



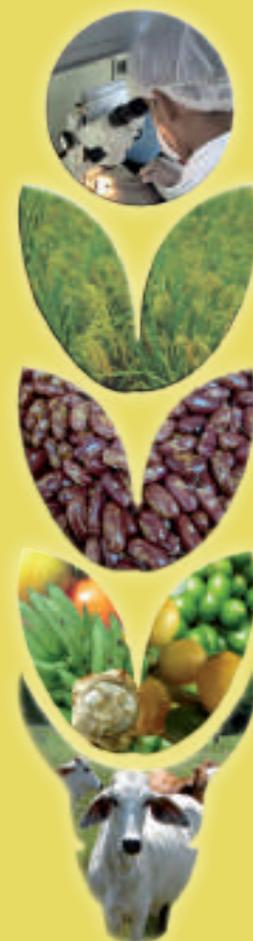
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

ISSN L 2414-3278

Ciencia Agropecuaria

REVISTA CIENTÍFICA N° 29

PANAMÁ-2018



AVISO

Se comunica que deben utilizar el formato de citas que se basa en la normativa internacional ASA (American Society of Agronomy). Adicional de otros cambios incluidos dentro de las normas para autores.

Ciencia Agropecuaria: revista científica/
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.
no. 29 (2018). Panamá, PA. Semestral
160 p.
ISSN L 2414-3278
1. Investigaciones Agrícolas
2. Investigaciones Pecuarias



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

ISSN L 2414-3278

Ciencia Agropecuaria

REVISTA CIENTÍFICA N° 29

PANAMÁ-2018

Publicación semestral del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
La versión electrónica de la revista Ciencia Agropecuaria, se puede consultar en:
<http://www.idiap.gob.pa/index.php/revista>

Editor Principal

Ismael Camargo-Buitrago, Ph.D. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI), SENACYT – Panamá

Editora Asociada

Neysa Garrido -Calderón, M.Sc. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Consejo Editorial

Román Gordón -Mendoza, M.Sc. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Hilda Lezcano, Ph.D. Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) – Universidad de Panamá

Axel Villalobos-Córtes, Ph.D. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI), SENACYT– Panamá

Pedro Guerra-Martínez, M.Sc. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Juan C. Martínez-González, Ph.D. Universidad Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Bruno Zachrisson, Ph.D. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI), SENACYT – Panamá

Diseño y Diagramación

Gregoria del C. Hurtado Ch. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Revisión y Traducción de resúmenes

Eric M. Candanedo-Lay, Ph.D. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

CONTENIDO

ARTÍCULOS

- 1-12 **COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CORDERAS DE DIFERENTE GENOTIPO BAJO UN SISTEMA DE ENGORDA INTENSIVO**
*Julio César Cardozo; Juan José O. Verdoljak;
Juan Carlos Martínez-González; Sonia Patricia Castillo-Rodríguez;
Javier Hernández-Meléndez; Gaspar Manuel Parra-Bracamonte*
-
- 13-40 **CARACTERIZACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE PEQUEÑAS FINCAS DOBLE PROPÓSITO DE LA PROVINCIA DE BOCAS DEL TORO-PANAMÁ**
Raúl H. De León-García; Gregorio Thomas; Omar Castillo
-
- 41-64 **METALES PESADOS EN SUELOS Y SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO LA VILLA-PANAMÁ**
*José Ezequiel Villarreal-Núñez; Adolfo Santo-Pineda;
Jhon Alexander Villalaz-Pérez; Neldis Ballesteros;
Iván Alexis Ramos-Zachrisson*
-
- 65-78 **RETENCIÓN DE FÓSFORO EN SUELOS DEDICADOS AL CULTIVO DE MAÍZ EN LA REGIÓN DE AZUERO**
*Jorge Iván Núñez-Cano; José Ezequiel Villarreal-Núñez;
Román Gordón-Mendoza; Jorge Enrique Franco-Barrera;
Jorge Enrique Jaén-Villarreal; Ana Elida Sáez-Cigarruista*
-
- 79-98 **COEFICIENTES GENÉTICOS DE DOS CULTIVARES DE MAÍZ, AZUERO - PANAMÁ**
*Ana Elida Sáez-Cigarruista; Román Gordón-Mendoza;
Jorge Iván Núñez-Cano; Jorge Enrique Jaén-Villarreal;
Jorge Enrique Franco-Barrera; Francisco Ramos-Manzané;
Aurisbel Ávila-Guevara*
-

99-111	ÍNDICE HÍDRICO DE DOS CULTIVARES DE MAÍZ BAJO DOS SISTEMAS DE SIEMBRA <i>Jorge Núñez-Cano; Román Gordón-Mendoza; Jorge Franco-Barrera; Jorge Jaén-Villarreal; Ana Sáez-Cigarruista; Francisco Ramos-Manzané; Aurisbel Ávila-Guevara</i>
112-127	ÍNDICE HÍDRICO EN ARROZ BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO Y ALTAS TEMPERATURAS <i>Luis Alberto Barahona-Amores; Román Gordón-Mendoza; Rubén Samaniego-Sánchez; Gustavo Castillo-Vega</i>
128-139	PRODUCTIVIDAD DEL MÉTODO DE COSECHA MANUAL DE YUCA CON UN DISPOSITIVO ARRANCADOR <i>Ricardo Hernández-Rojas; Rodolfo Morales-Muñoz; Román Gordón-Mendoza; Jaime A. Espinosa-Tasón</i>
140-153	BEGOMOVIRUS QUE INFECTAN TOMATE EN LA PROVINCIA DE LOS SANTOS, PANAMÁ: SITUACIÓN ACTUAL Y MANEJO <i>José Natividad Jaén-Sanjur; José Ángel Herrera-Vásquez</i>
154-160	NORMAS PARA AUTORES

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CORDERAS DE DIFERENTE GENOTIPO BAJO UN SISTEMA DE ENGORDA INTENSIVO¹

*Julio César Cardozo²; Juan José O. Verdoljak²; Juan Carlos Martínez-González³;
Sonia Patricia Castillo-Rodríguez³; Javier Hernández-Meléndez³;
Gaspar Manuel Parra-Bracamonte⁴*

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto del genotipo de las corderas sobre la finalización en corral en las condiciones del noroeste de la provincia de Corrientes, Argentina. El experimento se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Corrientes, Argentina. Se utilizaron 30 corderas [12 = Santa Inés (SI = pelo); 12 cruzadas Dorper x Romney (DR = pelo-lana); y 6 = Criollas (CR = lana)], con un promedio de peso vivo de 20,1 kg, distribuidas en cinco corrales. Las corderas recibieron una dieta basada en 40% expeler de girasol – 60% grano de maíz entero y la fibra fue aportada por heno de zacate Rhodes. Además, tuvieron libre acceso al agua y sal mineral. Se utilizó un diseño completamente al azar donde el genotipo de las corderas fue la variable independiente. Se estudió la ganancia diaria de peso vivo (GDPV), la ganancia total de peso vivo (GTPV), el consumo de alimento diario por corral (CDC) y la conversión alimenticia (CAC) por corral. Los grupos raciales presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en GDPV, GTPV, CDC y CAC. Las medias generales fueron 0,14 kg.día⁻¹, 9,62 kg, 7,19 kg MS.día⁻¹ y 8,62 kg MS.kg carne⁻¹ para GDPV, GTPV, CDC y CAC, respectivamente. Se concluye que los genotipos de pelo (SI y DR) fueron más eficientes.

Palabras claves: ganancia de peso, estabulación, ovinos.

¹ Recepción: 30 de mayo de 2018. Aceptación: 7 de noviembre de 2018. Trabajo de tesis del primer autor. Ing. Julio César Cardozo, Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias. Sargento Juan Bautista Cabral 2131, Corrientes, Argentina;

² Instituto Nacional de Tecnologías Agropecuarias, Estación Experimental Agropecuaria Corrientes. Ruta Nacional 12, Km 1008. Corrientes (El Sombrerito), Argentina;

³ Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias (UAT-FIC). Centro Universitario Adolfo López Mateos. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México; e-mail: jmartinez@docente.uat.edu.mx

⁴ Instituto Politécnico Nacional, Centro de Biotecnología Genómica. Blvd. del Maestro Esq. Elías Piña S/N Col. Narciso Mendoza. Cd. Reynosa, Tamaulipas, México.



PRODUCTIVE PERFORMANCE OF LAMBS OF DIFFERENT GENOTYPE UNDER A FEEDLOT SYSTEM

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of the genotype of lambs on the stockyard finalization in the Northwest of the province of Corrientes, Argentina conditions. The experiment was carried out at the Experimental Station Farming (EEA) of the Institute National Agricultural Technology (INTA) Corrientes, Argentina. Used 30 lambs (Santa Inés = 12; Dorper x Romney = 12; and Creole = 6), with an average live weight of 20,1 kg, distributed in five pens. The lambs received a diet based on 40% expel sunflower - 60% whole corn grain and fiber was provided by Rhodes grass hay. In addition, they had water and mineral salt *ad libitum*. We used a completely randomized design; we studied daily gain of live weight (GDPV), the total gain of live weight (GTPV), daily consumption by pen (CDC) and feed conversion (CAC) for pen. The genotypes were significantly different ($P < 0,05$) in GDPV, GTPV, CDC and CAC. The average general were $0,14 \text{ kg}\cdot\text{day}^{-1}$, $9,62 \text{ kg}$, $7,19 \text{ kg MS}^{-1}$ and $8,62 \text{ kg MS}\cdot\text{meat}^{-1} \text{ kg}$ for GDPV, GTPV, CDC, and CAC, respectively. It is concluded that hair breeds (SI and DR) were more efficient.

Key words: weight gain, feedlot, sheep.

INTRODUCCIÓN

En América, los conquistadores españoles fueron quienes introdujeron las ovejas (Delgado *et al.* 2009). Los primeros ovinos fueron introducidos a Argentina a mediados del Siglo XVI desde el Paraguay, Perú y Chile (Mueller 2013). La producción ovina, estuvo relacionada directamente a la región patagónica y/o de las provincias del centro sur del país. Sin embargo, desde la década de los 60 de la mano del INTA EEA Mercedes, aparecen publicaciones de esta actividad, en la provincia de Corrientes (Slukwa 2013).

El principal producto cárnico es el cordero, el cual presentan una estacionalidad de faena marcada (diciembre-enero) y un rango de peso vivo entre 20 y 24 $\text{kg}\cdot\text{animal}^{-1}$. Esto puede responder a las condiciones naturales de gran parte del país, que no permiten una recría o engorde hasta otros pesos de faena y en segundo lugar, a la costumbre local de consumir corderos livianos (Iglesias 2013).

En las condiciones típicas de la zona centro-sur de la provincia de Corrientes, los corderos tienen ganancias diarias de peso menores a $50 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$, que disminuyen

marcadamente en época invernal, llegando solo al mantenimiento de peso (Flores *et al.* 2008). El engorde a corral surge como una alternativa para solucionar el problema de la estacionalidad del forraje. Hay antecedentes locales de ganancias mayores a los 200 g.día⁻¹ (Flores *et al.* 2012). La aplicación de la tecnología de engorde a corral, da resultado de desempeños productivos altamente variables. Para garantizar la eficiencia biológica, se deben vigilar algunos puntos claves: maximizar el consumo de alimento, ganancia de peso de acuerdo al potencial genético, mejorar la conversión alimenticia, el rendimiento y la calidad de la canal, en el menor tiempo de engorde (Fimbres *et al.* 2002, Cuéllar 2015).

Por otro lado, las altas temperaturas y humedades relativas tienen un efecto de estrés en los animales, calculado como índice de temperatura-humedad (ITH), el cual se relaciona con una disminución en el consumo de alimento, como consecuencia de una reducción en el funcionamiento de la glándula tiroides. Que influye negativamente en el normal crecimiento y desarrollo de los animales (Srikandakumar *et al.* 2003, Marai *et al.* 2007). Por ello, las razas deslanadas (de pelo) pueden resistir mejor estos ambientes tales como: Katahdin, Pelibuey, Dorper, Santa Inés, entre otras (Barrios 2014).

Por último, el genotipo del animal es un factor importante en el sistema de producción de carne, influyendo en la precocidad, la velocidad de ganancia de peso y la eficiencia de alimentación. Características directamente relacionadas a la reducción del costo de alimentación y que tiene efectos directos sobre el peso, la deposición de músculo y grasa en la canal (Purchas *et al.* 2002, Nasholm 2004).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del genotipo de las corderas sobre el comportamiento en la finalización en corral, bajo las condiciones del noroeste de la provincia de Corrientes, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Corrientes del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en El Sombrerito, Corrientes, Argentina. Geográficamente se localiza a 27° 40' 08" LS, 58° 45' 44" LW y 63 msnm.

De la casilla meteorológica convencional de la EEA Colonia Benítez, ubicada a 30 km del lugar donde se realizó el ensayo, se registraron diariamente datos de temperatura ambiental, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar, durante los meses en

que se realizó el estudio. Con esta información se calculó el índice de temperatura-humedad (ITH) de acuerdo a lo establecido por Marai *et al.* (2001), mediante la siguiente ecuación:

$$ITH = T - ((0,31 - 0,31 * HR)/100) * (T - 14,4)$$

Dónde:

ITH = índice de temperatura-humedad; T = temperatura en grado centígrados; y HR = humedad relativa.

Se utilizaron 30 corderas [12 = Santa Inés (SI = pelo); 12 cruzadas Dorper x Romney (DR = pelo-lana); y 6 = Criollas (CR = lana)], con peso inicial de 20,1 kg, las que fueron colocadas en cinco corrales de 20 m², con 50% de sombra, equipados con comedero y bebedero. Al inicio del experimento, los animales fueron vacunados y tratados contra parásitos internos, externos y coccidios. Además, se realizó un análisis coproparasitológico para determinar la presencia de huevos/g de materia fecal (HPG), cada 14 días.

Durante el ensayo, los animales recibieron una dieta basada en 40% expeler de girasol – 60% grano de maíz entero, con lo que se buscó cubrir los requerimientos de proteína y energía de estos (NRC 1985). La fibra fue aportada por heno de grama Rhodes (*Chloris gayana* Kunth) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición química de la ración utilizada para el engorde de corderas.

	Materia seca (%)	Proteína bruta (%)	Fibra detergente neutra	Fibra detergente ácida	Energía metabolizable (Mcal.kg.MS⁻¹)
Balanceado	89,61	19,9	33,9	8,4	3,6
Heno		3,9	73,5	45,1	1,7

Los comederos que se utilizaron tenían una longitud de 4,0 m de largo y 0,4 m de profundidad, al no tener corrales individuales para cada una de las corderas se estimó el consumo por corral. Además, tuvieron libre acceso al agua y sal mineral sin ionóforos.

Las corderas tuvieron un período pre-experimental de 15 días (adaptación) y un período de prueba de 70 días. Con el propósito de determinar la evolución del peso vivo de los animales y su relación con el consumo de alimento, cada 14 días se pesaron, previo ayuno de 12 horas donde los animales no tuvieron acceso al alimento y al agua.

La ganancia diaria de peso vivo (GDPV) fue determinada dividiendo el incremento de kilogramos sobre el período (días). A su vez, se determinó la ganancia total de peso vivo (GTPV = peso final – peso inicial).

La cantidad de materia seca (MS) consumida diariamente por corral, fue determinada pesando el alimento ofrecido y rechazado cada siete días; para ello, se tomó una muestra representativa y se colocaron a 65°C en estufa eléctrica hasta peso constante y así se determinó el consumo diario por corral (CDC). También, se estimó la conversión alimenticia (CA), al dividir el consumo total sobre la GTPV.

De la casilla meteorológica de la EEA, se registraron diariamente datos de temperatura ambiental (T) y humedad relativa (HR). Con esta información se calculó el índice de temperatura-humedad (ITH). El cual se utilizó para determinar el grado de estrés calórico al cual estuvieron sometidas las corderas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Escala de índice de estrés calórico (ITH), cuando la temperatura es expresada en °C.

ITH	Efecto
< 22,2	Sin estrés
22,2 a 23,3	Moderado
23,3 a 25,6	Severo
> 25,6	Extremo

Fuente: Marai *et al.* 2001.

Los datos obtenidos para GDPV y GTPV fueron analizados para un diseño completamente al azar considerando al genotipo de las corderas como la fuente de variación. Mientras que para CDC y CA se utilizó el análisis de varianza para un diseño completamente al azar donde el corral fue la variable dependiente. En ambos casos se utilizó el software InfoStat (2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ganancia diaria de peso vivo y ganancia total de peso

Al evaluar la ganancia de peso vivo (GDPV) de acuerdo a los genotipos se encontró que las corderas presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en la GDPV (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza para ganancia diaria de peso vivo (GDPV) y ganancia total de peso vivo (GTPV) de corderas de distintos genotipos.

FV	gl	GDPV (kg.día ⁻¹)		GTPV (kg)	
		CM	Pr > F	CM	Pr > F
Corral	4	0,0057	<0,0001	26,48	<0,0001
Error	25	0,0002		1,09	
Total	29				

En donde, las corderas del genotipo criollo fueron las que menor ganancia obtuvieron y la raza Santa Inés la que más ganó (Cuadro 4). Sin embargo, las corderas cruzadas (Dorper x Romney y Santa Inés no presentaron diferencias significativas ($P>0,05$) en GDPV y GTPV (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comportamiento productivo de las corderas de distintos genotipos, ganancia diaria de peso vivo (GDPV) y ganancia total de peso vivo (GTPV).

Genotipo	n	GDPV (kg.día ⁻¹)	GTPV (kg)
Santa Inés	12	0,16 ^a	10,70 ^a
Dorper x Romney	12	0,15 ^a	10,30 ^a
Criolla	6	0,09 ^b	6,10 ^b

^{ab}Letras diferentes entre grupos raciales, indican diferencias significativas ($P<0,05$).

Las corderas del genotipo Santa Inés presentaron ganancias superiores a las criollas, esta diferencia se incrementó a medida que transcurrió el tiempo del engorde. Además, se pudo observar que, dentro de los genotipos deslanados, la Santa Inés presentó ganancia superior.

Para el caso particular de este estudio el genotipo criollo se consideraron aquellos animales con presencia de lana, pero sin poderlos asociarlos a un genotipo en particular. Los datos de GDPV obtenido en este ensayo, fueron superiores a los promedios de producción del centro sur de la provincia, donde la ganancia sobre pastoreo son de 0,05 kg.día⁻¹ (Flores *et al.* 2008). También, fueron superiores a los reportados por Capellari *et al.* (2006) quienes reportan valores de GDPV con suplementación, inferiores a los 0,06 kg.día⁻¹. Los valores obtenidos en este trabajo fueron superiores a los reportados por Banchero *et al.* (2000) y por Bianchi y Garibotto (2004), quienes en confinamiento obtuvieron ganancia media diaria de 0,09 a 0,10 kg.día⁻¹ en corderos Ideal y Corriedale. Por otro lado, las corderas Santa Inés obtuvieron una ganancia similar a lo reportado por Verdoljak (2008) y Verdoljak *et al.* (2014) en corderas cruza Dorper estabuladas, que

consumieron dietas a base de leguminosas tropicales con ganancias promedios de 0,14 kg.día⁻¹. También, se obtuvo valores similares, en engorde a corral de corderos cruza Corriedale, con ganancias diarias que promediaron entre 0,08 y 0,16 kg.día⁻¹ (Alvarez *et al.* 2010). Asimismo, las GTPV entre 9,3 y 18,4 kg pero en mayor tiempo de engorde (120 días). Resultados similares por Luzarlo *et al.* (2010) quienes alimentaron corderos Corriedale en confinamiento con concentrados las GDPV variaron de 0,09 a 0,16 kg.día⁻¹ y las GTPV durante 115 días, entre 10,6 y 17,6 kg.

Sin embargo, existen reportes donde se ha logrado GDPV de 0,27 kg animal⁻¹.día⁻¹ (Cloete *et al.* 2000, Snowden y Ducken 2003, Cabrera *et al.* 2007).

Consumo de alimento por corral y conversión alimenticia por corral

Las medias de consumo de alimento por corral (CDC), debido a que no se contaba con instalaciones individuales no fue posible hacer un análisis estadístico. Al evaluar el consumo diario por corral de los genotipos de las corderas, se observó que las corderas criollas consumieron menos alimento que los genotipos de pelo (Santa Inés y Dorper x Romney; Cuadro 5). La criolla (lanada), reportó el menor consumo (6,13 kg.día⁻¹) y la raza SI fue la que más consumió (8,25 kg.día⁻¹). A su vez, las corderas cruzas DR, presentaron un consumo intermedio (Cuadro 4).

Cuadro 5. Consumo diario de alimento por corral (CDC) y conversión alimenticia por corral (CAC) de las corderas de acuerdo al genotipo durante el periodo de engorde.

Genotipo	Corrales	CDC (kg MS.día ⁻¹)	CAC (kg MS.kg carne ⁻¹)
Santa Inés	2	7,46	8,25
Dorper x Romney	2	6,44	7,38
Criolla	1	6,13	11,86

Los consumos medios individuales de las corderas fueron de 1,02 ± 0,16, 1,07 ± 0,16 y 1,24 ± 0,17 kg MS.día⁻¹ para corderas criollas, Dorper x Romney y Santa Inés, respectivamente. Estos valores fueron superiores a los reportados por Luzardo *et al.* (2010), al evaluar en confinamiento la relación concentrado: voluminoso en corderos Corriedale, obteniendo un consumo promedio entre 0,73 y 0,96 kg MS.día⁻¹. Del mismo modo, Guerra (2006) halló valores inferiores de consumo, con un promedio de 0,90 kg MS.día⁻¹ en confinamiento con una dieta compuesta con relación voluminoso:concentrado (25:75).

Sin embargo, Flores *et al.* (2008), al alimentar corderos a base de ensilajes, obtuvo un consumo medio similar al genotipo Santa Inés (1,3 kg MS.día⁻¹), mientras que en tratamientos a base de heno el consumo fue superior (1,4 kg MS.día⁻¹) (Flores *et al.* 2008).

Al evaluar la conversión alimenticia de los genotipos de las corderas, se observaron diferencias entre los genotipos lanados y los deslanados (Cuadro 5). En donde, las corderas tipo criollo fueron las que presentaron los valores más bajos de CAC.

La mayor capacidad de transformar el alimento en carne es de los genotipos deslanados (Santa Inés y Dorper x Romney), con respecto al genotipo lanado (Cuadro 5). Estos valores son mayores a los obtenidos por Verdoljak *et al.* (2014), quienes evaluaron el comportamiento productivo de corderos de razas lanadas y deslanadas. Estos investigadores obtuvieron valores de CAC de 5,5:1 y 10,5:1 para razas lanadas y deslanadas, respectivamente.

Asimismo, Míchailos *et al.* (2001), registraron una CAC de 6:1 al incorporar leguminosas como fuente de proteína. De manera similar Flores *et al.* (2012), reportaron que en Corrientes hay antecedentes de engorde a corral con CAC de 6:1.

Sin embargo, los genotipos Santa Inés y Dorper x Romney fueron mejores a los obtenido por Bianchi *et al.* (2005), quienes en confinamiento de corderos Corriedale y cruza, reportaron CAC de 8,6:1 a 9,6:1. De manera similar, se reporta que en confinamiento de verano se observó CAC que rondaron entre 9,6:1 y 12,2:1 (Banchemo *et al.* 2000). Cabe destacar que en ambos trabajos se utilizaron corderos.

Índice de temperatura-humedad

Al calcular el índice de temperatura-humedad (ITH), se observó que durante la mayor parte del ensayo (80%) los animales estuvieron bajo un estrés calórico de severo a extremo (Cuadro 2).

En ovinos como en otras especies domésticas presenta ITH superiores a 23,3, se relaciona con una disminución en el consumo de alimento, con una reducción en el funcionamiento de las glándulas tiroideas (Marai *et al.* 2007). En consecuencia, se reflejó

negativamente sobre la tasa de crecimiento, peso al sacrificio y sobre la calidad de la carne (Srikandakumar *et al.* 2003).

El valor del ITH puede ser una de las causales del bajo rendimiento del genotipo criollo, por afectar su desarrollo metabólico. Este índice fue calculado para las condiciones ambientales prevalecientes en la zona. Sin embargo, los resultados obtenidos por distintos autores, indican el bajo efecto de éste índice sobre los animales deslanados (Marcías *et al.* 2010, Verdoljak *et al.* 2014).

CONCLUSIÓN

- El comportamiento productivo fue superior en los animales de genotipos Santa Inés y la cruce Dorper x Romney en todas las variables evaluadas; y la existencia de estrés calórico en gran parte del período de prueba, permitió estimar la mejor capacidad de adaptación de los animales de genotipos deslanados al clima imperante en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J; García, J; Mayo, A; Roa, M; Giorgetti, H; Rodríguez, G. 2010. Producción de corderos pesados en confinamiento con dietas basadas en maíz y avena. Revista Argentina de Producción Animal. 33 Congreso Argentino de Producción Animal. Viedma Patagones, Comarca 13-15 Octubre. p. 535-536.
- Banchero, G; Montossi, F; San Julián, R; Ganzábal, A; Ríos, M. 2000. Engorde a corral de corderos livianos y pesados con diferentes combinaciones de suplementos y heno de leguminosas. Montevideo, INIA. Serie Técnica no. 118:31-39.
- Barrios, C. 2014. Elección de la raza en la Granja ovina (en línea). El Lector. Consultado 03 jun. 2016. Disponible en <http://periodicolector.com/2016/03/04/eleccion-de-la-raza-en-una-granja-ovina/>
- Bianchi, G; Garibotto, G. 2004. Tecnología para la producción de corderos pesados a contra estación. In Seminario Producción Ovina (4°, 2004, Paysandú). Propuesta para el negocio ovino. Paysandú. p. 36-61.

- Bianchi, G; Garibotto, G; Bentancur, O; Forichi, E; Peculio, A. 2005. Efecto de la relación voluminoso; concentrado sobre el desempeño de corderos Corriedale, Southdown x Corriedale y Poll Dorset x Corriedale tras 42 días de confinamiento. *Producción Ovina* 17:85-98.
- Cabrera, A; Rojas, P; Daniel, I; Serrano, A; López, M. 2007. Influencia de la suplementación sobre ganancia de peso y calidad de la canal en borregos Dorper/Katahdin (en línea). Consultado Bioline Internacional <http://www.bioline.org.br/pdf?cg07026>
- Capellari, A; Revidatti, M; Rébak, G; Sánchez, S; Robson, C; Rochinortti, D. 2006. Evaluación de la suplementación para la producción de cordero pesado en el sur Corrientes. 29º Congreso Argentino de Producción Animal; AAPA. Mar del Plata. *Revista Argentina de Producción Animal* 26(Supl. 1):313-355.
- Cloete, S; Snyrnan, M; Herselman, M. 2000. Productive performance of Dorper sheep. *Small Ruminant Research* 36:119-135.
- Cuéllar, J. 2015. Manejo sanitario en la engorda de corderos en confinamiento. 7 Congreso Internacional del Borrego. 2 Simposio Nacional de la Cabra. Mexico.
- Delgado, J; León, J; Gómez, M; Nogales, S; Camacho, M. 2009. Las razas ovinas Ibéricas y su participación en la colonización de Iberoamérica. En: Delgado Bermejo, JV; Nogales Baena, S. *Biodiversidad ovina latinoamericana*. Córdoba, España. p.17-30.
- Fimbres, H; Hernández, V; Rubio, P; Kawas, J; Lu, C. 2002. Productive performance and carcass characteristics of lambs fed finishing containing various forage levels. *Small Ruminant Research* 43:283-288.
- Flores, A; Franz, N; Celser, R. 2012. Recomendaciones de manejo para el encierre de corderos. *Noticias y Comentarios. Serie Técnica no.492 ISSN 0327-3059*. Estación Experimental Agropecuaria, Mercedes, INTA Corrientes.

- Flores, A; Franz, N; Rivero, L; Beccaria, M; Celser, R; Gómez, M; Flores, F. 2008. Engorde de corderos a corral. Serie Técnica no.44 ISSN 0327-3075. Estación Experimental Agropecuaria, Mercedes, INTA Corrientes.
- Guerra, M. 2006. Sistema de terminación de corderos en la región de basalto de Uruguay. Tesis Maestría. Universidad Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil.107 p.
- Iglesias, D. 2013. Análisis de la Cadena de la Carne Ovina en Argentina, Carpeta Técnica N°11, INTA. La Pampa, Argentina.
- InfoStat. 2014. Software estadístico InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Luzarlo, S; Montossi, F; Monteverde, M; Silveira, C; San Julián, R. 2010. ¿La relación concentrado: voluminoso afecta el consumo, crecimiento y composición *in vivo* de corderos pesados Corriedale? Revista Argentina de Producción Animal 30(Supl.1):433-557.
- Marai, IFM; El-Darawany, AA; Fadiel, A; Abdel-Hafez, MAM. 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep- A review. Small Ruminant Research 71:1-12.
- Marai, IFM; Ayyat, MS; Abd El-Monem, UM. 2001. Growth performance and reproductive traits at first parity of New Zealand White female rabbits as affected by heat stress and its alleviation, under Egyptian conditions. Tropical Animal Health and Production 33:457-462.
- Míchailos, J; Mendoza, M; Cómbenos, J. 2001. Uso de la *Gliricidia* en dietas completas para corderos en crecimiento. Revista Unellez de Ciencia y Tecnología. Volumen Especial:46-49.
- Mueller, JP. 2013. Producción Ovina en Argentina. Comunicación Técnica INTA Bariloche, Argentina. PA 618.

- NRC (National Research Council). 1985. Nutrient requirements of sheep. National Academy Press, Washington, D.C.
- Nasholm, A. 2004. Direct and maternal genetic relationships of lamb live weight and carcass traits in Swedish sheep breeds. *Journal of Animal Breeding Genetics* 21:66-75.
- Purchas, RW; Silva Sobrinho, AG; Garrick, DJ. 2002. Effects of age at slaughter and sire genotype on fatness, muscularity, and the quality of meat from ram lambs born to Romney ewes. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 45:77-86.
- Slukwa, MA. 2013. Corrientes, la puerta de entrada del Norte Grande para la producción ovina(en línea). Consultado 03 jun. 2016. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/corrientes-la-puerta-de-entrada-del-norte-grande-para-la-produccion-ovina>
- Snowder, G; Ducken, S. 2003. Evaluation of the South African Dorper as a terminal sire bleed for growth carcass and palatability characteristics. *Journal of Animal Science* 81:368-375.
- Srikandakumar, A; Johson, E; Mahgoub, O. 2003. Effect of heat stress on respiratory rate, rectal temperature and blood chemistry in Omani and Australian Merino sheep. *Small Ruminant Research* 49:193-198.
- Verdoljak, J. 2008. Establecimiento y productividad de leguminosas tropicales para sistemas ganaderos del Noreste de México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Tamaulipas-Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. p. 110.
- Verdoljak, J; Vásquez, R; Acosta, FA; Pereira, MM; Casco, JF; Sarco, PC; González-Reyna, A; Martínez-González, JC. 2014. Evaluación Productiva de Corderos Deslanados en el Norte de Corrientes. *Boletín Informativo No. 5 - Año II – INTA*.

CARACTERIZACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE PEQUEÑAS FINCAS DOBLE PROPÓSITO DE LA PROVINCIA DE BOCAS DEL TORO-PANAMÁ¹

Raúl H. De León-García²; Gregorio Thomas³; Omar Castillo⁴

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue caracterizar y tipificar pequeñas fincas de doble propósito del distrito de Chiriquí Grande, provincia de Bocas del Toro, considerando índices zootécnicos, factores económicos de productividad y socioculturales, entre otros. Los datos provenían de encuestas existentes levantadas en 20 fincas ganaderas, más de 40% del total en este distrito, y fueron analizados mediante técnicas Multivariadas como Componentes Principales (ACP), Análisis de Conglomerado (AC) y Análisis Discriminante (AD). Se seleccionaron 40 variables *a priori* de las que quedaron 15 con CV>30%. Con el ACP se identificaron cinco factores que explicaban el 81,49% de la variación total. Mediante el AC, se agruparon las fincas en tres grupos y mediante el AD, el agrupamiento fue confirmado probabilísticamente. El Grupo1 mostró mejor producción/vaca/día (4,90 L), mayor producción/ha/año (589,38 L), mayor carga animal (1,47 UG/ha), menor mortalidad en terneros (6,60%) y mayor producción de leche (no ajustada) por lactación (1091,97 L). El Grupo2 presentó un porcentaje de mortalidad alto en terneros (25,0%), la carga animal baja (0,63 UG/ha), alta edad promedio de los productores (69,4 años) y baja producción de leche/ha/año (308,60 L), y bajos ingresos mensuales por venta de leche (B/. 559,92). El Grupo3 tenía mayor cantidad de productores jóvenes (38 años promedio), fincas con mayor superficie (80,92 ha), mayor número de vacas en ordeño (27,67) y altos ingresos mensuales por venta de leche (B/. 1590,41). Se concluye que hay variabilidad entre las fincas estudiadas y que las técnicas multivariadas permitieron describir y comprender mejor la complejidad de las fincas.

Palabras claves: índice zootécnico, factores económicos de productividad, factores socio-culturales, análisis multivariado.

¹ Recepción: 3 de octubre de 2018. Aceptación: 27 de noviembre de 2018. Actividad financiada por Proyecto de Investigación e Innovación para el Mejoramiento de la Competitividad y Sostenibilidad de los Sistemas Intensivos (especializados) y Semi-intensivos (doble propósito) de Producción de Leche en la Región Occidental de Panamá.

² Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Oriental. Sub Centro de Buena Vista. Ing. Agr. Zootecnista. e-mail: raulherminio@gmail.com

³ Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Centro de Investigación Agropecuaria del Trópico Húmedo. Almirante, Bocas del Toro. Ing. Agr. Zootecnista.

⁴ Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA). Agencia de Extensión Agropecuaria de Chiriquí Grande. Ing. Agr. en Agro-negocios.



CHARACTERIZATION AND TYPIFICATION OF SMALL DOUBLE PURPOSE FARMS IN BOCAS DEL TORO PROVINCE, PANAMA

ABSTRACT

The objective of this work was to characterize and typify double purpose farms at Chiriquí Grande District, Bocas del Toro province, considering zootechnical indexes, productivity economical and social cultural factors, among others. The data came from a previously realized survey in 20 cattle farms, more than 40% of the total within this district, and were analyzed applying Multivariate techniques like Principal Components Analysis (PCA), Conglomerate Analysis (CA), and Discriminate Analysis (DA). An *a priori* selection of 40 variables was made within which 15 were discarded, with CV>30%. With PCA, five factors including 81,49% of the total variation were identified. Through CA, cattle farms were placed in three groups and through DA, grouping was probabilistically confirmed. Group1 showed best production/cow/day (4,90 L), greatest production/ha/year (589,38 L), greatest animal load (1,47 LU/ha), lower calf mortality (6,60%) and the highest milk production (non adjusted) per lactation (1091,97 L). Group2 showed a high mortality percentage in calves (25,0%), low animal load (0,63 UG/ha), high farmers average age (69,4 years), low milk production/ha/year (308.60 L) and low monthly milk sale income (B/. 559,92). Group3 had the biggest amount of young farmers (38 years average), largest farms (average of 80,92 ha), greatest amount of milking cows (27,67) and higher monthly income for milk sale (B/. 1590,41). It is concluded that there is variability among surveyed farms and that Multivariate techniques allowed to describe and better comprehend farms complexity.

Key words: zootechnical indexes, productivity economical factors, social-cultural factors, multivariate analysis.

INTRODUCCIÓN

En el sector lechero del país se identifican tres zonas de producción, que son determinadas por factores agro-climáticos, como precipitación, duración del periodo de sequía, temperatura y humedad. Estas zonas son: Chiriquí, Azuero y el conjunto formado por las provincias del resto del país (MIDA 2007).

Estos sistemas de producción de leche bovina tradicionalmente han sido clasificados en tres grandes grupos de lecherías: las especializadas de tierras altas y de tierras bajas, y los sistemas doble propósito, sin embargo, esta clasificación no refleja la gran variabilidad existente en aspectos como grupos raciales utilizados, nivel tecnológico, manejo del recurso forrajero, el uso de suplementos, años de experiencia, uso de la mano de obra externa, entre otros (Vargas-Leitón 2000, González-Echeverría 2012).

La caracterización debe ser precisa y objetiva, ya que permite evaluar y comparar los niveles de competitividad dentro de estratos homogéneos y además ayuda a identificar fortalezas y debilidades en cada estrato, lo que a su vez facilita el desarrollo e implementación de tecnologías a distintos grupos meta según sus necesidades específicas según Köbrich *et al.* (2003), Gaspar *et al.* (2007) y Mburu *et al.* (2007). Mediante esta caracterización se pueden identificar las principales variables que inciden en el grado de heterogeneidad y homogeneidad existente entre las explotaciones ganaderas de una determinada región, generando grupos representativos de subsistemas productivos (Valerio-Cabrera *et al.* 2004).

Una explotación de doble propósito es un sistema productivo dentro de una cadena productiva y es un ente dinámico integrado a un sistema socio-económico y está compuesto por aspectos como los límites (físicos), los componentes, las relaciones e interacciones entre los componentes y las entradas y salidas del sistema (Holle 1989). La diversidad y complejidad de las situaciones que se desarrollan en las fincas son fenómenos fácilmente perceptibles, sin embargo, para apreciar la estructura de algo tan complejo, de manera que permita agrupar esa realidad en unidades más homogéneas, se requieren exigencias metodológicas que a veces parecen más complejas que el mismo estudio.

Una condicionante importante para poder incidir positivamente en un sistema de producción, es tener un conocimiento adecuado del mismo, de manera tal que sea posible identificar y jerarquizar los factores limitantes de su eficiencia productiva (Rogberg 1982). Sin embargo, este punto normalmente no es considerado cuando se elaboran proyectos que buscan mejorar el sistema (Ordoñez 1990).

Este análisis es esencial ya que se tratar de diferente manera un sistema intensivo que uno de doble propósito, sus problemas son diferentes y, por lo tanto, las tecnologías requeridas por cada uno difieren. Identificar los diferentes tipos de productores dentro de una región permite centrar las investigaciones o las acciones en el grupo blanco de forma tal que los recursos y los esfuerzos no se dispersan acrecentando el impacto de las mismas (Gebauer 1987, Köbrich *et al.* 2003).

Una de las formas objetivas para identificar grupos homogéneos de entidades son las técnicas de análisis multivariado, como el Análisis de Factores y el Análisis de Conglomerados (Hair *et al.* 1998, Johnson y Wichern 1998).

Diversos estudios reportan el uso de estas técnicas para caracterizar sistemas de producción agrícolas o ganaderos, teniendo en cuenta, la mayoría de ellos, variables estructurales, así como parámetros técnicos, económicos o productivos (Betancourt *et al.* 2005, Giorgis *et al.* 2011, Gelasakis *et al.* 2012). Algunos de los estudios, incluyen aspectos sociológicos, tales como el nivel de educación o la experiencia de los productores (Solano *et al.* 2000, Solano *et al.* 2003, Avilez *et al.* 2010).

Sin embargo, hay pocos ejemplos de cómo llevar a cabo, de forma adecuada una tipificación de los diferentes tipos de productores de leche en una región (Solano *et al.* 2001a, 2001b), en el caso de Panamá, los ejemplos son limitados (Guerra *et al.* 2017), lo que indica que la mayoría de las investigaciones o planes de mejoramiento de estos sistemas parten de una aproximación que generaliza a todos los productores y los trata como si todos fueran iguales.

En el mejor de los casos la clasificación es empírica y se basa en características generales de los productores en donde los resultados de las encuestas se analizan únicamente a través de medidas de tendencia central o de dispersión, que como es bien sabido, enmascaran muchas de las diferencias de los productores al tratar a todos como un productor promedio (Quijandría 1994, Gaitán y Piñuel 1997).

El IDIAP viene ejecutando un Proyecto para el Mejoramiento de la Competitividad y Sostenibilidad de los Sistemas Intensivos (especializados) y Semi-intensivos (doble propósito) de Producción de Leche en la Región Occidental de Panamá, donde participan pequeños productores cuyas fincas presentan múltiples y complejas características. Ante esta situación y con el objetivo de caracterizar y tipificar las pequeñas fincas del sistema doble propósito de la provincia de Bocas del Toro con el propósito de proveer una descripción mucho más completa de las fincas y mejorar así el conocimiento de las mismas antes de proponer acciones de mejoramiento (Enríquez 2008, Hardiman 1990).

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El trabajo se realizó en la provincia de Bocas del Toro, localizada al noroeste de la República de Panamá, en el extremo occidental entre los 9° 20' 26" N y 82° 14' 26" W. La provincia posee un clima tropical caracterizado por precipitaciones durante todo el año y en donde hasta el mes seco aún tiene mucha lluvia. Según la clasificación de Köppen (1900) en Bocas del Toro existen tres tipos de climas: Templado muy húmedo de altura (afh), tropical muy húmedo (afi), templado húmedo de altura (cwh), la temperatura media anual es de 26,0° C y las precipitaciones oscilan alrededor de los 2945 mm, mientras que, a nivel del mar, las lluvias alcanzan los 4,000 mm (Quiroz 2012).

El clima tropical muy húmedo abarca el 80% de la superficie provincial y comprende las áreas planas y onduladas hasta elevaciones de 1,200 m. Se caracteriza por estar influido por el Mar Caribe, presentando lluvias abundantes todo el año, existe un periodo relativamente seco en los meses de febrero, marzo, septiembre y octubre. Las variaciones climáticas se registran con la elevación (Quiroz 2012).

El universo de estudio lo constituyó un total de 23 hatos doble propósito de la provincia de Bocas del Toro, de las cuales se analizaron 20, lo que representa un poco más del 40% del total de los productores ubicados en el distrito de Chiriquí Grande. La mayoría de estos hatos se ubicaron en diferentes localidades del distrito, en zonas agroecológicas denominadas bosque húmedo (tropical) según la clasificación de Holdridge (1987). Estas zonas agroecológicas se encuentran dispersas mayormente en localidades como Valle Sarón, Cañazas, Barranquilla, Palo Seco, Guayabal, Rámbala, Punta Róbalo, Punta Peña, La Conga, Punta Arena, Malí, Campeche, Bajo Cedro y Las Cañas (Figura 1).

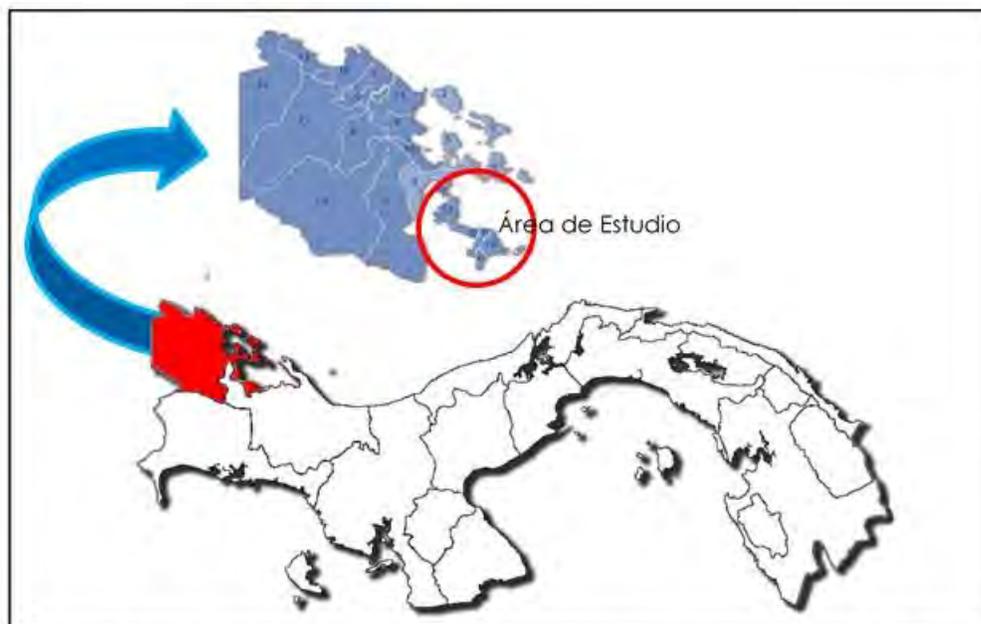


Figura 1. Localización del área de estudio en la provincia de Bocas del Toro.

Recolección de datos

La información se obtuvo de una encuesta elaborada y modificada por Guerra (2015a), siguiendo la metodología propuesta por Cabrera *et al.* (2004), Guerra (2015b) y descrita en trabajos previos por Vargas-Leitón *et al.* 2013, Avilez *et al.* 2010.

Una vez levantadas las encuestas, la información fue tabulada y se elaboró una base de datos con las variables que representaban la dimensión de las explotaciones y la productividad de las mismas como son: inventario ganadero (número, animales en ordeño, cruces raciales, porcentaje de vacas secas, tamaño de la finca), manejo reproductivo, alimentación (manejo del pastoreo, uso de suplementación), uso de pastos (mejorados y de corte, cobertura de las pasturas, carga animal), aspectos sanitarios del hato (control de endo y ectoparásitos), uso de la mano de obra (tiempo dedicado a la finca, mano de obra externa, años de experiencia, número de familiares que trabajan en la finca, asistencia técnica), productividad del sistema (porcentaje de mortalidad, tasa de nacimientos, producción de leche/ha/año; producción/lactación, ingreso/año/venta de leche) y factores limitantes del sistema así como las aspiraciones de los encuestados.

Análisis estadístico

La información colectada a través de las encuestas, permitió identificar un total de 84 variables, las cuales, utilizando el procedimiento recomendado por Hair *et al.* (1998) permitió realizar una estandarización y agregación de estas variables, con el fin de mejorar y simplificar la estructura de los datos antes de la implementación de los análisis multivariados. De esta manera, subgrupos de variables relacionadas con un mismo insumo o producto fueron agrupadas para formar variables compuestas. Esto se realizó por ejemplo con los diferentes tipos de suplementos, grupos raciales, tiempo de mano de obra para distintas actividades.

De las 84 variables generadas, se seleccionaron, de manera *a priori*, 40 variables no correlacionadas, basadas en la contribución de las mismas al nivel tecnológico de la finca. Las variables fueron agrupadas en nueve categorías: aspectos socio-económicos, aspectos de la finca, aspecto de pasturas, suplementación, genética, manejo del hato, reproducción, salud animal y producción (Cuadro1), de estas 22 eran de tipo cualitativas y 18 cuantitativas.

Cuadro 1. Variables identificadas *a priori*.

Categorías	Variables
1. Aspectos Socio-Económicos	1. Edad
	2. Escolaridad
	3. Años de experiencia
	4. Número de familiares que trabajan en la finca
	5. Contratación de mano de obra externa
	6. Tiempo dedicado a la finca
	7. Ingresos dependen de la finca
2. Aspectos de la finca	8. Superficie total
	9. Inventario total
	10. Vacas en ordeño
	11. Número de fincas
	12. Total de vacas
3. Aspectos de la pastura	13. Total novillas
	14. Uso de pastos mejorados
	15. Uso de pastos de corte
	16. Fertilización
	17. Carga animal
4. Aspectos de suplementación	18. Cobertura de la pastura
	19. Uso de minerales
	20. Época de suplementación
	21. Uso de concentrados
	22. Uso de ensilajes

5. Aspectos genéticos	23. Grupos raciales existentes en la finca
	24. Uso de la inseminación artificial
	25. Como adquieren los reproductores
6. Aspectos de manejo	26. División del hato por categoría
	27. Tipo de ordeño
	28. Duración de la lactación
7. Aspectos reproductivos	29. Natalidad
	30. Intervalo entre partos
8. Aspectos sanitarios	31. Frecuencia de baños
	32. Frecuencia de desparasitaciones
	33. Vacunas que aplica
	34. Pruebas que realiza
	35. Causa de la muerte de terneros
	36. Causa de la muerte de adultos
9. Aspectos de producción	37. Promedio/vaca
	38. Producción/lactación
	39. Producción/ha/año
	40. Ingreso/venta de leche/año

Con el análisis descriptivo se calcularon los promedios, la desviación estándar y el coeficiente de variación de cada una de las variables seleccionando solo aquellas que presentaron mayor variabilidad (coeficiente de variación $\geq 30\%$) (Cuadro 2) y que no estuvieran correlacionadas (Cuadro 3).

Cuadro 2. Resultado del análisis descriptivo.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	CV %
Experiencia (años)	34,55	10,00	60,00	41,47
Escolaridad	2,05	1,00	6,00	71,66
Número de hijos que laboran en la finca	1,14	0	4	92,95
Ingresos dependen de la finca	1,23	1,00	2,00	35,25
Superficie total de la finca (ha)	66,75	14,00	186,00	61,36
Cantidad de fincas (número)	1,55	1,00	3,00	53,26
Total de vacas	40,85	9,00	184,00	97,14
Porcentaje de nacimientos	0,50	0,25	0,88	33,64
Promedio/vaca/día (L)	4,69	2,32	7,79	34,26
Tipo de ordeño	1,33	1,00	2,00	36,23
Ingresos mensuales (B/.)	1011,48	241,56	6100,00	122,98
Producción de leche/ha/año (L)	474,71	60,83	1152,63	62,26
Producción total de leche/lactación (L) ⁽¹⁾	1038,69	557,14	1800,00	32,66
Inventario ganadero total	80,25	23,00	271,00	77,54
Carga animal (u.g/ha)	1,05	0,23	2,71	63,97

⁽¹⁾PLNA: producción de leche no ajustada.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables resultantes del análisis descriptivo.

VAR.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1,000													
2	-0,422	1,000												
3	0,082	-0,251	1,000											
4	-0,574	0,587	-0,295	1,000										
5	0,464	0,019	-0,063	-0,295	1,000									
6	0,455	0,281	0,063	-0,108	0,457	1,000								
7	0,363	0,156	-0,065	-0,123	0,604	0,594	1,000							
8	-0,102	0,185	-0,116	0,102	-0,015	0,035	-0,322	1,000						
9	0,258	-0,133	-0,117	-0,171	0,386	-0,105	0,519	-0,237	1,000					
10	0,274	0,304	-0,185	0,063	0,264	0,606	0,571	-0,255	0,262	1,000				
11	0,295	0,093	0,050	-0,139	0,677	0,482	0,943	-0,226	0,594	0,420	1,000			
12	-0,134	0,109	-0,111	0,271	-0,243	0,096	0,477	-0,101	0,421	0,428	0,417	1,000		
13	0,377	-0,235	-0,063	-0,305	0,365	-0,121	0,422	-0,120	0,914	0,176	0,514	0,396	1,000	
14	0,431	0,210	-0,101	-0,120	0,604	0,730	0,963	-0,214	0,486	0,676	0,891	0,469	0,425	1,000
15	-0,168	0,036	-0,135	0,326	-0,515	0,061	0,213	-0,098	0,111	0,402	0,078	0,909	0,117	0,234

Análisis estadístico descriptivo

Este análisis permitió obtener estadísticos de tendencia central y dispersión para las variables de tipo cuantitativo, así como distribuciones de frecuencia para las variables de tipo cualitativo. Esta información se sometió a un proceso de edición a fin de detectar valores extremos biológicamente improbables, utilizando como criterio distribuciones de probabilidad (por ejemplo: distribución normal, promedio, desviación estándar). Los valores identificados como improbables se asumieron como datos faltantes y las observaciones respectivas no se utilizaron en análisis posteriores.

Análisis estadístico multivariado

Con el propósito de caracterizar y tipificar las fincas, se utilizaron técnicas de análisis multivariado como el Análisis de Componentes (AC), el Análisis de Conglomerados (AC) y el Análisis Discriminante (AD).

Para el AC se exploraron varios métodos de extracción de factores, seleccionando finalmente el método de Factores Principales (AFP) (Hair *et al.* 1998, Johnson y Wichern 1998). Este procedimiento requiere que se especifiquen los valores previos de comunalidad para cada variable, los cuales se estimaron a partir del valor máximo de correlación absoluta de cada variable observada con cualquiera de las demás. También se exploraron varios métodos de rotación oblicuos y ortogonales, seleccionando al final el método de rotación ortogonal Varimax (Hair *et al.* 1998, Johnson y Wichern 1998), el cual

mantiene la independencia entre los factores, lo que representa una propiedad importante para el posterior análisis de conglomerados.

Para determinar el número mínimo de factores necesarios se seleccionaron factores con raíces latentes (autovalores) mayores que uno (Hair *et al.* 1998) y se procuró que la proporción acumulada de varianza explicada por los factores extraídos fuera superior a 75%.

Una vez seleccionados los factores, se procedió a realizar el Análisis de Conglomerados (AC) (Hair *et al.* 1998, Johnson y Wichern 1998) y las variables observadas inicialmente fueron reemplazadas por las puntuaciones factoriales (Hair *et al.* 1998) y calculadas para cada finca utilizando los factores principales extraídos en el procedimiento anterior (AF).

El AC se realizó siguiendo dos etapas, de acuerdo a lo recomendado por varios investigadores (Giorgis *et al.* 2011, Gelasakis *et al.* 2012). En la primera fase se utilizó el método de agrupación jerárquico de Ward (Hair *et al.* 1998, Johnson y Wichern 1998), con el fin de determinar un número óptimo preliminar de grupos a formar. Se exploraron niveles de agrupación progresivos y el nivel óptimo se definió con base en la evaluación conjunta del Criterio de Clusterización Cúbica (CCC), el valor del Pseudo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis estadístico descriptivo

Los resultados de las encuestas indican que los sistemas de doble propósito encuestados están en manos de pequeños y medianos productores, con fincas que tienen una superficie promedio de 66,75 ha ($\pm 41,0$) destinadas a la ganadería en su totalidad, superficie menor a la encontrada por Guerra (2015a, b) en estudio similar. La mayoría de estos productores realiza el ordeño manual (70%) con apoyo del ternero, y un pequeño grupo (30%) lo realiza de forma mecánica (con ordeñadoras portátiles de dos puestos). El promedio de vacas en ordeño es de 15,9 vacas ($\pm 11,9$) con una producción de leche promedio/vaca/día de 4,69 L ($\pm 1,65$) observándose promedios más altos en los que utilizan el ordeño mecánico (6,9 L). En lo que respecta a la duración de la lactación, la misma es de 225 días ($\pm 31,54$) para una producción de leche total/lactación (no ajustada) de 1039,63 L ($\pm 347,98$) y una producción de leche/ha/año de 475,13 kg ($\pm 295,34$) lo que contrasta

con los 1174 kg y 1993 kg de leche/ha/año en lactancias de 270 días con animales cruzados para producción de leche que se logran en Cuba (Ruíz-Pierrugues 2011).

La base de la alimentación en estos sistemas de producción es la pastura, siendo la más común, en el 80% de las fincas la Ratana (*Ischaemun indicum*). Muy pocas fincas tienen sembradas pastos mejorados, y las que han sembrado, tienen en su mayoría el género *Brachiarias* (Toledo, Marandú, Decumbens y Arrecta), mientras que el 92% de los encuestados manifestó no contar con parcelas de pasto de corte para los periodos críticos.

La tasa de nacimiento, calculada en base a los resultados, fue de 50,3% ($\pm 0,02$), mientras que la de mortalidad en terneros alcanzó el 14,04%. Esta situación es preocupante si tomamos en cuenta que un reciente trabajo de palpación realizado en distintos hatos del área a fincas encuestadas (Quintero 2016), reporta una tasa de preñez de 23%.

En lo que se refiere al manejo sanitario del hato, de acuerdo a los resultados de las encuestas, se realizan en promedio 27,53 ($\pm 30,3$) baños al año, lo que revela que algunos ganaderos bañan hasta cuatro veces al mes contra garrapatas. Esto indica que, o están dosificando mal los productos garrapaticidas, o hay resistencia de las garrapatas a los productos que se utilizan para su control, situación que amerita un trabajo de investigación más profundo. En cuanto al control de endoparásitos, se realizan 6,4 ($\pm 5,6$) desparasitaciones al año, lo cual también resulta demasiado, sobre todo si el producto que más utilizan son las ivermectinas en diferentes concentraciones. Por otra parte, todos los encuestados indicaron realizar pruebas de brucelosis, leucosis y tuberculosis, no así IBR, leptospirosis ni vibriosis, enfermedades estas que podrían estar asociadas a los bajos índices de nacimientos.

A la pregunta de, cuáles consideraban eran las principales limitantes de la finca, el 34,4% de los encuestados respondió que la alimentación, seguido de la falta de financiamiento (25,0%); problemas reproductivos (15%), administrativos y falta de asistencia técnica fueron la cuarta limitante (9,4%) y la genética la quinta (6,3%) (Figura 1).

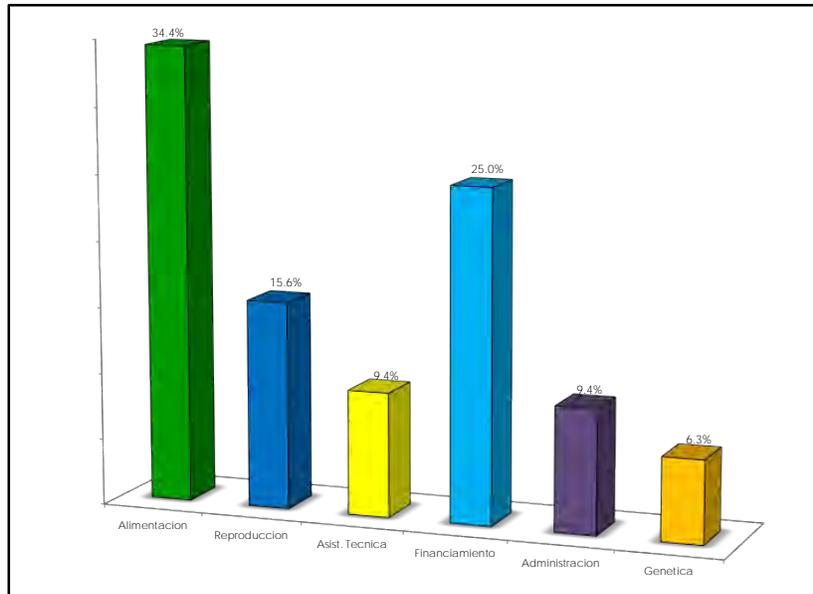


Figura 1. Principales limitantes de la finca de acuerdo a los productores.

De acuerdo a los productores, sus principales aspiraciones son mejorar la finca y tener una mayor producción (20,0%), mejorar la alimentación de los animales (13,3%), mientras que el 46,7% indicó que desea mejorar todos los aspectos anteriores, lo que está en concordancia con las limitantes manifestadas (Figura 2).

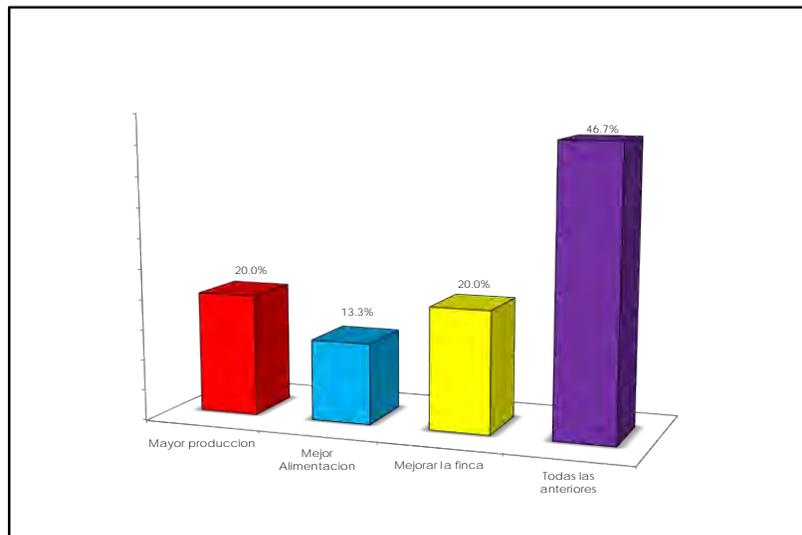


Figura 2. Aspiraciones de los productores de acuerdo a los resultados de la encuesta.

Análisis estadístico multivariado

Mediante el análisis de factores se extrajeron 15 posibles factores principales, para los que se cuantificaron los autovalores respectivos y la proporción marginal de varianza explicada por cada uno. Las comunalidades iniciales representan la varianza de cada variable explicada por todos los componentes principales (Cuadro 4). Antes de la extracción, el número de componentes coincide con las variables, por lo tanto, siempre será 1,000.

La comunalidad final indica la variabilidad de cada variable que es explicada por el conjunto de componentes retenidos por el modelo. El análisis indica que las variables quedan bien explicadas por el modelo (el número de fincas en un 55,9% y el resto en más de 70,7%). Por otra parte, el Cuadro 5 contiene los valores propios y las inercias explicadas por los componentes iniciales, en el primer bloque y en el segundo, después de la extracción.

Cuadro 4. Proporción de la varianza explicada por los factores.

Variables consideradas	Comunalidades	
	Inicial	Extracción
Experiencia	1,000	0,774
Escolaridad	1,000	0,707
Hijos que laboran en la finca	1,000	0,735
Ingresos dependen de la finca	1,000	0,781
Número de fincas	1,000	0,559
Ingresos mensuales por venta de leche	1,000	0,868
Superficie total de la finca	1,000	0,865
Inventario ganadero	1,000	0,929
Carga animal	1,000	0,783
Tipo de ordeno	1,000	0,727
Total de vacas en el hato	1,000	0,937
Porcentaje de nacimientos	1,000	0,897
Producción de leche/ha/año	1,000	0,931
Promedio diario/vaca	1,000	0,833
Producción total/lactación (no ajustada)	1,000	0,898

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Cuadro 5. Análisis de componentes principales.

Componente Principal	Auto valores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado	
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza
1	4,175	27,831	27,831	4,175	27,831
2	3,043	20,289	48,120	3,043	20,289
3	2,321	15,473	63,593	2,321	15,473
4	1,530	10,197	73,791	1,530	10,197
5	1,156	7,704	81,495	1,156	7,704
6	0,913	6,087	87,582		
7	0,500	3,334	90,916		
8	0,462	3,079	93,995		
9	0,393	2,622	96,617		
10	0,255	1,700	98,317		
11	0,132	0,880	99,197		
12	0,079	0,524	99,720		
13	0,028	0,185	99,906		
14	0,008	0,057	99,962		
15	0,006	0,038	100,000		

El número de componentes principales a retener va a depender del juicio del investigador, sin embargo, Carmona (2014) es del criterio que se deben retener los componentes principales cuyos valores propios sean mayores a 1,000. Teniendo en cuenta este criterio, se puede observar, en el Cuadro 5 los valores propios y las inercias explicadas por los componentes iniciales y en el mismo se observa que únicamente los cinco primeros factores principales mostraron autovalores mayores que uno. Estos explicaron respectivamente, 27,831%; 20,289%; 15,473%; 10,197% y 7,7014% de la varianza presente, en el conjunto original de las 15 variables observadas, para un acumulado de 81,495% (Figura 1).

