal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos fueron cosechados en dos grados de maduración: semimaduras y maduras, posteriormente fueron trasladados al Laboratorio de Tecnología Poscosecha de la Universidad de Costa Rica (UCR) donde se realizó el análisis de las siguientes variables:

### 1. Peso del fruto (g)

Se registró el peso de 60 frutos (maduros) mediante una balanza Mettler Toledo con precisión de 0,1g.

### 2. Diámetro y altura (cm)

Se determinó el diámetro y altura de 60 frutos (maduros) mediante un vernier en mm (precisión 0,1mm)

### 3. pH.

Se determinó a partir del jugo de frutas semimaduras y maduras, utilizando un potenciómetro.

### 4. Porcentaje de sólidos solubles (Azúcares totales o Grados Brix).

El porcentaje de sólidos solubles se obtuvo de jugo de dos muestras de frutas en grado de madurez de semimadura y madura, las cuales fueron licuadas



y filtradas a través de una gasa, para luego realizar la determinación de los azúcares con un refractómetro digital marca Atago ATC-1.

### 5. Acidez titulable (%).

Se tomaron muestras de jugo de frutos semi-maduros y maduros, luego se determinó la acidez a través de la titulación con hidróxido de sodio 0,1 N hasta un punto final de pH igual a 8,1. Los resultados obtenidos fueron expresados en porcentaje de ácido málico como ácido predominante mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Acidez} = \frac{V \times N \times \text{Meq}}{\text{g o ml de muestra}} \times 100$$

Donde:

V= volumen de NaOH consumidos (ml)

N = Normalidad del NaOH

meq= peso miliequivalente del ácido predominante en este caso ácido málico (0,067).

g= peso de la muestra en (g).

### 6. Firmeza de cáscara:

Se utilizó un penetrómetro John Chatillón Dpp-100 N 100n x 1N, con punzón en forma de diente. Los datos se tomaron de la parte central del fruto (ecuador) en estado de madurez semimadura y madura y se reportaron los resultados en Newtons (N).

### 7. Tasa de respiración (ml CO<sub>2</sub>/kg\*h)

La tasa de respiración se determinó al pesar y colocar el fruto en un recipiente hermético, de volumen conocido, que valga la redundancia, formó un sistema hermético. Para lograr el equilibrio se dejó por 1 h, luego se tomó una muestra del aire interno del recipiente, la cual se inyectó a un analizador infrarrojo de dióxido de carbono (Illinois Instrument, modelo 6600) para determinar el contenido de los gases (CO<sub>2</sub>). Con los datos obtenidos se calculó la tasa de respiración por medio de la siguiente fórmula: (Umaña *et al*, 2011).

$$\text{TR (ml CO}_2\text{/kg*h)} = \frac{(\text{CO}_2 \text{ final} - \text{CO}_2 \text{ inicial}) \times V \text{ (ml)}}{P \text{ (kg)} \times T \text{ (h)}}$$

Donde:

CO<sub>2</sub> = diferencia del volumen final e inicial de CO<sub>2</sub>

V= volumen del recipiente

P= peso de los frutos

T= tiempo de exposición

8. Color de la cáscara: Se determinó por medio de un colorímetro marca Minolta CR-300 y en el cual se obtiene el valor resultado de tres lecturas realizadas por el colorímetro. Se obtienen los valores L, a y b.

Donde:

Parámetro L: Se refiere a la luminosidad de las muestras, gamas de negro (L= 0) a blanco (L =

100).

Parámetro a: Un resultado negativo valor de un parámetro indica verde, mientras que un positivo

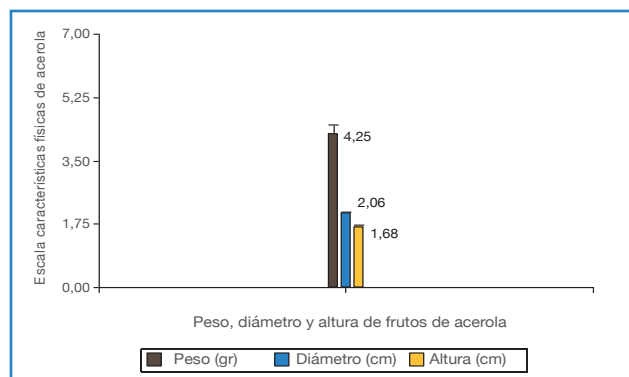
indica un color rojo-púrpura.

Parámetro b: Valor positivo de un parámetro indica amarillo, mientras que el valor negativo indica color azul. (Galotto, 2010; Metas y Metrólogos Asociados 2009).

Los resultados del ensayo se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA), el diseño fue Irrestricto al azar con cuatro repeticiones y una unidad experimental de 10 frutos. El ANOVA se utilizó para todas las variables físicas y químicas, menos para la actividad respiratoria y color externo. Las variables con promedios significativos se analizaron mediante la prueba de Tukey al 0,05%. Se utilizó el programa Infostat.

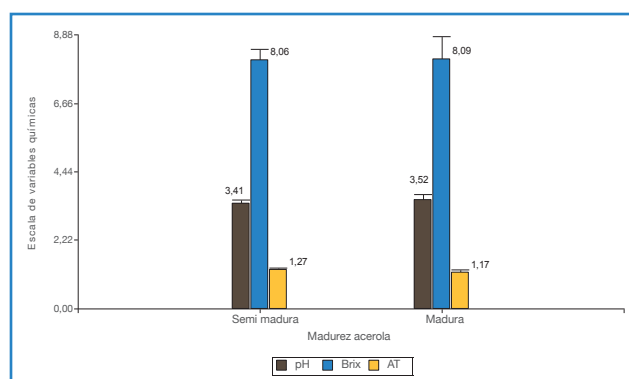
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se caracterizó el material de acerola (Clon INTA 92) donde se obtuvieron como resultados valores promedios para peso de 4,25 g, 2,06 cm para diámetro y para altura 1,68 cm. (Ver Figura 1.).



**Figura 1.** Valores promedios de características físicas de peso, diámetro y altura de frutos de acerola (Clon INTA 92) maduros evaluados. Puriscal. Costa Rica. 2013.

En cuanto a las características químicas, como se puede observar en la Figura 2, se analizaron el pH, Grados Brix y Acidez Titulable (AT). En cuanto al pH los frutos semimaduros obtuvieron un valor de 3,41 y los frutos maduros 3,52. Para los Grados Brix los frutos semimaduros obtuvieron un valor de 8,06 y los maduros 8,09 y por último los valores para la Acidez Titulable (AT) en frutos semimaduros fue de 1,27 y 1,18 para los frutos maduros. Respecto a estas características físicas no se obtuvieron diferencias significativas entre los valores de frutos semimaduros y maduros.



**Figura 2.** Valores promedios de características químicas de pH, Grados Brix y Acidez Titulable (AT) de frutos de acerola (Clon INTA 92) evaluados según madurez. Puriscal, Costa Rica. 2013

Al respecto, se menciona que los dos criterios utilizados para juzgar la madurez del fruto de acerola son el color de la piel y el contenido de sólidos solubles. La madurez mínima aceptada en California exige que la superficie completa de la acerola tenga un mínimo de color rojo claro y valores de 14 a 16% de sólidos solubles, dependiendo de la variedad (FAO. 2006). En esta evaluación y tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, el valor de Brix del material de acerola evaluado se considera como bajo, en los dos estados de madurez.

Otras características de calidad que la fruta debe tener son:

- Frutos enteros con aspecto fresco.
- Sanas (se deben desechar los frutos atacados por hongos que causan podredumbres o alteraciones que los hagan impropios para el consumo).
- Firmes.
- Limpias (exentas de materias extrañas visibles como tierra, residuos vegetales, etc.).
- Exentas de humedad exterior anormal.
- Exentas de olores y/o sabores extraños.
- Provistas de su pedúnculo (salvo para las variedades en las que se desprende de modo natural al ser recolectadas) (FAO. 2006).

Existen otras características de calidad o exigencias comerciales de la acerola que se pueden tomar en cuenta, principalmente si se considera la opción de exportación en donde las frutas se clasifican en las siguientes categorías:

### Categoría Extra

Las acerolas clasificadas en esta categoría serán de calidad superior, presentarán la forma, el desarrollo y la coloración característicos de la variedad, deben estar exentas de defectos, con excepción de muy ligeras alteraciones superficiales en la epidermis, siempre que no perjudiquen el aspecto general de calidad y presentación en el envase.

## Categoría I

Las acerolas clasificadas en esta categoría serán de buena calidad, presentarán la forma, el desarrollo y la coloración característicos de la variedad. No obstante, pueden admitirse ligeros defectos en forma, desarrollo y coloración. Deberán estar exentos de quemaduras, grietas, daños mecánicos y defectos causados por el granizo.

## Categoría II

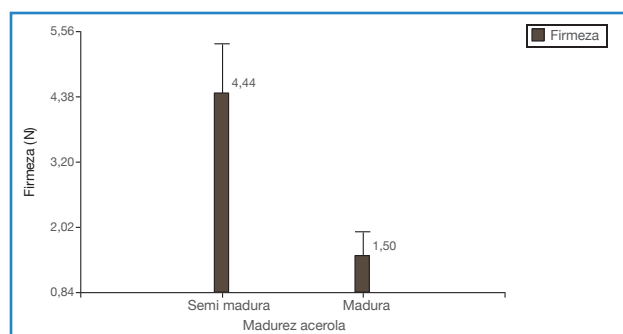
Esta categoría comprende las acerolas de calidad comercial que no pueden clasificarse en las categorías superiores, pero que cumplen con las categorías mínimas de calidad. Se admiten defectos de forma, desarrollo y coloración siempre que las acerolas conserven sus características.

## Empaque

El contenido de cada envase será homogéneo y no contendrá más que frutos del mismo origen, variedad, calidad y de calibre sensiblemente uniforme. Los frutos clasificados en la categoría Extra, deberán presentar además una coloración y madurez uniformes.

Las acerolas deben acondicionarse de manera que se asegure la protección conveniente del producto. Los materiales como papeles, utilizados en el interior del envase, serán nuevos, limpios y de naturaleza tal que no puedan causar alteraciones internas o externas a los frutos. Los envases estarán exentos de cualquier cuerpo extraño, salvo los usuales utilizados en su acondicionamiento y se prestarán limpios y en perfectas condiciones higiénico sanitarias. Todos los materiales que estén en contacto con los frutos deberán estar autorizados (FAO, 2006).

Para la firmeza de la cáscara, como se muestra en la Figura 3, se presentaron valores con diferencias altamente significativas. Los frutos semimaduros obtuvieron un valor de 4,44 N, mientras que en los frutos maduros la firmeza fue de 1,50 N. La firmeza de cáscara de los frutos maduros se redujo en más de un 200%, por lo que este estado de maduración puede favorecer que los frutos sean altamente susceptibles a daños mecánicos y físicos, produciendo pérdidas poscosecha al manipularse sin el debido cuidado.



**Figura 3.** Valores promedios de firmeza (N) de frutos de acerola (Clon INTA 92) según desarrollo de madurez. Puriscal, Costa Rica. 2013.

Al respecto, se recomienda que la recolección o cosecha de la fruta se realice dependiendo del uso o destino de la fruta. Si la fruta es destinada para las industrias en la elaboración de pulpas, se debe cosechar cuando esté de color rojo intenso, mientras que cuando es para consumo fresco debe cosecharse iniciando su maduración o semimadura (Calvo, 2007 y Ritzinger, 2003).

Principalmente, en el caso que la fruta sea destinada para la industria, se recomienda que se coseche totalmente madura, por lo tanto, la propia acción de la cosecha como su manipulación posterior, deben realizarse con mucho cuidado y considerar el tipo de empaque que se utilice, ya que los empaques de cosecha en donde la fruta se acumula en volúmenes o cantidades grandes, pueden afectar la calidad de la fruta favoreciendo los daños físicos por el efecto de compresión y químicos al producirse el inicio de daños por fermentación.

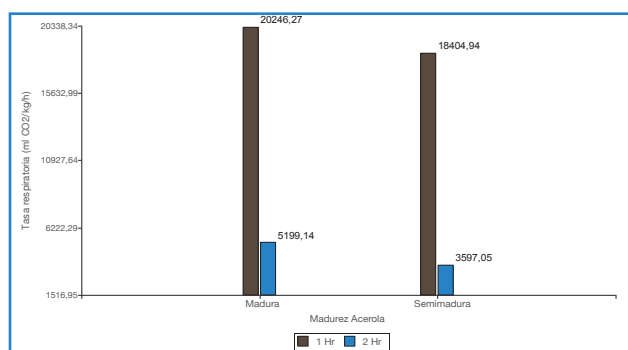
Al respecto FAO (2006) menciona, que los frutos de acerola se deterioran rápidamente una vez cosechados, a las cuatro horas de la cosecha se pueden presentar diferencias sensoriales en el producto, principalmente producidos por una rápida fermentación. Por esta razón el tiempo para el procesamiento en algún proceso industrial de la fruta debe ser rápido o bien almacenarlo bajo condiciones controladas de temperatura o refrigeración o considerar un grado de maduración no tan avanzado para su manipulación.

En caso de que la fruta se almacene en refrigeración, las condiciones recomendadas son de 0C° (32F°) y una humedad relativa entre 85-90%., asegurándose un período de vida poscosecha de hasta 6-8 semanas (UC Davis, 2011).

Un manejo apropiado de la temperatura (enfriamiento rápido hasta alcanzar la temperatura óptima de almacenamiento (0°C), puede controlar completamente la pudrición por *Rhizopus* y reducir significativamente la pudrición parda y el moho gris. La eliminación de las frutas enfermas y dañadas del empaque es importante. Los tratamientos con fungicidas pre y poscosecha también son recomendables (FAO, 2006).

En función de lo anterior, se considera el fruto de la acerola como altamente perecedero ya que su metabolismo de maduración es muy acelerado.

En esta evaluación se midió la tasa de respiración (mICO<sub>2</sub>/kg\*h) de frutos de acerola semimaduros y maduros a temperatura ambiente 23°C. Los resultados se presentan la Figura 4.