La proporción de varianza explicada por los factores adicionales (6 hasta 15) fue menor al 6,5%, por lo que se consideran factores triviales (Johnson y Wichern 1998) y su importancia es limitada para efectos descriptivos. En estudios similares, generalmente, se ha requerido de cuatro o más factores para lograr un acumulado de varianza mayor al 70% (Serrano-Martínez *et al.* 2004, Gaspar *et al.* 2007, Kirner *et al.* 2007). En trabajo similar, Guerra *et al.* (2017) con cuatro factores explicó el 71,7% de la varianza. Por otra parte, el gráfico de sedimentación (Figura 3) justifica la elección de cinco componentes principales (punto de inflexión-comienzo de zona de sedimentación de la curva tras los cinco componentes, para el modelo).

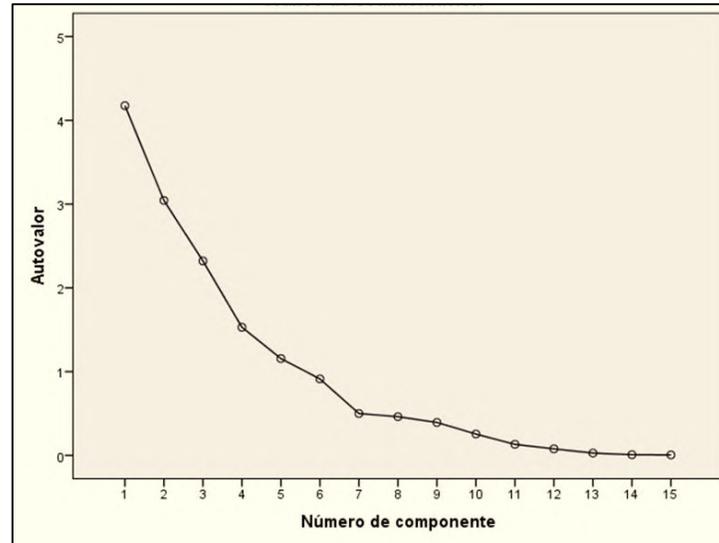


Figura 3. Sedimentación.

La preselección y edición de las variables es un paso recomendado previo al análisis de factores (Hair *et al.* 1998). El análisis de las correlaciones permitió identificar claramente cuáles variables tienen mayor impacto sobre cada uno de los cinco factores seleccionados (Cuadro 6). El primer factor presenta asociaciones fuertes y positivas con variables productivas como promedio diario leche/vaca, producción total/lactación, lo que nos indica, que este factor se relaciona principalmente con la productividad del sistema, interpretándose que este componente mide el nivel de intensificación de los fincas, lo que ha sido mencionado en otros estudios como factor determinante en la caracterización de los sistemas de producción agrícolas (Srairi y Lyobi 2003, Serrano-Martínez *et al.* 2004, Vázquez-Martínez *et al.* 2009).

Este nivel de intensificación en muchos casos va de la mano de variables tales como la carga animal o la producción por hectárea (Gaspar *et al.* 2007, Giorgis *et al.* 2011, Martínez-García *et al.* 2012), variables que coinciden con las que se detectaron en el presente estudio.

Cuadro 6. Matriz de componentes.

Matriz de componentes ^a	Componente				
	1	2	3	4	5
Promedio/vaca	,852	-,126	,126	-,064	,266
Producción total /lactación	,808	-,174	,126	-,076	,440
Tipo de ordeno	-,610	-,043	,419	-,299	,297
Ingresos mensuales	,608	-,370	,377	,459	-,085
Escolaridad	,571	-,133	,134	-,543	-,223
Total de vacas	,450	,830	,146	,087	-,133
Inventario total de la finca	,575	,757	,088	,082	-,102
Cantidad de fincas	-,242	,648	,169	,215	-,077
Experiencia	,142	-,624	,521	-,304	-,011
Hijos que laboran en la finca	,493	,601	,053	,016	,358
Superficie total de la finca	,269	-,158	,857	,180	-,017
Carga animal	,446	-,333	-,683	-,062	-,046
Producción/ha/año	,546	-,342	-,607	,358	,140
Ingresos dependen de la finca	-,073	-,393	,226	,687	-,313
Porcentaje de nacimiento	-,546	-,024	,023	,367	,681

Método de extracción: análisis de componentes principales.

^a. 5 componentes extraídos.

El análisis realizado a las fincas doble propósito de la cuenca lechera de Chiriquí Grande, nos indica que su estructura puede interpretarse conociendo un reducido número de variables que indiquen factores productivos (del hato y de la finca), características de la finca y algunas características personales del productor coincidiendo con lo señalado por Guerra y González (1998).

En el Cuadro 7 se presenta el agrupamiento de las variables de acuerdo al componente principal resultante del análisis.

Cuadro 7. Agrupamiento de las variables de acuerdo al componente principal.

Componente	Nombre	Variables influyentes
1	Aspectos Productivos	Total de vacas en el hato Inventario ganadero total Vacas en ordeño Proporción vacas ordeño/vacas secas
2	Características del ganadero	Experiencia del productor Años dedicados a la actividad Hijos que participan de las actividades de la finca Escolaridad
3	Características de la finca	Superficie total de la finca Cantidad de fincas Tipo de pasturas
4	Características socio-económicas de importancia	Sus ingresos dependen totalmente de la finca. Ingresos mensuales/venta de leche
5	Productividad de la finca	Producción de leche/ha/año Mortalidad de terneros Mortalidad de adultos Ingresos mensuales por venta de leche

El análisis gráfico del comportamiento de los estadísticos permitió definir el número óptimo de conglomerados (Figura 4). Los grupos de fincas similares, con un nivel de 0,05 de probabilidad se presentan en el dendograma utilizando los coeficientes de determinación parcial (CDSP o Semi-Partial R^2) como escala (utilizando el método de Ward).

Mediante el Análisis de Conglomerados (AC), las fincas más similares fueron agrupadas estableciendo grupos homogéneos y maximizando la heterogeneidad entre los mismos. Esto permitió obtener tres niveles de agrupación de conglomerados homogéneos en el cual fueron agrupadas las 20 explotaciones ganaderas de doble propósito quedando de la siguiente manera: el Grupo 1, conformado por las fincas 1, 12, 13, 15 y 14, con un coeficiente de determinación semi-parcial (CDSP) de 0,0151, un R^2 de 0,955 y $F= 113$; el Grupo 2, que agrupó el mayor número de fincas, estuvo conformado por las fincas 2, 10, 8, 6, 9, 3, 4, 1 y 7 con valores de: $CDSM=0,0017$; $R^2=0,944$ y $F=170$, mientras que el Grupo 3 lo formaron las fincas 5, 17, 16, 19, 20 y 18 y $CDSM=0,0003$; $R^2=0,999$ y $F=344$.

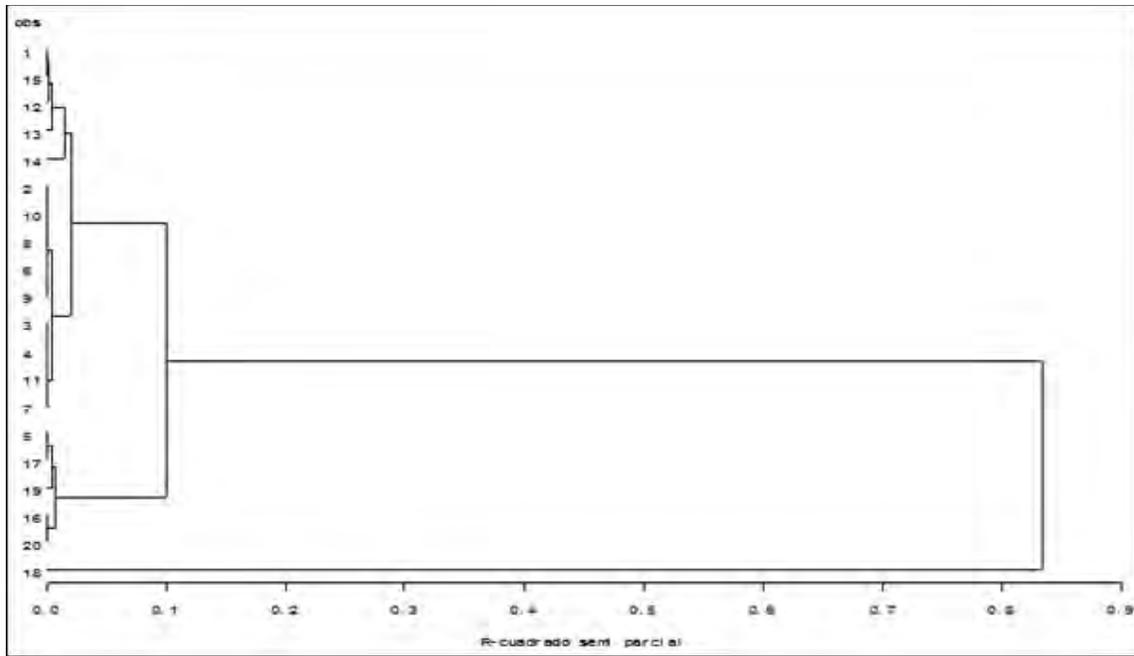


Figura 4. Agrupamiento de las fincas estudiadas por grupo.

Debido a que el análisis de conglomerados identifica grupos de fincas, estén o no en la población original (Ling y Killough 1976), se hizo necesario probar la bondad de estas clasificaciones. Para ello, se utilizó la técnica de Análisis Discriminante (AD), la cual permite describir y clasificar elementos representados por un número elevado de variables. Este análisis permitió encontrar la varianza e intravarianza mínima entre las combinaciones lineales de variables, permitiendo resaltar la diferencia entre clases, facilitando su delimitación.

El Análisis Discriminante indicó que, de acuerdo al Análisis de Conglomerados, 17 fincas fueron mal clasificadas, siendo reclasificadas con 1.0000 de probabilidad de pertenecer al nuevo grupo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resultado del análisis discriminante.

Finca	Clasificado		Probabilidad de pertenecer a un Clúster		
	De Grupo	En Grupo	1	2	3
16	.	1*	1,0000	0,0000	0,0000
18	.	3*	0,0000	0,0000	1,0000
1	1	2*	0,0000	1,0000	0,0000
13	1	2*	0,0000	1,0000	0,0000
14	1	3*	0,0000	0,0000	1,0000
15	1	2*	0,0000	1,0000	0,0000
2	2	1*	1,0000	0,0000	0,0000
3	2	3*	0,0000	0,0000	1,0000
4	2	1*	1,0000	0,0000	0,0000
6	2	1*	1,0000	0,0000	0,0000
7	2	1*	1,0000	0,0000	0,0000
8	2	3*	0,0000	0,0000	1,0000
9	2	1*	1,0000	0,0000	0,0000
11	2	3*	0,0000	0,0000	1,0000
5	3	2*	0,0000	1,0000	0,0000
7	3	1*	1,0000	0,0000	0,0000
20	3	1*	1,0000	0,0000	0,0000

*Finca mal clasificada.

Conforme a la tipificación de las explotaciones doble propósito, utilizando los Análisis de Conglomerado y el Análisis Discriminante, se conformaron tres grupos utilizando las 15 variables seleccionadas para el análisis. En el Cuadro 9 se presentan las características más importantes de las fincas, incluyendo las variables seleccionadas a priori.

De acuerdo a esta clasificación, existe una marcada diferencia en la edad de los productores encuestados con rangos que van desde los 38 años (G-3) hasta los 69,4 años (G-2), con un promedio de 60,05 años, lo que nos indica que la edad podría ser una limitante en el proceso de adopción de tecnología, aunque de acuerdo con Lionberg (1960), la edad avanzada no es una limitante para la adopción de nuevas prácticas. Señala este mismo autor que la principal influencia para la adopción de tecnología lo constituyen los vecinos y amigos, comprobando que las fuentes personales son más influyentes que las impersonales, contradiciendo a Parra (1986) quien manifiesta que los jóvenes tienden a adoptar más que los viejos. Por otra parte, Guerra *et al.* (2017) en un trabajo similar, encontró que la edad promedio de los productores fue de 53,7 años un poco inferior a la reportada en este trabajo.

El grado de escolaridad más alto se encontró en el G-3 (2,33) y el menor en el G-2 (1,60). Estos valores indican que en el G-3 hay productores con niveles de educación secundaria incompleta y completa, mientras que los valores que reporta el G-2, refleja que algunos de los productores tienen estudios de primaria incompleta o completa. Lionberg (1960) señala que factores personales como la educación están íntimamente relacionados con la adopción de tecnología, lo que coincidiendo con lo señalado por Parra (1986) y Zapata (1973) que, a mayor grado de escolaridad, hay mayor grado de adopción, sin embargo, Gaviria (1998) indica que la escolaridad no muestra relaciones significativas con la adopción de tecnología, aunque concluyó que productores con mayor nivel de escolaridad tienden a adoptar más prácticas tecnológicas.

En cuanto al apoyo familiar que recibe el productor para realizar las actividades de la finca, se encontró que en el G-2 participa el mayor número de hijos (1,40) y el menor en el G-1 (1,00) lo que lo se refleja en el promedio de contratación de mano de obra externa, el cual es más alto en el G-1 (1,14) que en los otros grupos.

En cuanto a que, si los ingresos de la familia dependen totalmente de la finca, se encontró el valor más bajo en el G-2 (1,20) y el más alto en el G-3 (1,33). Estos valores, entre más cercanos a 1,00 revelan una mayor dependencia de la finca para obtener ingresos. Analizando estos valores, podemos observar que para el G-2 la principal fuente de ingresos es la venta de leche, mientras que los productores agrupados en el G-3 tienen otras fuentes de ingresos. Al analizar la variable ingresos mensuales/venta de leche, se advierte que el G-2 es el que más bajos ingresos recibe (559,92), mientras que el G-3 recibe ingresos muy superiores a los otros dos grupos (1590,47). De acuerdo a Gaviria (1998) los ingresos que percibe el productor están significativamente asociados al conocimiento de tecnologías, coincidiendo con Zapata (1973) el cual encontró que, a mayor capacidad económica, mayor aprendizaje y adopción de prácticas tecnológicas

El tamaño promedio de las fincas fue de 66,8ha ($\pm 42,5$), lo que refleja que estos sistemas de producción están en manos de pequeños y medianos productores de la provincia. Las fincas con mayor superficie de terreno se ubicaron en el G-3 (80,92), lo cual está asociado a que es el grupo con mayor número de propiedades ($2,00 \pm 1,10$), mientras que la menor superficie se observó en los productores del G-1, quien, a pesar de poseer menos terreno, tienen más de animales en su inventario (97,78), lo que se refleja en una

mayor carga animal (1,47) que los otros Grupos. Estos resultados coinciden con los reportados por Guerra *et al.* (2017) quienes encontraron que fincas con menor tamaño (29,8 ha) mantenían una carga animal alta (1,07 UA/ha).

De igual manera, el G-1 posee el mayor número de hembras en el hato, sin embargo, el mayor número de vacas en ordeño se promedió en el G-3 (27,67), lo que se explica al ser el grupo con mayor cantidad de novillas de reemplazo en su inventario (22,83).

Los días de lactación promediaron 224 (\pm 30,91) no encontrándose mucha diferencia entre los grupos para esta variable: 226,67, 228,00 y 220,00 para G-1, G-2 y G-3 respectivamente. Al analizar variables producción/vaca/día, producción total de leche/lactación (no ajustada) y producción/ha/año, los promedios más altos se pudieron observar en el Grupo 1, sin embargo, los mayores ingresos mensuales en concepto de venta de leche, fueron en el Grupo 3 (1590,47), esto como producto del mayor número de vacas en ordeño.

El promedio del intervalo entre parto (IEP) fue de 22,73 meses (\pm 12,33), esta variable alcanzó su periodo más corto en el G-3 (21,40) y el más prolongado en el G-2 (26,00). El Grupo con el porcentaje de nacimientos más alto fue el G-2 (56,19) y el más bajo fue en el G-3 (45,04). Al no realizarse exámenes de preñez, no se pudo estimar esta variable, pero en un trabajo que realizó Quintero (2016), encontró en el sistema de doble propósito de la provincia de Bocas del Toro, que la tasa de preñez estaba en 23%.

En lo que se refiere a aspectos sanitarios, el G-1 es el que más baños y desparasitaciones realiza al año 35,0 y 9,60 veces para cada una de las variables estudiadas, seguidos de los G-2 y G-3 (con 21,60 y 4,60 y 20,00 y 4,27 baños y desparasitaciones, respectivamente). La mortalidad de terneros más alta se notó en el Grupo 2, donde alcanzó el 25%, mientras que la más baja fue en el Grupo 1 (6,60), mientras que la mortalidad en adultos fue más alta en el G-3 (2,85) y la más baja en el G-1.

De acuerdo a los encuestados, la principal causa de muerte en terneros es la diarrea y por motivos desconocidos, mientras que en los adultos lo constituyen la mordedura de serpientes y las causas desconocidas.

Cuadro 9. Características socio-económicas de importancia de las fincas estudiadas de acuerdo al grupo.

Variable	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
1. Edad (años)	56,00 ± 8,22	69,40 ± 18,64	38,00 ± 3,59
2. Escolaridad (grado)	2,11± 1,76	1,60 ± 1,34	2,33 ± 1,03
3. Años de experiencia (años)	34,44 ± 14,46	32,00 ± 14,83	38,00 ± 23,59
4. Numero de familiares que trabajan en la finca	1,00 ± 1,12	1,40 ± 1,52	1,17 ± 0,75
5. Contratación de mano de obra externa	1,11 ± 0,33	1,00 ± 0,00	1,00 ± 0,00
6. Tiempo dedicado a la finca (horas/semana)	48,00 ± 0,00	48,00 ± 0,00	48,00 ± 0,00
7. Ingresos dependen de la finca	1,22 ± 0,44	1,20 ± 0,45	1,33 ± 0,52
8. Superficie total (ha)	50,39 ± 26,46	79,40 ± 40,26	80,92 ± 55,36
9. Inventario total	97,78 ± 73,49	48,60. ± 13,16	87,83 ± 67,70
10. Total de vacas	50,56 ± 51,54	23,20 ± 7,66	41,00 ± 34,74
11. Número de fincas	1,44 ± 0,73	1,20 ± 0,40	2,00 ± 1,10
12. Vacas en ordeño	14,56 ± 6,95	10,20 ± 4,00	27,67 ± 18,82
13. Uso de pastos mejorados	1,50 ± 0,71	1,00 ± 0,45	1,00 ± 0,52
14. Uso de pastos de corte	1,33 ± 0,73	1,50 ± 0,89	1,33 ± 0,82
15. Fertilización	1,78 ± 0,44	1,80 ± 0,45	1,83 ± 0,41
16. Carga animal (u.g.)	1,47 ± 0,76	0,63 ± 0,48	0,78 ± 0,23
17. Cobertura de la pastura	2,67 ± 1,48	3,20 ± 0,84	3,00 ± 1,55
18. Uso de minerales	1,11 ± 0,33	1,20 ± 0,45	1,00 ± 0,00
19. Época de suplementación	4,00 ± 0,00	3,40 ± 1,34	4,00 ± 0,00
20. Uso de concentrados	0,62	2,00	2,00
21. Uso de ensilajes	2,00	2,00	2,00
22. Grupos raciales existentes en la finca	.	.	.
23. Uso de la inseminación artificial	2,00	2,00	2,00
24. Como adquieren los reproductores	1,50 ± 1,00	1,75 ± 1,14	1,60 ± 1,03
25. División del hato por categoría	2,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00
26. Tipo de ordeño	1,44 ± 0,53	1,00	1,33 ± 0,52
27. Duración de la lactación (días)	226,67 ± 33,91	228,00 ± 40,25	220 ± 24,49
28. Natalidad (%)	50,48 ± 0,17	56,19 ± 0,23	45,04 ± 11,40
29. Intervalo entre partos (meses)	23,40 ± 13,08	26,00 ± 11,63	21,40 ± 6,15
30. Inventario de novillas	17,44 ± 12,91	11,60 ± 5,32	22,83 ± 19,85
31. Frecuencia de baños (veces al año)	35,00 ± 42,74	21,60 ± 10,00	20,00 ± 13,72
32. Frecuencia de desparasitaciones (veces al año)	9,60± 7,60	4,60 ± 4,200	4,27 ± 1,60
33. Vacunas que aplica	.	.	.
34. Pruebas que realiza	.	.	.
35. Mortalidad en terneros (%)	6,60	25,00	22,22
36. Mortalidad en adultos (%)	0,66	0,86	2,85
37. Promedio/vaca (L)	4,94 ± 1,93	4,60 ± 0,61	4,39 ± 1,97
38. Producción/lactación(L)	1091,97 ± 380,57	1038 ± 140,23	962,87 ± 448,07
39. Producción/ha/año (L)	589,38 ± 313,19	308.60 ± 240,27	441,14 ± 276,10
40. Ingreso/venta de leche/mensual (B/.)	901,17 ± 537,01	559.92 ± 267,82	1590,47 ± 2243,40

CONCLUSIONES

- El análisis multivariado permitió demostrar la heterogeneidad entre las fincas de doble propósito estudiadas.
- Se identificaron tres grupos homogéneos de fincas basadas en 15 variables de respuesta.
- De los grupos conformados, el G-1 resultó ser el más eficiente en términos de productividad y el de mayor ingreso se obtuvo con el G-3.

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento al Ing. Pedro Guerra M. por el apoyo brindado en la interpretación de los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Avilez, JP; Escobar, P; Von Fabeck, G; Villagran, K; García, F; Matamoros, R; García-Martínez, A. 2010. Caracterización productiva de explotaciones lecheras empleando metodología de análisis multivariado. Universidad de Zulia 20:74-80.
- Betancourt, K; Ibrahim, M; Villanueva, C; Vargas, B. 2005. Farm management characterization of dairy production systems from the Bulbul river basin, Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Livestock Research for Rural Development* 17(7) (en línea). Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd17/7/beta17080.htm>.
- Cabrera, DV; Martinez, CA; De La Cruz, AR; Castaldo, A; Perea, JM; Peinado, JM. 2004. Metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos. Dpto. Producción Animal. Universidad de Córdoba. Documentos de trabajo. *Producción Animal y Gestión* v.1, 9 p.
- Carmona, F. 2014. Un ejemplo de ACP paso a paso (en línea). Consultado 12 ene. 2017. Disponible en <http://www.ub.edu/stat/docencia/Mates/ejemploACP.PDF>.
- Enríquez, AR. 2008. Introducción al análisis económico de los recursos naturales y del ambiente. Baja California, México: Universidad Autónoma de Baja California ed.
- Gaitán, JA; Piñuel, RJ. 1997. Técnicas de investigación social. Elaboración y registro de datos. Madrid: Síntesis.
- Gaspar, P; Mesías, FJ; Escribano, AE; Rodríguez, A; Pulido, F. 2007. Economic and management characterization of dehesa farms: implications for their sustainability. *Agroforestry Systems* 71:151-162.

- Gaviria, RCP. 1998. Factores físicos y socioeconómicos que explican la no adopción de tecnología moderna por el caficultor de Antioquia y Cundinamarca. Ensayos sobre Economía Cafetera (Colombia) 11(14):73-100.
- Gebauer, RH. 1987. Socio-economic classification of farm households-conceptual, methodical and empirical considerations. European Review of Agricultural Economics 14:261-283.
- Gelasakis, AI; Valergakis, GE; Arsenos, G; Banos, G. 2012. Description and typology of intensive Chios dairy sheep farms in Greece. Journal of Dairy Science 95:3070-3079.
- Giorgis, A; Perea-Muñoz, JM; García-Martínez, A; Gómez-Castro, Ag; Angón-Sánchez De Pedro, E; Larrea, A. 2011. Caracterización técnico-económica y tipología de las explotaciones lecheras de la pampa argentina. FCV-LUZ 21:340-352.
- Guerra, MP. 2015a. Diagnostico estático del Sistema Vaca-Ternero y Doble propósito. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Dirección Nacional de Productos y Servicios Científicos y Tecnológicos. 4 p.
- Guerra, MP. 2015b. Metodología para Tipificación de fincas. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Dirección Nacional de Productos y Servicios (DINPROS). Documento inédito. 3 p.
- Guerra M, P; González, A. 1998. Tipificación de fincas doble propósito en la provincia de Chiriquí, Panamá. Ciencia Agropecuaria no. 9:53-170.
- Guerra M, P; Cedeño, FY; Quiel, RA. 2017. Tipificación y caracterización de pequeñas y medianas fincas ganaderas del distrito de Gualaca, Chiriquí. Panamá. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 19 p. *En prensa*.
- Hair, JF; Anderson, RE; Tatham, RL; Black, W. 1998. Multivariate data analysis. 5 ed. New York, USA, Prentice Hall College Division. 768 p.

- Hardiman, RT. 1990. Use of cluster analysis for identification and classification of farming systems in Qingyang County, Central North China. *Agricultural Systems* 33:115-125.
- Holdridge, LR. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. Trad. por Humberto Jiménez Saa. San José, CR, IICA. 216 p.
- Holle, M. 1989. El concepto de sistema y una metodología de investigación agropecuaria. *In Seminario Taller Aplicación del Enfoque de Sistema en la Investigación Agropecuaria*. PISA-INIAA_CIID_ACDI. Puno, Perú. p. 1-7.
- Johnson, R; Wichern, D. 1998. *Applied multivariate statistical analysis*. 4 ed. New York, USA, Prentice Hall. 799 p.
- Kirner, L; Ortner, KM; Hambrusch, J. 2007. Using technical efficiency to classify Austrian dairy farms. *Die Bodenkultur* 58:1-4.
- Köbrich, C; Rehman, T; Khan, M. 2003. Typification of farming systems for constructing representative farm models: Two illustrations of the application of multivariate analyses in Chile and Pakistan. *Agricultural Systems* 76:141-157.
- Köppen, W. 1900. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. – *Geogr. Zeitschr.* 6, 593–611, 657–679. Disponible en http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Paper_2006.pdf.
- Ling, RF; Killogh, GC. 1976. Probability tables for cluster analysis based on a theory of random graphs. *Journal of the American Statistical Association* 71(345):27-35.
- Lionberg, HF. 1960. *Adoption of New Ideas and Practices*. American Association of Land-Grant Colleges and State Universities by the National Project in Agricultural Communications. Iowa State University Press. Library of Congress catalogue card number: 60-12685. 184 p.

- Martínez-García, CG; Dorward, P; Rehman, T. 2012. Farm and socio-economic characteristics of smallholder milk producers and their influence on technology adoption in Central Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 44:1199-1211.
- Mburu, LM; Wakhungu, JW; Kang'ethe, WG. 2007. Characterization of smallholder dairy production systems for livestock improvement in Kenya highlands. *Livestock Research for Rural Development* 19(8) (en línea). Consultado 07 dic. 2016. Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd19/8/mbur19110.htm>.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2007. Plan Estratégico para el Desarrollo del Sub sector Lechero 2007-2013. 35 p. Disponible en: www.mida.gob.pa/upload/documentos/plan-nacional-de-leche%5B1%5D.pdf.
- Ordoñez, T. 1990. Análisis de la utilidad del enfoque de sistemas en la investigación agropecuaria en Bolivia. *In* Diálogo XXIX- El enfoque de sistemas en la investigación agropecuaria. Ed. Puignau, JP. Londrina, Brasil: IICA- PROCISUR. p. 31-33.
- Parra, SR. 1986. Ausencia de futuro: la juventud colombiana. *Revista de la CEPAL. Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile, agosto de 1986. p. 81-94.
- Quijandria, B. 1994. Minimum Data Required for Characterizing Systems. *In* Animal Production Systems Research. Methodological and Analytical Guidelines. IICA-RISPAL, San Jose, CR. p. 53-64.
- Quintero 2016. Situación reproductiva de los hatos ganaderos de Bocas del Toro. Charla técnica dictada a ganaderos de AGABO el 05/09/2015.
- Quiroz, L. 2012. Bocas del Toro. Paraíso turístico. Consultado 14 dic. 2016. Disponible en <http://panamaesmpais.blogspot.com/p/ubicacion-geografica.html>.
- Rogberg, C. 1982. Análisis en Sistemas de Producción Agropecuarios. *In* Dialogo III, Seminario Sobre Sistemas en Investigación Agropecuaria. Montevideo, Uruguay: IICA ed. p. 1-18.

- Ruiz-Pierrugues, R. 2011. Producción de leche basada en pastos y forrajes tropicales. *Ciencia y Tecnología Ganadera* 5(1):1-21. Centro de Investigaciones para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical. La Habana, CU.
- Serrano-Martínez, E; Giráldez-García, Fj; Lavín-González, P; Bernués-Jal, A; Ruiz-Mantecón, A. 2004. Classification variables of cattle farms in the mountains of León, Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2:504-511.
- Solano, C; León, H; Pérez, E; Herrero, M. 2001a. Characterising objective proles of Costa Rican dairy farmers. *Agricultural Systems* 67:153-179.
- Solano, C; León, H; Pérez, E; Herrero, M. 2001b. Who makes farming decisions? A study of Costa Rica dairy farmers. *Agricultural Systems* 67:181-199.
- Solano, C; Bernués, A; Rojas, F; Joaquín, N; Fernández, W; Herrero, M. 2000. Relationships between management intensity and structural and social variables in dairy and dual-purpose systems in Santa Cruz, Bolivia. *Agricultural Systems* 65:159-177.
- Solano, C; León, H; Pérez, E; Herrero, M. 2003. The role of personal information sources on the decision-making process of Costa Rica dairy farmers. *Agricultural Systems* 76:3-18.
- Srairi, MT; Lyobi, R. 2003. Tipología de los sistemas de producción de leche bovina en la región Periurbana de Rabat, Marruecos. *Archivos de Zootecnia* 52:47-58.
- Valerio-Cabrera, D; García Martínez, A; Acero De La Cruz, R; Castaldo, A; Perea, JM; Peinado, JM. 2004. Metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos. España, Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba. 9 p.
- Vargas-Leitón, B. 2000. Bioeconomic modelling to support management and breeding of dairy cows in Costa Rica. Ph.D. thesis. The Netherlands, Wageningen University. 187 p.

Vargas-Leitón, B; Solis, GO; Segura, SF; León, HH. 2013. Caracterización y Clasificación de Hatos Lecheros en Costa Rica mediante Análisis Multivariado. *Agronomía Mesoamericana* 24(2):257-275.

Vázquez-Martínez, M; Vargas-López, S; Zaragoza-Ramírez, JI; Bustamante-González, A; Calderón-Sánchez, F; Rojas-Álvarez, J; Casiano-Ventura, MA. 2009. Tipología de explotaciones ovinas en la sierra norte del estado de Puebla. *Técnica Pecuaria en México* 47:357-369.

Zapata, LIF. 1973. Impacto de tres organizaciones de extensión en Antioquia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 28(2):33.