**Figura 4.** Valores de tasa de respiración (mICO<sub>2</sub>/kg\*h) de frutos de acerola (Clon INTA 92), según su madurez y tiempo de respiración. Puriscal, Costa Rica. 2013.

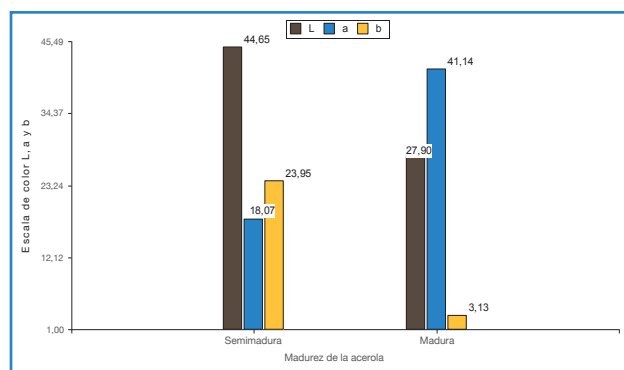
Para la primera hora de almacenamiento, los frutos maduros obtuvieron valores más altos de producción de CO<sub>2</sub>/kg\*h en comparación con los frutos semimaduros. En la siguiente hora los valores para los dos estados de madurez de fruta redujeron su producción de CO<sub>2</sub>, pero manteniendo la tendencia de mayor producción de CO<sub>2</sub> en la fruta madura, lo que refleja un mayor metabolismo de respiración de este estado fisiológico.

La reducción en los valores de producción de CO<sub>2</sub> de la primera hora con respecto a la segunda, se explica en que los niveles de oxígeno iniciales (O<sub>2</sub>) de los recipientes que contenían las muestras en los dos estados de madurez de las frutas habían sido consumidos, por lo que el metabolismo de respiración redujo su velocidad (en ambos grupos de fruta).

Este efecto, fue producido por el equilibrio gaseoso pasivo formado por el consumo de O<sub>2</sub> de la primera hora de respiración de los frutos de acerola, que se reflejó en una disminución de la respiración expresada como menor producción de mICO<sub>2</sub> /kg\*h.

De manera práctica esta evaluación refleja (en los dos estados de maduración de la acerola) que esta es una fruta muy perecedera y se tendrá que considerar este comportamiento en su manejo poscosecha, máxime si la acerola es cosechada con una madurez más avanzada.

En cuanto a la medición del color externo de los frutos de acerola, en la Figura 5 se pueden observar los valores para los parámetros en la escala L, a y b. En el parámetro L que mide la luminosidad, los frutos semimaduros obtuvieron un valor de 44,65 diferente al valor de los frutos maduros con un valor de 27,90, lo que significa que este último estado de madurez es de tono más oscuro que el estado semimaduro de la acerola.



**Figura 5.** Valores de color externo (escala L, a y b) de frutos de acerola (Clon INTA 92) semimadura y madura. Puriscal, Costa Rica. 2013.

Para el parámetro a, los dos valores son positivos, lo que indica que son colores rojos y no verdes, sin embargo, el valor de la fruta madura (41,14) es mayor (rojo más oscuro) que el de la fruta semimadura (18,07). Por último, el valor del parámetro b también se muestra que ambos son positivos lo que indica que la fruta semimadura presenta tonalidades mayormente amarillas, siendo mucho menor la tonalidad en la fruta madura (3,13) en comparación con la tonalidad de la fruta semimadura (23,95) (Figura 5.1).

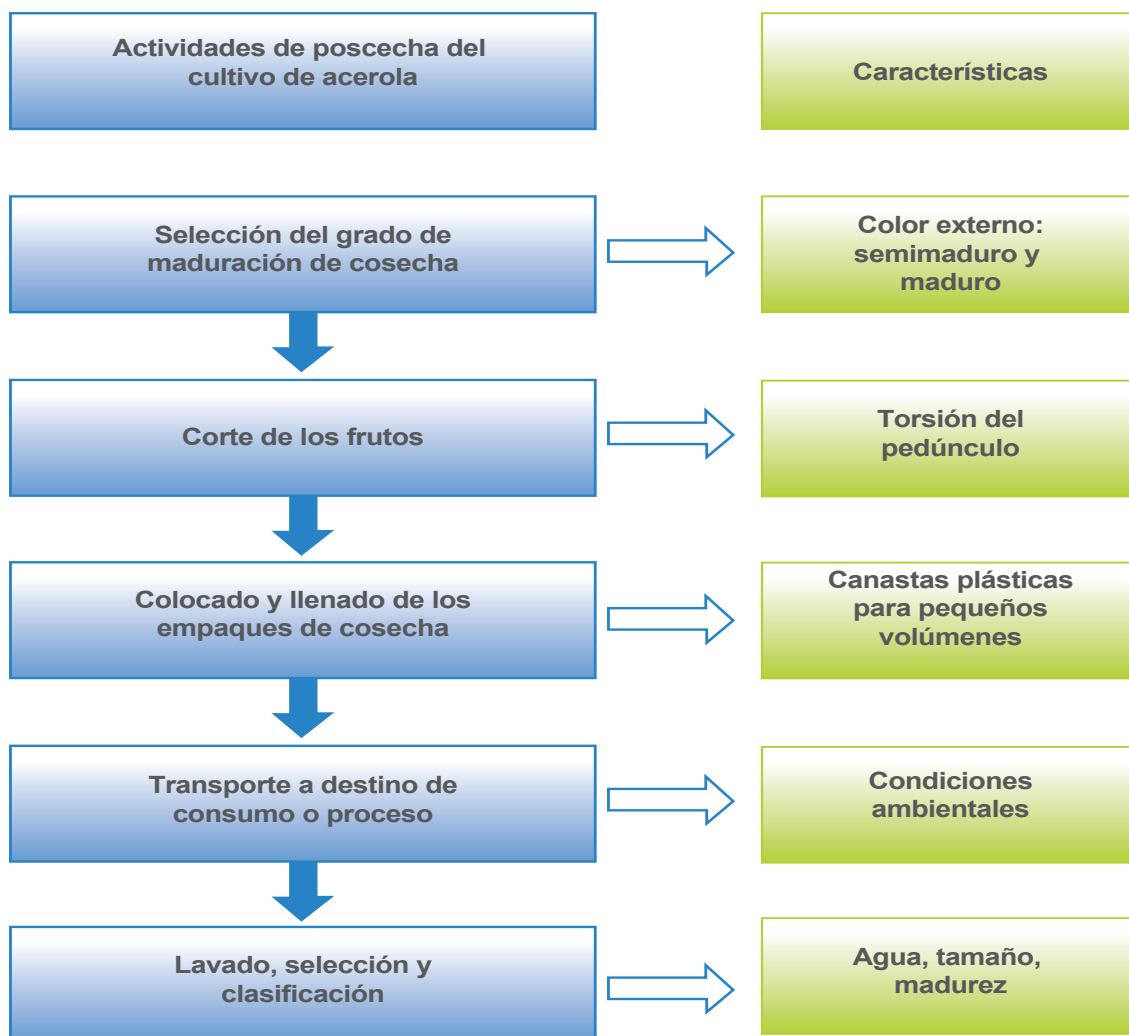


**Figura 5.1** Colores externos del fruto de acerola (Clon INTA 92) con dos grados de madurez semi-madura (línea inferior) y madura (línea superior). Puriscal, Costa Rica. 2013.

La importancia de la medición del color externo de los frutos de acerola según los dos grados de madurez, radica en caracterizar y reconocer las características de color externo que tenga la fruta

para ser considerado como un criterio de cosecha acertado, según el fin que tenga la fruta, ya sea de consumo fresco o de materia prima para algún tipo de proceso industrial. Como se mencionó anteriormente, el deterioro de la fruta una vez cosechada inicia muy rápido, aproximadamente en cuatro horas y este comportamiento es más acelerado entre mayor sea el grado de maduración, por lo cual se debe de considerar en el grado de maduración en que se debe cosechar la fruta según sea su uso inmediato. En la Figura 5.1 se muestra el color externo de las frutas de acerola con los dos estados de maduración evaluados: semimaduro (abajo) y maduros (arriba).

Las actividades de manejo poscosecha de acerola que se realizaron en bajo de Puriscal comprendieron las siguientes acciones que se describen en la Figura 6.



**Figura 6.** Actividades y características de manejo poscosecha de acerola. Puriscal, Costa Rica. 2013.

Estas actividades se realizaron en el manejo poscosecha de acerola en esta localidad. Es importante tener claro cuál es el índice de cosecha escogido según el destino que tenga la fruta, considerando siempre el grado de perecibilidad y su fácil y rápido deterioro luego de ser cosechada. Tomando en cuenta las características de calidad que propone FAO (2006), se pueden adoptar una serie de medidas para tratar de comercializar la fruta con un mayor grado de calidad, esto en caso de poder optar eventualmente a mercados internacionales o bien mercados nacionales con estándares altos de calidad (fruta fresca o procesos industriales) por ejemplo, se podrá considerar:

- Realizar el corte de la fruta con instrumentos de cosecha (tijeras).
- Dejar una longitud de 1 cm en el pedúnculo.
- Realizar una estricta selección de la fruta para cosecha según el índice de cosecha por color externo y tamaño de la fruta
- Utilizar empaques de campo y transporte adaptados a la condición y características físicas y fisiológicas de la fruta.
- Realizar tratamientos poscosecha en campo (lavado, secado, selección, clasificación, etc.).
- Seleccionar adecuadamente los tipos de empaques y sus materiales de transporte (acomodo y disposición de frutas).

## LITERATURA CITADA

Calvo VI. 2007. La acerola como opción productiva para Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 28 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Acerola (*Malpighia glabra* Millsp.). Productos frescos y procesados. Roma, Italia. 26 p.

Galotto, J.M. 2010. Propiedades físicas y estructurales de los alimentos. Universidad de Santiago de Chile. Facultad Tecnológica. Santiago, Chile. 23 p.

Ledin RB. 1958. The Barbados or West Indian cherry. Gainesville: University of Florida; 594: 28-38.

Finalmente cabe destacar que de acuerdo con esta investigación:

1. Se caracterizó físicamente el material de acerola (Clon INTA 92) cosechado en Grifo Bajo de Puriscal, donde se obtuvieron como resultado los valores promedios para las variables de peso, diámetro y altura de 4,25 g, 2,06 cm y 1,68 cm, respectivamente.

2. El material de acerola (Clon INTA 92) evaluado en cuanto a la caracterización química, no presentó diferencias significativas para pH, Grados Brix y Acidez Titulable (AT), en su condición de madurez (semimadura y madura).

3. En cuanto a firmeza de la cáscara, el material de acerola (Clon INTA 92) maduro presentó un valor de 1,50 N, reduciendo su firmeza (estadísticamente significativa) en alrededor de 200% en comparación con la fruta semimadura cuyo valor fue de 4,44 N.

4. En cuanto al comportamiento fisiológico, la acerola (Clon INTA 92) presentó un acelerado metabolismo de respiración a temperatura ambiente (23°C) reflejado en los altos niveles de producción de  $m\text{ICO}_2/\text{kg}^*\text{h}$  en los dos estados de maduración evaluados, lo que refleja ser una fruta muy perecedera.

MATTA, V.M. et al. 2004. Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice. *Journal of Food Engineering*, v. 61, p. 477-482.

McGregor, L.M. 1987. Manual de transporte de productos tropicales, USDA Agricultural Handbook No. 668. Washington DC, USA. 148 p.

Metas y metrólogos asociados. 2009. La guía de medición del color. Jalisco, México. 12 p.

MEZADRI, T. et al. 2006. The acerola fruit: composition, productive characteristics and economic importance. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, v. 56, n. 2, p. 101-109.

Nakasone H. et al. 1968. Selection, evaluation and naming of acerola (*Malpighia glabra* L.) cultivars. Hawaii Agric. Exp. St. University of Hawaii 1968; 65: 19.

Ritzinger, R; Kobayashi, A. y Oliveira, J. 2003. Cultura da aceroleira. Embrapa. Mandioca e Fruticultura. Ministerio da Agricultura, Pecuaria e abastecimiento. Cruz das Almas. Brasil. 12 p.

UC. Davis. 2011. Postharvest technology maintaining produce quality and safety. Características y condiciones recomendadas para el almacenamiento por tiempo largo de frutas y hortalizas frescas. Davis, California. USA 8 p.

Umaña, G; Loría, C; Gómez, J.C. 2011. Efecto del grado de madurez y las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de la papaya Híbrido Pococí. *Agronomía Costarricense* 35(2):61-73.

Vivaldi J. 1979. The systematic *Malpighia* L. Thesis of Degree of Doctor or Philosophy. Fac. of Graduate School of Cornell University. 259 p.

## NOTA TÉCNICA

# EVALUACIÓN DE HÍBRIDOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) EN CONDICIONES DE CAMPO EN SALITRAL DE SANTA ANA

Ligia López Marín<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Evaluación de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum*) en condiciones de campo en Salitral de Santa Ana.** La investigación se estableció el 18 de setiembre del 2018 y concluyó el 13 de marzo de 2019 en Salitral de Santa Ana, a una altura de 1044 msnm y coordenadas 09°55'09' latitud norte y 84°12'30" longitud oeste. El objetivo del estudio fue evaluar el rendimiento y las características poscosecha de siete híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum*), los cuales fueron dispuestos en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las variables analizadas fueron: rendimiento, número de frutos, calibre, peso del fruto, firmeza, grados brix, pH, pérdida de peso del fruto en anaquel y daños poscosecha. Los híbridos 1507 y FDR 8565 presentaron los mejores rendimientos totales con 8,22 kg y 7,74 kg/planta, respectivamente. La mayor producción ocurrió entre los 118 a 125 días después del trasplante, obteniendo los mejores rendimientos de primera y segunda calidad, los híbridos 1507 (4,13 kg) y el 3189 (3,74 kg/planta). A los cero días después de la cosecha (0 DDC) los híbridos 1507(34,65 N) y 3189 (32,90 N) presentaron la mayor firmeza del fruto, aunque todos estaban dentro de los parámetros ideales. A los 15 DDC la firmeza de los frutos varió decrecientemente en todos los híbridos, excepto con 3189 y se clasificaron como moderadamente firmes; mientras que 3189 moderadamente blando. Los híbridos DWR-7810, Audaz, 3189, 1507 y El Cinco, mostraron un pH de 4,0 y óptimo para el fruto de tomate. A los 15 DDC, la pérdida de peso estuvo entre 4,33 % y 8,36 %; siendo el 1507 (4,37 %) y El Cinco (5,27 %) los que perdieron menos peso. Los híbridos Audaz, FRD-8565 y 3189 presentaron los menores daños poscosecha y los menores daños mecánicos.

**Palabras clave:** Producción, grados brix, pH, pérdida de peso, firmeza, daños poscosecha.

## INTRODUCCION

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las frutas más consumidas y populares del mundo, se considera la especie hortícola más importante en Asia, con alrededor de 25 millones de toneladas métricas producidas en un millón de hectáreas, siendo China el líder mundial, el cual genera el 25 % de la producción mundial (FAO 2005).

En Costa Rica, la actividad está constituida por 1014 agricultores de tomate, en su mayor parte pequeños y medianos productores. La producción se ubica en seis regiones del país: Región Central

Occidental, Región Central Oriental, Región Central Sur (Puriscal, Santa Ana y San Antonio de Belén), Región Brunca, Región Pacífico Central y Región Chorotega, lo que corresponde a un total aproximado de 1 171,9 ha sembradas y un rendimiento de 69 040,45 toneladas métricas, en todo el país (López, 2017).

En la región Central Sur se cuenta con algunas organizaciones, entre ellas se ubican el Centro Agrícola Cantonal (CAC) de Santa Ana y CAC de Escazú, Cooperativa de productores de San Antonio

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. INTA. Costa Rica. llopez@inta.go.cr Sabana Sur, San José.

Recepción: 15.05.2019. Aceptación: 26.11.2019.



de Escazú (COOPESAE), CAC Puriscal, Asociación de Productores Agrícolas de Puriscal (APH Puriscal), ASOCAGRI, Asociación de Productores de Candelarita, Asociación de Productores de La Palma, entre otras. La comercialización del producto fresco se realiza a través del Mercado Mayorista de CENADA y las ferias del agricultor (López, 2009).

Uno de los principales problemas que aqueja a la actividad tomatera en el país, es la enfermedad originada por el complejo de virus y mosca blanca, los cuales causan la enfermedad viral conocida como “Virus de la cuchara”, cuyas siglas en inglés es TYLCV (Tomato Yellow Leaf Curl Virus). Desde el año 2015, de un total de 406 muestras de tejido vegetal, 33 % presentaron esta enfermedad y del 100 % de las muestras tomadas con los síntomas de la enfermedad, el 96 % de éstas, fueron encontradas en los híbridos JR y Milán, los cuales son los híbridos que más sembraron los productores (López *et al.* 2017; Matamoros, 2017).

Debido a la aparición del virus en híbridos comerciales susceptibles, a las altas pérdidas ocasionadas en el cultivo a (mayor del 75% en plantas de menos de un mes de trasplantadas) y la falta de cultivares con resistencia al virus en el país; las investigaciones se enfocaron inicialmente a evaluar cultivares experimentales del INTA y de la Universidad de Costa Rica; así como híbridos importados por las empresas de semillas con resistencia, para disponer con prontitud de algún híbrido que tuviera las características agronómicas de crecimiento, rendimiento y demás características poscosecha similares a los híbridos susceptibles que se venían utilizando mayormente en el país. Del año 2015 a la fecha, se han evaluado 33 cultivares

de tomate y la Oficina Nacional de Semillas cuenta con una buena cantidad de híbridos registrados y con resistencia al virus de la cuchara.

En otros países del Caribe donde el TYLCV ha ocasionado daños, las pérdidas, al igual que en Costa Rica, han sido hasta de un 100 % cuando la aparición de la enfermedad se presenta en los 45 días después de sembrar la semilla (Quiñones, Fonseca y Martínez, 2007).

Entre los años 2015 y 2017, el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), ha realizado investigaciones orientadas a cuantificar la incidencia e índice de severidad, empleando como medio de comprobación, los análisis moleculares para detectar la presencia o ausencia del virus de la cuchara en cada cultivar en la Región Central Occidental (Quirós, *et al.* 2017).

Cabe destacar que solamente en una de las investigaciones se evaluó el rendimiento por calidades de los híbridos (Audaz, Colossus, TX-105 y El Cinco) en la comunidad de Rosales de Desamparados de Alajuela (Quirós, 2016). Sin embargo, en la Región Central Sur no se han generado investigaciones del daño ni de rendimiento con los híbridos que siembran los productores de esta región (López *et al.* 2017).

El objetivo general fue evaluar el rendimiento y características poscosecha de siete híbridos de tomate con resistencia al virus TYLCV e injertados con un patrón con resistencia a la marchitez bacteriana en la Región Central Sur.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se estableció en la finca del agricultor Alfredo Montoya en Salitral de Santa Ana, a una altura de 1044 msnm, entre las coordenadas

09°55'09' latitud norte y 84°12'30" longitud oeste. El ensayo inició el 18 de setiembre de 2018 y concluyó el 13 de marzo de 2019.

Se emplearon siete híbridos y un portainjerto, que se detallan a continuación:

Cuadro 1. Híbridos evaluados en la investigación. Costa Rica. 2019

Híbridos	Estado del Registro OFINASE*	País de procedencia
Audaz	comercial	Israel
El Cinco	comercial	España / Israel
FDR-8565	comercial	Perú /Tailandia
DRW-7810	comercial	Holanda
1507 (Helicaz)	comercial	Israel
3189 (Turrialba)	comercial	Holanda
Bermelo	experimental	Perú
Shelter (Portainjerto)	comercial	España

OFINASE\*= Oficina Nacional de Semillas

Todos estos híbridos poseen frutos con forma ligeramente achatada y son de color rojo (IPGRI, 1996).

La parcela experimental constó de 806,4 m<sup>2</sup>. La subparcela midió 28,8 m<sup>2</sup> y abarcó tres hileras con 12 plantas (36 en total), de las cuales se evaluaron las 10 plantas centrales. La distancia entre plantas fue de 0,5 m y 1,6 m entre lomillos, para una densidad de 1,25 plantas por metro cuadrado.

Para todas las plantas de tomate, se empleó como patrón la variedad Shelter, ya que el terreno presentó una alta presión de inóculo de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*). Para evitar la contaminación de las uniones de los injertos se preparó una alomillada alta para el buen desarrollo radical, y no se realizó aporca porque (1) las uniones de los injertos se pueden contaminar por algún patógeno a consecuencia del salpique del suelo, (2) la copa que es susceptible al patógeno del suelo, puede afectarse, o (3) pueden desarrollarse hijos por debajo del injerto y produzcan frutos no deseados.

El manejo del cultivo estuvo a cargo del agricultor y bajo la supervisión del INTA. Las plantas se trasplantaron a los 35 días de iniciado el almácigo. Las plantas recibieron una deshija manual semanalmente, para eliminar los brotes formados debajo de la conocida horqueta del tomate, así como también, para eliminar todos los hijos que pudieron emerger debajo de la unión del injerto. Las plantas se manejaron a dos ejes y a la altura de

1,60 m se agobiaron hacia la derecha de las hileras, para facilitar la cosecha y evitar que toparan con el plástico, en detrimento de la calidad del fruto. A los 25 días del trasplante se realizó la primera deshoja, y se continuó con una semanal durante el ciclo del cultivo. Adicionalmente, el cultivo se techó 15 días después de la siembra con bandas plásticas, no obstante, por altas ráfagas de viento, en enero se retiró. El riego se realizó cada dos días, mediante cinta de goteo y después de las 4 p.m.

La fertilización inició con la aplicación de 30 g/planta de fertilizante granulado de la **fórmula completa** 10-30-10 al trasplante y fue dispuesto en el suelo y alrededor de la planta en forma de media luna. Esta práctica se repitió nuevamente al mes del trasplante con la **fórmula completa** 10-30-10 a razón de 50 g/planta; y al mes y medio se aplicó 15 g/planta de la **fórmula completa** 15-3-31 y dos aplicaciones de 12-11-18+ microelementos (15 g/planta) y CaO al 35% (3 l/ha) para preparar la planta en su estado reproductivo. A partir del trasplante, todas las semanas se aplicaron fertilizantes foliares a base de calcio, magnesio, potasio y otros elementos menores.

Para el control de las plagas se emplearon insecticidas como el Silicofluoruro de sodio granulado a razón de 5 g P.C./planta al momento de la siembra, para el control de cortadores. Para el manejo integrado de *Tuta absoluta* (palomilla) se coloraron trampas con feromonas para el control de los adultos, a razón de 20 unidades/ha.

Estas trampas fueron dispuestas alrededor de la plantación y se colocaron en la parte inferior de las plantas de tomate y dentro de galones de plástico con aberturas en dos lados del recipiente y llenos de agua con jabón, para atrapar los adultos de la palomilla durante el ciclo del cultivo. Además, para el control eficiente de la palomilla, se realizaron tres aplicaciones alternando dos insecticidas; Benzoato de amamectina (84 g/200 l) y *Bacillus thuringiensis* (2,0 g/l). Para el control de *Bemisia tabaci* (mosca blanca) se aplicaron dos insecticidas e iniciando el día de la siembra con Fipronil:(±)-5-amino-1-(2,6-dicloro-a, a, a-trifloro-p-tolyl)-4-trifluoro-3-carbonitrilo (0,6 l/ha) y 15 días después con imidacloprid (3 cc/l para 2000 plantas).

El control preventivo de patógenos que pueden penetrar por heridas (deshoja y deshija), se realizó con la aplicación de Propamocarb fosetilato a razón de 1,5 l P.C/ha.

### Variables de Evaluación

Las variables a evaluar fueron: altura del primer racimo de frutos, rendimiento por calidades de fruto, calibre y peso del fruto, número de frutos/calidad, firmeza, grados brix, pH, porcentaje de pérdida de peso en anaquel y porcentaje de daños poscosecha.

Altura del primer racimo de frutas: A cada híbrido se le midió la altura del primer racimo de frutas el 9 de enero de 2019, cuando las plantas tenían 111 días de trasplantadas.

Calibre de frutos: Se midieron con un vernier, considerando el diámetro ecuatorial de 25 frutos/subparcela de cada híbrido.

Rendimiento: Se inició la cuantificación del rendimiento por híbrido, a partir del 20 de diciembre de 2018 hasta el 13 al marzo 2019. La clasificación del fruto se hizo con base en la comercialización del producto en el CENADA (primera, segunda, tercera, echada<sup>2</sup> y bolilla<sup>3</sup>). El estado de maduración de los frutos cosechados se hizo cuando se encontraban en 2 o 3 grados (Figura 1).



**Figura 1.** Patrón de color para frutos del tomate. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Fuente: Quirós 2017.

La cosecha se analizó mediante un modelo general lineal mixto. Las diferencias entre híbridos fueron evaluadas mediante prueba de separación de medias Tuckey al 5 % de significancia

Peso de frutos: Se realizó mediante una balanza digital, con máxima capacidad de 30 kg y se emplearon 25 frutos/subparcela de cada híbrido.

Grados Brix: Se midieron con un refractómetro digital y se utilizaron 25 frutos 0 DDC (cero días después de la cosecha) y a los 15 DDC a los cuales se les extrajo el jugo mediante el empleo de una licuadora para mediar la variable, sin ser diluidas las muestras.

pH: Se midió con ayuda de un peachímetro digital y se emplearon 25 frutos/subparcela de cada híbrido.

Firmeza: Se midió con un penetrómetro digital y utilizaron 25 frutos por subparcela/híbrido, a los 0 DDC y a los 15 DDC. La maduración de los frutos a los 0 DDC, se ubicaron entre los 2 y 3 grados.

% de pérdida de peso del fruto: Se realizó utilizando 25 frutos/ tratamiento a 8 DDC y 15 DDC.

Daños poscosecha: Se clasificaron en daños fisiológicos, por insectos, de patógenos y mecánicos. Se evaluaron 30 frutos al azar, durante las primeras seis cosechas y se les evaluó el tipo de daño. Para la determinación de daños fisiológicos se consideraron aquellos con mala polinización, por deficiencia de calcio, mala coloración, cara de gato, frutos sin cierre apical, anillado, quema por sol o frutos deformes. Los daños por insectos se consideraron los daños por palomilla o por el gusano del fruto (*Heliothis* sp). Para los daños por patógenos se analizaron frutos afectados por *Phytophthora*

<sup>2</sup> Echada (cuarta calidad) corresponde al fruto que le sigue de tamaño más pequeño que la tercera calidad.

<sup>3</sup> Bolilla (quinta calidad) corresponde a los frutos más pequeños de la cosecha.

*infestans* y *Clavibacter michiganensis*, mientras que para los daños mecánicos se consideraron los frutos con presencia de roce por factor del viento, por heridas del mecate, raspaduras, golpes y rajaduras.