METALES PESADOS EN SUELOS Y SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO LA VILLA-PANAMÁ¹

*José Ezequiel Villarreal-Núñez²; Adolfo Santo-Pineda³; Jhon Alexander Villalaz-Pérez⁴;
Neldis Ballesteros⁵; Iván Alexis Ramos-Zachrisson⁶*

RESUMEN

El objetivo fue determinar la concentración de metales pesados en suelos, sedimentos, abonos orgánicos y agroquímicos que se utilizan comúnmente para la producción agropecuaria dentro de la cuenca del río La Villa, provincias de Herrera y Los Santos, Panamá. Se tomaron 21 muestras de suelo y sedimentos en época lluviosa (2016) y 20 en época seca (2017) en la parte alta, media y baja de la cuenca. Además de muestras de abonos y agroquímicos comúnmente utilizados en la zona. Se realizó un muestreo totalmente al azar. Las muestras fueron digeridas de acuerdo con el protocolo de 3050B de EPA. Se realizó análisis de varianza y correlaciones entre la concentración de Cu, Zn, Mn, Fe, Cr, As, Ni, Cd, Pb y propiedades del suelo. Se encontraron elevados valores de Cu en el suelo, Cu, Mn, Cr y As en los sedimentos en la mayoría de los casos atribuibles a la acción antropogénica. Los agroquímicos más utilizados arrojaron altas concentraciones en Cu, Zn, Cr y Ni. Especialmente los fungicidas presentaron niveles muy altos de Cu y Mn. Fertilizantes fosforados presentaron alta concentración de Cr y en los fertilizantes nitrogenados se determinaron niveles elevados de Zn. Se recomienda el monitoreo permanente de las zonas de producción dentro de la cuenca del río La Villa debido al uso constante de agroquímicos y la acumulación de metales pesados en suelos y sedimentos.

Palabras claves: cromo, níquel, cobre, zinc, manganeso.

¹Recepción: 6 de julio de 2018. Aceptación: 10 de octubre de 2018.

²Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIAD). Dr. en Edafología. e-mail: jevilla38@gmail.com

³Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIAD). M.Sc. en Manejo de suelo y agua. e-mail: asantospineda@gmail.com

⁴Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIAD). M.Sc. Manejo de suelo y agua. e-mail: jvillalaz14@gmail.com

⁵Universidad Santa María La Antigua (USMA). Estudiante de licenciatura en recursos naturales. e-mail: elinel2121@hotmail.com

⁶Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIAD). Licdo. en Informática. e-mail: iarz1103@gmail.com



HEAVY METALS IN SOILS AND SEDIMENTS IN LA VILLA RIVER BASIN-PANAMA

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the concentration of heavy metals in soils, sediments, organic fertilizers and agrochemicals that are commonly used for agricultural production within La Villa river basin, Herrera and Los Santos provinces, Panama. A total of 21 soil and sediment samples were taken during the rainy season (2016) and 20 during the dry season (2017) in the upper, middle and lower parts of the basin. Additionally, samples of fertilizers and agrochemicals commonly applied in the area. A totally random sampling was realized. The samples were digested according to EPA 3050B protocol. Analysis of variance and correlations were made to compare Cu, Zn, Mn, Fe, Cr, As, Ni, Cd, and Pb concentrations with soil properties. High Cu values were found in soil and Cu, Mn, Cr and As in the sediments, most of it attributable to anthropogenic action. Mostly used agrochemicals showed high Cu, Zn, Cr and Ni concentrations. Fungicides, specifically, showed very high Cu and Mn levels. Phosphorus fertilizers showed a high concentration of Cr, and high nitrogen levels were determined in nitrogen fertilizers. Permanent monitoring of production zones within La Villa river basin is recommended due to the constant use of agrochemicals and the accumulation of heavy metals in soils and sediments.

Key words: chrome, nickel, copper, zinc, manganese.

INTRODUCCIÓN

El término metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga un peso específico superior a $4,0 \text{ g/cm}^3$ y peso atómico comprendido entre $55,85 \text{ g/mol}$ y $200,59 \text{ g/mol}$, siendo tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Lucho *et al.* 2005).

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino *et al.* 2002). Los metales pesados de origen antropogénico derivan de residuos peligrosos, procedentes de actividades industriales, minería, actividades agrícolas (riego, fertilizantes inorgánicos, pesticidas,

estiércol, enmiendas calizas y, sobre todo, el uso de los residuales de depuradoras urbanas).

En Panamá se han realizado diversos estudios para la determinación de metales pesados en suelos, por ejemplo, Espinosa *et al.* (1987), determinaron la concentración de residuos cúpricos y de metales pesados en suelos agrícolas de Barú asociados con la producción de banano, encontrando niveles de cobre (Cu) superiores a 1000 mg/kg, limitando la siembra de hortalizas y granos en estos suelos. Igualmente, Espinosa (1990), durante el desarrollo de su tesis doctoral en suelos dedicados al cultivo de banano y palma aceitera en Barú, encontró elevados valores totales de cinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), en el suelo, asociándolo con el uso de fungicidas. También alta concentración de plomo (Pb), proveniente de la gasolina y sobre todo altos niveles de níquel (Ni).

A través del Programa Ambiental Nacional, la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM 2007), elaboró el anteproyecto de normas de calidad ambiental de suelos para usos diversos, siendo el primer intento por establecer niveles adecuados de metales pesados y otros contaminantes en el suelo de Panamá.

Trabajando en suelos ácidos de Paty do Alferes, región serrana del Estado de Rio de Janeiro, Brasil, donde se practica una agricultura intensiva, Villarreal *et al.* (1999, 2006), encontraron que gran cantidad de los metales pesados, también llamados metales trazas, presentes en el suelo provenía de aplicaciones antropogénicas al suelo por medio de agroquímicos, fertilizantes fosfatados y abonos orgánicos procedentes de la cría de animales. Igualmente, determinaron que la pérdida de la capa fértil del suelo, por la mala preparación de los mismos, podía servir como medio para diseminar los altos niveles de los metales disueltos en fases acuosas contaminando las aguas superficiales y los suelos de las partes bajas con los sedimentos provenientes de las partes altas contaminadas.

En un estudio realizado en Andalucía, encontraron que en la mayoría de los suelos el Cd, Pb y As aparecían en elevadas concentraciones (Galán y Romero 2008). Un suelo se puede considerar contaminado cuando al menos 90% de los mismos presenta valores, para un determinado elemento, inferiores al suelo bajo de estudio (Rueda *et al.* 2011).

Determinar la concentración de metales pesados en los sedimentos permite establecer una relación con las concentraciones encontradas en el agua, pues cualquier entrada de metales en un cuerpo de agua queda registrada en los sedimentos (Acosta y Montilla 2012). También es necesario conocer que concentración de metales pesados contienen los productos que se utilizan para la fertilización del suelo y el manejo de plagas y enfermedades, igualmente, del agua utilizada para el riego.

El presente estudio se realizó en agroecosistemas donde se desarrolla una gran actividad agropecuaria. En estas tierras históricamente se ha desarrollado la producción de maíz, tomates, melones, sandías, ajíes, caña, pastos y ganadería doble propósito (leche y carne). Son suelos sometidos a un uso intensivo de agroquímicos e influenciados por descargas de subproductos de algunas empresas industriales ubicadas dentro de la cuenca.

Un estudio en Cerro Punta, provincia de Chiriquí, se encontró que, de 105 sustancias químicas utilizadas en las prácticas agrícolas, 42 eran fungicidas, 41 insecticidas, 12 herbicidas, 6 nemátocidas, 4 bactericidas, incluyendo entre estos, 8 de los 12 productos restringidos en el acuerdo de la Reunión del Sector Salud de Centroamérica y de República Dominicana (Resscad) (Carranza 2007).

El comercio de agroquímicos en Panamá supera los 40 millones de dólares, de los cuales el 90% de los agroquímicos que ingresan al país se destina a la agricultura. Cada panameño consume (no ingiere) anualmente 3 kg de agroquímicos, superando seis veces la cantidad que se usa en Centroamérica (INEC 2018).

Observando el problema, era necesario realizar un diagnóstico, que sirva como línea base a nivel de esta importante zona productiva para comprobar, en detalle, el estado en que se encuentra el grado de contaminación de los suelos y sedimentos en estas áreas en beneficio de la población consumidora de todo el país. Esto redundará en la toma de mejores decisiones sobre el uso del suelo, biorremediación de áreas muy contaminadas, uso de productos sanos para fertilizar los suelos y en la salud general de la población.

El objetivo del presente estudio fue determinar la concentración de metales pesados en suelos, sedimentos, abonos orgánicos y agroquímicos que se utilizan comúnmente para la producción agropecuaria dentro de la cuenca del río La Villa, provincias de Herrera y Los Santos, Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento consistió en un monitoreo completamente al azar de la concentración de metales pesados en suelos y sedimentos ubicados en la cuenca alta, media y baja del río La Villa (Figura 1). La cuenca del río La Villa tiene una superficie de 1157,5 Km² (645,8 km² en Herrera y 511,7 km² en Los Santos). En su mayoría está compuesta por suelos alfisoles e inceptisoles según el sistema de clasificación Taxonómica de suelos (ANAM 2008, Villarreal *et al.* 2017) formados en el cretáceo superior, inicialmente cubierto por material volcánico intermedio, volcánico básico y tobas (Ruíz 1982).

Esta cuenca en su parte alta tiene una precipitación promedio de 2200 mm y en su parte baja de unos 1054 mm anuales, está ultima forma parte del llamado Arco Seco de Panamá. Su temperatura promedio anual oscila en torno de 27° a 28° C (ANAM 2008).

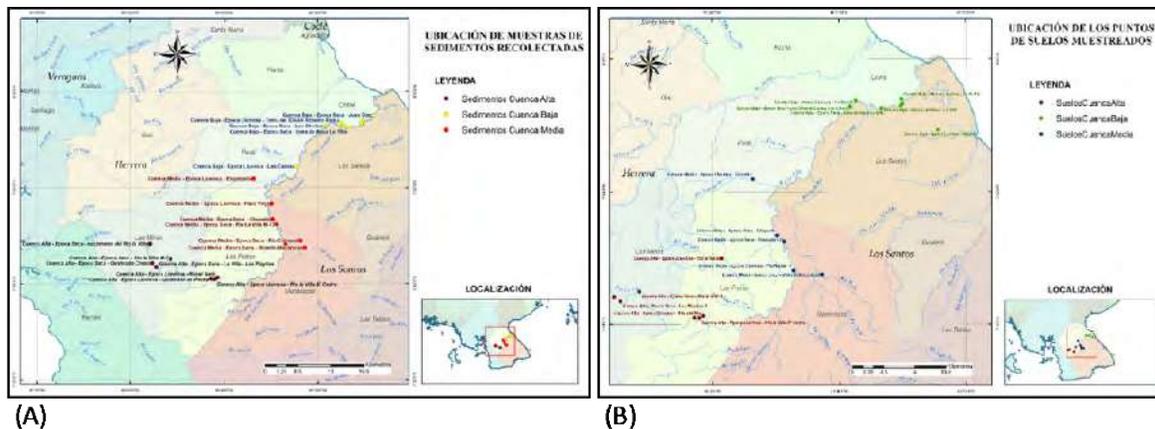
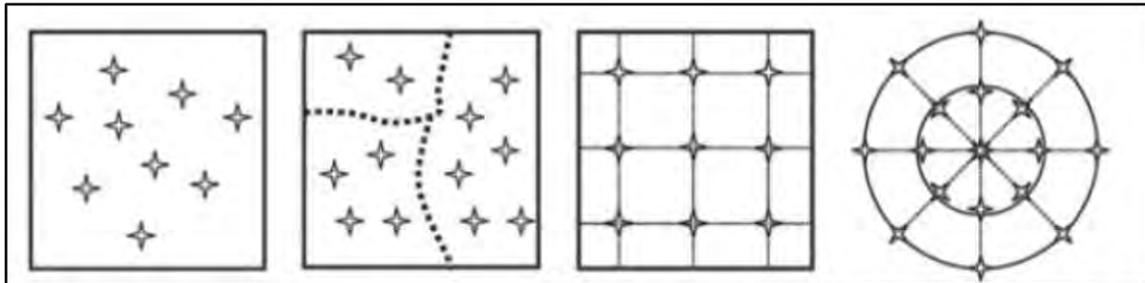


Figura 1. Puntos donde se muestrearon los sedimentos (A) y suelos (B) cuenca del río La Villa-Panamá, 2016-2017.

Se realizaron muestreos de suelos en fincas productivas dentro de la cuenca del río La Villa para determinar la concentración de metales pesados (cadmio, níquel, cobre, hierro, manganeso, zinc, plomo, arsénico, cromo) en la época lluviosa (10 muestras de suelo y 11

de sedimentos de junio a diciembre de 2016) y en época seca (9 muestras de suelo y 11 de sedimentos de febrero a abril de 2017).

Para realizar los muestreos se utilizó el método sistemático o de rejilla que consiste en seleccionar puntos de muestreos a distancias uniformes (en zig-zag, diagonal o cuadrícula), dependiendo del área que se esté estudiando. Por lo general, este es el método utilizado en programas de monitoreo, ya que permite la toma de muestras más representativas (Figura 2).



Fuente: SEMARNAT 2010.

Figura 2. Esquema utilizado para el muestreo sistemático de suelos o de rejilla.

La definición de las metodologías de muestreo fue decidida por la topografía, tipo de actividad principal, clima local y tipo de suelo, por lo cual se procuró seleccionar un área preferentemente rectangular de aproximadamente 10,0 m x 30,0 m, sobre el cual se realizó la toma de las sub-muestras (de lo cual se infiere que las muestras eran compuestas) con un número de 15 en cada rejilla, con aproximadamente 100,0 g cada una, a 30,0 cm de profundidad. Posteriormente fueron homogeneizadas para que dicho muestreo ofreciera resultados representativos para la descripción del sitio.

La mejor época del muestreo de suelo se decidió tomando en cuenta la tecnología empleada por el productor. Uso agropecuario sin riego, el periodo de toma de muestras correspondió con el de mayor acumulación de contaminantes en el suelo que, en cultivos anuales, corresponde con la época de la cosecha, cuando se han acumulado los contaminantes químicos utilizados durante el periodo de desarrollo del cultivo. En el caso de los cultivos de agroexportación bajo riego, generalmente ocurre en la temporada seca.

Cada sitio muestreado fue georeferenciado utilizando un GPS para determinar su localización exacta.

La digestión de los suelos y sedimentos para determinar la concentración de metales pesados (As, Pb, Cr, Ni, Cu, Fe, Mn, Zn y Cd) se realizó de acuerdo con el método 3050B (USEPA 1996). La concentración de los metales se determinó en un espectrómetro de absorción atómica de llama con fuente continua de Xenón.

Se tomaron muestras de abonos orgánicos utilizados por los productores de la zona, estiércol de ganado, de cerdo, fertilizantes sintéticos y agroquímicos, inclusive de cocteles de agroquímicos tal cual lo utilizan los productores. Las muestras fueron mantenidas en envases de vidrio ámbar para evitar su descomposición y llevadas al Laboratorio de Suelo del IDIAP para su posterior proceso de digestión según procedimiento descrito en Villarreal y Name (1996), utilizando metanol y peróxido de hidrógeno como agente digestor. En total se muestrearon 23 muestras de las cuales cinco eran abonos orgánicos, siete fertilizantes sintéticos y 11 agroquímicos (cinco herbicidas, cinco fungicidas y una mezcla de agroquímicos).

Se compararon los niveles encontrados con los permitidos por Normas de la USEPA (1993); Economical European Comission: Council Directive 126/1986, EEC; Council Directive 2003/2003, CEE.

Se realizó una ANAVA con probabilidad de 0,05 para determinar las diferencias entre tipo de muestra (suelo, sedimento), contenido total de metales pesados entre épocas (seca y lluviosa) y localización dentro de la cuenca (alta, media, baja), incluyendo las interacciones entre ellas. Se compraron las medias para cada variable de acuerdo con el test de LSD Fisher (alfa 0,05).

Se realizaron correlaciones de Pearson entre los niveles encontrados en el suelo y algunas propiedades físico-químicas como: contenido de arcilla, pH, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y materia orgánica

Los sitios y ubicación geográfica de donde se tomaron las muestras de suelos (Cuadro 1) y sedimentos (Cuadro 2), en la época lluviosa (Cuadro 3) y seca (Cuadro 4).

Cuadro 1. Ubicación de los suelos muestreados en época lluviosa, cuenca río La Villa, 2016.

Lugar	COORDENADAS		Altura (msnm)	Orden de Suelo
	Latitud N	Longitud O		
Quebrada de Piedra	534158	848358	273,0	Inceptisol
Río La Villa El Cedro	534879	848316	3	Inceptisol
Alto del Río	535447	848625	3,48	Inceptisol
Río El Gato	538083	856630	205	Alfisol
Productor 1	548531	854942	107	Alfisol
Cocullo	542654	867661	81	Alfisol
La Peña	564131	878767	12	Alfisol
La Arenita	557520	878586	55	Alfisol
El Ejido	569514	874485	53	Alfisol
La Villa	564102	877854	11	Alfisol

Cuadro 2. Ubicación de los suelos muestreados en época seca, cuenca río La Villa, 2017.

Lugar en época seca	COORDENADAS		Altura (msnm)	Orden de Suelo
	Latitud N	Longitud O		
Las Playita 1	522508	851235	482	Inceptisol
Las Playita 2	523478	850617	480	Inceptisol
Río La Villa M-3	526199	851982	461	Inceptisol
Botello Macaracas	552605	854332	90	Inceptisol
Chupaito	546183	859834	93	Inceptisol
Productor 3	547133	858969	88	Alfisol
Toma de Agua La Villa	561276	877446	21	Alfisol
Los Olivito	556684	877698	30	Alfisol
La comadre Vieja/La Villa	564268	878148	30	Alfisol

Cuadro 3. Ubicación de los sedimentos muestreados en época lluviosa, cuenca río La Villa, 2016.

Lugar	COORDENADAS		Altura (msnm)
	Latitud N	Longitud O	
Quebrada de Piedra	534158	848358	273,0
Río La Villa El Cedro	534879	848316	3
Río El Gato	535447	848625	3,48
Río La Villa Taguara	548788	855031	100
Paso Viejo	546018	862801	83
Esquiguita	542568	867654	65
Río La Villa La Peña	564131	878767	12
Río La Villa Jalisco	563822	78332	32
Toma del IDAAN- R. Reina	559749	878269	48
Las Cabras	550988	869904	60
Balneario la Providencia	560298	877694	85

Cuadro 4. Ubicación de los sedimentos muestreados en época seca, cuenca río La Villa, 2017

Lugar Seca	COORDENADAS		Altura (msnm)
	Latitud N	Longitud O	
Nacimiento del Río la Villa	522227	855082	599,0
La Villa - Las Playita	523518	850608	474
Quebrado Chepo	522709	851346	317
Río la Villa Escudero	526245	852184	448
Botello Macaracas	552617	854356	63
Río Estivana	551728	555720	82
Chupaíto	546300	859863	98
Río La Villa M-13	547086	858848	78
Toma de Agua La Villa	561276	877446	21
Los Olivitos	556694	877698	30
Juan Díaz	566191	879872	44

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los promedios del contenido total de metales pesados en los suelos muestreados durante la época lluviosa de 2016 y la época seca de 2017, se pueden apreciar en los Cuadros 5 y 6, respectivamente. Se destacan los altos valores de Cu encontrados en la época lluviosa. Esto puede ser atribuible al uso de fungicidas en el área debido a la gran actividad agrícola en la cuenca baja (caña principalmente).

Los valores obtenidos se mantuvieron dentro del rango considerado aceptable por las normas de la Unión Europea y Estados Unidos de América para el resto de los metales pesados determinados en los suelos de la cuenca del río La Villa en las dos épocas del año predominantes en Panamá.

Cuadro 5. Contenido total promedio de metales pesados en suelos de la cuenca alta, media y baja del río La Villa en época lluviosa, 2016.

Metal	C. Alta	C. Media	C. Baja	126/1986 EEC Referencia	USEPA 1993 Referencia
-----mg.kg ⁻¹ -----					
Cu	55,2	68,6	155,5	50-140	750
Zn	64,3	85,0	51,1	150-300	1400
Fe	17644	20442	19397		23000
Mn	577,1	1329,1	1389,1		1800
Cr	46,7	49,2	49,8	100-150	1500
Cd	0,41	0,51	0,49	1—3	20
Ni	3,6	8,44	3,58	30-75	210
Pb	3,5	3,17	4,9	50-300	150
As	5,9	0,007	5,6	150-300	
pH	6,8	6,6	7,21		

Cuadro 6. Contenido total promedio de metales pesados en suelos de la cuenca alta, media y baja del río La Villa en época seca, 2017.

Metal	C. Alta	C. Media	C. Baja	126/1986 EEC Referencia	USEPA 1993 Referencia
-----mg.kg ⁻¹ -----					
Cu	11,6	74,9	13,6	50-140	750
Zn	45,3	91,4	89,0	150-300	1400
Fe	17237,0	20548,7	20027,6		23000
Mn	1082,6	1352,7	1767,0		1800
Cr	74,7	59,0	52,5	100-150	1500
Cd	0,40	0,42	0,81	1-3	20
Ni	1,9	12,1	4,8	30-75	210
Pb	2,4	2,3	4,3	50-300	150
As	7,2	5,0	13,6	150-300	
pH	5,6	5,5	6,1		

En los sedimentos se encontraron elevadas concentraciones de Cu en la época lluviosa tanto en la cuenca media como en la baja, si comparado con los niveles aceptados con las normas de la EPA (1993) en USA (Cuadro 7). Igualmente, el Mn mostró valores muy altos en los sedimentos. Se puede atribuir al uso intensivo de agroquímicos en la zona, aunque también hay una abundancia natural de óxidos de manganeso en estos suelos, sin embargo, se nota un enriquecimiento en la cuenca baja.

En la época seca se obtuvieron elevados valores de Mn en la cuenca media y baja, Cr en la alta y baja y As en las tres zonas de la cuenca (Cuadro 8). El Cr puede ser debido a la existencia de muchos criaderos de cerdos en la cuenca alta y media del río la Villa y

el arsénico a residuos por el uso de medicamentos y suplementos vitamínicos usados en la cría de animales (Arsenical ^{MR}).

Los análisis de abonos orgánicos, muestra que el fertilizante sintético existente en el mercado presentó un alto nivel de Cr (Cuadro 19).

Cuadro 7. Contenido total promedio de metales pesados en sedimentos de la cuenca alta, media y baja del río La Villa en época lluviosa, 2016.

Metal	C. Alta	C. Media	C. Baja	USEPA 1993 Referencia
-----mg.kg ⁻¹ -----				
Cu	72,27	45,9	61,3	>50
Zn	92.51	74,13	90,792	
Fe	18280	17677	19402,6	>25000
Mn	573,03	701,47	995,38	>500
Cr	67,31	52,24	64,24	>75
Cd	0,41	0,47	0,498	>6
Ni	5,56	5,64	8,614	>50
Pb	1,59	1,73	2,598	
As	7,07	3,29	5,0142	>8

Cuadro 8. Contenido total promedio de metales pesados en sedimentos de la cuenca alta, media y baja del río La Villa en época seca, 2017.

Metal	C. Alta	C. Media	C. Baja	USEPA 1993 Referencia
-----mg.kg ⁻¹ -----				
Cu	26,4	38,0	16,6	>50
Zn	59,8	84,4	78,9	
Fe	17293,7	20635,7	19204,0	>25000
Mn	46,1	814,7	925,9	>500
Cr	78,5	63,5	117,0	>75
Cd	0,34	0,39	0,45	>6
Ni	2,44	9,2	5,21	>50
Pb	1,78	2,71	0,95	
As	8,01	13,2	16,4	>8

Análisis de varianza

Según el análisis de varianza el Cu y el Zn no mostraron diferencias significativas para ninguna de las variables consideradas.

El hierro mostró diferencia significativa entre las cuencas (Cuadro 9). Al realizar la comparación de medias por medio de la prueba de LSD Fisher, se observó que no hay diferencia entre las cuencas media y baja, pero estas sí mostraron tener mayor contenido de Fe que en la cuenca alta. Los suelos de la región son ricos en óxidos de hierro, por lo tanto, el efecto de la erosión desde la cuenca alta da un enriquecimiento en las cuencas media y baja (Villarreal *et al.* 2017).

Cuadro 9. Análisis de varianza del contenido total de Fe en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	1902268,31	1	1902368,31	0,52	0,4750
Cuenca	40512135,08	2	20256067,54	5,58	0,0089**
Época*cuenca	9824267,01	2	4912133,51	1,35	0,2744
Tipo muestra	3042289,82	1	3042289,82	0,84	0,3676
Época*Tipo muestra	216041,95	1	216041,95	0,06	0,8090
Cuenca*Tipo muestra	5991163,22	2	2995581,61	0,82	0,4483
Época*Cuenca*Tipo muestra	4582283,27	2	2291141,63	0,63	0,5393
Error	105324350,70	29	3631874,16		CV % 10,04
Total	173256315,76	40			

Cuenca	Medias	DMS 1494,25
Media	19963,65	A
Baja	19507,88	A
Alta	17613,96	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Se mostró diferencia altamente significativa entre cuencas y tipo de muestra y significativa en la interacción época*tipo muestra para el Mn (Cuadro 10). Igual que en el caso del Fe, se muestra un enriquecimiento en las cuencas media y baja al realizar la comparación de medias entre cuencas. Siendo que en los suelos abundan los óxidos de Fe y Mn. También, se le atribuye a parte de ese enriquecimiento, al uso de agroquímicos con elevadas cantidades (Cuadro 18).

Se observó mayor contenido en el suelo que en los sedimentos. En el suelo fue mayor el contenido en la época seca que en la lluviosa, sin embargo, en los sedimentos no hubo diferencia entre las medias por época.

Cuadro 10. Análisis de varianza del contenido total de Mn en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	324593,73	1	324593,73	3,40	0,0754
Cuenca	2289895,99	2	1144948,00	11,99	0,0002**
Época*cuenca	28878,89	2	14439,45	0,15	0,8003
Tipo muestra	2914002,72	1	2914002,72	30,53	0,0001**
Época*Tipo muestra	411288,91	1	411288,91	4,31	0,0469*
Cuenca*Tipo muestra	469505,68	2	234752,84	2,46	0,1031
Época*Cuenca*Tipo muestra	193593,02	2	96796,51	1,01	0,3752
Error	2768175,37	29	95454,32		CV % 31,21
Total	9335146,39	40			

Cuenca	Medias	DMS 242,24491
Baja	1269,38	A
Media	1081,77	A
Alta	705,58	B

Tipo Muestra	Medias	DMS 279,59299
Suelo	1292,54	A
Sedimento	745,28	B

Época	Tipo Muestra	Medias	DMS 242,24491
seca	suelo	1486,67	A
lluviosa	suelo	1098,42	B
lluviosa	sedimento	756,76	C
seca	sedimento	733,81	C

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Se mostró diferencia significativa para Cr en las épocas, encontrando mayor contenido en la época seca que en la lluviosa (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza del contenido total de Cr en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	4222,75	1	4222,75	4,81	0,0365*
Cuenca	1015,54	2	507,77	0,58	0,5672
Época*cuenca	270,26	2	135,13	0,15	0,8581
Tipo muestra	2799,96	1	2799,96	3,19	0,0846
Época*Tipo muestra	174,78	1	174,78	0,20	0,6588
Cuenca*Tipo muestra	2766,48	2	1383,24	1,58	0,2242
Época*Cuenca*	2271,30	2	1135,65	1,29	0,2898
Tipo muestra					
Error	25467,47	29	878,19		CV % 45,50
Total	38375,44	40			

Epoca	Medias	DMS 18,93383
Seca	75,77	A
Lluviosa	54,93	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Se mostró diferencia significativa para Cd entre las cuencas. Siendo la concentración en la cuenca baja mayor que en la alta, pero no fue diferente a la concentración en la cuenca media (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de varianza del contenido total de Cd en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	8,5 E-04	1	8,5 E-04	0,03	0,8611
Cuenca	0,21	2	0,10	3,82	0,0336*
Época*cuenca	0,08	2	0,04	1,43	0,2559
Tipo muestra	0,07	1	0,07	2,68	0,1123
Época*Tipo muestra	0,06	1	0,06	2,03	0,1645
Cuenca*Tipo muestra	0,04	2	0,02	0,76	0,4773
Época*Cuenca*Tipo muestra	0,06	2	0,03	1,04	0,3672
Error	0,79	29	0,03		CV % 35,57
Total	1,27	40			

Cuenca	Medias	DMS 0,12972
Baja	0,56	A
Media	0,46	A B
Alta	0,39	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Se presentó diferencia altamente significativa para Ni, a nivel de las cuencas y en la cuenca media se obtuvo la mayor concentración del metal (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis de varianza del contenido total de Ni en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	0,44	1	0,44	0,03	0,8661
Cuenca	195,17	2	97,59	6,43	0,0049
Época*cuenca	66,18	2	33,09	2,18	0,1312
Tipo muestra	0,87	1	0,87	0,06	0,8122
Época*Tipo muestra	11,96	1	11,96	0,79	0,3621
Cuenca*Tipo muestra	58,01	2	29,00	1,91	0,1661
Época*Cuenca*Tipo muestra	7,68	2	3,84	0,25	0,7781
Error	440,17	29	15,18		CV % 65,4
Total	814,07	40			

Cuenca	Medias	DMS 0,12972
Media	9,03	A
Baja	5,56	B
Alta	3,43	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Se presentó mayor concentración de Pb en el suelo que en los sedimentos, por esta razón hay diferencia significativa entre los tipos de muestra (Cuadro 14). La presencia de Pb en la cuenca puede ser debido a efectos de la minería clandestina como ocurre en Chile, Brasil y otros lugares (Espinosa y Espinosa 2005).

Cuadro 14. Análisis de varianza del contenido total de Pb en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	1,91	1	1,91	0,44	0,5142
Cuenca	5,58	2	2,79	0,64	0,5362
Época*cuenca	2,96	2	1,48	0,34	0,7163
Tipo muestra	25,30	1	25,30	5,78	0,0228*
Época*Tipo muestra	0,80	1	0,80	0,80	0,6714
Cuenca*Tipo muestra	8,08	2	4,04	0,92	0,4087
Época*Cuenca*Tipo muestra	3,33	2	1,66	0,38	0,6874
Error	126,98	29	4,38		CV % 76,49
Total	177,00	40			

Tipo Muestra	Medias	DMS 1,33856
Suelo	3,51	A
Sedimento	1,89	B

Se presentó diferencia altamente significativa para As, dependiendo de la época del muestreo (Cuadro 15). En la época seca mostró mayor concentración del metal que en la

época lluviosa. El As está presente en gran cantidad de pesticidas y está relacionado con la mineración del oro (Espinoza y Espinoza 2005).

Cuadro 15. Análisis de varianza del contenido total de As en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	398,27	1	398,27	8,26	0,0075**
Cuenca	132,86	2	66,43	1,38	0,2683
Época*cuenca	145,79	2	72,89	1,51	0,2375
Tipo muestra	52,46	1	52,46	1,09	0,3056
Época*Tipo muestra	10,50	1	10,50	0,22	0,6043
Cuenca*Tipo muestra	31,03	2	15,51	0,32	0,7275
Época*Cuenca*Tipo muestra	7,59	2	3,80	0,08	0,9245
Error	1398,98	29	48,24		CV % 89,15
Total	2106,06	40			

Época	Medias	DMS 4,43763
Seca	10,88	A
Lluviosa	4,48	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Análisis de correlación de Pearson

Se realizó correlación de Pearson entre el total de las muestras colectadas en época seca (Cuadro 16) y época lluviosa (Cuadro 17) con propiedades del suelo como contenido de arena, limo, arcilla, pH, materia orgánica (MO), densidad aparente (Dap) y la CICE.

En la época seca el Zn y el Cu mostraron una correlación positiva y altamente significativa (0,75). Igualmente, Fe con el Cu (0,72); Fe con Zn (0,84) y Pb con Cd (0,80) todas ellas correlaciones positivas. Sólo Cu y Mn mostraron correlaciones significativas y positivas con el contenido de arcilla, esto indica su preferencia por suelos arcillosos.