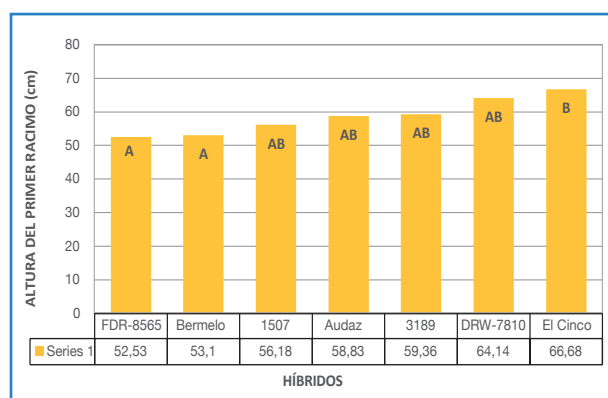
Para analizar la cosecha se utilizó un diseño de Bloques completos al azar (DBCA) con siete

tratamientos y cuatro repeticiones, mediante un modelo general lineal mixto y evaluado mediante prueba de separación de medias Tuckey al 5 % de significancia. Para las demás variables se empleó un Diseño de Bloques completos al azar con cinco repeticiones y separación de medias mediante Tuckey al 5 % de significancia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Altura del primer racimo de frutos (cm)

Se encontraron diferencias en la altura del primer racimo de frutos con  $p \leq 0,0094$ . Los híbridos con la altura promedio menor lo presentaron el FDR 8565 (52,53 cm) y Bermelo (53,10 cm), mostrando diferencias significativas con el híbrido El Cinco, que presentó el mayor promedio con 66,68 cm (Figura 2). De acuerdo con Alemán *et al.* 2016, mencionan que cuando la altura de los racimos de tomate superan los 40 cm, generalmente es debido a la baja luminosidad imperante en la zona y las plantas tratan de crecer, elongándose en detrimento de los órganos reproductivos; o bien, puede ocurrir por la falta de nutrientes al inicio del desarrollo de las plantas y puede que demoren en pasar de fase vegetativa a reproductiva.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

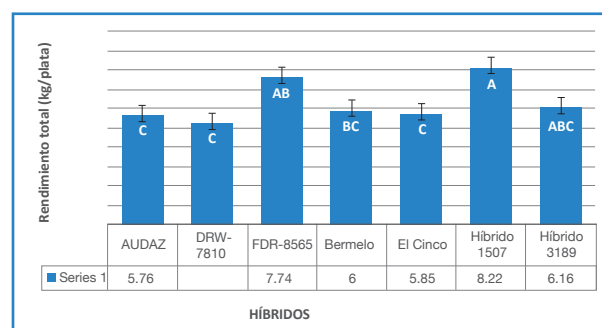
**Figura 2.** Altura (cm) del primer racimo de frutos de los híbridos de tomate. Salitral de Santa Ana, San José, Costa Rica. 2019.

### Rendimiento (kg/planta)

La cosecha se extendió por 112 días, iniciando el 20 de noviembre y concluyendo el 13 de marzo de 2019. Para el rendimiento se presentaron diferencias

entre los híbridos de  $p \leq 0,0281$ , un  $R^2$  de 0,67 y un coeficiente de variación de 42,22.

Los híbridos 1507 y FDR 8565 presentaron los mejores rendimientos por planta de 8,22 kg y 7,74 kg, respectivamente, mostrando diferencias significativas con todos los tratamientos a excepción de los híbridos 3189 y Bermelo, los cuales obtuvieron rendimientos intermedios de 6,16 kg y 6,0 kg. Por su parte El Cinco (5,85 kg), Audaz (5,76 kg) y DRW-7810 (5,34 kg) obtuvieron los menores rendimientos (Figura 3).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

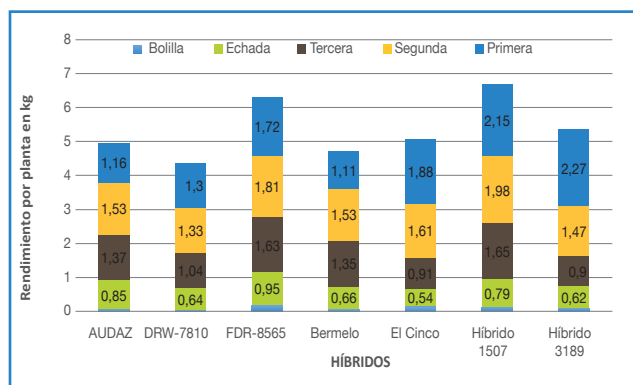
**Figura 3.** Rendimiento total en kg/planta de los híbridos de tomate. Santa Ana, San José, Costa Rica. 2019.

Con relación al rendimiento de frutos de primera calidad, ocurrieron diferencias entre los híbridos de  $p \leq 0,0316$ , aunque no aparecieron diferencias para frutos de segunda calidad. Asimismo, los frutos de tercera calidad, tuvieron diferencias de  $p \leq 0,0072$ , los clasificados como echada (cuarta calidad) presentaron diferencias de  $p \leq 0,0008$ , mientras que la calidad bolilla, no presentaron diferencias.

De acuerdo a la comparación de medias mediante Tukey ( $p > 0,05$ ), los mejores rendimientos promedio por planta de primera calidad lo presentaron los híbridos 3189 y 1507 con 2,27 kg

y 2,15 kg, respectivamente; en tercera calidad fueron el 1507 y FDR-8565 con 1,65 kg y 1,63 kg, mientras que con calidad echada (cuarta calidad) lo obtuvieron el Audaz (0,85 kg) y FDR-8565 (0,95 kg). Tanto los frutos clasificados en segunda calidad y bolilla (quinta calidad) no presentaron diferencias en los rendimientos de los híbridos evaluados (Figura 4).

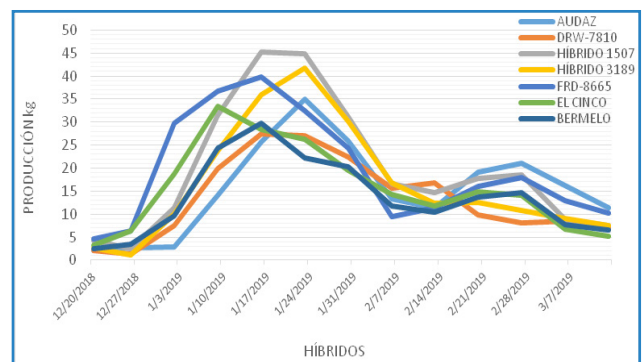
Cuando se consideraron los rendimientos promedio de primera y segunda calidad por planta para cada híbrido, se encontró que tanto el 1507 como el 3189 obtuvieron los mayores promedios con 4,13 kg y 3,74 kg.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Figura 4.** Rendimiento (kg/planta) de los híbridos según calidades del fruto por planta. Santa Ana, San José, Costa Rica. 2019.

Se observan los rendimientos por cosecha de cada híbrido durante el desarrollo de la investigación. Nótese que el mayor pico de producción de los híbridos sucedió entre el 16 al 23 de enero, correspondientes a la quinta y sexta de cosecha (118 días después del trasplante DDT). A partir de la octava cosecha (139 DDT) los rendimientos bajaron abruptamente para todos los híbridos. (Figura 5).

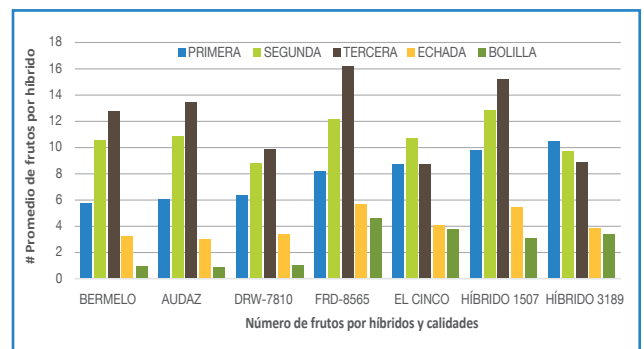


Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Figura 5.** Distribución de la producción de tomate durante el ciclo de cultivo. Salitral de Santa Ana. San José, Costa Rica. 2019.

### Número de frutos según la calidad (unidades)

Según comparación de medias por Tukey ( $p > 0,05$ ), el híbrido 3189 obtuvo el mayor promedio de primera calidad (10,51 unidades); el 1507 y el FRD-8565 obtuvieron los mayores promedios de segunda calidad (12,82 y 12,14 unidades); mientras que el FRD-8565 y el 1507 presentaron los mayores promedios de tercera calidad (16,16 y 15,23 unidades), respectivamente (Figura 6). A nivel nacional, en el mercado de mayoreo los frutos de primera y segunda calidad obtienen siempre los mejores precios, siendo la prioridad para los agricultores.



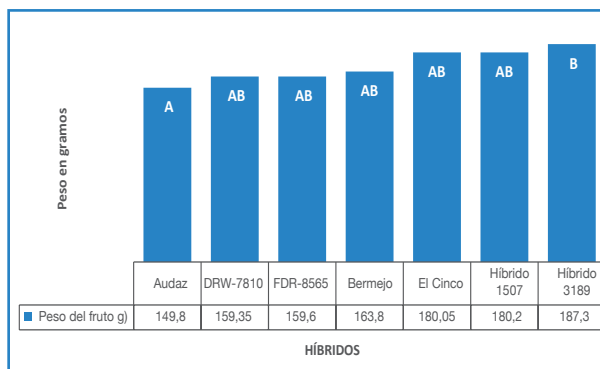
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Figura 6.** Clasificación del número de frutos por híbridos según las calidades en Salitral de Santa Ana. San José, Costa Rica. 2019.

## Peso del fruto (g)

Esta variable es muy importante, porque el producto se comercializa en tinas plásticas de 18 kg. Si el fruto tiene un peso superior, las tinas se llenan con menos tomates. Durante esta investigación se presentaron diferencias en el peso de los frutos entre los híbridos con  $p \leq 0,079$ .

El híbrido 3189 (187,3 g) obtuvo los frutos de mayor peso promedio en comparación a los demás híbridos evaluados. Contrariamente, el Audaz produjo los frutos con el menor peso promedio (Figura 7).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Figura 7.** Peso en gramos del fruto de los híbridos de tomate evaluados. Santa Ana, San José, Costa Rica. 2019.

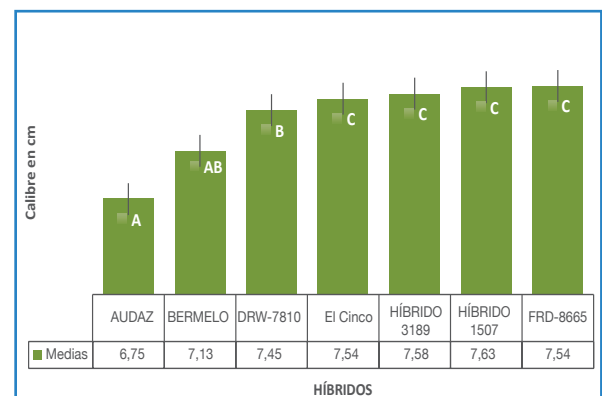
## Parámetros físico-químicos de poscosecha

Los parámetros físico-químicos considerados durante la investigación fueron: firmeza, pérdida de peso del fruto en anaquel, grados Brix, pH y daños poscosecha. La escogencia de estas variables tiene importancia para su comercialización. Chapagain y Wiesman (2004) mencionan la importancia de caracterizar física y químicamente los materiales nuevos o en proceso de desarrollo, para ser comparados con los materiales ya existentes o comerciales, ya que los materiales de tomate poseen diferentes aspectos

exteriores en cuanto a características físicas (forma, tamaño, dimensiones), así como aspectos o características internas físicas y químicas que condicionan y marcan sus diferencias o similitudes en rendimiento y calidad. Aunado a lo anterior, Dávila *et al.* (2011) indican que la calidad del tomate y su aceptabilidad por parte del consumidor están determinadas por factores como apariencia, firmeza, sabor de los frutos, color, textura, el aroma, entre otros.

## Calibre (cm)

Se presentaron diferencias en el calibre entre los híbridos con  $p \leq 0,0001$ . Según comparación de medias Tukey  $p \leq 0,05$ , los híbridos FRD-8665, 1507, 3189 y El Cinco presentaron los mayores calibres promedio (superiores a 7,5 cm), en tanto que Audaz presentó el menor calibre promedio con 6,75 cm (Figura 8).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Figura 8.** Calibre (cm) de los frutos de tomate de los híbridos evaluados. Salitral de Santa Ana, San José, Costa Rica. 2019.

Los frutos de tomate se clasificaron según su calibre (diámetro central en centímetros): 1 es muy pequeño (<3 cm), 2 pequeño (3-5 cm), 3 intermedio (5,1-8 cm), 4 grande (8,1-10 cm) y 5 muy grande (>10 cm) (IPGRI 1996). Por lo tanto, los calibres de los frutos evaluados se ubican dentro de un calibre intermedio (Figura 9).

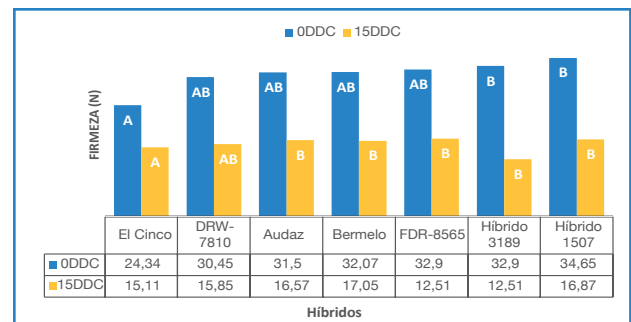


**Figura 9.** Frutos de tomate de los diferentes híbridos. Salitral de Santa Ana, San José, Costa Rica. 2019.

### Firmeza del fruto (Newtons -N-)

Se encontraron diferencias en la firmeza del fruto a los 0 DDC con  $p \leq 0,0131$  y a los 15 DDC con  $p \leq 0,0131$ .

A los 0 DDC todos los híbridos obtuvieron una excelente firmeza del fruto, sobresaliendo el 1507(34,65 N) y el 3189 (32,90 N), mostrando diferencias significativas únicamente con El Cinco (24,34 N), mientras que los 15 DDC, la firmeza promedio de todos los híbridos bajó. Esto coincide con Amaya *et al.* (2009), que mencionan que al reducirse la vida útil del fruto, la calidad y el valor comercial; una vez que el fruto madura, tiende a reducir la firmeza rápidamente, lo que provoca que en el fruto sucedan una serie de modificaciones organolépticas. Por su parte Lamúa (2000) señala que la firmeza de pulpa (pericarpio) es un parámetro que se utiliza para analizar la calidad de los tomates frescos y que por ser un fruto climatérico, con el tiempo, el fruto reduce su turgencia, cambia la conformación de la pared celular, de los tejidos de soporte y su composición. Por consiguiente, los frutos luego de 15 días de ser cosechados, varían considerablemente su firmeza (Figura 10).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Figura 10.** Firmeza de frutos (medidos en Newtons -N-) para evaluar los híbridos de tomate en Santa Ana, San José, Costa Rica. 2019.

Cuando se realizó el porcentaje de firmeza final de los frutos en anaquel, se encontró que los híbridos que perdieron menos firmeza fueron El Cinco (62,08%), FDR-8565 (53,16%), el Audaz (52,05%), y Bermelo con 52,57% (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con los expuestos por Hernández (2013) que indica que cuando hay ablandamiento de la pulpa o sobre maduración, actúan los mecanismos bioquímicos dentro del fruto y aumenta la sensibilidad de que sucedan daños mecánicos o se afecten por patógenos. De la misma manera García *et al.* (2009) comenta que la firmeza está íntimamente ligada con el estado de madurez y la variedad; de hecho, los frutos de tomate poco firmes, son más susceptibles al daño físico y por ende, se reduce su resistencia al transporte. Las enzimas poligalacturonasas y pectinasas son las responsables del incremento del ablandamiento de los tejidos externos, disminuyendo la firmeza de los tejidos (Alarcón, 2013).

Cuadro 2. Porcentaje de firmeza final de cada híbrido en anaquel.

San José, Costa Rica. 2019.

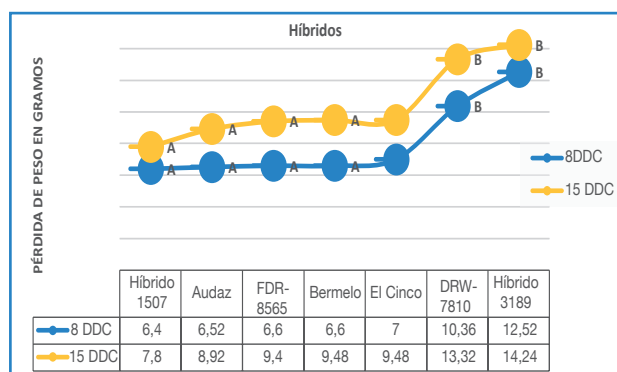
Híbridos	% de Firmeza final
El Cinco	62,08
DRW-7810	52,05
Audaz	53,02
Bermelo	52,57
FDR-8565	53,16
3189	38,02
1507	48,69

De acuerdo con la clasificación de Cantwell (2004), la firmeza de los frutos de tomate se mide en Newton: entre 30 y 50 N son muy firmes, entre 20 y 30 N son firmes, entre 15-20 N son moderadamente firmes, de 10-15 N son moderadamente blandos, con 10 N son blandos en y con 5 N son muy blandos. De acuerdo con esta clasificación, a los 0 DDC todos los híbridos evaluados, excepto el Audaz, se ubicaron como muy firmes, mientras que el Audaz se clasificó como firme. Por otro lado, Arana *et al.* (2007) señalan que los frutos de tomate, para ser considerados como calidad sensorial “extra”, deben presentar una firmeza a la compresión de 18 N, lo cual refleja que todos los híbridos tienen una calidad extra al momento de la cosecha.

Por otro lado, cuando se les midió la firmeza a los híbridos a los 15 DDC (simulación de anaquel), todos excepto el 3189 se clasificaron moderadamente firmes y el 3189 se clasificó moderadamente blando.

### Pérdida de peso del fruto (g)

De acuerdo con los análisis obtenidos, a los 8 DDC y 15 DDC, se observaron diferencias entre los híbridos evaluados de  $p \leq 0,0001$ , los híbridos que perdieron menos peso fueron: 1507 (6,4 g o 9,4 g), Audaz (6,54 g o 8,92 g), FDR 8565 (6,6 g o 7,8 g), Bermelo (6,6 g o 9,48 g) y El Cinco (7 g o 9,48 g), mientras que el 3189 y el DRW 3189 perdieron más peso a los 8 DDC y 15 DDC y tuvieron diferencias a los demás híbridos (Figura 11).



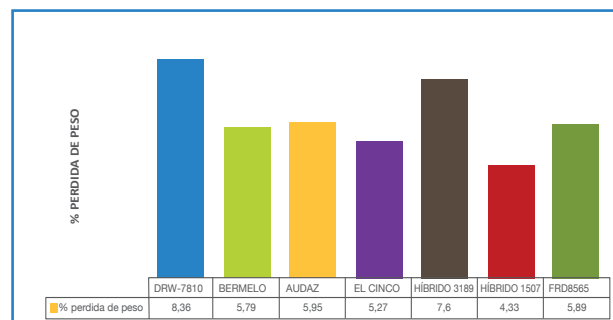
\*DDC= días después de la cosecha

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

**Figura 11.** Pérdida de peso del fruto en anaquel a los 8 DDC y 15 DDC de los híbridos de tomate en Salitral de Santa Ana. San José, Costa Rica. 2019.

Como las pérdidas de peso son acumulativas, se observó que a medida que aumentó el período de almacenamiento, la pérdida de peso fue mayor (Figura 11), lo que coincidió con lo expuesto por Navarro *et al.* (2012) y Giese (2016) que mencionan que cuando los frutos se ubican en grados de maduración 5 y 6, hay pérdida de peso y la firmeza disminuye, y de la misma manera sucedió en esta investigación.

La pérdida de peso que los frutos de los híbridos evaluados presentaron al pasar de 0 DDC A 15 DDC estuvo entre el 4,33 % a y 8,36 %. Los frutos de los híbridos 1507 y El Cinco perdieron menos peso (4,37 % y 5,27 %, específicamente), mientras que los frutos del DRW-7810 (8,36 %) y 3189 (7,60 %) perdieron más peso (Figura 12). Navarro *et al.* (2012) comentaron que para que un fruto de tomate pueda ser comercializado, no debe exceder el 7 % de su peso original. Precisamente, a los 15 días después de ser cosechados, a nivel nacional, ya todos los frutos han sido vendidos y la mayoría ya fueron consumidos. Dentro del proceso de comercialización nacional, el agricultor cosecha y el mismo día lleva el producto a los centros de mayoreo, éstos a su vez, son vendidos a los detallistas, los cuales tardan entre 3 y 5 días para vender todo el producto, llegando al consumidor final a los 6 o 7 días de ser cosechados (Figura 12).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Figura 12.** Porcentaje de la pérdida de peso del fruto en anaquel a los 8 DDC y 15 DDC de los híbridos de tomate en Salitral de Santa Ana. San José, Costa Rica. 2019.

### Grados Brix (sólidos solubles)

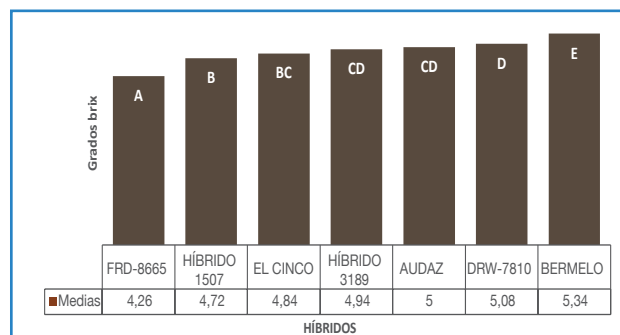
El contenido de azúcar es un factor predominante en la calidad general del cultivo, pero hay muchos factores genéticos y de manejo del cultivo que



también influyen en los niveles de los grados Brix. Por otro lado, las variedades y el manejo del cultivo, no siempre dan valores de brix similares, también el clima juega un papel importante en los resultados de los grados brix (Rizo, 2015).

En el análisis de los grados Brix de los frutos de híbridos evaluados, presentaron diferencias entre los híbridos de  $p \leq 0,0001$ .

En esta investigación, los híbridos Bermelo y DRW-7810 obtuvieron el mayor porcentaje de grados Brix con  $5,34^\circ$  y  $5,08^\circ$ , respectivamente. Con respecto a Audaz, 3189, El Cinco y 1507 mantuvieron valores intermedios ubicados entre 5 y  $4,72\%$ , mientras que el FRD-8665 obtuvo un  $4,26^\circ$ , obteniendo el % de grados Brix más bajo (Figura 13).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

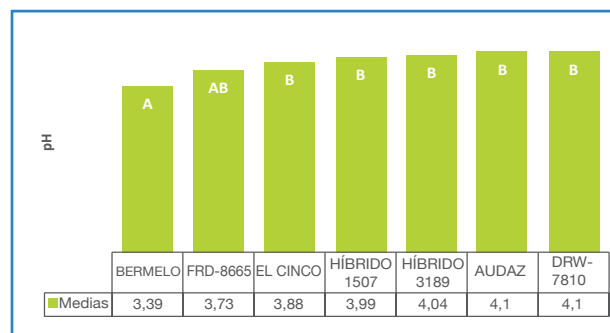
**Figura 13.** Grados Brix de los frutos de siete híbridos de tomate evaluados en Santa Ana, San José, Costa Rica. 2019.

Sin embargo, todos los híbridos evaluados se encuentran dentro del parámetro de grados Brix requerido para tomate y coincide con Rivera (2006), donde señala que los frutos poseen un contenido de sólidos solubles entre 3,5 a 5% brix durante el período de comercialización. Además, los grados Brix se relacionan con el aroma y el sabor óptimos y puede ser que algunos frutos de tomate tengan 10% Brix, aunque es muy poco frecuente.

## pH

Se presentaron diferencias en el pH de los frutos muestreados para los siete híbridos evaluados con  $p \leq 0,0004$ .

Los híbridos DRW-7810, Audaz, 3189, 1507 y El Cinco fueron similares estadísticamente y obtuvieron los promedios de pH superiores, mientras que Bermelo y FRD-8565 obtuvieron los menores promedios (Figura 14). De acuerdo a Rivera (2006) el tomate tiene un rango de pH normal entre 4 y 4,5 y aquellos que presenten valores menores, son los que tienen un sabor más amargo y agrio, mientras que poseen un pH mayor, son más dulces, como en el caso particular de los híbridos DRW-7810 (4,1), Audaz (4,1) y el 3189 (4,04). Los híbridos Bermelo, FRD-8565, El Cinco y 1507 al encontrarse por debajo de un  $pH = 4$ , tienden a ser más ácidos (Figura 14).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Figura 14.** Determinación del pH en frutos de siete híbridos de tomate. Salitral de Santa Ana. San José, Costa Rica. 2019.

Como el sabor del fruto está relacionado con las concentraciones de azúcares y ácidos, la mejor combinación de pH y Brix es cuando el fruto contiene un nivel alto de azúcar y un nivel alto de acidez (Infoagro Systems, S.L., sf). En esta investigación los híbridos con valores de pH y grados Brix superiores fueron DRW-7810, Audaz y 3189.

Si el fruto tiene un alto contenido de ácidos y bajo de azúcares, el sabor es ácido, pero si el contenido de azúcares y acidez son bajos, los frutos son insípidos (Grierson y Kader, 1986).

## Daños poscosecha

Durante la cosecha se observó que los daños mecánicos fueron los que afectaron más los frutos y coincidió con la época de mayor viento en la zona (del 26 de diciembre, 2018 al 30 de enero, 2019). Los daños por insectos, patológicos y fisiológicos se mantuvieron muy similares durante todo el período de la cosecha no sobrepasaron el 5% de los daños (Figura 15).

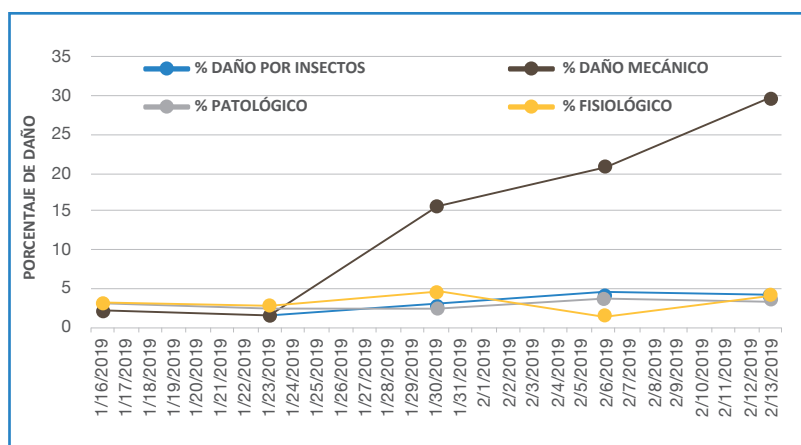


Figura 15. Porcentaje de daño poscosecha de acuerdo a la fecha de la cosecha. Salitral de Santa Ana. San José, Costa Rica. 2019.

En esta investigación no se observaron diferencias entre los híbridos en el porcentaje de daño por insectos ( $p \leq 0,1425$ ), porcentaje de daños patológicos ( $p \leq 0,8397$ ) y porcentaje de daño fisiológico ( $p \leq 0,4087$ ); aunque si hubo diferencias para el porcentaje de daños mecánicos ( $p \leq 0,0007$ ) y el porcentaje de daños poscosecha ( $p \leq 0,002$ ).

Los daños poscosecha se presentaron con un crecimiento lineal, siendo en la última evaluación (13 de febrero) encontrándose el mayor porcentaje de daño poscosecha en 41,39 % (Figura 16).

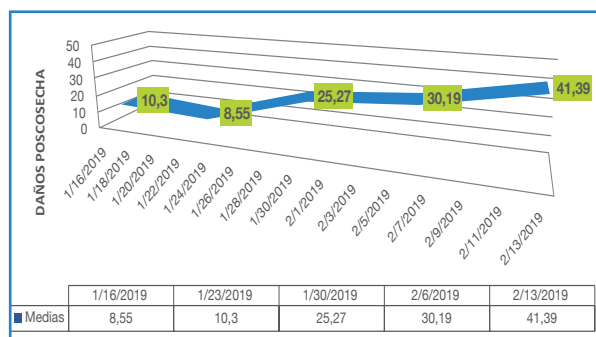


Figura 16. Porcentaje total de daños poscosecha de acuerdo con el momento de la cosecha. Salitral de Santa Ana. San José, Costa Rica. 2019.

De acuerdo con los daños poscosecha según el híbrido cosechado, Audaz (18,68 %), FRD-8565 (18,94 %) y el 3189 (21,28 %) obtuvieron menor porcentaje de daño poscosecha, mientras que el DRW-7810 obtuvo el mayor daño con 30,44 % (Figura 17).