Cuadro 16. Correlaciones entre concentración de metales pesados en época seca y algunas propiedades del suelo.

Correlaciones época seca																
	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH	Dap	CICE	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Cd	Ni	Pb	As
Arena	1															
Limo	-0,950**	1														
Arcilla	-0,837**	0,625**	1													
MO	-0,347	0,297	0,348	1												
pH	0,269	-0,176	-0,363	-0,792**	1											
Dap	0,523*	-0,407	-0,597**	-0,283	0,225	1										
CICE	-0,460*	0,493*	0,288	-0,305	0,567**	-0,114	1									
Cu	-0,614**	0,531*	0,605**	0,403	-0,290	-0,338	0,369	1								
Zn	0,353	0,247	0,451*	0,135	0,111	-0,364	0,606**	0,748**	1							
Fe	-0,346	0,225	0,471*	0,237	0,079	-0,279	0,452*	0,715**	0,841**	1						
Mn	-0,520*	0,367	0,659**	0,431	-0,241	-0,617**	0,225	0,0624**	0,498*	0,588**	1					
Cr	0,122	-0,050	-0,218	-0,146	0,257	0,484*	0,053	0,015	0,081	0,176	-0,228	1				
Cd	-0,342	0,299	0,330	-0,078	0,253	-0,125	0,448*	0,397	0,375	0,335	0,507*	0,175	1			
Ni	-0,366	0,268	0,447*	-0,190	0,242	-0,190	0,619**	0,344	0,511*	0,494*	0,215	-0,011	0,225	1		
Pb	-0,425	0,391	0,379	0,153	-0,014	-0,144	0,272	0,618**	0,428	0,522*	0,454*	0,199	0,796**	0,177	1	
As	0,160	-0,264	0,063	-0,299	0,481*	0,002	0,157	-0,018	0,355	0,410	0,083	0,399	0,341	0,241	0,188	1

** La correlación es significativa en el nivel 0,01; * La correlación es significativa en el nivel 0,05.

En la época lluviosa las principales correlaciones encontradas fueron entre el Mn con el contenido de arcilla (0,73) altamente significativa y positiva, siendo negativa con la arena. Mn con Fe (0,67); Pb con Cu (0,76) igual que en la época seca estos dos metales se muestran muy dependientes uno del otro. El Cr mostró una correlación positiva y altamente significativa (0,66) con el pH, indicando que tiene una alta dependencia con esta propiedad.

Cuadro 17. Correlaciones entre concentración de metales pesados en época lluviosa y algunas propiedades del suelo.

Correlaciones época lluviosa																
	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH	Dap	CICE	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Cd	Ni	Pb	As
Arena	1															
Limo	-0,823**	1														
Arcilla	-0,771**	0,273	1													
MO	0,580**	0,619**	0,288	1												
pH	0,147	-0,113	-0,122	-0,047	1											
Dap	0,414	-0,657**	0,036	0,610*	0,155	1										
CICE	0,031	0,189	-0,264	0,460*	0,404	-0,186	1									
Cu	-0,309	0,160	0,344	0,246	0,217	0,153	0,150	1								
Zn	0,297	-0,131	-0,355	0,004	0,267	-0,437*	0,122	-0,542*	1							
Fe	-0,350	0,001	0,592**	0,096	0,110	0,132	0,133	-0,071	-0,126	1						
Mn	-0,597**	0,253	0,726**	0,329	0,332	0,023	0,220	0,297	-0,128	0,669**	1					
Cr	0,271	-0,263	-0,164	-0,222	0,655*	0,365	0,358	0,163	0,070	0,355	0,193	1				
Cd	-0,332	0,245	0,287	0,562*	0,211	-0,161	0,471*	0,146	0,190	0,311	0,447*	0,066	1			
Ni	0,158	-0,086	-0,171	0,115	0,013	-0,358	0,101	-0,323	0,514*	0,247	0,099	0,131	0,132	1		
Pb	-0,597**	0,434*	0,524*	0,412	-0,209	-0,085	-0,164	0,755**	-0,614**	-0,064	0,223	-0,304	0,000	-0,288	1	
As	-0,042	0,075	-0,013	0,080	-0,137	-0,023	0,340	0,382	-0,407	0,008	-0,045	-0,008	-0,116	-0,363	0,309	1

** La correlación es significativa en el nivel 0,01; * La correlación es significativa en el nivel 0,05.

Muestreo y determinación del contenido de metales pesados en agroquímicos, abonos y fertilizantes

Se tomaron muestras de cinco abonos orgánicos representativos de los productos orgánicos y estiércoles utilizados por los productores, siete fertilizantes sintéticos, cinco fungicidas, cinco herbicidas y una mezcla utilizada por los productores (Kuron-Estribotronador).

Los análisis de metales pesados en agroquímicos, abonos y fertilizantes sintéticos, en el Cuadro 18 y 19, respectivamente, son resultados parciales.

Cuadro 18. Contenido total de metales pesados en Agroquímicos utilizados por productores dentro de la cuenca del río La Villa-Panamá-2017.

Tipo de muestra	Nombre del Producto	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Cd	Pb	Ni	As
Fungicida	Famoxadona-Cimoxalino	35,3	36,6	358,7	55,14	13,08	0,47	0,18	0,001	0,001
Fungicida	Mefenoxan	18,2	433,0	477,9	307,60	10,8	0,94	1,24	51,44	0,001
Fungicida	Mancozeb	81,7	369,0	166,4	386,60	8,73	1,03	1,58	19,67	0,001
Fungicida	Sulfato de cobre	100,1	48,1	540,5	244,97	51,57	0,43	5,3	12,95	0,001
Fungicida	Sulfato de cobre	155,2	85,7	302,0	86,86	15,17	0,77	10,71	0,001	0,001
Herbicida	Hidrocloruro de Kasugamicyn hidratado	0,05	21,3	319,9	36,72	47,09	0,41	1,05	0,001	0,001
Herbicida	Bentazon 60%	1,0	12,0	318,4	52,58	102,6	0,4	0,16	3,40	0,001
Herbicida	Quinclorac	3,1	37,8	303,5	83,81	11,38	0,4	0,15	0,001	0,001
Herbicida	Cyhalofop Butil	14,1	13,4	181,3	56,97	19,04	0,75	0,77	0,001	0,001
Herbicida	Metil oleato palmitato 34,5%	4,1	20,2	242,4	145,91	5,72	0,45	0,001	0,001	0,001
Mezcla de Herbicidas	Picloram 2,4 D, aminopyralid	20,8	9,3	1601	319,1	10,98	0,52	2,51	0,001	0,001
Valor de Referencia*		12-50			1,3-25	1,38-1,94	60	0,8-14		22-60

*Kabata-Pendias (2011).

En el análisis de fungicidas y plaguicidas se encontraron valores elevados de Cu, Zn y Cr en los plaguicidas utilizados en los suelos de la cuenca del río La Villa (Cuadro 18).

Se encontraron elevados valores de Zn en fungicidas a base de mefenoxan y de Cu y Zn en mancozeb y en los sulfatos de cobre. Esto se correlaciona con los valores encontrados en los suelos de la cuenca (Cuadro 5) muestreados que indican altos contenidos de Cu que sobrepasan los permitidos por la norma 126, EEC 1986 y USEPA 1993.

La Directiva 2003/2003 (EEC 2003), establece que abonos y compost clase A no deben contener más de 70 mg de Cu/kg y 210 mg de Zn/kg de materia seca. Sin embargo, para el Fe no se encontraron valores permisibles en esta Norma (Cuadro 19).

Cuadro 19. Concentración total de metales pesados en abonos y fertilizantes utilizados en áreas productivas dentro de la cuenca del río La Villa-Panamá, 2017.

Tipo de muestra	Ubicación	Zn	Cu	Fe	Cr	Cd	Pb	Ni
Abono	El Cedro	138,2	31,3	738,0	25,2	0,60	2,56	0,001
Estiércol de ganado	Jalisco	220,5	25,2	435,0	10,3	0,52	5,99	0,001
Estiércol de ganado	Paso Viejo	136,3	30,8	454,0	11,2	0,46	0,14	0,001
Abono	Quebrada Piedra	120,9	2,0	165,0	6,21	0,50	0,73	0,001
Abono	La Peñita	95,0	3,6	203,0	9,33	0,47	0,93	0,001
CEE 2003/2003		210-4000	70-600		70-200	0,7-1,0	70-1000	20-200
USEPA (Henri, 1991)		2800	1500		1200	39	300	420
0-30-0-40	La Villa	205,56	12,6	197,0	272,6	4,2	3,79	6,63
12-24-12	La Villa	59,9	2,6	35,0	16,92	0,69	1,27	0,01
Sulfato de Mg	La Villa	44,65	0,01	0,01	5,62	0,51	0,001	0,01
Sulfato de K	La Villa	72,83	17,2	16,0	22,43	0,51	1,49	0,01
10-10-40	La Villa	66,24	25,2	25,0	13,02	0,61	1,75	0,01
Nitrato de K	La Villa	315,85	18,2	5,0	10,41	0,5	137	0,01
Urea	La Villa	83,08	11,1	19,0	10,21	0,54	0,001	0,01
Valor de Referencia fertilizantes fosforados*		50-1450	1-300		66-245	0,1-170	7-225	7-38
Valor de referencia Fertilizantes Nitrogenados*		1-42			3,2-19	0,05-8,5	2-27	7-34

*Alloway (1995), Council Directive 2003/2003/EEC.

Con relación a los abonos orgánicos (Cuadro 19), no se encontraron valores fuera del intervalo sugerido por Alloway (1995). Sin embargo, en los fertilizantes sintéticos se observaron valores de Zn superiores a los recomendados para los fertilizantes nitrogenados (42 mg/kg). Igualmente, el nivel de Cr encontrado en el fertilizante 0-30-0-40 fue superior al nivel considerado adecuado (245 mg/kg). El Cr es un metal que merece mayor atención y monitoreo en el suelo, sedimento y en el agua, ya que existen dos especies, el Cr III menos peligroso y el Cr VI que es muy tóxico (Montauban 2013).

CONCLUSIONES

- El estudio demostró que se hace necesario monitorear la concentración de metales pesados en suelos, sedimentos, abonos orgánicos y agroquímicos que se utilizan comúnmente para la producción agropecuaria dentro de la cuenca del río La Villa, provincias de Herrera y Los Santos, Panamá.
- Hay fertilizantes fosforados que presentan altas concentraciones de Cr y nitrogenados con elevado contenido de Zn, lo que traer como consecuencia la acumulación de estos metales en el suelo debido al uso constante de los mismos. Igualmente, los fungicidas utilizados rutinariamente contienen altas concentraciones de Mn y Cu.
- Observando el problema, era necesario realizar un diagnóstico, que sirviera como línea base a nivel de esta importante zona productiva del país, para comprobar, el grado de contaminación de los suelos y sedimentos para beneficio de la población consumidora de todo el país. Esto redundará en la toma de mejores decisiones sobre el uso del suelo, biorremediación de áreas muy contaminadas, uso de productos más sanos para fertilizar los suelos y en la salud.

RECOMENDACIÓN

- Se debe ampliar este tipo de estudios a otras zonas productivas del país. Además, investigar qué especie de Cr predomina en los sedimentos del río La Villa ya que de encontrarse la presencia de Cr VI representaría un peligro para la salud de la población.

BIBLIOGRAFÍA

- Abollino, O; Aceto, M; Malandrino, M; Mentasi, E; Sarzanini, C; Petrella, F. 2002. Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. Distribution, speciation and chemometric data treatment. *Chemosphere* 49:545-557.
- Acosta, M; Montilla, J. 2012. Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo y sedimentos y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río Balsillas afluente del río Bogotá. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería, programa de ingeniería ambiental y sanitaria. Universidad del Valle. Bogotá, D.C. 157 p.

- Alloway, B.J. 1995. "Soil processes and the behavior of metals en "Heavy Metals in Soils". B.J. Alloway (et.), Blackie and Son, Ltd., Gran Bretaña.
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, PA). 2008. Plan de ordenamiento territorial ambiental de la cuenca del río La Villa. ANAM. Panamá. 132 p.
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, PA). 2007. Programa ambiental nacional. Consultoría para la elaboración del anteproyecto de norma de calidad ambiental de suelos para diversos usos. Contrato N° PAN-03-2006. 258 p.
- Carranza, R. 2007. Diagnóstico del uso de plaguicidas en Cerro Punta, Provincia de Chiriquí, República de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Universidad de Panamá. Publicado en la versión digital del diario Panamá América, agosto 23 de 2007.
- EEC (Economical European Commission). 2003. Council Directive 2003/2003/CEE. Relativa a los abonos y fertilizantes minerales. DOUE-L-2003- 81869. p. 1 – 194.
- EEC (Economical European Commission). 1986. Council Directive 126/1986. On the protection of the environment and in particular of the soil when sewage sludge is used in agricultura, 86/278/CEE. Off. J. of the Eur. Comm. N° L186/6-12, 4/7/1986.
- Espinosa, T; Espinosa, L. 2005. Impacto de la minería en la calidad del agua en la microcuenca del río Artigas. Énfasis en metales pesados. Tesis de maestría, Universidad Centroamericana (UCA). Departamento de Ciencias Ambientales y agrarias. 279 p.
- Espinosa, J. 1990. Degradación de plaguicidas en el trópico: degradación de paraquat en suelo del cultivo de maíz. Los Santos. Hortalizas, Raíces y Tubérculos, IDIAP. Panamá.
- Espinosa, J. *et al.* 1987. Residuos Cúpricos y de Metales Pesados en el Área de Barú. Hortalizas, Raíces y Tubérculos, Frutales; IDIAP, Panamá.

- Galan, E; Romero, A. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. Macla 10. noviembre 2008, 48-60.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo, PA). 2018. Contraloría General de la República. Panamá. Panamá en Cifras: 2011-2016 (en línea). Consultado 22 jun. 2018. Disponible en <http://www.contraloria.gob.pa/inec/publicaciones>
- Kabata-Pendias A. 2011. Trace elements in soils and plants. 4a. Edition. CRC Press, Boca Raton, FL., USA.
- Lucho, CA; Prieto, F; Del Razo, LM; Rodríguez, R; Poggi, H. 2005. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. Agriculture, Ecosystems and Environment 108:57-71.
- Montauban, R. 2013. Determinación de cromo III y cromo VI mediante técnicas electroquímicas de análisis. Tesina de grado. Facultad de Ciencias. Universidad de La República. Montevideo, Uruguay. 121 p.
- Rueda, G; Rodríguez, JA; Madriñán, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas. Perspectiva para Colombia. Acta Agronómica 60(3):203-218.
- Ruíz, A. 1882. Estudio geológico del Montuoso. Universidad Popular de Azuero. Litho Impresora La Villa. Los Santos, Panamá. p. 31.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MX). 2010. Guía Técnica para orientar en la Elaboración de Estudios de Caracterización de Sitios Contaminados. Ministerio del Ambiente. México, 217 p.
- USEPA (United States Environment Agency). 1996. Method 3050B, acid digestion of sediments, sludges, and soils. United States Environmental Protection Agency (USEPA), 12 p.

USEPA (United States Environment Agency). 1993. EPA/600/4-90/027F. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. Fourth ed. Cincinnati, Ohio. 273 p.

Villarreal, J; Ramos, I; Villalaz, J; Santo, A. 2017. Clasificación taxonómica y caracterización físico-química de los suelos de la región de Azuero-Panamá. *In IX Congreso de suelos de Costa Rica*. 25 al 27 de octubre de 2017, San José, CR. Disponible en www.sueloscr.com/congreso

Villarreal, JE; Amaral Sobrinho, NMB; Mazur, N. 2006. Sistemas de preparo do solo e acúmulo de metais pesados no solo e na cultura do pimentão. *Ciência Rural*, Santa Maria 36(1):113-119.

Villarreal, JE; Amaral Sobrinho, NMB; Palmieri, F; Alcantara, A. 1999. Consecuencias de diferentes sistemas de preparación del suelo sobre la contaminación del suelo y agua por metales pesados. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*. Viçosa: 23(4):981-990.

Villarreal, J; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Divisa. 110 p.

RETENCIÓN DE FÓSFORO EN SUELOS DEDICADOS AL CULTIVO DE MAÍZ EN LA REGIÓN DE AZUERO¹

*Jorge Iván Núñez-Cano²; José Ezequiel Villarreal-Núñez³;
Román Gordón-Mendoza⁴; Jorge Enrique Franco-Barrera⁵;
Jorge Enrique Jaén-Villarreal⁶; Ana Elida Sáez-Cigarruista⁷*

RESUMEN

El objetivo de esta investigación era estimar la dosis equivalente de fertilizante que se debe aplicar en suelos dedicados al cultivo de maíz para poder alcanzar la concentración de fósforo óptima, en suelos alfisoles e inceptisoles de la región de Azuero. Se tomaron muestras de suelos de ocho localidades de la región maicera de la provincia de Los Santos. A cada muestra, se le realizó una caracterización físico-química completa y además se elaboró la Isoterma de Langmuir. Se calculó la capacidad de adsorción máxima de cada muestra de suelo para retener fosfatos (cantidad), fosfatos solubles en la solución del suelo (intensidad), y la propiedad que posee un suelo para resistir los cambios en la concentración de fósforo en solución o energía de retención (capacidad). El suelo inceptisol de la localidad Guararé, adsorbió la mayor cantidad de fósforo con 943,1 mg.kg⁻¹ seguida por el suelo alfisol de Pedasí y el inceptisol de San José, con valores de 794,7 y 788,3 mg.kg⁻¹, respectivamente. Los suelos inceptisoles de las localidades de Guararé y San José, así como los alfisoles de El Ejido y Pedasí, presentaron mayores niveles de energía de retención con valores de 1,85; 1,75; 0,59 y 0,46; respectivamente. Las dosis equivalentes de fósforo para alcanzar la concentración óptima en el suelo, para el cultivo de maíz, se presentaron en el suelo inceptisol de Llano Abajo, siendo de 202,8 kg P.ha⁻¹.

Palabras claves: isotermas de Lagmuir, fósforo disponible, intensidad, cantidad, capacidad.

¹Recepción: 7 de septiembre de 2018. Aprobación: 19 de noviembre de 2018. Trabajo financiado por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Programa: Investigación e Innovación para la Competitividad del Agro Negocio. Presentado como proyecto de tesis de la maestría en ciencias agrícolas con énfasis en el manejo de suelos y agua.

²Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). Ing. Agrónomo Fitotecnista. e-mail: jorgenunezcano@gmail.com

³IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central. Ph.D. en Edafología. e-mail: jevilla38@gmail.com

⁴IDIAP. CIAA. M.Sc. Entomología. e-mail: gordon.roman@gmail.com

⁵IDIAP. CIAA. M.Sc. Ciencias Ambientales. e-mail: joenfra13@gmail.com

⁶IDIAP. CIAA. Ing. Agrónomo en cultivos tropicales. e-mail: jorgejaen02@gmail.com

⁷IDIAP. CIAA. Ing. Agrónomo en cultivos tropicales. e-mail: ansacig@gmail.com



RETENTION OF PHOSPHORUS IN SOILS DEDICATED TO MAIZE CULTIVATION IN AZUERO REGION

ABSTRACT

The objective of this research was to estimate the equivalent fertilizer dose to apply on soils dedicated to maize crop, in order to reach the optimum phosphorus concentration for this crop, in alfisol and inceptisol soils of the Azuero region. Soil samples were taken from eight localities in the corn region of Los Santos province. To each sample, a complete physical-chemical characterization was made and the Langmuir isotherm was also generated. The maximum adsorption capacity of each soil sample was calculated to retain phosphates (amount), soluble phosphates in the soil solution (intensity), and the property of a soil to resist changes in the concentration of phosphorus in solution or energy of retention (capacity). Inceptisol soil of Guararé locality, adsorbed the highest amount of phosphorus with $943,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ followed by Pedasi alfisol and San José inceptisol, with values of 794,7 and $788,3 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectively. Inceptisol soils from Guararé and San José localities, as well as alfisols from El Ejido and Pedasí, showed higher levels of retention energy with values of 1,85; 1,75; 0,59 and 0,46; respectively. For maize crop, the equivalent dose to reach optimum phosphorus concentration in soils was found in Llano Abajo inceptisol soil, being $202,8 \text{ kg.ha}^{-1}$.

Key words: Lagmuir isotherms, available phosphorus, intensity, quantity, capacity.

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P), es uno de los nutrientes principales para las plantas, siendo necesario su adecuado suministro por parte de los suelos para condiciones no limitantes del crecimiento vegetal (Hernández y Zamalvide 1998). Sin embargo, es uno de los elementos más críticos para la producción agropecuaria, debido a su relativa escasez edáfica y elevada retención por parte de la matriz del suelo. Además de la falta de reposición natural y la progresiva escasez de sus fuentes naturales (Rubio 2002). Su disponibilidad en el suelo corresponde a una pequeña fracción del total contenido en el mismo, reflejando parte del P de la solución y aquella que se encuentra en la fase sólida susceptible de ser asimilada por las plantas (Rojas 2015, Holford 1997).

El fósforo en solución es la forma aprovechable para las plantas en forma inmediata, es decir son fosfatos en la solución del suelo (Vargas 2012). La fracción lábil representa la cantidad de P que puede pasar a la solución en una temporada de cultivo. Su disponibilidad

es más lenta que la del P en solución y muy dependiente del pH. Mientras que la fracción no lábil, representa todos aquellos compuestos fosforados que no pasan a formar parte de la solución del suelo en la temporada del cultivo.

La adsorción, es el proceso mediante el cual las sustancias químicas reactivas se unen a las superficies de los sólidos. Las partículas pequeñas como los minerales de arcilla, poseen una gran superficie específica por lo que físicamente tienden a tener una alta capacidad de adsorción. Estos procesos físicos, muchas veces están acompañados de reacciones químicas, que provocan la precipitación del P de la solución del suelo en compuestos con distinto grado de solubilidad, conocidos como procesos de quimio-adsorción (Silva 2011).

A medida que el P es adsorbido, se observan relaciones no lineales entre las cantidades retenidas y presentes en solución. Esta no linealidad se representa matemáticamente por una serie de ecuaciones alternativas (isotermas) con transformaciones logarítmicas o de otro tipo para hacer aproximaciones lineales (McGechan y Lewis 2002). La isoterma de Langmuir fue el primer modelo que se propuso, supone que la adsorción máxima corresponde a una monocapa saturada de moléculas de adsorbato, no pudiendo migrar las moléculas adsorbidas a través de la superficie del adsorbente. Asimismo, supone que las moléculas se adsorben en lugares definidos en la superficie y que la energía de adsorción es constante (superficie homogénea).

La ecuación de Langmuir fue originalmente derivada a partir de consideraciones cinéticas, posteriormente, se dedujo a partir de consideraciones de tipo termodinámico y de mecánica estadística (García 2014). Se aplica a concentraciones bajas de P en equilibrio y a una temperatura constante. Permite calcular la capacidad de adsorción máxima de cada muestra de suelo para retener fosfatos. También los fosfatos en la solución del suelo (factor Intensidad), la cantidad de P que está en la fase sólida o fracción lábil, en equilibrio con la solución (factor Cantidad). Y la relación dinámica entre la cantidad y la intensidad que es conocida como el factor Capacidad (K) o capacidad buffer (IGAC 2000).

La máxima capacidad de retención de P determinada con las isotermas de Langmuir se observó en los suelos andisoles de México, que pueden adsorber más de 1000 mg P.kg⁻¹. En el rango de medio a alto se encuentran los oxisoles de Brasil, que

presentan menor constante de energía de retención, esto les permite suplir suficiente P requerido por la planta a una menor saturación de fosfato. A diferencia de los andisoles, que presentaron elevada retención de P, predominan arcillas del tipo amorfas que retienen con más fuerza el nutriente (Quintero 2002). Resultados similares fueron encontrados por Villarreal (2012) en suelos ultisoles y alfisoles de Panamá.

El Índice de Retención de P es una medida práctica y sencilla, que ha mostrado ser representativa y descriptiva del poder buffer de un suelo. La capacidad buffer de P o poder amortiguador del suelo tiene un efecto directo sobre la cantidad de fertilizante que pasará a formas no disponibles para las plantas. En suelos de media a alta capacidad buffer como los suelos rojos de Misiones o Norte de Corrientes en Argentina, un 70% del P adicionado, puede pasar rápidamente a formas no lábiles y poco disponibles. Suelos franco-limosos a franco arcillosos, tienen baja capacidad de retención, quedando de 40% a 50% del P aplicado fácilmente disponible para las plantas. Mientras que, en los suelos de texturas gruesas solo de 30% a 40% pasa a formas no lábiles (Quintero *et al.* 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio, se desarrolló en la región maicera de Azuero, con especial énfasis en la provincia de Los Santos. Para la selección de las áreas de muestreo de suelo se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- a. La textura, la cual determina en gran medida la capacidad buffer de P o poder amortiguador del suelo.
- b. El nivel de precipitación de la zona, los cuales son inferiores a la media de los últimos 19 años en la zona de Guararé, Los Santos y Parita, mientras que Las Tablas, Pocrí y Pedasí, presentan niveles de precipitación superiores a la media (Gordón 2014).
- c. La dedicación al cultivo de maíz por un periodo mínimo de 10 años lo que permite verificar el impacto de la actividad en la disponibilidad de P en el suelo.

Los suelos en estudio pertenecen a los órdenes alfisol e inceptisol y a las zonas de vida bosque húmedo premontano, bosque seco tropical y bosque seco premontano (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ordenes y zonas agroecológicas de los suelos en estudio en la provincia de Los Santos.

Orden de suelo ¹	Localidad	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Zonas de vida ²
Localidades Sur de la Península				
Alfisol	Los Destiladeros	7°28'38.79"	80°02'46.37"	Bosque húmedo premontano
Alfisol	Pedasí	7°32'53.04"	80°01'43.09"	Bosque seco tropical
Alfisol	Nuevo Ocú	7°42'01.22"	80°08'15.75"	Bosque seco tropical
Inceptisol	San José	7°42'05.57"	80°15'06.15"	Bosque seco tropical
Localidades Norte de la Península				
Inceptisol	Guararé	7°49'34.13"	80°17'12.01"	Bosque seco premontano
Inceptisol	Llano Abajo	7°47'56.93"	80°24'04.57"	Bosque seco tropical
Inceptisol	La Colorada	7°49'23.51"	80°33'35.28"	Bosque seco tropical
Alfisol	El Ejido	7°54'34.20"	80°22'12.24"	Bosque seco premontano

De cada localidad se tomaron cuatro muestras, a una profundidad de 20 cm (capa arable). Se les realizó un análisis de caracterización físico-químico completo de acuerdo con la metodología descrita por Villarreal y Name (1996). De acuerdo a los índices de niveles críticos de nutrientes establecidos en el laboratorio de suelos del IDIAP (Name y Cordero 1987), todas las localidades presentaron niveles bajos de P, K de medio a bajo, Ca y Mg en niveles altos, Mn de medio a alto, Zn y Cu de medio a bajo. En cuanto a las características físico-químicas, los suelos de las localidades de Los Destiladeros, Pedasí, La Colorada y Llano Abajo presentaron mayores contenidos de arena, mientras que en el resto de los suelos hubo una mayor presencia de arcilla.

El pH presentó valores entre poco ácido a muy ácido, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), fue alta para los suelos de Llano Abajo y Guararé, media para Nuevo Ocú, El Ejido y San José y baja para La Colorada, Los Destiladeros y Pedasí. El porcentaje de saturación de aluminio y el contenido de materia orgánica fue bajo para todas las localidades.

Análisis de laboratorio

Las muestras de suelo fueron secadas, molidas y se pasaron por un tamiz N°20 (2 mm de abertura en la malla). Para la realización de las isoterma de Langmuir, se utilizó la metodología descrita por el IGAC (2000). Se pesaron 3 g de suelo a los cuales se les agregó 30 ml de solución de P, en concentraciones variables. Se aplicaron seis

concentraciones diferentes de P por cada muestra, a saber 5; 10; 25; 50; 75 y 100 mg.l⁻¹, preparadas a partir de un patrón de P en cloruro de calcio 0,01 M; agitadas por 16 horas y centrifugadas durante 30 minutos. En el decantado se determinó el contenido de P, utilizando un espectrofotómetro de luz visible, siguiendo la metodología de la formación del complejo Fosfo-molibdico (Villarreal y Name 1996).

La diferencia entre la cantidad agregada y la que queda en la solución del suelo es el P fijado. Esta metodología brinda información sobre la concentración del P remanente en la solución del suelo (factor de intensidad), que está en equilibrio con el P de la fase sólida (factor de capacidad). A partir de este principio, fueron elaboradas las isothermas de adsorción para cada una de las muestras estudiadas, determinando luego la constante de adsorción máxima de P en cada caso.

La determinación de la cantidad de P que se debe aplicar para elevar el P extraíble en el suelo se realizó utilizando incubaciones con una solución de Fosfato monobásico de potasio (K(H₂PO₄)₂) a dosis crecientes. Se utilizaron cinco dosis; 0; 8; 16; 32 y 67 mg P.kg⁻¹. Los suelos se fertilizaron homogéneamente y se colocaron protegidos del sol y a humedad de capacidad de campo por un periodo de 45 días. Luego se determinó el P extraíble utilizando la metodología de la formación del complejo Fosfo-molibdico (Villarreal y Name 1996). Se calculó para cada suelo el aumento en el P extraíble para cada dosis de P agregado como la diferencia del P extraíble de cada muestra con el P extraíble promedio de las dos muestras a las que no se les agregó P. El coeficiente b se ajustó para cada situación mediante el modelo lineal simple. Este coeficiente b es el incremento en el P extraíble en el suelo ante la adición de un mg de P.kg⁻¹ en el suelo. Para determinar la dosis recomendada para elevar el P en 1 mg.kg⁻¹ (kg P fertilizante ha⁻¹) se utilizó la siguiente formula:

$$\text{kg P.ha}^{-1} = 0,01 (\text{densidad aparente} \times \text{profundidad (cm)}) / \text{Coeficiente b}.$$

La dosis final recomendada para el cultivo se determinó de la siguiente manera: (P extraíble del suelo - nivel crítico del cultivo) x (dosis recomendada para elevar el P en 1 mg.kg⁻¹) (Rubio *et al.* 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos de las localidades del sur, San José y Pedasí, mostraron una mayor capacidad de adsorción de P, seguidos por Los Destiladeros y Nuevo Ocú respectivamente. El coeficiente de determinación de la ecuación de Langmuir en los suelos de las localidades de San José y Pedasí es alto comparado con los correspondientes a los de las localidades de Los Destiladeros y Nuevo Ocú (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coeficientes derivados de la isoterma de Langmuir para las localidades del sur de la península de Azuero.

Localidades del Sur	Ecuación Lineal de Langmuir	R ²	Parámetros de Langmuir	
			K	Adsorción Máxima (mg.kg ⁻¹)
Los Destiladeros	$y = 9,01 + 1,51 X$	0,60	0,03	663,4
Pedasí	$y = 2,71 + 1,26 X$	0,86	0,46	794,6
Nuevo Ocú	$y = 15,02 + 1,86 X$	0,57	0,12	538,6
San José	$y = 0,72 + 1,23 X$	0,96	1,75	788,3
		Promedio	0,59	696,3

El suelo de la localidad de Pedasí, tuvo una adsorción máxima de P de 794,6 mg.kg⁻¹, siendo la más alta de las localidades del sur. Seguido, por el suelo de la localidad de San José con 788,3 mg.kg⁻¹, quien, además, presentó el factor K más alto. Esta localidad a través de los años ha mostrado una tendencia a reducciones en los valores de pH (Gordón 2017). Lo cual puede explicar los altos valores de adsorción de P encontrados. Las isotermas de adsorción, mostraron la misma tendencia, donde a medida que aumenta la concentración de P en equilibrio, aumenta la cantidad adsorbida del mismo hasta llegar a un punto en que se mantiene constante (Figuras 1 y 2). Este comportamiento es típico de la isoterma de adsorción propuesta por Langmuir (Fox y Kamprath 1970).