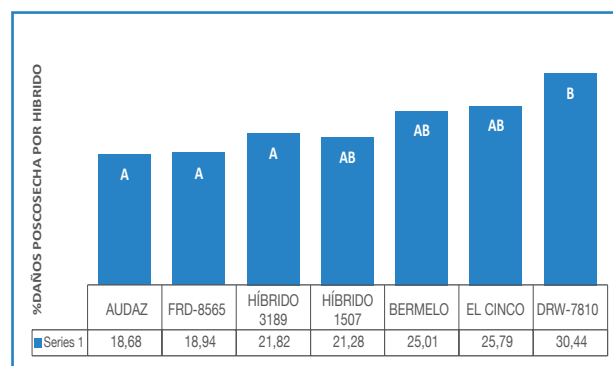
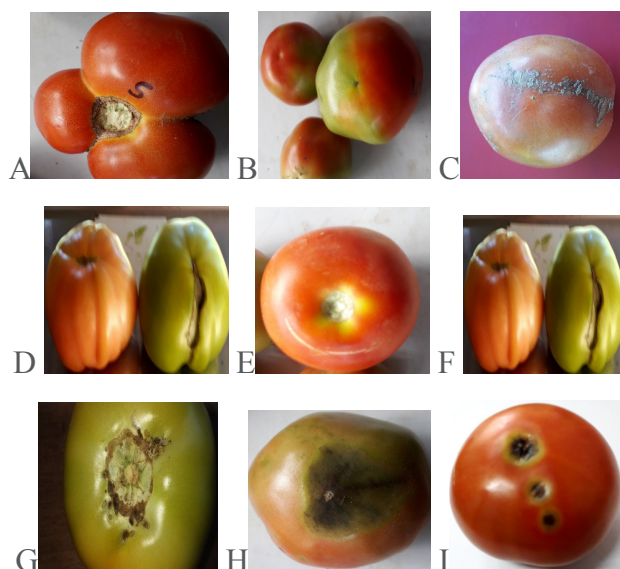


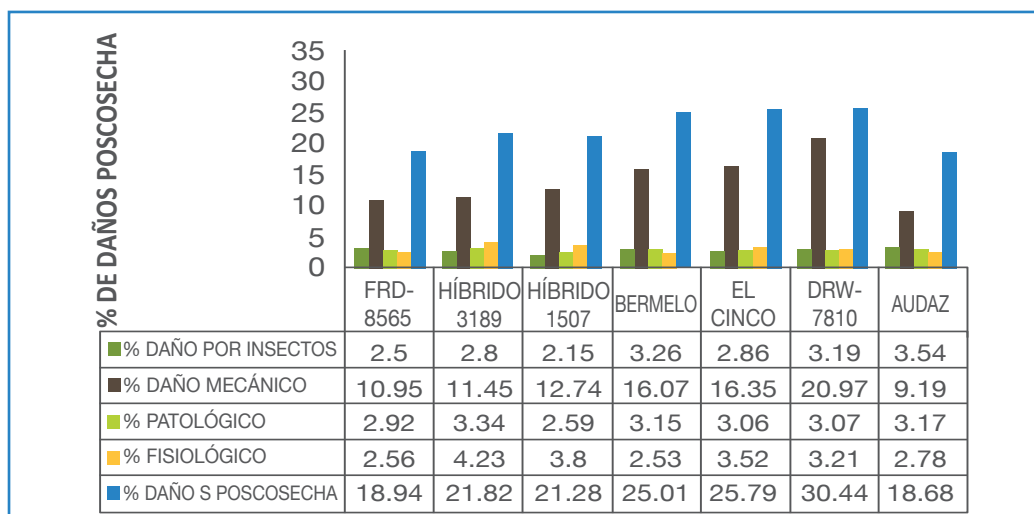
Figura 17. Porcentaje de daños poscosecha según híbrido. Salitral, Santa Ana. Costa Rica. 2019.

Los daños mecánicos que aparecieron normalmente en el fruto fueron ocasionados por el roce, por el mecate, por el viento y por rajaduras. Los daños fisiológicos que se observaron en los frutos fueron: coloración desuniforme, culo negro, cara de gato, deformación y falta de cierre en el ápice apical del fruto. Los daños por insectos que incidieron en el fruto fueron ocasionados por *Tuta absoluta* (palomilla). El fruto en poscosecha se afectó por la presencia de la enfermedad *Clavibacter michiganensis* y uno que otro fruto con daños de Tizón tardío (Figura 18).



**Figura 18.** Daños poscosecha en tomate. A Deformación del fruto, B Decoloración del fruto, C Daños mecánicos, D Falta de cierre apical del fruto, E Anillado del fruto, F Deformación; Daño por *Tuta absoluta*, H. Tizón tardío en fruto, I. Daño por enfermedad *C. michiganensis*. Salitral de Santa Ana. San José, Costa Rica. 2019.

Con respecto a los daños mecánicos, Audaz (9,19 %), FRD-8565 (10,95 %) y el 3189 (1,45 %) presentaron menos daños, en tanto que DRW-7810 obtuvo el mayor daño mecánico con 20,97 % (Figura 19).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Figura 19.** Porcentaje de daño poscosecha según en híbridos de tomate. Salitral de Santa Ana. San José, Costa Rica. 2019.

Giese (2016) indicó que las pérdidas en poscosecha pueden deberse a la presencia de daños mecánicos, fisiológicos o patológicos. Además, los daños mecánicos pueden causar alteraciones metabólicas y fisiológicas en el fruto, ocasionando una apariencia anormal externa o interna del fruto, como ocurrió de acuerdo a los resultados encontrados.

Debido a la información generada en Salitral de Santa Ana, se considera importante replicar esta investigación en otra época del año en el mismo lugar, así como bajo diferentes condiciones agroclimáticas de las otras cinco regiones productoras de tomate, dado que se desconoce el desarrollo de estos híbridos bajo diferentes condiciones edafoclimáticas.

## LITERATURA CITADA

Alarcón, A. 2013. Calidad poscosecha del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en sistemas ecológicos de fertilización (en línea). Tesis Ph. D. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Consultado 26 mar, 2019. Disponible en <http://oa.upm.es/21908/>

Arana, I; Jarén, C; Arazuri, S; García, MJ; Ursua, A; Riga, P. 2007. Calidad del tomate fresco: técnica de cultivo, variedad y origen (en línea). Consultado 26 mar, 2019. Disponible en <http://www.horticom.com/pd/imagenes/67/359/67359.pdf>.

Cantwell, M; Nie, X; Hong, G. 2009. Impact of Storage Conditions on Grape Tomato Quality (en línea). In ISHS Postharvest Symposium Antalya (6, 2009,

California, EE.UU.). Memoria. California, EE.UU. Consultado 2 de abr, en 2019. Disponible <http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-1531.pdf>

Chapagain, PB; Wiesman, Z. 2004. Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato (en línea). *Scientia Horticulturae*. (99): 279-288. Consultado 26 mar, 2019. Disponible en <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.463.9194&rep=rep1&type=pdf>

Davila, JE; González, G; Ayala, J; Sepúlveda, D; Olivas, G. 2011. Compuestos volátiles responsables del sabor del tomate (en línea). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34(2):133-143. Consultado 26 mar 2019. Disponible en <https://www.revistafitotecniamexicana.org/32-4.html>

García, A; Contreras, A; Rodríguez, M; Trujillo, Y. 2009. Características físicas y químicas del tomate (*Lycopersicum esculentum* L) variedad pera (en línea). Departamento de alimentos Electiva Poscosecha. 8(1):473. Consultado 26 febr, 2019. Disponible en [revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/ALIM EN/article/view/473](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIM EN/article/view/473)

Giese, J. 2016. Aprovecha el momento óptimo de cosecha con grados brix (en línea). *Revista Hortalizas*. México. Meister Media Worldwide.

Consultado 26 febr, 2019. Disponible en <https://www.hortalizas.com/poscosecha-y-mercados/aprovechael-momento-optimo-de-cosecha-con-grados-brix/>

Grierson, D; Kader A. 1986. Fruit ripening and quality: the tomato crop. A scientific basis for improvement (en línea). Atherton, JG; Rudich, J. (eds). Consultado 02 abr, 2019. Disponible en <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-3137-46>

Hernández, Y.J.N. 2013. Caracterización físico-química y microbiológica del tomate Margariteño (*Lycopersicum esculentum* var. España) y evaluación de la efectividad de tratamientos de preenvasado para el incremento de su vida comercial a temperatura ambiente (en línea). Tesis Ph. D. Córdoba, Venezuela. Universidad de Córdoba, Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Consultado 02 abr, 2019. Disponible en <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/9925>

Infoagro Systems, S.L. sf. Medidor de azúcar y acidez para tomate (en línea). Madrid, España. Infoagro.com. Consultado 20 mar, 2019. Disponible en [http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/medidor.asp?id=10532&medido\\_r\\_de\\_azucar\\_y\\_acidez\\_para\\_tomate\\_atago\\_pal\\_bx/acid3\\_tienda\\_on\\_line](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=10532&medido_r_de_azucar_y_acidez_para_tomate_atago_pal_bx/acid3_tienda_on_line)

IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). 1996. Descriptores para el tomate (*Lycopersicum* spp) (en línea). Roma, Italia. CGIAR. Consultado 02 abr, 2019. Disponible en [https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user\\_upload/online\\_library/publications/pdfs/LISTA\\_DE\\_DESCRIPTORES\\_DE\\_PA\\_SAPO RTE\\_PARA\\_CULTIVOS\\_MULTIPLES\\_124.pdf](https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/LISTA_DE_DESCRIPTORES_DE_PA_SAPO RTE_PARA_CULTIVOS_MULTIPLES_124.pdf)

Lamúa, M. 2000. Aplicación del frío a los alimentos (en línea). Madrid, España. Consultado 20 mar, 2019. Disponible en <http://www.amvediciones.com/afa.htm>

López, L.M. 2017. Generalidades de la agrocadena de tomate (*Solanum lycopersicum*). In Congreso Nacional del cultivo de tomate (1, 2017, San José, Costa Rica). Memoria. San José, Costa Rica. 9p.

López, L.M. 2009. Memoria de los Programas Nacionales Período 2006-2009. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). San José, Costa Rica. 10 p.

López, L; Quirós, S; Barrantes, L; Mora, J. 2017. Respuesta de varios híbridos y comerciales cultivares promisorios de tomate (*Solanum lycopersicum*) ante la presencia del virus TYLCV bajo condiciones de campo. *In* Congreso Nacional del cultivo de tomate (7, 2017, San José, Costa Rica). Memoria. San José, Costa Rica. 2p.

Matamoros, D. 2017. Distribución del virus de la cuchara en las plantaciones de tomate en Costa Rica. *In* Congreso Nacional del cultivo de tomate. (3, 2017, San José, Costa Rica). Memoria. San José, Costa Rica. 12p.

Navarro, ER; Nieto, R; Corrales, J; García, M R; Ramírez, A. 2012. Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo (en línea). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(3):4034-4039. Consultado 3 abr, 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sciarttext&pid=S1027-152X201200300001>

Quiñones, M; Fonseca, D; Martínez, Y. 2007. Caracterización molecular de aislados de campo del virus del encrespamiento amarillo de la hoja del tomate (TYLCV) (en línea). *Revista de Protección Vegetal*. 22(1):47-56. Consultado 10 mar, 2015. Disponible <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v22n1/rpv07107.pdf>

Quirós, S; López, L; Mora, J; Barrantes, L; Saborío, D; Echandi, C. 2017. Respuesta de varios híbridos comerciales y cultivares promisorios de tomate (*Solanum lycopersicum*) ante la presencia del virus TYLCV bajo condiciones de campo. *In*

Congreso Nacional del cultivo de tomate. (4, 2017, San José, Costa Rica). Memoria. San José, Costa Rica. p 13-14.

Quirós, S. 2016. Evaluación de la calidad poscosecha de cuatro cultivares tolerantes al Begomovirus TYLCV (Tomato Leaf Curly Virus) "Virus de la cuchara en tomate. INTA. San José, Costa Rica. p 13-14.

Rivera, C. 2006. Comportamiento Agronómico de 22 cvs. de tomate industrial (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y calidad de la materia prima destinada a pasta concentrada (en línea). Tesis Ing.Agr. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Consultado 10 mar, 2015. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/101847/riverac.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Rizo, E. 2015. ¿Qué afecta a los valores Brix? (en línea). Consultado 28 mar, 2019. Disponible <https://www.hortalizas.com/cultivos/que-afecta-a-los-valores-brix/>

## COMUNICACIÓN CORTA

# INNOVACIÓN SOCIAL DESARROLLADA POR EL INTA OBTIENE RECONOCIMIENTO DE LA RED INNOVAGRO

*Roberto Ramírez Matarrita<sup>1</sup>*

## RESUMEN

**Innovación social desarrollada por el INTA obtiene reconocimiento de la red INNOVAGRO.** La red INNOVAGRO galardonó al Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) con el Premio INNOVAGRO 2018, en la categoría de Innovación Social. La premiación se llevó a cabo en el VIII Encuentro INNOVAGRO, realizado en la Universidad de La Molina en Lima, Perú, en el mes de octubre del 2018. El galardón reconoce la labor que viene desarrollando el INTA, en asociación con el Sector Agropecuario y empresas privadas, insertando a grupos mayoritariamente de mujeres de la Región Chorotega y el Golfo de Nicoya en la producción y comercialización de hortalizas. Este modelo de transferencia de tecnologías, ha permitido el empoderamiento de estos grupos en la producción de 25 cultivos hortícolas, lo que ha favorecido la generación de empleo y fortalecido la seguridad alimentaria y nutricional de estas comunidades, en las cuales este tipo de actividad no era común. Entre los principales aprendizajes del proceso se destaca que la estrategia de transferencia mediante la implementación de vitrinas tecnológicas en fincas de productores, es un método eficaz para la adopción de tecnologías desarrolladas por los procesos de investigación. Además, estos proyectos han permitido visibilizar el aporte de la mujer, ya que con su trabajo se ha demostrado que cuentan con capacidades técnicas igual o mejor que un hombre, contribuyendo en la economía familiar y teniendo un rol protagónico en el combate de la desnutrición y mal nutrición de las poblaciones rurales.

**Palabras Clave:** Vitrinas tecnológicas, economía familiar, Red INNOVAGRO

## INTRODUCCIÓN

La red INNOVAGRO conformada por 85 miembros de 16 países de América y Europa, galardonó al Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) con el Premio INNOVAGRO 2018, en la categoría de Innovación Social, por sus aportaciones de mejora en los procesos productivos que permiten empoderar a las mujeres y crear empleos en zonas vulnerables (Elmundo.cr, 2018).

La premiación se llevó a cabo en el VIII Encuentro INNOVAGRO, realizado en la Universidad de La Molina en Lima, Perú, en el mes de octubre del 2018. Al evento asistió el Ing. Roberto Ramírez Matarrita, Coordinador del Proyecto de Hortalizas

en ambientes protegidos del INTA asignado en la Región Chorotega, quién recibió la distinción. Este reconocimiento internacional posiciona a Costa Rica, como un país generador de innovaciones tecnológicas, cuyos productos están mejorando la calidad de vida de los habitantes de las zonas rurales y significa un reconocimiento al esfuerzo que vienen desarrollando el sector agropecuario en conjunto con los productores (as), lo que ha permitido expandir las áreas de siembra de hortalizas a zonas cercanas al nivel de mar, situación que pocos países del área han logrado, generando nuevos emprendimientos y fortaleciendo la seguridad alimentaria y nutricional de las comunidades (Red Innovagro 2018).

Recepción: 03.07.2019. Aceptación: 28.10.2019.

El proceso de investigación para fomentar la producción de hortalizas en la Región Chorotega, inició en el año 2001 en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEEJN), en Cañas, Guanacaste. Durante este tiempo, los investigadores del INTA, han realizado una serie de pruebas de adaptabilidad de los cultivares, la modernización de los sistemas de riego con equipos de bajo costo y se logró una diversificación de la producción utilizando diseños y estructuras de ambiente protegido de fácil transferencia, que permitieron una sostenibilidad productiva de 25 cultivos hortícolas tanto en la época seca, como en la lluviosa (Presidencia de la República 2016).

Esta tarea emprendida por el INTA en Guanacaste, ha servido de inspiración a decenas de productores en todas las zonas del país, lo que ha permitido una expansión de la producción de hortalizas a distintos lugares, donde no era

habitual encontrar una oferta de productos frescos e inocuos. Estas acciones han mejorado la seguridad alimentaria y nutricional de las comunidades con los más altos indicadores de desnutrición infantil ubicados en las provincias costeras (INTA 2011).



**Figura 1.** Recibimiento de galardón Innovagro a la mejor Innovación social 2018 (Lima, Perú, octubre, 2018)

## MATERIALES Y MÉTODOS

La adopción de nuevas tecnologías por parte de los productores, no ha sido una tarea fácil para los Institutos de Investigación. El INTA, consiente de esta realidad, desarrolló una estrategia de transferencia denominada “Vitrinas Tecnológicas”, las cuales mediante el método conocido como “Aprender – Haciendo”, realiza una serie de pasos para facilitar la transmisión de conocimientos, a través del desarrollo de destrezas, habilidades y experiencias. Estos módulos consisten en sistemas productivos en fincas de productores colaboradores, en donde se pueden observar de forma permanentemente, los últimos avances tecnológicos originados de las innovaciones generadas en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, en las áreas de selección de germoplasma de hortalizas

adaptado a las condiciones de clima caliente, al diseño y construcción de estructuras de ambiente protegido de bajo costo, el uso de sistemas de riego presurizado que permitan aumentar la eficiencia del recurso hídrico, al manejo de las variables climáticas y las formas de comercialización directa.

En un periodo de cuatro años, iniciando en el 2015, se lograron desarrollar diez “Vitrinas Tecnológicas”, tanto en la Región Chorotega, como en la Región Pacífico Central, las cuales han servido de modelo e inspiración a más de 40 proyectos de producción de hortalizas en todo el país y han sido visitadas por alrededor de 2000 personas provenientes de 20 países alrededor del mundo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Entre las vitrinas desarrolladas se encuentran:

Hortalizas Ebenezer: Es un emprendimiento que inicio con ocho mujeres de comunidades cercanas a Colorado de Abangares. El proyecto consta de dos casas de mallas de 600 y 1200 m<sup>2</sup>, donde se han

sembrado hasta 25 diferentes cultivos hortícolas que han venido a mejorar la nutrición de cientos de familias que no contaban con una oferta fresca e inocua. Esta idea productiva fue financiada por la empresa CEMEX y contó con la asesoría técnica del INTA (MAG 2016).



**Figura 2.** Vitrina tecnológica Hortalizas Ebenezer (Colorado de Abangares, mayo, 2018)

Hortalizas El Níspero: La comunidad del Níspero de Cañas, se encuentra localizada en las orillas del Golfo de Nicoya y su principal actividad económica es la pesca. El INTA en alianza con la organización Australian AID, emprendió un proyecto de producción de hortalizas con el grupo El Níspero conformado por ocho mujeres de la localidad. Con ellas se construyó una casa de malla de 325 m<sup>2</sup> (INTA 2017).



**Figura 3.** Vitrina tecnológica Hortalizas El Níspero (Puerto Níspero, Cañas, febrero, 2019)

Hortalizas Isla Venado: Isla Venado es un territorio ubicado en el Golfo de Nicoya, donde la economía depende de los recursos marítimos. Este proyecto vino a romper el paradigma de que en la Isla no se podía sembrar hortalizas. Este módulo logró empoderar a ocho mujeres de la comunidad en la producción y comercialización de hortalizas en un área de 800 m<sup>2</sup> (INTA 2018).

Hortalizas Lepanto: Lepanto al igual que la mayoría de comunidades cercanas al Golfo de Nicoya, contaba con una dependencia de los productos de origen marítimo. En este sitio ocho mujeres iniciaron una huerta con la producción de

seis productos, como lechuga, cebollino, pack choi, chile dulce, tomate y pepino, que vino a generar empleo y mejorar la seguridad alimentaria de estas comunidades.

Hortalizas Najui: Este proyecto está liderado por cuatro mujeres de las comunidades cercanas a Playa Brasilito de Santa Cruz. Esta huerta es una casa de malla de 650 m<sup>2</sup> donde existe una oferta de 12 cultivos hortícolas muy frescos como lo son: lechuga, pack choi, rábano, cebollino, albahaca, kale, acelga, rugula, culantro, chile dulce, pepino, tomate, los cuales han tenido un interés de empresas hoteleras por comprar estas cosechas y apoyar este tipo de iniciativas. Este proyecto fue financiado con el aporte de Reserva Conchal y con la asesoría técnica del INTA (Elmundo.cr 2019).



**Figura 4.** Vitrina Tecnológica Hortalizas Najui (Brasilito de Santa Cruz, Julio de 2019)

Huerta Colegio Técnico Profesional de Jicaral: Este proyecto denominado “Cosechando un mejor mañana”, contó con la asesoría técnica del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), además del apoyo Ministerio de Educación Pública a través de la Dirección de Educación Técnica. Mediante este trabajo articulado los estudiantes aprendieron a colocar la malla anti insecto, el sarán, preparación de túneles, confección de almácigos y manejo de cultivos, entre otras cosas. Por medio de la inversión para el desarrollo tecnológico que realiza el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el INTA en la zona, se ha conseguido adaptar 25 cultivos de hortalizas a las condiciones ambientales de las comunidades cercanas al nivel del mar (Presidencia de la República 2018).





**Figura 5.** Vitrina Tecnológica Huerta CTP Jicaral (Jicaral, mayo 2019)

**Huerta Colegio Técnico Profesional de Abangares:** El objetivo de estos módulos es contar con una vitrina tecnológica en la zona de Abangares, para que los productores de diferentes regiones, puedan conocer las últimas innovaciones que se han desarrollado en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEEJN), en lo que concierne a las diferentes opciones tecnológicas para producir hortalizas a nivel del mar. Este proyecto fue impulsado por la Junta Administrativa del CTP de Abangares, con la asesoría técnica del INTA. Cabe resaltar que los estudiantes y las profesoras de la especialidad de Turismo Ecológico fueron quienes construyeron la estructura, confeccionaron los almácigos y realizaron las prácticas de manejo. Al evento asistió el Primer Secretario y Cónsul de la Embajada de Israel en Costa Rica, Sr. Mike Drikez, quien felicitó a los estudiantes y docentes del Colegio, por este tipo de iniciativas y resaltó la importancia de realizar este tipo de innovaciones para desarrollar comunidades como la de Abangares (INTA 2019).



**Figura 6.** Vitrina Tecnológica Huerta CTP de Abangares (Las Juntas de Abangares, junio 2019)

**Huerta AJUCE:** Esta huerta se encuentra localizada en el Centro Diurno de Atención del Adulto Mayor de la Asociación Josefina Ugalde Céspedes (AJUCE), ubicado en la comunidad de Quebrada Ganado de Garabito, Puntarenas, el cual recibe alrededor de 50 adultos mayores de la misma comunidad, así como de comunidades vecinas. En esta localidad se instaló un proyecto de hortalizas que sirve para el consumo y recreación de los usuarios del Centro.

**Hortalizas Bella Vista:** Esta huerta fue inspirada por los proyectos anteriormente descritos y estará ubicada en Barranca de Puntarenas, desde donde se beneficiará a 20 mujeres que se dedicaban a labores de limpieza de camarón. El módulo será una casa de malla de 2000 m<sup>2</sup>, donde se sembrarán 13 cultivos hortícolas como lechuga, pack choi, rábano, cebollino, albahaca, kale, acelga, rugula, culantro, chile dulce, pepino, tomate y repollo.

**Huertas urbanas:** El modelo de huerta urbana desarrollado por el INTA, consta de una pequeña área de 12 m<sup>2</sup>, que es suficiente para garantizar el consumo diario de hortalizas frescas e inocuas a una familia de cinco miembros al mes. El plan piloto inició en el cantón de Cañas con 10 familias beneficiadas y también contempla escuelas y el CEN CINAI de la localidad.

### Principales aprendizajes del proceso:

La estrategia de transferencia mediante la implementación de “vitrinas tecnológicas” en fincas de productores, resulta un método eficaz para compartir los conocimientos generados de la investigación y generar la motivación necesaria, para ser replicados en más sitios.

Las mujeres involucradas en estos proyectos están cumpliendo un rol muy importante en mejorar la calidad de vida sus familias, mediante la creación de emprendimientos productivos, no solo fortalecen la economía familiar, sino que también están demostrado contar con iguales o mejores capacidades técnicas que los hombres, lo que trae una mayor equidad a las comunidades rurales, aspecto clave en el otorgamiento del galardón.

La mejor forma de combatir la desnutrición y mal nutrición de las poblaciones rurales, es mediante la diversificación de la producción, con el aporte de

productos altos en vitaminas, minerales y fibra, con el fin de igualar la dieta con los centros de población de los países en desarrollo.

El cambio de la cultura extractora por una productiva en comunidades con fuerte arraigo a la pesca, es posible mediante procesos de enseñanza, que permitan el desarrollo de habilidades y

destrezas; a través de un empoderamiento de todos los encadenamientos productivos.

Las alianzas entre instituciones públicas, la empresa privada y organismos internacionales son pieza clave para fortalecer el financiamiento y el desarrollo de iniciativas productivas que permita el ingreso de grupos vulnerables a las actividades comerciales de las comunidades rurales.

## LITERATURA CITADA

ELMUNDO.CR. 2018. Innovaciones de México, Chile y Costa Rica ganan Premio INNOVAGRO 2018 (en línea). Consultado 21 ago. 2019. Disponible en <https://www.elmundo.cr/mundo/innovaciones-de-mexico-chile-y-costa-rica-ganan-premio-innovagro-2018/>

ELMUNDO.CR. 2019. Mujeres guanacastecas cultivan hortalizas gracias a nuevas tecnologías (en línea). Consultado 21 ago. 2019. Disponible en <https://www.elmundo.cr/costa-rica/mujeres-guanacastecas-cultivan-hortalizas-gracias-a-nuevas-tecnologias/>

INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2011. In Memoria Institucional (3, San José, Costa Rica). Memoria, San José, Costa Rica. 44 p.

INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2017. El INTA informa: Productoras de hortalizas El Nispero, inaugura moderno proyecto con apoyo del INTA y MAG (en línea). Consultado 23 ago. 2019. Disponible en <https://www.inta.go.cr/noticias/272-el-inta-informa-productoras-de-hortalizas-el-nispero-inaugura-moderno-proyecto-con-apoyo-del-inta-y-mag>

INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2018. Con el apoyo técnico del INTA y del MAG, los productores de Isla Venado inician producción y comercialización de hortalizas (en línea). Consultado 6 ago. 2019. Disponible en <https://www.inta.go.cr/noticias/326-apoyo-tecnico-inta-mag-productores-isla-venado-inician-produccion-comercializacion-hortalizas>

INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2019. El INTA y el MAG inauguran casa de malla para la producción de hortalizas en el CTP de Abangares (en línea). Consultado 9 ago. 2019. Disponible en [http://www.platicar.go.cr/images/noticias/2019/Noticia-No.-9\\_CTP-Abangares\\_RR.pdf](http://www.platicar.go.cr/images/noticias/2019/Noticia-No.-9_CTP-Abangares_RR.pdf)

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2016. Fortalecen la siembra de hortalizas en Guanacaste (en línea). Consultado 4 set. 2019. Disponible en <http://prensamag.blogspot.com/2016/06/fortalecen-siembra-de-hortalizas-en.html>

PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. 2016. Fortalecen siembra de hortalizas en Guanacaste (en línea). Consultado 6 ago. 2019. Disponible en <https://presidencia.go.cr/comunicados/2016/06/fortalecen-siembra-de-hortalizas-en-guanacaste/>

PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. 2018. Estudiantes de CTP de Jicaral dinamizan la producción de hortalizas no tradicionales (en línea). Consultado 8 ago. 2019. Disponible en <https://presidencia.go.cr/comunicados/2018/11/estudiantes-de-ctp-de-jicaral-dinamizan-la-produccion-de-hortalizas-no-tradicionales/>

RED INNOVAGRO. 2018. Innovaciones ganadoras (en línea). Consultado 4 set. 2019. Disponible en <http://www.redinnovagro.in/pdfs/newsletter2018.pdf>

# INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES

La publicación de la revista Alcances Tecnológicos, se inició durante el año 2003 y es una de las actividades relevantes del área de transferencia de tecnología del INTA, la revista tiene

carácter técnico-científico y se publica un número cada dos años. Se reciben los artículos que cumplan con los requisitos y que no han sido publicados en otra revista.