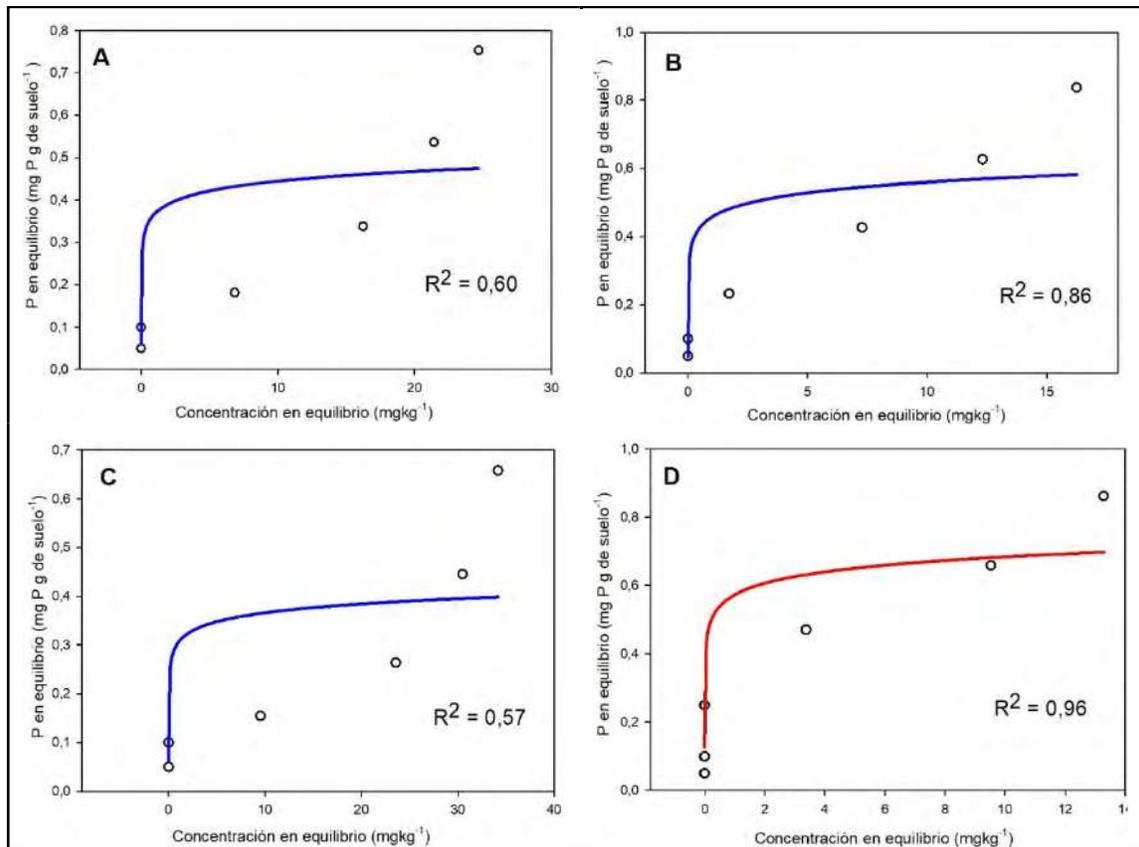


Figura 1. Isotermas de Langmuir para los suelos de las localidades del sur: Los Destiladeros (A), Pedásí (B), Nuevo Ocú (C), San José (D).

El suelo de la localidad de Nuevo Ocú, presentó la adsorción máxima de P más baja con $538,6 \text{ mg.kg}^{-1}$. Los Destiladeros, por su parte, fue la localidad del sur que presentó el suelo con el valor más bajo del factor K de $0,03$, y una adsorción máxima de P de $663,4 \text{ mg.kg}^{-1}$. El suelo de la localidad de La Colorada, presentó la capacidad más baja de adsorción de P de todas las localidades del norte. El resto de los suelos tuvieron capacidades de adsorciones de P similares (Cuadro 3).

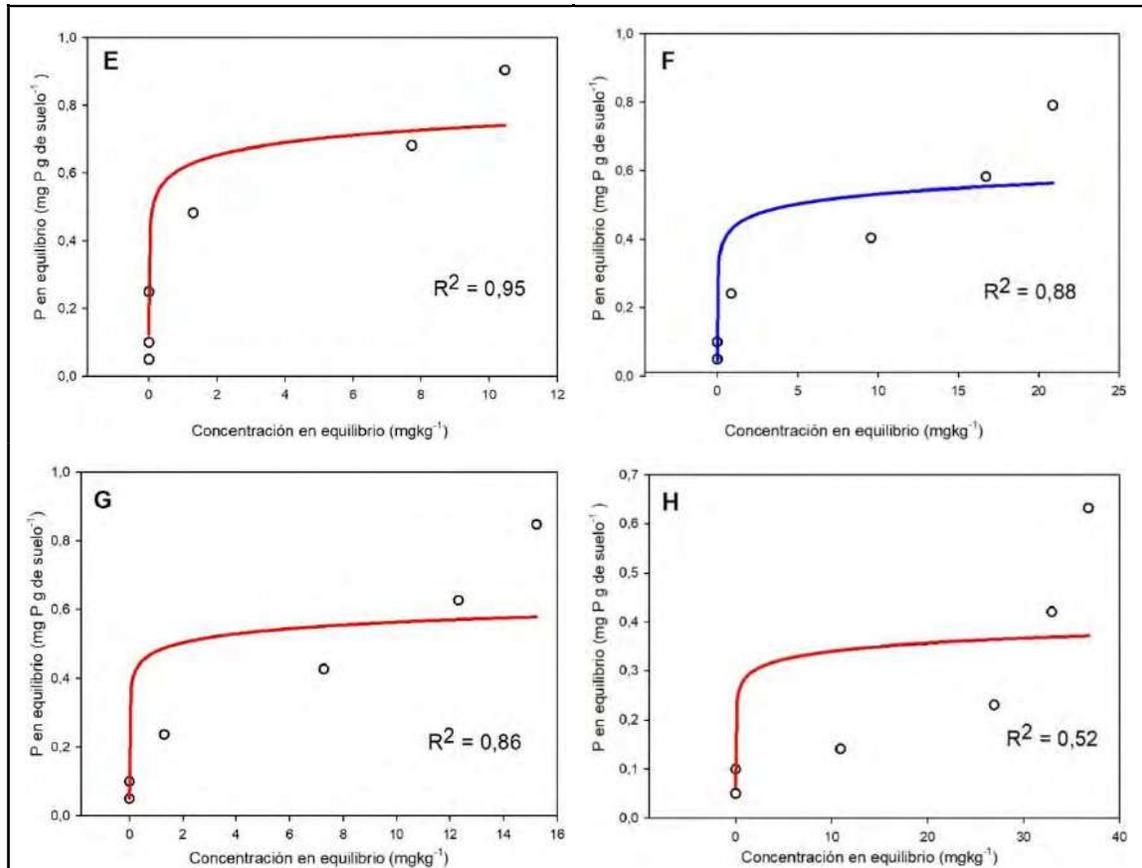


Figura 2. Isothermas de Langmuir para los suelos de las localidades del norte: Guararé (E), El Ejido (F), Llano Abajo (G) y La Colorada (H).

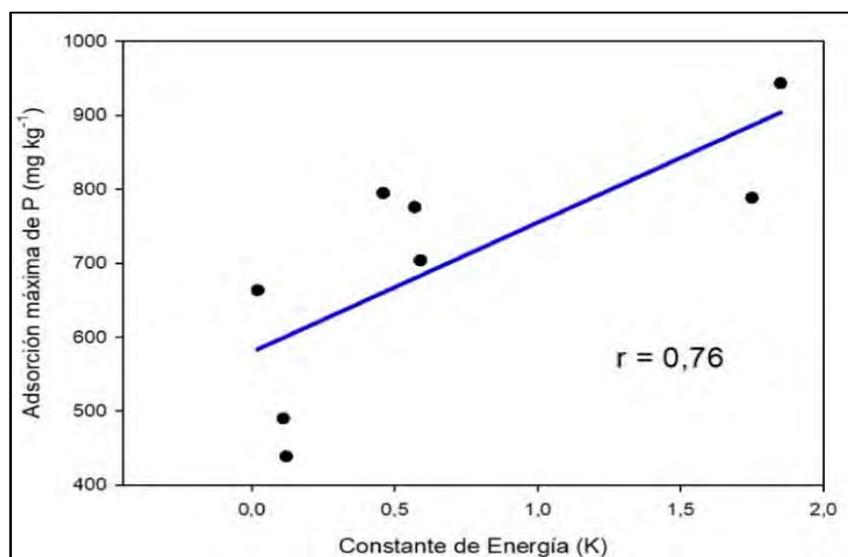
La máxima adsorción de P en las localidades del norte estuvo encabezada por el suelo de la localidad de Guararé con $943,1 \text{ mg.kg}^{-1}$. Luego le siguieron los suelos de las localidades de Llano Abajo, El Ejido y La Colorada con valores de $775,7$; $703,8$ y $486,9 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente. El factor K y el R^2 fueron más alto en el suelo de la localidad de Guararé. Por su parte el suelo de la localidad de La Colorada, presentó valores de R^2 de $0,52$ y factor K de $0,11$, siendo los más bajos de las localidades del norte.

Las Pruebas de t realizadas para comparar las medias de adsorción máxima de P entre los ordenes de suelos (alfisol vs inceptisol) y las zonas (norte vs sur) mostraron que no hay diferencias significativas ($p = 0,53$ y $0,79$, respectivamente). En ambas zonas, se observó que los suelos con mayor contenido de arcilla mostraron una tendencia a adsorber una mayor cantidad de P.

Cuadro 3. Coeficientes derivados de la isoterma de Langmuir para las localidades del norte de la península de Azuero.

Localidades del Norte	Ecuación Lineal de Langmuir	R ²	Parámetros de Langmuir	
			K	Adsorción Máxima (mg.kg ⁻¹)
Guararé	y = 0,57+ 1,06 X	0,95	1,85	943,1
El Ejido	y = 2,41 + 1,42 X	0,88	0,59	703,8
Llano Abajo	y = 2,27 + 1,29 X	0,86	0,57	775,7
La Colorada	y = 2,41 + 1,42 X	0,52	0,11	486,9
		Promedio	0,78	727,3

Resultados similares fueron encontrados por Carrasco *et al.* (1992) en suelos de regiones semiáridas de Chile. Sin embargo, el suelo de la localidad de Pedasí, presentó la adsorción de P más alta de las localidades del sur y los contenidos de arcillas más bajos. Esto indica la existencia de otros factores que influyen en las tasas de adsorción de P. La materia orgánica tiene un importante papel en la disponibilidad de P en el suelo, además de otras propiedades como, la alta acidez, presencia de arcillas alófanas y deficiencia de bases intercambiables influyen igualmente en la adsorción de P (Bravo *et al.* 2013). Partiendo de esta premisa, el suelo de la localidad de Pedasí, presentó valores bajos de materia orgánica y CICE, lo cual puede explicar su alta adsorción de P. La adsorción máxima de P se correlacionó positivamente con la constante K con un $r=0,76$. Esto indica que entre más alta es la adsorción de P, mayor es la energía con la que es retenido (Figura 3).

**Figura 3. Adsorción máxima de P (mg.kg⁻¹) y Contante de energía (K) por localidad.**

Las dosis de P por hectárea recomendadas en cada localidad para el cultivo de maíz fueron más elevadas en las localidades de Llano Abajo, San José, Guararé y Pedasí, respectivamente (Cuadro 4). Estas dosis garantizan que los requerimientos de P por el cultivo queden cubiertos, ya que toman en cuenta aspectos como la cantidad P retenido por el suelo ante la aplicación del fertilizante. Además, evita realizar aplicaciones excesivas de P en suelos en donde no es necesario. Este es el caso de la localidad de Nuevo Ocú, en donde la dosis recomendada de fósforo fue la más baja (8,3 kg.ha⁻¹).

En el Laboratorio de Suelos del IDIAP, las recomendaciones de fertilizantes se basan en las exigencias del cultivo, eficiencia del fertilizante y las dosis aplicadas (Villarreal y Name 1996). Si se compara este método con las dosis determinadas con el índice de retención de P, se observan diferencias superiores al 90%. La dosis para elevar 1 mg de P por litro de solución se correlaciona positivamente con la adsorción máxima de P (mg.kg⁻¹). Esto indica que el método utilizado para calcular la dosis de P, guarda relación con la adsorción máxima de P determinada por medio de la Isotherma de Langmuir (Figura 4).

Cuadro 4. Dosis de P recomendadas por el método del Índice de Retención de P (IRP) vs recomendaciones del laboratorio de suelos del IDIAP.

Lugar de muestreo	Dosis para elevar el P 1 mg.l ⁻¹	Dosis kg P.ha ⁻¹ para maíz	Dosis kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹ para maíz	P ₂ O ₅ kg.ha ⁻¹ Laboratorio de Suelo, IDIAP	Diferencia Dosis IRP vs Dosis Laboratorio kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹
Los Destiladeros	9,4	109,6	251,0	58,9	493,4
Pedasí	17,7	149,8	343,1	58,9	695,9
Nuevo Ocú	4,9	8,4	19,2	58,9	-16,6
San José	13,7	170,2	390,0	58,9	799,1
Guararé	13,2	168,0	384,9	58,9	787,8
El Ejido	12,8	140,1	320,9	58,9	647,0
Llano Abajo	18,6	202,8	464,6	58,9	963,3
La Colorada	9,2	102,6	235,2	58,9	458,5

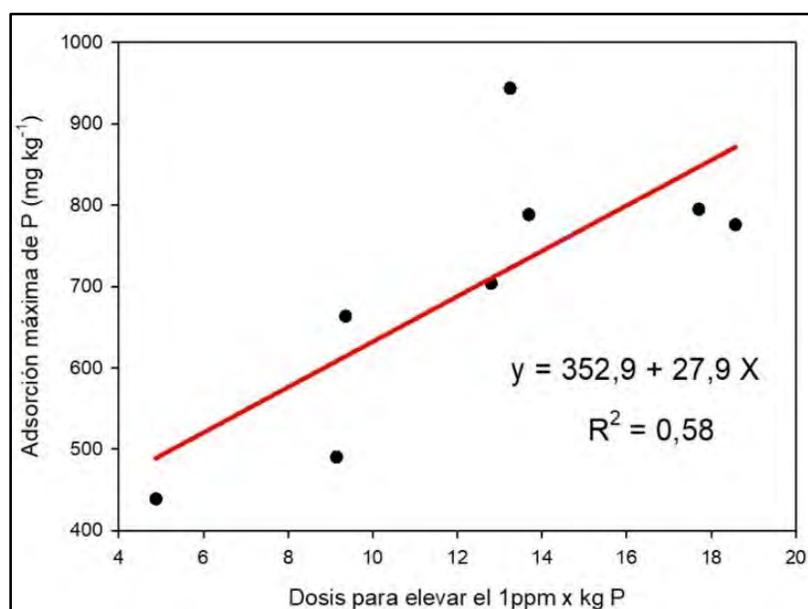


Figura 4. Adsorción Max, P (mg.kg⁻¹) vs Dosis para elevar el P 1 mg.l⁻¹.

CONCLUSIONES

- Los suelos inceptisoles de las localidades del norte tiene una capacidad de adsorción de P y energía de retención promedio mayores que los suelos alfisoles e inceptisoles de las localidades del sur.
- Las dosis de P, calculadas tomando en cuenta el índice de retención de P en suelo son altas si las comparamos con métodos de recomendación utilizados por el Laboratorio de Suelo del IDIAP.

BIBLIOGRAFÍA

- Bravo, I; Montoya, J; Menjivar, J. 2013. Retención y disponibilidad de P asociado a la materia orgánica en un Typic Melanudands del departamento del Cauca, Colombia. Acta Agron., 62(3):261-267.
- Carrasco, M; Opazo, J; Peralta, I; Vera, L. 1992. Retención de P en suelos de zonas semiáridas. Agricultura Técnica. Chile. p. 411-415.

- Fox, RL; Kamprath, EJ. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34:902-907.
- García, N. 2014. Nueva generación de carbones activados de altas prestaciones para aplicaciones medioambientales. Tesis doctoral. Universidad De Oviedo. España. 217 p.
- Gordón, R. 2014. Los granos básicos y la variabilidad climática en Azuero: Caso maíz. Conferencia. Primer congreso científico CRULS Universidad de Panamá. 22 octubre de 2014, Las Tablas, Panamá, 13 p.
- Gordón, R. 2017. Base de datos de análisis de suelos. Programa de Maíz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Información sin publicar.
- Hernández, J; Zamalvide, J. 1998. Proceso de retención de P por los suelos evaluados a través de parámetros de suelo y planta. *Uruguay. Agrociencia* 1(2):48-63.
- Holdridge, Lr. 1967. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. *Ecología basada en zonas de vidas.* San José, CR. 206 p.
- Holford, I. 1997. Soil Phosphorus: Its Measurement, and its Uptake by Plant. *Aust. J. Soil Res.*, 35:227-39.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, CO). 2000. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Cuarta edición. Bogotá. CO. 663 p.
- McGechan, Mb; Lewis Dr. 2002. Principles, Equations and Models. *Biosystems Engineering, by Soil, Part 1(82):1-24.*
- Name, B; Cordero, A. 1987. Recomendaciones para la fertilización de suelos: Hojas guías por cultivo. In S. Jaramillo editor, *Compendio de los resultados de Investigación presentados en la Jornada Científica.* IDIAP. Santiago, PA. 22 p.

- Quintero, CE. 2002. Dosificación del P según tipos de suelos. Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER. Informaciones Agronómicas del cono sur no.16:8-9.
- Quintero, CE; Boschetti, NG; Benavidez, RA. 1999. Phosphorus Retention in Some Soils of the Argentinian Mesopotamia. *Comm. Soil Sci. Plant Ana.* 30(9 y 10):1449-1461.
- Rojas, C. 2015. Interpretación de la disponibilidad de P en los suelos de Chile (en línea). Consultado 13 dic. 2017. Disponible en <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33852.pdf>
- Rubio, G. 2002. Conectando el P del suelo con la planta. Simposio: "Enfoque sistémico de la Fertilización Fosfórica". *Informaciones Agronómicas del Cono Sur.* 19 p.
- Rubio, G; Cabello, MJ; Gutiérrez, FH. 2007. ¿Cuánto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? II. Cálculos para las zonas sur y norte de la región Pampeana, Argentina. *Informaciones Agronómicas* 35:9 p.
- Silva, M. 2011. Adsorción y desorción de P en suelos del área central de la región Pampeana. Tesis Para optar al Grado Académico de Doctor en Ciencias Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. 179 p.
- Vargas, W. 2012. Planificación y control de la contaminación ambiental. Ciclo del fósforo. Universidad mayor de San Andrés. Bolivia. 12 p.
- Villarreal, J; Ramos, I; Villalaz, J; Santos, A. 2017. Clasificación taxonómica y caracterización físico-química de suelos de la región de Azuero-Panamá. *In XI Congreso de suelos de Costa Rica.* 25 al 27 de octubre de 2017. San José, CR. Disponible en www.sueloscr.com/congreso.
- Villarreal, J. 2012. Determinación de la adsorción máxima de P en suelos de Panamá mediante Isotermas de Langmuir. Resúmenes, PCCMCA, 2012. Ciudad de Panamá. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.
- Villarreal, J; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del Laboratorio de suelos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. IDIAP-Divisa. 120 p.

COEFICIENTES GENÉTICOS DE DOS CULTIVARES DE MAÍZ, AZUERO - PANAMÁ¹

*Ana Elida Sáez-Cigarruista²; Román Gordón-Mendoza³; Jorge Iván Núñez-Cano⁴;
Jorge Enrique Jaén-Villarreal³; Jorge Enrique Franco-Barrera³;
Francisco Ramos-Manzané⁴; Aurisbel Ávila-Guevara⁴*

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la Estación Experimental del IDIAP en El Ejido, Los Santos. Se utilizó la variedad IDIAP-MV-1102 y el híbrido P-4226. La unidad experimental consistió de 15 hileras de 10 m de largo separadas a 0,75 m entre ellas y 0,20 m entre plantas. Se establecieron dos fechas de siembra agosto y octubre. Se evaluó el desarrollo de la etapa vegetativa y reproductiva de 15 plantas de cada cultivar por fecha de siembra. Se definió el tiempo termal exacto en que ocurre cada una de las etapas fenológicas. La determinación del periodo juvenil se realizó a través de muestreo destructivo a partir de la tercera hoja. La edad cronológica del cultivo al final del ciclo productivo fue de 118 días después de siembra (dds) equivalente a $2011,80^{\circ}\text{Cd}$, donde el periodo vegetativo culminó con 20 hojas expandidas en la variedad e híbrido, con una acumulación máxima de unidades de calor de $889,43^{\circ}\text{Cd}$. En la evolución de granos el híbrido presentó una ganancia de peso de $0,12\text{ g.día}^{-1}$ y la variedad $0,11\text{ g.día}^{-1}$. El IDIAP-MV-1102 durante el periodo vegetativo utilizó $890 \pm 9,87^{\circ}\text{Cd}$ y para el periodo reproductivo utilizó $1926 \pm 17,39^{\circ}\text{Cd}$. La finalización del periodo juvenil se dio a los 25 días después de siembra (dds) y la madurez fisiológica a los 112 dds. El P-4226 finalizó el periodo juvenil a los 24 dds y la madurez fisiológica a los 104 dds, con un tiempo termal de $889 \pm 9,17^{\circ}\text{Cd}$ en el periodo vegetativo y en el reproductivo de $1755 \pm 2574^{\circ}\text{Cd}$.

Palabras claves: cambio climático, simulación, tiempo termal, etapa vegetativa, etapa reproductiva.

¹ Recepción: 21 de septiembre de 2017. Aceptación: 3 de diciembre de 2018. Trabajo financiado por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Programa: Investigación e Innovación para la Competitividad del Agro negocio.

² Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). Ing. Agrónomo en Cultivos Tropicales. e-mail: ansacig@gmail.com

³ Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). CIAA. M.Sc. en Protección de Cultivos.

⁴ Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). CIAA. Ing. Agrónomo.



GENETIC COEFFICIENTS OF TWO CULTIVARS OF CORNS, AZUERO - PANAMA

ABSTRACT

This research was conducted at IDIAP's Research Station at El Ejido, Los Santos Province. IDIAP-MV-1102 variety and P-4226 hybrid were tested. The experimental unit consisted of 15 10 meters' rows separated 0,75 m with 0,20 m between plants. Two planting dates were established, in August and October. Vegetative and reproductive stages of 15 plants for each cultivar were evaluated by sowing date. Development of vegetative and reproductive stages of 15 plants for each cultivar were evaluated by sowing date. Exact thermal time for each phenological stage was defined. Juvenile stage was determined through destructive sampling from the third leaf. By the end of productive cycle, chronological age of crop was 118 days after sowing (das), equivalent to 2011,80° Cd, with vegetative period ending with 20 expanded leaves for both the variety and hybrid, and maximum heat unit's accumulation of 889,43° Cd. During grain evolution, hybrid and variety obtained weight gains of 0,12 and 0,11 g/day, respectively. During vegetative and reproductive periods, IDIAP-MV-1102 used $890 \pm 9,87^\circ$ Cd and $1926 \pm 17,39^\circ$ Cd. End of juvenile and physiological maturity periods occurred at 25 and 112 das. Juvenile period of P-4226 ended at 24 das and physiological maturity at 104 das, with a thermal time during vegetative and reproductive periods of $889 \pm 9,17^\circ$ Cd and $1755 \pm 2574^\circ$ Cd, respectively.

Key words: climate change, simulation, thermal time, vegetative stage, reproductive stage.

INTRODUCCIÓN

El problema del cambio climático es uno de los más serios que le ha tocado enfrentar a la humanidad y que ella misma ha generado, poniendo en riesgo la vida entera del Planeta. Entre los efectos de estos cambios se habla de un aumento de la temperatura planetaria, propiciando el derretimiento del casco polar y por consiguiente un aumento del nivel de mar que afectará las tierras bajas e insulares. También se prevé una mayor y menor precipitación, provocada por eventos extremos como huracanes en ciertas temporadas y sequías en otros periodos. Basados en modelos de simulación climáticos el Panel de Expertos de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (IPCC) han estimado que dada la tendencia actual de emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera, la temperatura media del planeta podría alcanzar de 4° a 5° Cd más que la temperatura actual. Para la vertiente del Pacífico de Centroamérica uno de los aspectos más relevantes

que se pueden observar en la mayoría de estos escenarios de cambio climático es la importante reducción que sucede en la precipitación (Corrales 2010).

La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático. El aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y plagas. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. Aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo puedan beneficiarse, en general, se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial. Probablemente las más afectadas sean las poblaciones de los países en vías de desarrollo, desde ya vulnerables y presas de la inseguridad alimentaria (Nelson *et al.* 2009).

En Panamá, el cambio climático en la agricultura se ha notado durante las últimas dos décadas, por sufrir eventos que han afectado seriamente su desempeño. Por ejemplo, en 1997 la producción fue afectada por el fenómeno del niño y un año más tarde por lluvias intensas y continuas que ocasionaron fuertes inundaciones que afectaron de manera negativa a la producción, especialmente en las áreas rurales cercanas a ríos (fenómeno de la niña) (Mora *et al.* 2010). Esta es una situación alarmante ya que el 90% de su población depende de la agricultura y la ganadería.

Un modelo de simulación de cultivo es cualquier algoritmo que trata de describir de modo cuantitativo la respuesta del sistema de cultivo a su entorno (Campbell *et al.* 1994); la idea inicial de los modelos de crecimiento de los cultivos parte de la necesidad de integrar los conocimientos de suelo, clima, cultivos y prácticas agrícolas en una herramienta que facilite tomar decisiones acertadas. Esta información es importante a la hora de transferir tecnologías agrícolas de una localidad a otras, con diferentes suelos y climas. El modelo de simulación CERES-Maíz (Jones y Kiniry 1986) calcula cada día, el avance de la fenología, la tasa de crecimiento y el reparto de la biomasa entre los órganos en fase de crecimiento (Cuadro 1). Cuando el agua y el nitrógeno no limitan el crecimiento (crecimiento potencial), los procesos simulados se ven afectados por los valores que toman las principales variables ambientales como radiación solar, temperatura máxima y mínima diaria, y concentración de CO₂ atmosférico, de factores específicos del cultivar, y de las prácticas de cultivo.

Dentro de cada fotoperíodo, el avance a cada evento fenológico es una función lineal de la acumulación de unidades de calor (UC) o tiempo termal (TT). La tasa de progreso fenológico depende de temperaturas cardinales específicas para cada cultivo. El rango de las temperaturas cardinales reportadas en maíz a través de muchos experimentos es: de 6° a 10° C para Temperatura Base (T_{base}), de 30° a 34° C para Temperatura Óptima (T_{opt}) y de 40° a 44° C para Temperatura Crítica (T_{crt}) (Edmeades *et al.* 1992). El TT se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Si } T_{Promedio} \leq 30^{\circ} \text{ entonces } TT = T_{Promedio} - T_{base}$$

$$\text{Si } T_{Promedio} > 30^{\circ} \text{ entonces } TT = (T_{Promedio} - T_{base}) - (T_{Promedio} - 30)$$

Cuadro 1. Definición de los coeficientes genéticos utilizados por el modelo de simulación cereales maíz.

	Descripción
P1	Periodo desde la emergencia de la semilla hasta el final de la etapa juvenil durante el cual la planta no responde a cambios en fotoperíodo
P2	Periodo durante la etapa juvenil en el cual la planta es sensible a cambios en fotoperíodo
P3	Periodo desde iniciación de la inflorescencia masculina hasta el final del crecimiento de hojas y la formación de la inflorescencia femenina
P4	Periodo entre la fecha de floración hasta el comienzo del llenado del grano
P5	Periodo de llenado del grano desde fecha de floración femenina hasta fecha de madurez fisiológica
P8	Periodo entre germinación y emergencia de la semilla
G2	Número potencial de granos por mazorca por planta
G3	Velocidad de llenado del grano durante la etapa lineal bajo óptimas condiciones ($\text{mg} \cdot \text{día}^{-1}$)

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

Este ensayo se realizó durante dos años (2016 y 2017) en los terrenos de la Estación Experimental del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) en El Ejido de Los Santos (Azüero). Localizada entre 7°54,640' de latitud Norte y 80°22,178' longitud Oeste, a unos 16 msnm.

Azüero se caracteriza por presentar tierras bajas de la costa pacífica del Istmo de Panamá, con régimen de humedad ústico. Los suelos del área son finos, mezclados,

clasificados como isohipertérmico udic haplustalf. El estudio fue realizado en una zona que está ubicada en el Bosque tropical seco según la clasificación de Holdridge (1967).

Características edáficas

Antes de la siembra del ensayo se obtuvieron varias muestras de suelo para análisis físico-químico. Las mismas se tomaron en cada uno de los bloques a una profundidad de 0 a 20 cm. Estas fueron homogenizadas y enviadas al Laboratorio de Suelos del IDIAP, en donde se les realizó el análisis según Villarreal y Name (1996). Dicho suelo presentó un pH de 5,5 y textura franco-arcillosa, perteneciente al orden Alfisol. En cuanto a la fertilidad, es un suelo bajo en materia orgánica (1,24%), fósforo (14 mg.l^{-1}), aluminio ($0,1 \text{ cmol.kg}^{-1}$), hierro ($10,9 \text{ mg.l}^{-1}$) y zinc ($2,9 \text{ mg.l}^{-1}$). Además, presentó valores medios en elementos como potasio (102 mg.l^{-1}) y cobre ($2,21 \text{ mg.l}^{-1}$) y valores altos en los elementos calcio ($15,2 \text{ cmol.kg}^{-1}$), magnesio ($11,0 \text{ cmol.kg}^{-1}$) y manganeso (96 mg.l^{-1}).

Características climáticas

Se tomaron datos de precipitación y temperatura durante todo el ciclo del cultivo utilizando una estación meteorológica tipo Davis, la cual estaba ubicada aproximadamente 200 m lineales de la parcela.

Unidad experimental

El área total del ensayo fue de 675 m^2 , en donde cada unidad experimental estuvo constituida por 15 hileras de 10 m de largo, separadas a 0,75 m entre ellas y 0,20 m entre plantas para un área de $112,5 \text{ m}^2$. Cada cultivar se sembró en dos fechas diferentes, una en fecha óptima para el desarrollo del cultivo (agosto) y otra en fecha tardía para que el cultivo fuera sometido a estrés hídrico después de la floración (45 días después de la primera siembra).

Material genético

Se utilizó la variedad IDIAP-MV-1102 de grano normal y alto potencial de rendimiento generada por IDIAP y el híbrido simple P-4226 de la empresa Pioneer. Ambos cultivares se siembran de manera extensa en la región por productores dedicado a este cultivo.