## TIPOS DE DOCUMENTOS RECIBIDOS

### Artículos científicos

Se refiere a una investigación detallada con resumen, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión y literatura citada. Se debe demostrar la profundidad del estudio y resaltar los méritos del trabajo para su publicación como artículo científico. La extensión máxima es de 30 páginas en Microsoft Word a espacio sencillo y con tipografía Arial 12.

### Notas técnicas

Se refiere a una publicación con la misma estructura de un artículo científico, sin su nivel de detalle. La extensión máxima es de 30 páginas.

### Revisiones bibliográficas

Son recopilaciones y síntesis del conocimiento existente en un campo específico de interés en las ciencias agrícolas. Se debe incluir resumen, introducción y el contenido. Extensión máxima 30 páginas y con un mínimo de 25 referencias bibliográficas.

### Análisis y comentario

Es el análisis de una situación específica, realizado por un especialista con reconocida trayectoria en el campo. Se debe incluir resumen, introducción, el contenido y la literatura citada. Extensión máxima 10 páginas.

### Informaciones técnicas

Están enfocadas en aprovechar la amplia experiencia de un especialista en un campo específico. Se debe incluir resumen, introducción, el contenido y la literatura citada. Extensión máxima 15 páginas.

### Comunicaciones cortas

Son resultados preliminares de interés para el sector agropecuario. Debe contener introducción, resultados y la literatura citada. Extensión máxima 10 páginas.

## RECEPCIÓN DE DOCUMENTOS

1. La recepción de los artículos se hará en el Departamento de Transferencia de Tecnología, a través del correo electrónico: [comiteeditorial@inta.go.cr](mailto:comiteeditorial@inta.go.cr)
2. La recepción o no de los escritos será competencia del Comité Editorial del INTA, el cual hará una valoración inicial de acuerdo a las normas y procedimientos para la publicación de documentos en la revista Alcances Tecnológicos del INTA.
3. Si el documento presentado es del INTA, el autor principal debe presentar una nota del programa correspondiente en la que se avala su publicación y se indica que no ha sido sometido a publicación en otra revista.
4. Si el documento presentado no es del INTA, el autor principal debe presentar una nota de la institución para la cual labora, en la que se autoriza su publicación y se indica que no ha sido sometido a publicación en otra revista.

5. Si en el documento presentado figuran varios autores, cada uno de ellos debe autorizar por escrito la publicación del documento. Además, deben indicar la aprobación del orden de los autores e indicar autor responsable para correspondencia.
6. Para aceptar o no la publicación el Comité Editorial somete los artículos a revisión. Para esto dispone de una lista de revisores internos y externos.
7. Los artículos son revisados por tres especialistas dos del INTA (revisores internos) y otro de otra institución (revisor externo).
8. Los revisores deben indicar las observaciones en el documento y completar el cuadro de calificación. Pueden utilizar la versión electrónica de control de cambios.
9. Si los autores no aceptan las sugerencias de los especialistas, deben enviar una nota al Comité Editorial explicando las razones; si es necesario el Comité Editorial elegirá otro especialista, el cual fungirá como árbitro.

## REVISIÓN Y ACEPTACIÓN DE DOCUMENTOS

1. Los revisores tanto internos como externos, tendrán un plazo máximo de un mes para entregar las publicaciones revisadas.
2. Cuando el artículo es devuelto por los revisores, el/la editor/a dispondrá de ocho días hábiles para enviarlo a los autores con una nota en la que se indican las correcciones respectivas. Por su parte, los autores contarán con un plazo máximo de 15 días hábiles para hacer las correcciones y devolverlo, a el/la editor/a.
3. Una vez que el artículo es revisado y corregido, lo cual es corroborado por el Comité Editorial, se autoriza su publicación.
4. Luego de aprobada la publicación del artículo por el Comité Editorial, los autores deben revisar exhaustivamente todo el texto, para consentir su publicación

## REDACCIÓN DE LOS DOCUMENTOS

1. En la redacción de los artículos se deben utilizar las normas de la Real Academia Española y las unidades de medida del Sistema Métrico Decimal.
2. Las unidades no llevan punto, se escriben con minúscula y no tienen plural. Algunos ejemplos son: kilogramo (kg), gramo (g), metro (m), hectárea (ha), milímetro (mm), miligramo (mg) litro (l), metros sobre el nivel del mar (msnm).
3. Los elementos (N, P entre otros) y los compuestos químicos (como, por ejemplo: NaOH, NaCl) se escriben con mayúscula.
4. Cuando las unidades no están precedidas por un número, se expresan por su nombre completo sin utilizar su abreviatura. Por ejemplo: metro en lugar de m.
5. Los decimales se indican con coma; los miles y los millones con un espacio. Ejemplo: 8 327 451,25. Los números de cuatro cifras se escriben sin espacios. Ejemplo: 2458.
6. En el caso de los números del cero al nueve, cuando no van seguidos de unidades, se escriben con palabra; y números para valores iguales o mayores a 10.
7. Cuando en los artículos se citan productos de origen químico o biológico, se deben utilizar solamente los nombres genéricos. Ejemplos: Terbufos, Oxidemeton Metil. No se acepta el uso de nombres comerciales. Además, los productos mencionados deben estar registrados y aprobados (para el cultivo) en la base de datos del Registro de Insumos y Fiscalización del Servicio Fitosanitario del Estado. Disponible en <https://www.sfe.go.cr/>
8. Los cuadros y figuras que no son propiedad del autor, deben llevar fuente.

## FORMATO PARA CADA SECCIÓN DE LOS DOCUMENTOS

### Título

Tiene que ser breve, específico, resumido, en mayúscula y en negrita. No más de 14 palabras. Él o los autores deben indicar los nombres científicos en cursiva, cuando consideren que el nombre común no es muy conocido (Agronomía Mesoamericana 2017).

Lo que no se recomienda en los títulos (Araya 2012)<sup>1</sup>.

- Estudio sobre.....
- Informe de.....
- Investigación acerca de.....
- Contribución a.....
- Resultados de un estudio sobre.....
- Análisis de los resultados.....

Los nombres científicos (género, especie, cultivar y el nombre del clasificador) deberán ser citados para cada organismo en su primera mención, posteriormente se puede continuar usando el nombre común.

### Título resumido

No debe ser mayor a ocho palabras (Agronomía Mesoamericana 2017).

### Autor(es)

Se consideran autores los individuos o entidades responsables de los contenidos intelectuales de las publicaciones. El orden en el que se mencionan va de acuerdo con su contribución y aportes en la investigación y se colocan debajo del título. Con una nota al pie de página indicando la institución para la cual labora(n), la dirección postal y electrónica. Se omiten los grados académicos. El número total de autores no debe ser superior a seis.

### Resumen

Se coloca después del nombre de los autores y presenta en forma concisa el mensaje del artículo, describiendo brevemente los materiales y

condiciones más relevantes del experimento. Debe indicar el año y lugar, los resultados obtenidos y las conclusiones más importantes. Las oraciones usadas deben ser racionales, objetivas y justificar el porqué de la investigación y el objetivo, evitando describir directamente los materiales y métodos. La extensión no debe exceder las 250 palabras a espacio seguido y en un solo párrafo.

### Palabras clave

Debajo del resumen se deben incluir de cinco a siete palabras o frases clave, no deben formar parte del título.

### Introducción

Define el problema que motiva la investigación y al final de esta sección se indican los objetivos o razones del estudio. Pueden incluirse citas bibliográficas para ayudar a la definición del problema y del trabajo. La extensión de esta debe ser de aproximadamente 350 palabras (MAG 1990).

### Materiales y métodos

En esta sección se recomienda describir en forma bien detallada la ubicación, la fecha de inicio y término, el ambiente, los materiales (si se usa equipo de medición, incluir marca y modelo), las técnicas, los tratamientos, el diseño experimental, los análisis estadísticos y las variables a evaluar expuestas con suficiente claridad para que otros científicos puedan repetir el estudio. Si el método es muy conocido, solamente se incluyen referencias bibliográficas aclaratorias; si es nuevo o modificado se debe escribir nuevamente. Escribir en orden cronológico (MAG 1990).

### Resultados y discusión

Ambas partes deben ir juntas. Los resultados describen la información generada por la investigación; debe escribirse en forma concisa y siguiendo una secuencia lógica, usando cuadros y figuras, a los cuadros se les debe indicar su enunciado en la parte superior y a las figuras en la parte inferior, en ambos casos, si no son propiedad del autor se les debe anotar la fuente. Las fotografías, se anotan como figuras y su numeración

<sup>1</sup> Araya R. 06 jun. 2017. Lo que no se usa en los títulos. (entrevista). San José, Costa Rica.

se debe ajustar a la misma secuencia. Los cuadros se presentan sin divisiones internas. Los cuadros y figuras deben estar ubicados inmediatamente después de donde se mencionan, deben ser auto explicativos y la información debe presentarse en forma completa, clara y concisa, de tal forma que no se tenga que recurrir al texto para entender el resultado presentado. Los decimales se deben usar de acuerdo al grado de precisión que se tomaron los datos, si no, se debe redondear apropiadamente. Además de la descripción del contenido de la figura, en el título debe contener el lugar y el año en que se hizo el trabajo de investigación.

En la discusión la estadística se debe usar para explicar las diferencias de los tratamientos, debe usarse como una herramienta para probar la(s) hipótesis propuesta(s), con una base objetiva. Suministrar la significancia de las pruebas.

Se discutirán los resultados obtenidos, comparándolos con otros trabajos afines para dar interpretaciones o hacer deducciones lógicas sobre las diferencias o concordancias encontradas.

En la discusión se debe explicar hasta qué punto los resultados obtenidos contribuyen a la solución del problema (limitantes) y qué puede traducirse en recomendaciones, aplicaciones, sugerencias e hipótesis (MAG 1990).

## Conclusiones o consideraciones finales

Se incluyen en la discusión.

## Literatura citada

La lista de la literatura citada, para todos los tipos de documentos aceptados, debe estar conformada por no menos de diez citas bibliográficas recientes (90 % de los últimos 10 años), las citas deben reforzar científicamente lo expresado en el documento, además deben ser de fácil acceso para consultar en centros de documentación, bibliotecas o internet. Se deben utilizar las Normas de Redacción (IICA-CATIE) en su 5 edición (IICA y CATIE 2016). Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/B4013e/B4013e.pdf>

## LITERATURA CITADA

Agronomía Mesoamericana, Costa Rica. 2017. Instructivo para los autores/Instructions for authors. (en línea). San José, Costa Rica. 7 p. Consultado 28 abr. 2017. Disponible en <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/about/submissions#authorGuidelines>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica); CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica). 2016. Redacción de referencias bibliográficas. 5 ed. San José, Costa Rica. Bibliotecas IICA-CATIE. 79 p.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1990. Normas para la publicación de artículos científicos en la revista investigación agrícola. Investigación Agrícola 4(2):3-6.

# REVISORES TÉCNICOS

Nombre	Institución
Agripina Jenkins Rojas	Universidad Nacional (UNA)
Alejandro Zamora Meléndez	Universidad de Costa Rica (UCR)
Alfredo Alvarado Hernández	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Alfredo Bolaños Herrera	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Allan González Herrera	Universidad Nacional (UNA)
Ana Cecilia Segreda Rodríguez	Consultora
Andrés Vega Fonseca	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Antonio Bogantes Arias	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Bernardo Mora Brenes	Consultor
Beatriz Molina Bermúdez	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Beatriz Sandoval Carvajal	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Carlos Boschini Figueroa	Universidad de Costa Rica (UCR)
Carlos Cordero Morales	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Carlos Henríquez Henríquez	Universidad de Costa Rica (UCR)
Carlos Luis Loría Quirós	Universidad de Costa Rica (UCR)
Cristina Vargas Chacón	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Cristóbal Villanueva Najarro	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Danilo Pezo Quevedo	Consultor
Dennis Alpízar Monge	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Diógenes Cubero Fernández	Consultor
Floria Bertsch Hernández	Universidad de Costa Rica (UCR)
Francisco Álvarez Molina	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Francisco Arguedas Acuña	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Gaudy Ortiz Rivera	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Guillermo Araya Umaña	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)

German Aguilar Vega	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Helga Blanco Metzler	Universidad de Costa Rica (UCR)
Iván Calvo Villegas	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Jorge Garro Alfaro	Consultor
Jorge Mora Bolaños	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Juan R. Mora Camacho	Universidad Nacional (UNA)
Juan Mora Montero	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Kattia Lines Gutiérrez	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Laura Ramírez Cartín	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Luis Alpízar Oses	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Luis Calvo Gamboa	Universidad de Costa Rica (UCR) Semillas para el Futuro LEM S.A.
Luis Carrera Hidalgo	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Luis D. Monge	Consultor
Luis A. Sánchez Chacón	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Luis Vargas Cartagena	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Manuel Carrera Aguilar	Consultor
Marco Corrales Soto	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
María Mesén Villalobos	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Mauricio Chacón Navarro	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Nevio Bonilla Morales	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Oldemar Vargas Gutiérrez	Universidad de Costa Rica
Pablo Steven Rodríguez Rodríguez	Consultor
Rafael Orozco Rodríguez	Universidad Nacional (UNA)
Ramón Mexzón Vargas	Universidad de Costa Rica (UCR)
Renato Jiménez Zúñiga	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Ricardo Guillén Montero	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Roberto Camacho Montero	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)



Roberto Ramírez Matarrita	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Roberto Soto Blanco	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Roberto Tinoco Mora	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Rodolfo Araya Villalobos	Agronomía Mesoamericana
Ruth León González	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Sayra Munguía Ulloa	Consultora
Sergio Abarca Monge	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Steffany Orozco Cayasso	Universidad Nacional (UNA)
Victoria Arronis Díaz	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Walter Peraza Padilla	Universidad Nacional (UNA)
William Villalobos Muller	Universidad Nacional (UNA)
William Sánchez Ledezma	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
William Meléndez Gamboa	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Yannery Gómez Bonilla	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)