Manejo agronómico

El manejo agronómico del cultivo se dio según la tecnología generada por Gordón (2012), que consiste en un sistema de preparación del suelo convencional; el mismo consistió en dar dos pases de rastra pesada hasta dejar el suelo desmenuzado. La fertilización consistió en la aplicación de 273 kg.ha⁻¹ de la fórmula química 13-26-10-10 al momento de la siembra, en forma de banda continua a 4 cm de la línea de siembra. Posteriormente, se realizaron dos aplicaciones suplementarias de urea, la primera a los 20 días después de siembra (dds) a razón de 159 kg.ha⁻¹ y la segunda a los 37 dds a razón de 204 kg.ha⁻¹. En total se aplicó 194 kg N, 54 kg de P₂O₅ y 27 kg K₂O.ha⁻¹. El control de malezas consistió en la aplicación en pre-emergencia de la mezcla de atrazina más pendimentalina a razón de 1,50 kg y 1,65 kg i.a.ha⁻¹, respectivamente.

Variables del cultivo

Para la determinación de las variables del estudio, se utilizó la calibración estipulada por el modelo de simulación CERES Maíz (Jones y Kiniry 1986) las cuales se detallan a continuación.

Determinación del desarrollo de la planta

Se determinó la duración de días en que ocurre cada etapa del cultivo y se definió el tiempo termal exacto en que ocurre cada una de las etapas. El tiempo termal se determinó de acuerdo a la metodología de Bolaños y Edmeades (1992) y Yzarra *et al.* (2009).

Observación del estado del ápice

Para determinar el momento de finalización del "periodo juvenil". Se realizaron muestreos destructivos a partir de la cuarta hoja. Estos muestreos se realizaron cada tres días hasta que se identificó el final del periodo juvenil.

Evolución del peso del grano

Se cosecharon tres mazorcas por cada cultivar en cada muestreo. Se cortó en dos partes cada mazorca. Se muestreo 20 granos del tercio medio de cada una, los mismos fueron pesados y llevados al horno para después determinar el peso seco. Se realizaron muestreos a los 8, 11 y 14 días después de floración (ddf). A partir de este momento se realizó un muestreo semanal, hasta llegar a los 45 días después de la

floración femenina. Para detectar el momento de finalización de crecimiento del grano (fase de capa negra) se muestreo cada tres días después de los 90 dds.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los dos años de estudio 2016 y 2017 las temperaturas máximas, promedio y mínima presentaron comportamientos muy similares durante todo el ciclo del cultivo (Figura 1 y 2). La tasa de progreso fenológico depende de temperaturas cardinales específicas para cada cultivo, según Bolaños y Edmeades (1993). En la T_{base} hay un completo arresto o detenimiento metabólico y la tasa de progreso fenológica es nula (0). En la T_{opt} el desarrollo fenológico es máximo y tiene un valor relativo de 1,0. En la T_{crt} la tasa de progreso decrece nuevamente a cero por efectos negativos del excesivo calor.

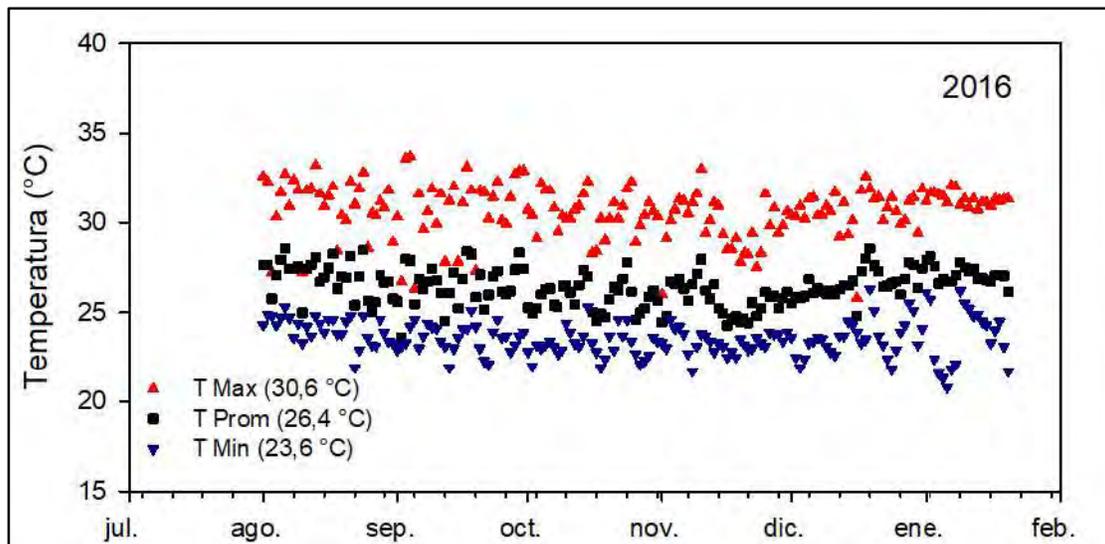


Figura 1. Temperatura máxima, promedio y mínima diaria en El Ejido durante el año 2016.

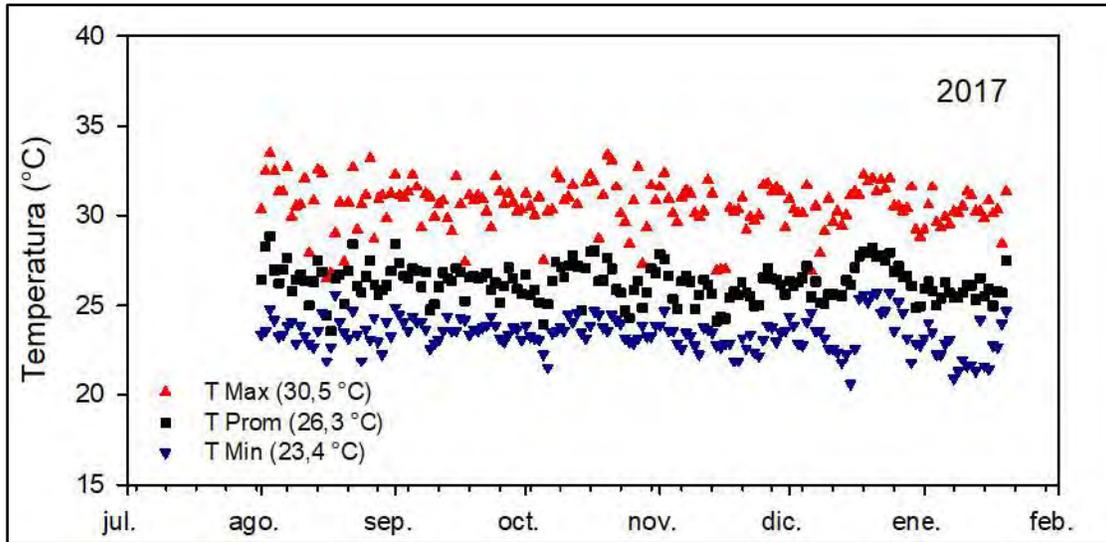


Figura 2. Temperatura máxima, promedio y mínima diaria en El Ejido durante el año 2017.

De igual manera, los dos años evaluados presentaron comportamientos muy similares en cuanto al tiempo termal (Figura 3). El tiempo termal para distintos eventos fenológicos del maíz ha sido evaluado en muchos cultivares bajo distintos ambientes, pero aún existen muy pocos datos sobre maíces tropicales (Edmeades *et al.* 1992). Materiales precoces requieren menos tiempo termal para alcanzar los eventos fenológicos (iniciación floral, floración, madurez fisiológica) que materiales más tardíos.

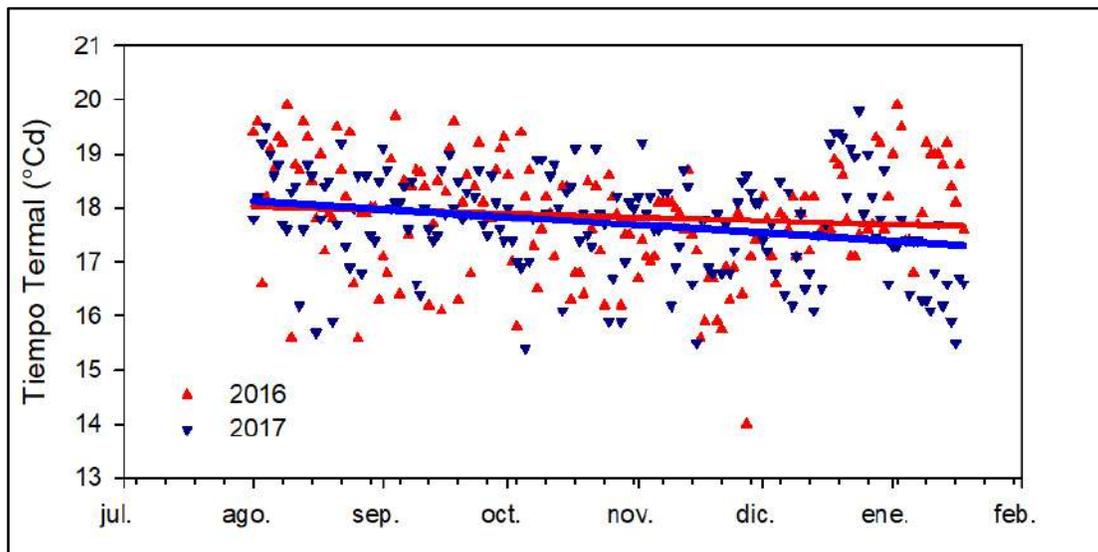


Figura 3. Tiempo termal diario en °Cd durante los meses de la investigación.

Los dos cultivares evaluados demostraron semejanza en los días requeridos para la aparición de cada hoja. Se puede apreciar una ligera variación en el tiempo termal requerido para la formación de cada hoja. La variedad presentó dicha variación a partir de la hoja ocho (V_8) hasta la hoja 19 (V_{19}), esto se nota en el aumento de días observado en el intervalo de confianza presentado en el tiempo termal. Mientras que el híbrido la presentó desde la hoja dos (V_2) hasta la hoja siete (V_7). Sin embargo, ambos materiales finalizan el ciclo con valores de tiempo termal muy similares (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cálculo de días y tiempo termal en que se formó cada hoja para los cultivares de maíz IDIAP-MV-1102 y P-4226.

	AMBOS CULTIVARES		IDIAP-MV-1102		P-4226	
	Días	Intervalo Confianza	°Cd	Intervalo Confianza	°Cd	Intervalo Confianza
V_1	3	0,1	59	2	58	2
V_2	7	0,2	117	3	119	4
V_3	10	0,2	171	4	166	5
V_4	12	0,3	216	5	210	7
V_5	15	0,2	264	4	254	6
V_6	18	0,2	317	4	306	7
V_7	21	0,3	370	4	356	5
V_8	24	0,4	417	7	413	6
V_9	27	0,5	474	8	470	6
V_{10}	30	0,6	523	9	516	5
V_{11}	33	0,6	567	10	561	8
V_{12}	36	0,6	602	11	597	9
V_{13}	38	0,6	641	12	640	8
V_{14}	40	0,6	682	11	683	9
V_{15}	43	0,6	717	11	722	9
V_{16}	45	0,6	755	12	755	8
V_{17}	47	0,6	789	11	783	7
V_{18}	48	0,5	815	9	809	6
V_{19}	50	0,5	840	9	832	6
V_{20}	51	0,4	861	8	861	10

El tiempo promedio en días, requerido para la salida de una hoja nueva desde V_1 a la V_{11} , fue de aproximadamente tres días. Mientras que desde la V_{12} en adelante ese tiempo se acortó, necesitando aproximadamente dos días para la formación de cada hoja (Figura 4). Este comportamiento sugiere que a partir de la V_{11} el crecimiento se acelera, lo que se refleja en un rápido crecimiento de las plantas.

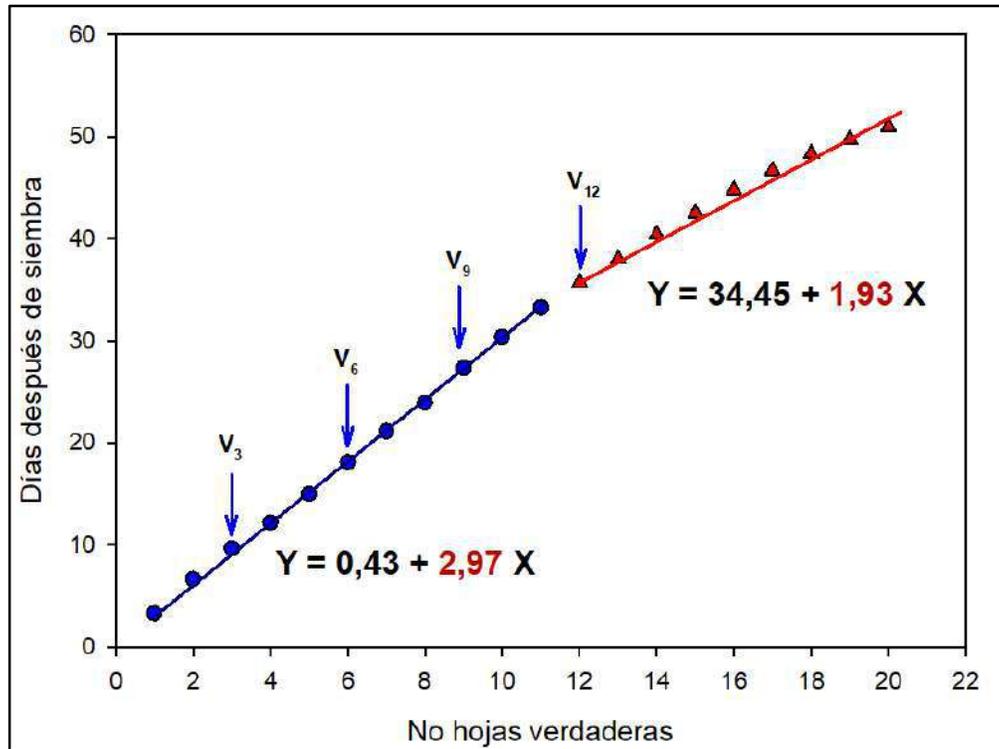


Figura 4. Días requeridos para la aparición de cada hoja para los cultivares de maíz IDIAP-MV-1102 y P-4226.

El tiempo termal de V_1 a V_{11} requiere aproximadamente 51°Cd para la formación de cada hoja. Mientras que de la V_{12} hasta la última hoja, las unidades calóricas para cada hoja se acortó; se necesitó aproximadamente 33°Cd para la formación de cada hoja (Figura 5). Por el contrario, resultados de otros autores indican que, se necesitan en promedio 25°Cd para iniciar cada hoja sucesiva en maíz. En un ambiente de temperatura promedio de 25°Cd (15 unidades de calor por día), una hoja sucesiva se inicia cada 1,7 días (Edmeades *et al.* 1992).

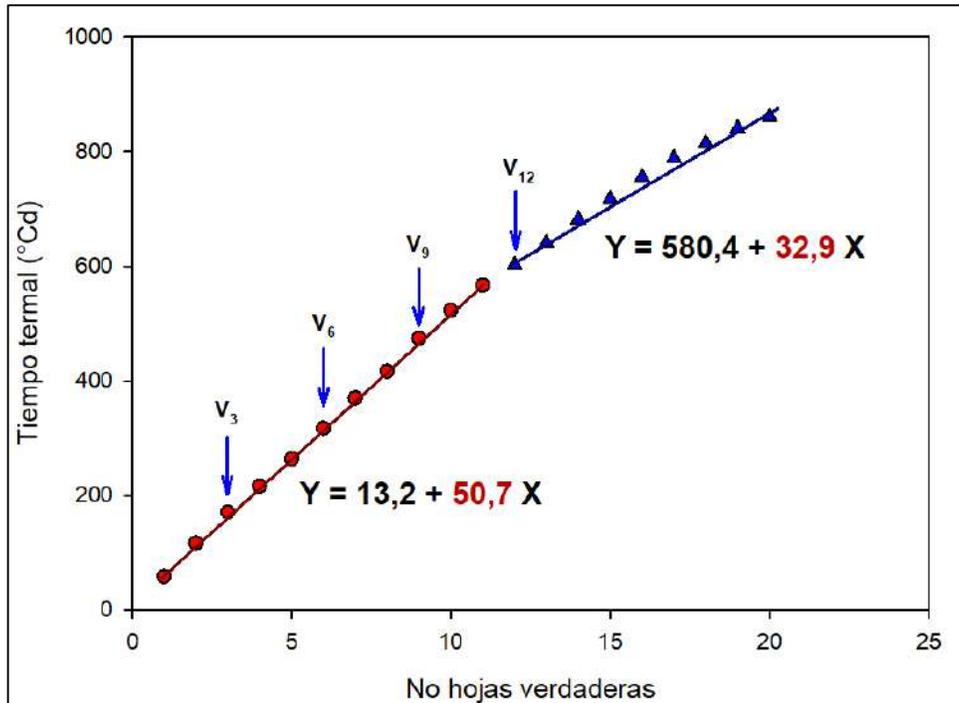


Figura 5. Tiempo termal requerido para la aparición de cada hoja para la variedad IDIAP-MV-1102 y el híbrido P-4226.

El IDIAP-MV-1102 presentó la finalización del periodo juvenil a los $24 \pm 0,4$ días con un tiempo termal acumulado de $370 \pm 4^\circ$ Cd. Mientras que en el P-4226 el fin de la etapa juvenil fue a los $25 \pm 0,9$ días, con un tiempo termal acumulado de $417 \pm 7^\circ$ Cd (Cuadro 3). Este evento sucedió en la planta durante la hoja siete (V_7). Esta etapa es de suma importancia para el manejo agronómico del cultivo, ya que situaciones metabólicas estresantes como la que se da producto de la aplicación de herbicidas a base de sulfonilurea durante o después de la V_7 puede reducir el número de hileras de granos. Esto es muy similar a lo presentado por Esteves *et al.* (2012), quien en el 2004 mostró resultados de la evaluación de tres materiales un híbrido de Pioneer y dos variedades. Investigación realizada en Puerto Rico donde la diferenciación de la yema apical o finalización del periodo juvenil se observó a los 24, 26, 27 y 31 dds, para el híbrido Pioneer, Mayorbela, Diente de Caballo y Chulo, respectivamente.

Cuadro 3. Finalización de la etapa juvenil (V_7) en días y tiempo termal para IDIAP-MV-1102 y P-4226.

	Días	°Cd
IDIAP-MV-1102	24 ± 0,4	370 ± 4
P-4226	25 ± 0,9	417 ± 7

Ambos materiales utilizaron la misma cantidad de días y tiempo termal para su período de antesis (V_T) y barbeo (R_1) (Cuadro 4). La floración en maíz se reconoce por el derramamiento de polen de las anteras de la espiga (antesis) y la emisión de los estigmas del jilote o barbeo. Esto coincide con lo presentado por Bolaños y Edmeades (1993) donde indica que la antesis normalmente ocurre de uno a dos días antes que la emisión de los estigmas, pero con estrés la emisión de los estigmas se retrasa.

Cuadro 4. Tiempo termal y días para la antesis (V_T) y barbeo (R_1) en IDIAP-MV-1102 y P-4226.

Cultivar	Antesis (V_T)		Barbeo (R_1)	
	DDS	°Cd	DDS	°Cd
IDIAP-MV-1102	51 ± 0,5	905 ± 12	52 ± 0,6	945 ± 12
P-4226	51 ± 0,5	905 ± 12	52 ± 0,6	945 ± 12

Una vez finalizó la etapa vegetativa (V) con la aparición de la última hoja, se dio inicio a la etapa reproductiva (R). Para ambos cultivares el fin de la etapa vegetativa (R_1) se dio a los 54 ± 0,9 dds acumulando 949 ± 7,7° Cd. La R_2 (fase de ampolla) se presentó 10 días después de la emisión de los estigmas y acumuló 1162 ± 18,0° Cd. En esta etapa los granos son blancos, similares a una ampolla y contienen un fluido claro. Los granos contienen cerca de 85% de humedad. El embrión se desarrolla en cada grano. La división celular está completa y comienza el llenado de grano. Once días después los granos pasan al estado lechoso o R_3 acumulando un tiempo termal de 1319 ± 17° Cd. En esta etapa los estigmas se secan y los granos alcanzan su color final. Estos contienen un fluido lechoso que puede ser extraído al presionarlos entre los dedos. Este fluido es el resultado de la acumulación de almidón. Catorce días después de la R_3 (aproximadamente 26 a 30 días después de floración) los granos pasan al estado de masa o R_4 con 1449 ± 16° Cd acumulados. En esta etapa el almidón acumulado en los granos adquiere una consistencia masosa. Ocurre una rápida acumulación de almidón y nutrientes, los granos poseen un 70% de humedad y comienzan a dentarse en su extremo superior. A continuación, pasan

al estado de R₅ (fase dentada) donde la mayoría de los granos están dentados. La humedad de los granos se ha reducido a un 55%, mientras que el contenido de almidón ha aumentado. Para llegar a esta fase los cultivares acumularon 1926° Cd y la misma se presentó cuatro días después de la R₄. Por último, los granos pasan a la madurez fisiológica (R₆), y se caracteriza por presentar una capa negra que se forma en la base del grano, impidiendo el movimiento de materia seca y nutriente desde la planta hacia el mismo. Los granos alcanzan su máximo peso (30% a 35% humedad) y se encuentran fisiológicamente maduros (Figura 6).

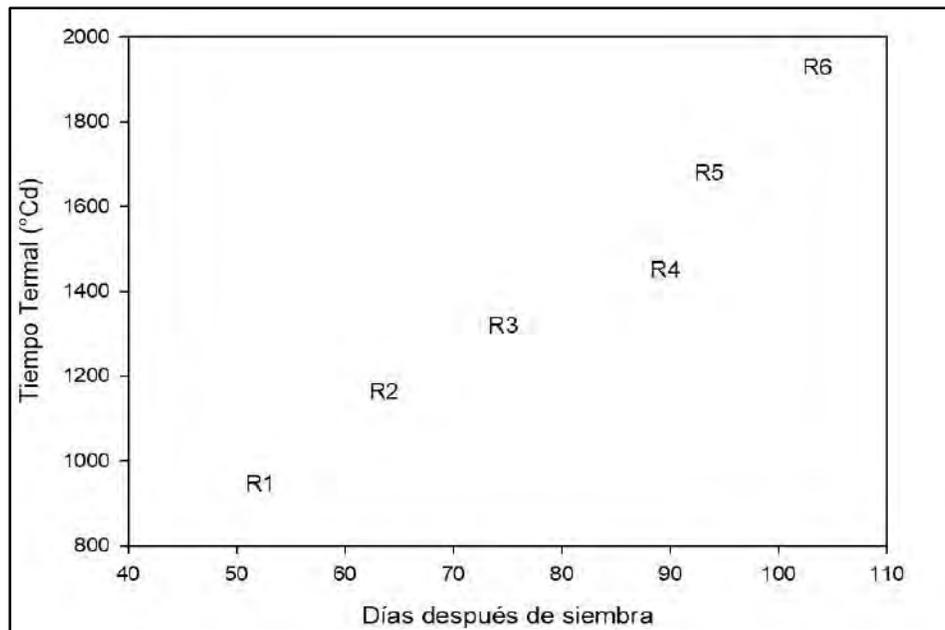


Figura 6. Etapas reproductivas de los cultivares de maíz evaluados, IDIAP-MV 1102 y P-4226.

La fase de llenado de grano inició después de la polinización y determina el peso final del grano y de la mazorca. El peso de grano está correlacionado con la duración y la cantidad de radiación interceptada durante esta fase, y es afectada por estreses hídricos y nutricionales (Fischer y Palmer 1984). El híbrido P-4226 superó la ganancia de peso con $0,12 \text{ g.día}^{-1}$, debido a que los híbridos expresan mayor potencial genético que las variedades (Figura 7).

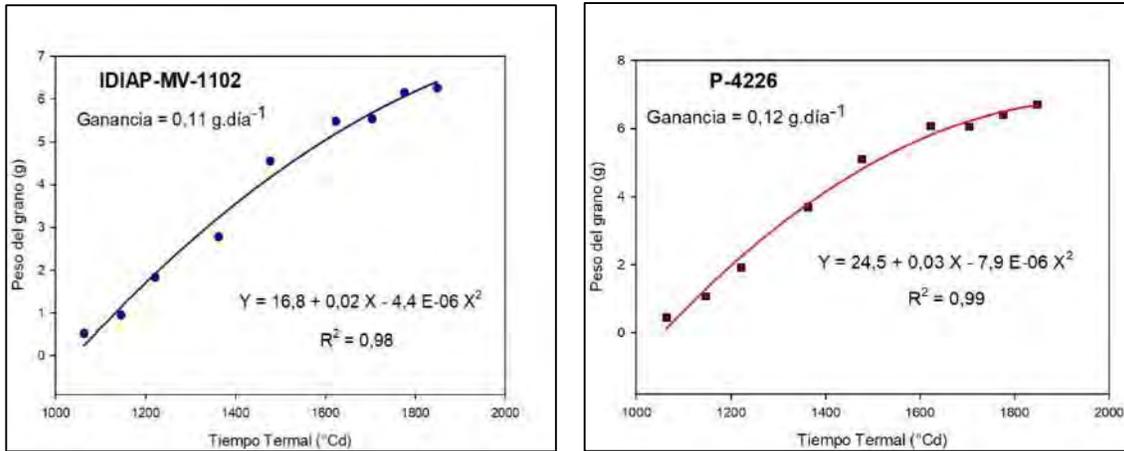


Figura 7. Ganancia diaria del peso de grano de la variedad IDIAP-MV-1102 y el híbrido P-4226.

De los dos cultivares evaluados el híbrido superó a la variedad en peso de mazorca (221,0 g vs 166,0 g) y número de granos por mazorca (488,9 granos vs 425,6 granos) (Figura 8). El número de granos es el principal componente del rendimiento y se encuentra estrechamente ligado a factores genéticos, ambientales y de manejo (Egli 1998). Si bien, el número de granos por unidad de área es el principal componente del rendimiento, las variaciones en el peso individual de los granos pueden producir fuertes variaciones en la productividad del maíz (Borrás y Gambín 2010). Un factor a tener en cuenta es la temperatura, ya que a partir de 30° C comienza a reducirse la tasa de fotosíntesis neta en maíz (Crafts-Brandner y Salvucci 2002), lo cual podría haber afectado la tasa de llenado de granos generando así una importante disminución del peso final a cosecha.

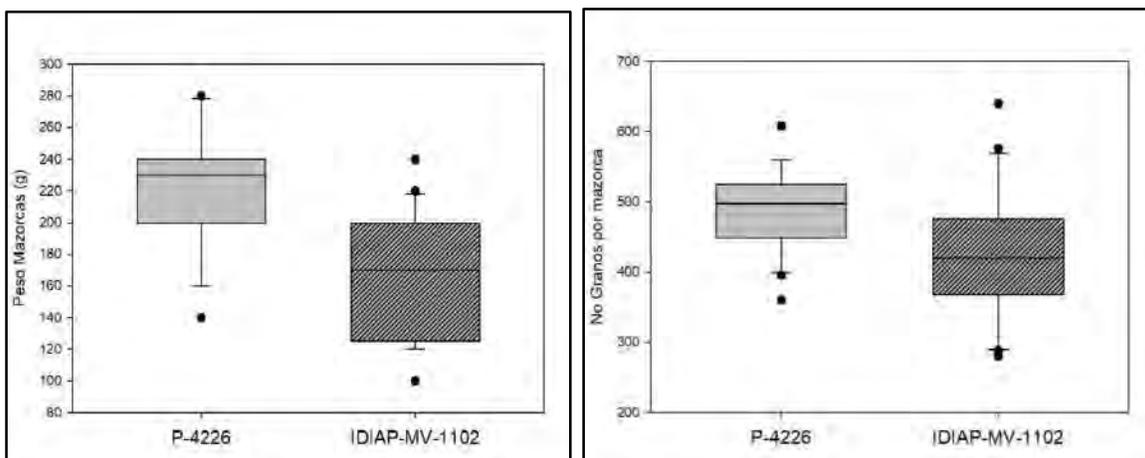


Figura 8. Peso y número de granos por mazorca por tipo de cultivar evaluado.

El híbrido P-4226 presentó mayor expresión en todos los componentes de rendimiento como peso de mazorca, número de granos por mazorca y número de granos por hilera (Cuadro 5). El híbrido presentó un índice de cosecha de 28,2%, mientras que en la variedad fue de 23,3%, (Cuadro 5). También se encontró que el peso de los granos del híbrido superó al de la variedad (76,4 g vs 53,7 g). Trabajos realizados en comunidades de la región de Chiapas, México corroboran que la mayor altura de la planta mostrada por las variedades locales no es un indicador deseable en el cultivo del maíz. De ahí que la acumulación de biomasa del tallo sea uno de los que mayor inciden en la disminución del índice de cosecha en las condiciones edafoclimáticas de la comunidad (Rodríguez *et al.* 2016). La importancia del índice de cosecha se refiere a una serie de evidencias sobre su utilidad para modelar el crecimiento de variedades de maíz, según Monteith 1996. Otros autores sugieren que este indicador se comporta relativamente constante dentro de los ámbitos de interés económico de uso de fertilizantes y de tipos de variedades híbridos y criollos, lo cual no corresponde con los resultados aquí mostrados (Turrent *et al.* 2006).

Cuadro 5. Componentes del rendimiento para los cultivares de maíz P-4226 e IDIAP-MV-1102.

	P-4226	IDIAP-MV-1102
Peso de mazorca (g)	221,0	166,0
Número de granos/mazorca (g)	488,9	425,6
Número de hileras/mazorca	12	14
Número de granos/hileras	38	30
Peso/planta (g)	271,3	229,9
Peso de granos (g)	76,4	53,7
Índice de cosecha (%)	28,2	23,3

Ambos cultivares presentaron comportamientos similares en la producción de biomasa. Aunque la ganancia de peso en el híbrido fue ligeramente superior (59,5 g/día) en comparación al encontrado para la variedad cuya tasa de crecimiento fue 53,2 g/día (Figura 9).

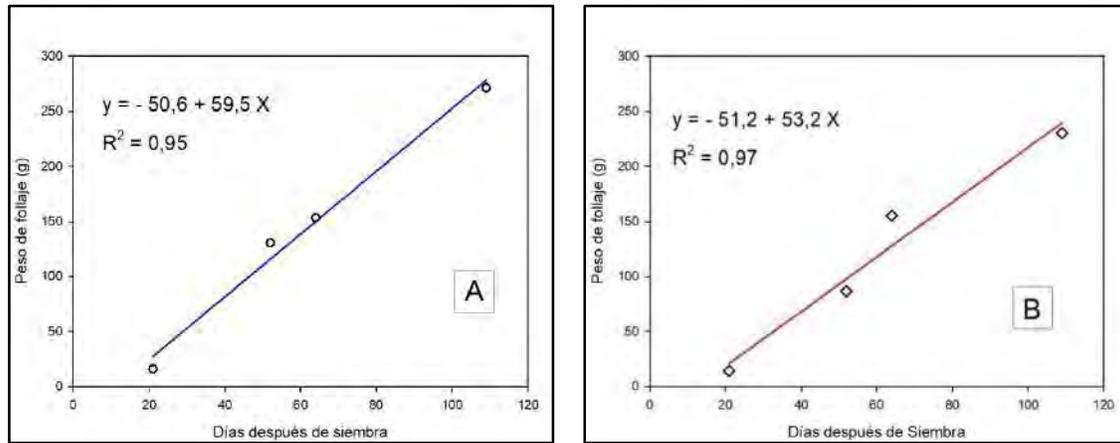


Figura 9. Evolución del follaje para el híbrido P-4226 (A) y la variedad IDIAP-MV-1102 (B).

La descripción fenológica completa de ambos cultivares es de suma importancia para el entendimiento de los eventos fenológicos. La duración de cada una de estas fases o etapas depende del genotipo, del fotoperíodo y de la temperatura. La edad cronológica del cultivo al final del ciclo productivo fue de 118 días equivalente a $2011,80^{\circ} \text{Cd}$, el período vegetativo culminó con 20 hojas expandidas en la variedad y el híbrido, respectivamente. La acumulación máxima de unidades de calor o tiempo térmico fue de $889,43^{\circ} \text{Cd}$ al final del período expandido. El IDIAP-MV-1102 durante el período vegetativo utilizó 890°Cd de tiempo termal acumulado con un intervalo de confianza de $\pm 9,87$ y para el período reproductivo utilizó 1926°Cd de tiempo termal con un intervalo de confianza de $\pm 17,39$. De igual manera, se dio un aumento en el peso del grano conforme evoluciona su desarrollo hasta alcanzar la madurez fisiológica a los 112 días después de la siembra. El P-4226 alcanzó la madurez fisiológica a los 104 dds. Este material utilizó un tiempo termal de $889 \pm 9,17^{\circ} \text{Cd}$ en el período vegetativo y en el período reproductivo presentó un tiempo termal de $1755 \pm 25,74^{\circ} \text{Cd}$ (Figuras 10 y 11).

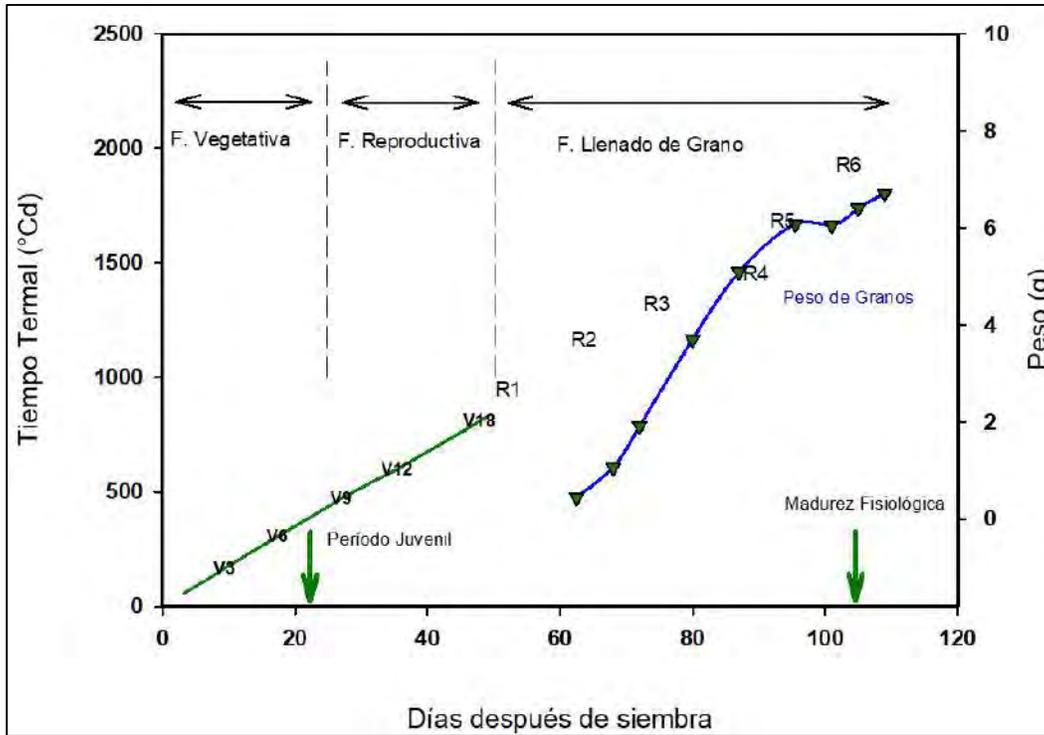


Figura 10. Descripción fenológica del híbrido de maíz P-4226.

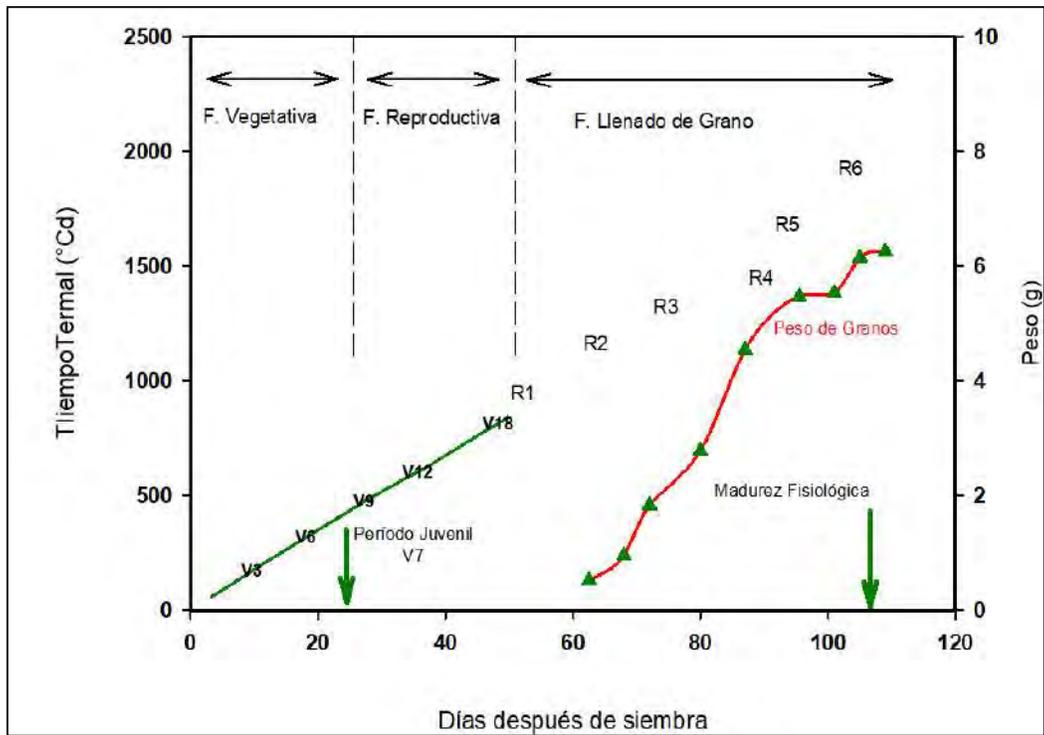


Figura 11. Descripción fenológica de la variedad de maíz IDIAP-MV-1102.

CONCLUSIONES

- Se determinaron los coeficientes genéticos para la variedad IDIAP-MV-1102 y el híbrido P-4226.
- La variedad IDIAP-MV-1102 demandó mayor acumulación de tiempo termal y días a la madurez fisiológica.
- La fase de llenado granos determina el peso final de los mismos.
- La mayor ganancia de peso del híbrido P-4226 se debe a una mejor eficiencia en la fase de llenado de granos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bolaños, J; Edmeades, GO. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior. *Field Crops Research*. México. 31:253-272.
- Bolaños, J; Edmeades, G. 1992. La fenología del maíz. *In Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, 1992*. J. Bolaños, G. Saín, R. Urbina y H. Barreto (Editores). México. 4:251-261.
- Borrás, L; Gambín, B. 2010. Trait dissection of maize kernel weight: towards integrating hierarchical scales using a plant growth approach. *Field Crops Res*. 118:1-12.
- Campbell, G; Stockle, C; Martin, S. 1994. CropSyst, a cropping systems simulation model: hwater/nitrogen budgets and crop yield. *Agricultural systems* 46(3):335-359.
- Corrales, L. 2010. Informe Final Efectos del Cambio Climático para Centroamérica. Cuarto Informe. Estado de la región. 18 p.
- Crafts-Brandner, S; Salvucci, M. 2002. Sensitivity of photosynthesis in C4 plants, maize, to heat stress. *Plant Physiology*. Arizona. 129:1773-1780.

- Edmeades, GO; Ellis, RH; Lafitte, HR. 1992. Photothermal responses of tropically-adapted maize. Trabajo presentado en 84^{ava} reunión anual de American Society of Agronomy. ASA Abstracts. 124 p.
- Egli, B. 1998. Seed biology and the yield of grain crops. CAB International, New York. 178p.
- Esteves, M; Román-Paoli, E; Beaver, JS; Muñoz, M; Armstrong, A. 2012. Determinación de coeficientes genéticos en tres cultivares y un híbrido de maíz. J. Agric. Univ P.R. 96(1-2):57-75.
- Fischer, K; Palmer, A. 1984. Tropical maize. In Goldsworthy, PR and Fischer, NM. (eds). The physiology of tropical field crops. John Wiley & Sons. New York. p. 213-248.
- Gordón, R. 2012. Manejo Integral del Cultivo de Maíz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá. 18 p.
- Holdridge, LR. 1967. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Ecología basada en zonas de vidas. San José, CR. 206 p.
- Jones, CA; Kiniry, JR. 1986. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A & M University Press, College Station, 144 p.
- Monteith, JL. 1996. "The Quest for Balance in Crop Modeling". *Agronomy Journal* 88:(5):695-697.
- Mora, J; Ramírez, D; Ordaz, JL; Acosta, A; Serna, B. 2010. Efectos Del Cambio Climático Sobre La Agricultura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) Sede Subregional en México. Panamá. 71 p.
- Nelson, G; Rosegrant, M; Koo, J; Robertson, R; Sulser, T; Zhu, T; Ringler, C; Msangi, S; Palazzo, A; Batka, M; Magalhaes, M; Valmonte-Santos, R; Ewing, M; Lee, D. 2009. Cambio Climático El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI Washington, D.C. 19p.

- Rodríguez, L; Hernández, F; Cruz, J; Marto, J; Ortiz, R. 2016. Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) en comunidades de la Región Frailesca de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales* 37(3):137-145.
- Turrent, A; Barrios, A; Otero, A; Ariza, R; Michel, A. 2006. Efectos de la interacción genotipos x prácticas de manejo sobre el índice de cosecha de híbridos de maíz bajo riego. *Asociación Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América* 31(7):530-544.
- Villarreal, J; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá. 110 p.
- Yzarra, W; Trebejo, I; Noriega, V. 2009. Evaluación de unidades térmicas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays*, L.) en la costa central del Perú. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA* no. 1:1-10.

ÍNDICE HÍDRICO DE DOS CULTIVARES DE MAÍZ BAJO DOS SISTEMAS DE SIEMBRA¹

**Jorge Iván Núñez-Cano²; Román Gordón-Mendoza³; Jorge Franco-Barrera⁴;
Jorge Jaén-Villarreal⁵; Ana Sáez-Cigarruista⁶; Francisco Ramos-Manzané⁷;
Aurisbel Ávila-Guevara⁸**

RESUMEN

Este ensayo se realizó en El Ejido, Los Santos, con el objetivo de determinar el índice hídrico de dos cultivares de maíz (híbrido y variedad) mediante la utilización de la temperatura de la planta, bajo dos sistemas de siembra (riego y seco). Se realizaron muestreos cada 10 días en los que se determinó la temperatura del follaje del cultivo y del suelo con la utilización de un termómetro infrarrojo digital. La humedad del suelo se determinó por gravimetría, tensiómetro y bulbos medidores de humedad. El contenido de clorofila, con un clorofilómetro. El índice hídrico, por diferencia entre la temperatura del cultivo y la del aire. Índice hídrico y biomasa del híbrido en seco estaban correlacionados ($R^2 = 0,79$). A menos índice, mayor porcentaje de biomasa. También había correlación entre índice hídrico y contenido de clorofila ($R^2 = 0,53$), en la misma etapa. Se observó tendencia a incrementarse el índice hídrico. La variedad se comportó similarmente; el índice hídrico se correlacionó con el porcentaje de biomasa y el contenido de clorofila con R^2 de 0,53 y 0,70, respectivamente. El rendimiento del híbrido y la variedad, sembrados bajo riego en agosto, fue superior al obtenido en seco. En las siembras de octubre, el rendimiento de ambos cultivares fue muy similar en riego y seco.

Palabras claves: riego, seco, temperatura del follaje y suelo, contenido de clorofila, biomasa.

¹ Recepción: 7 de septiembre de 2018. Aceptación: 9 de noviembre de 2018. Trabajo financiado por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Programa: Investigación e Innovación para la Competitividad del Agro Negocio.

² Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). Ing. Agr. Fitotecnia. e-mail: jorgenunezcano@gmail.com.

³ IDIAP. CIAA. M.Sc. Entomología. e-mail: gordon.roman@gmail.com

⁴ IDIAP. CIAA. M.Sc. Ciencias Ambientales. e-mail: joenfra13@gmail.com

⁵ IDIAP. CIAA. Ing. Agr. en Cultivos Tropicales. e-mail: jorgejaen02@gmail.com

⁶ IDIAP. CIAA. Ing. Agr. en Cultivos Tropicales. e-mail: ansacig@gmail.com

⁷ IDIAP. CIAA. Ing. Agr. e-mail: franciscoramos2016@gmail.com

⁸ IDIAP. CIAA. Ing. en Ambiente y Desarrollo. e-mail: aurisbel.a@hotmail.com



WATER INDEX OF TWO MAIZE CULTIVARS UNDER TWO SEED SYSTEMS

ABSTRACT

This trial was realized at El Ejido, Los Santos, with the objective of determining the water index of two maize cultivars (hybrid and variety) through the plants temperature, under two planting systems (irrigation and rainfed). Samples were taken every 10 days with a digital infrared thermometer to determine foliage and soil temperatures. Soil humidity was determined by gravimetry method, tensiometer and humidity measuring bulbs. Chlorophyll content was measured with a chlorophyll meter. Water index, as the difference between crop and air temperatures. Water index and hybrid biomass under rainfed conditions were correlated ($R^2 = 0,79$). The less the index, the largest the biomass percentage. At the same stage, water index and chlorophyll content were also correlated ($R^2 = 0,53$). There was observed a tendency to an increase in soil temperature as water index increasing. Maize variety similarly; water index was correlated to biomass percentage and chlorophyll content, with R^2 of 0,53 and 0,70 respectively. Yields of hybrid and variety, planted in August under irrigation, were superior to those obtained under rainfed conditions. For October plantings, yields of both cultivars were very similar under irrigation and rainfed conditions.

Key words: irrigation, rainfed, foliage and soil temperature, chlorophyll content, biomass.

INTRODUCCIÓN

En condiciones de campo el maíz está sometido a la interacción temporal y espacial de muchos factores, incluidos entre ellos las elevaciones de temperatura y las restricciones hídricas. De los estudios de ambos factores en forma aislada, es posible vislumbrar algunos de los posibles efectos que podría originar la incidencia conjunta de estos estreses sobre el crecimiento del cultivo de maíz. Las altas temperaturas usualmente causan cierre estomático y al aumento en la concentración interna de CO_2 por elevación de la respiración (Marshall 1979). Por otro lado, la temperatura es el elemento primario que influye sobre el desarrollo del maíz. Los cultivares se clasifican como de madurez temprana o tardía en base a sus requerimientos térmicos para cumplir ciertas etapas del desarrollo. El tiempo térmico es una medida de la temperatura acumulada por encima de un mínimo y por debajo de un máximo adecuados para el desarrollo. Las unidades de tiempo térmico son los grados-días. La floración es generalmente usada como el evento del desarrollo que caracteriza los cultivares como tempranos o tardíos (Yzarraga *et al.* 2010).

La utilización de la temperatura de los cultivos para detectar el estrés hídrico de las plantas se basa en la asunción de que la transpiración evapora agua y enfría las hojas por debajo de la temperatura del aire que las rodea. Cuando la disponibilidad hídrica es limitada, la transpiración se reduce y la temperatura foliar aumenta. Si la cantidad de agua transpirada es pequeña, es normal que las hojas se calienten por encima de la temperatura del aire, lo que se justifica por la absorción de la radiación (Burgos *et al.* 1998). Estudios realizados por Pinter y Reginato (1982) en Arizona demostraron que el algodón sin estrés hídrico mantenía una temperatura del follaje en 5 °C y 10 °C por debajo de la temperatura del aire.

La estimación del contenido de agua en la vegetación se puede llevar a cabo por tres métodos distintos: muestreo de campo, información meteorológica y percepción remota. El método de campo es quizás el más preciso y directo, pero tiene el inconveniente de ser costoso, lento y destructivo. El modelado de escenarios de cambio climático para Panamá reveló modificaciones en el Arco Seco. En relación con los patrones de temperatura y precipitación. Estas incluyen un ambiente más cálido, de 2 °C a 3 °C sobre las temperaturas actuales, en tanto que la variación en los patrones de lluvia podría estar en el rango de más o menos 10% (ANAM 2011). Buscar alternativas que contribuyan a enfrentar estos cambios en la agricultura es uno de los principales retos. La determinación del índice de estrés hídrico en el cultivo utilizando la temperatura del follaje permite reducir tiempo y esfuerzos que se realizan con los sistemas actuales de detección. La información generada en conjunto con otras variables de suelos tales como el punto de marchites permanente, capacidad de campo, velocidad de infiltración entre otras podría ser utilizada para crear un sistema de percepción remota de estrés hídrico del cultivo.

El objetivo de este trabajo fue la determinación del índice hídrico de dos cultivares de maíz mediante la utilización de la temperatura de la planta bajo dos sistemas de siembra y su efecto en el desarrollo de la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en la Estación Experimental de El Ejido ubicada en la provincia de Los Santos a 7° 58' latitud norte y 80° 22' longitud oeste. En un suelo alfisol de mediana fertilidad, pH ácido y textura franco arcillosa. La siembra se realizó en los meses de agosto y octubre utilizando como material genético la variedad IDIAP-IMV-1102

y el híbrido simple 30F-35. El ensayo constó de un total de 360 m², en donde cada unidad experimental fue de 90 m², constituida por 12 hileras de 10 m de largo y separadas a 0,75 m entre ellas y 0,20 m entre plantas. Cada unidad experimental se estableció en condiciones de riego por goteo y secano en dos fechas de siembra.

La fertilización base se realizó a razón de 200 kg de N ha⁻¹, utilizando como fuente la urea (46% N) con el siguiente fraccionamiento: 10% a la siembra, 40% a los 21 días después de la siembra (dds) y 50% a los 35 dds. También se le aplicó 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 20 kg K₂O ha⁻¹ al momento de la siembra. El control de malezas se realizó con aplicaciones pre-emergentes de herbicidas, complementado con controles posteriores de tipo manual (Gordón 2007). Al momento de la siembra se realizó el primer muestreo en el cual se determinó la temperatura y la humedad del suelo. Posteriormente, se realizaron muestreos cada 10 días, hasta alcanzar la madurez fisiológica del cultivo.

Variables climáticas: Se utilizaron los registros de la temperatura ambiental del sitio experimental (T_a) registrando la temperatura máxima, mínima y promedio en °C, Humedad Relativa en porcentaje (máxima, mínima y promedio). Estos registros fueron suministrados por el proyecto de Red Agroclimática de IDIAP.

Temperatura del cultivo y del suelo: La temperatura del cultivo (T_c) se determinó con la utilización de un termómetro infrarrojo digital. La lectura se tomó a las dos de la tarde en los días de muestreo, hora en la cual las plantas sufren un mayor estrés hídrico. Se evitó la sombra con el cuerpo del operador o de parcelas vecinas. Se tomaron tres lecturas (norte, sur y oeste) a una distancia de 0,50 m de cada unidad experimental (Pask *et al.* 2013). La temperatura del suelo (T_s) se tomó apuntando directamente sobre el suelo en cada una de las muestras del T_c.

Índice hídrico por temperatura (T_c – T_a): El índice hídrico se obtuvo como resultado de la diferencia entre la temperatura del cultivo y la temperatura del aire. Un índice hídrico con valores positivos indica que la planta está sometida a un estrés hídrico, si es negativo la planta no presenta estrés hídrico (Burgos *et al.* 1998).

Contenido de humedad del follaje (CHc): Se tomaron dos plantas por muestreo a las cuales se les determinó el peso húmedo de la misma (P_h), luego se llevaron al horno por

48 horas a 60 °C y se determinó el peso seco (P_s). Luego se calculó el contenido de humedad en la planta (CH) expresado en porcentaje.

$$CH = ((P_h - P_s) / P_s) * 100.$$

Contenido de humedad del suelo (CHs): Se determinó por el método gravimétrico (CIMMYT 2013).

Contenido de clorofila: Se determinó con la ayuda de un clorofilómetro SPAD-502 de Minolta®. En cada muestreo se determinó el contenido de clorofila a 10 plantas y se estimó el promedio de las mismas para su análisis.

Análisis estadístico: Se realizaron análisis de correlación de Pearson entre el índice hídrico, contenido de humedad en la planta, humedad en el suelo, clorofila y porcentaje de biomasa. De igual forma se realizaron análisis de regresión lineal simple de acuerdo al siguiente modelo:

$$y = a + bx$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo de regresión lineal utilizado explicó el 91% y 93% de la variabilidad existente en la humedad de la planta en función del índice hídrico para el híbrido en secano y con riego, respectivamente. En ambos sistemas se observó una correlación negativa entre el índice hídrico y el porcentaje de humedad de la planta. En el sistema en secano el índice hídrico presentó valores positivos durante el 50% del ciclo del cultivo (5 de 10 valores medidos durante el desarrollo del cultivo). Estos índices positivos coincidieron con los valores bajos en el porcentaje de humedad de la planta. Por su parte, en el sistema con riego los valores positivos del índice hídrico se presentaron en el 20% del tiempo, es decir, dos valores de diez mediciones durante el ciclo del cultivo (Figura 1).

En el sistema bajo secano la pendiente de la curva fue tres veces más baja a la pendiente de la curva en el sistema bajo riego, siendo ésta más horizontal. Para un valor determinado de porcentaje de humedad de la planta, la misma presenta un índice alto, indicando que la temperatura de la planta es mayor que la temperatura ambiental. Esto sugiere un mayor estrés hídrico de la planta bajo el sistema de siembra en secano en comparación a las plantas bajo riego.

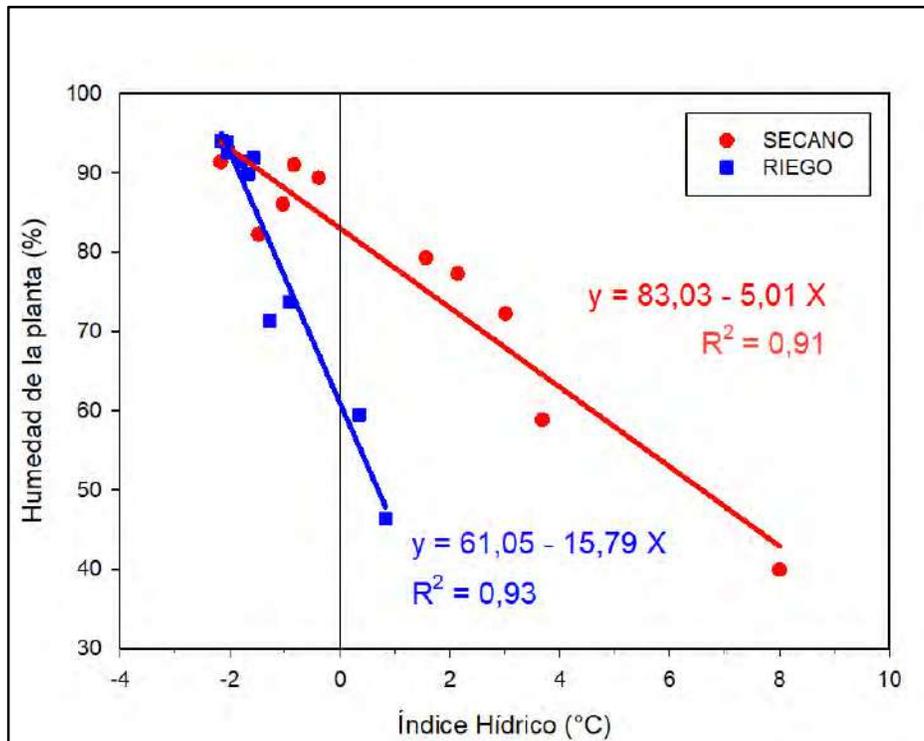


Figura 1. Relación entre el índice hídrico y el porcentaje de humedad de la planta en el híbrido según sistema de riego y en secano.

El porcentaje de humedad en la planta aumentó en la variedad, conforme disminuyó el índice hídrico (Figura 2). Los valores altos en el contenido de humedad de la planta se presentaron a valores bajos del índice hídrico. Estos valores bajos en el índice hídrico indican que la temperatura de planta estuvo por debajo de la temperatura ambiente. La pendiente de la curva para la siembra bajo el sistema en secano es menor que la siembra bajo sistema de riego. La evaporación del agua en la superficie de la hoja al producirse la transpiración disminuye su temperatura y así tolera mejor el calor. Una planta bien hidratada presenta una alta tasa de evapotranspiración. Debido a que el grado de hidratación de la hoja, determina la turgencia de las células alrededor de los estomas (células oclusivas y células epidérmicas adyacentes). Con ello la mayor o menor apertura de los estomas (Carrasco 2007).

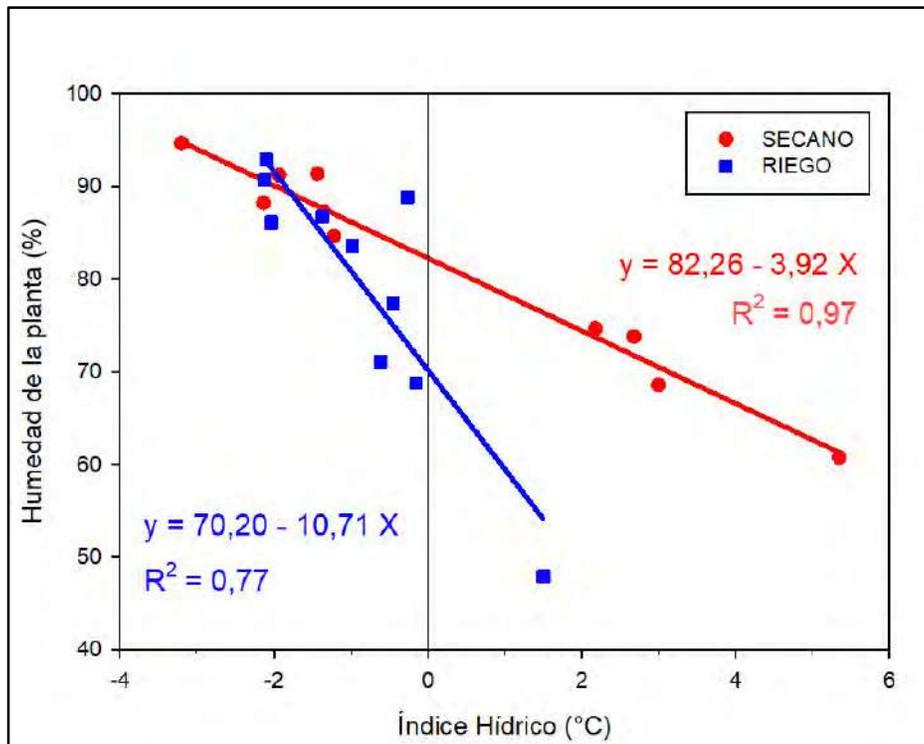


Figura 2. Relación entre el índice hídrico y el porcentaje de humedad de la planta en la variedad según sistema de riego y en seco.

La humedad del suelo presentó una relación negativa con el índice hídrico en los dos cultivares en la siembra bajo el sistema en seco (Figura 3). La transpiración es la responsable de generar un aumento en el gradiente de potencial hídrico en la planta. El híbrido presentó valores altos del índice hídrico que la variedad. Esto indica que la variedad es más tolerante al estrés hídrico en comparación con el híbrido, ya que logró mantener la temperatura de sus hojas a valores más próximos a la temperatura del ambiente.

El agua se evapora en las hojas a través de los estomas, en mayor o menor medida en función, principalmente, del potencial hídrico del suelo. La velocidad con la que el agua pasa del suelo a las raíces depende del tipo de suelo y de su contenido hídrico. Un suelo arcilloso está formado por partículas más finas que un suelo arenoso. Por tanto, con la misma cantidad de agua, el potencial hídrico del suelo arcilloso es menor que el arenoso (Azcón y Talón 2008).

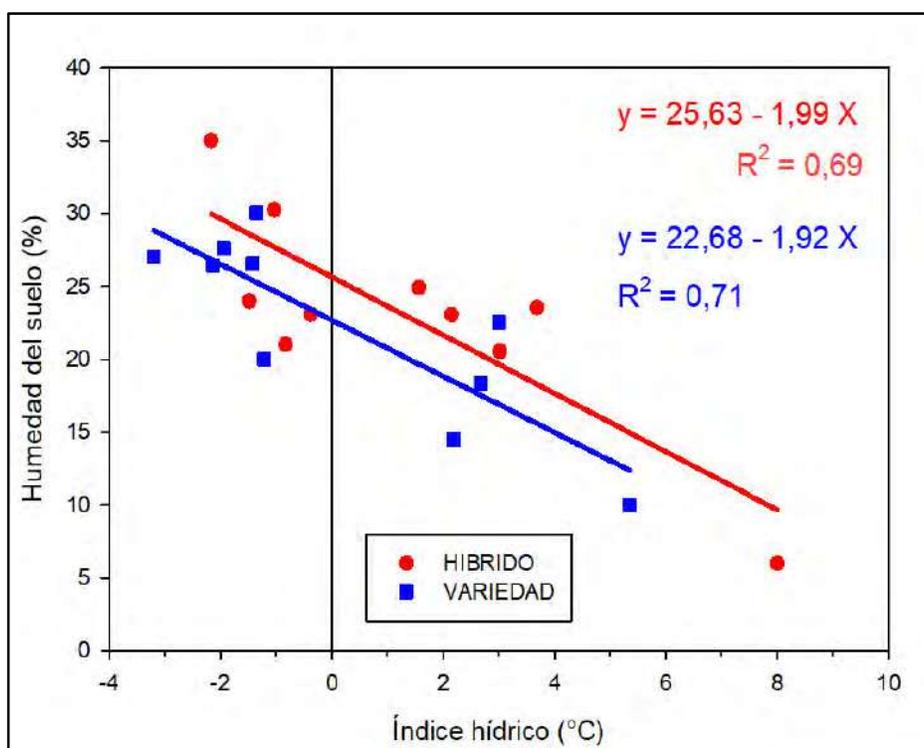


Figura 3. Relación entre el índice hídrico y el porcentaje de humedad del suelo en el híbrido y la variedad en seco.

El contenido de clorofila en la planta se afectó por el índice hídrico. Valores bajos en el índice hídrico se reflejaron en tasas más altas en el contenido de clorofila en la planta. Esta relación negativa puede ser explicada por el mecanismo de cierre de estomas que presentan las plantas. En condiciones de déficit hídrico, temperaturas elevadas y/o luz intensa, los estomas pueden cerrarse en las horas centrales del día para evitar la pérdida excesiva de agua. Si el estrés hídrico es aún más fuerte, solamente se abrirán a primera hora de la mañana. Aumentando la transpiración y disminuyendo, por tanto, la eficiencia transpiratoria (Figura 4). La disminución en la tasa transpiratoria limitará el proceso de fotosíntesis por disminuir la incorporación de CO_2 a la planta (Taiz y Zeiger 2002). Resultando perjudicial para la funcionalidad del aparato fotosintético. Estas respuestas fisiológicas podrían ser la base del mayor impacto del estrés térmico en maíz cuando ocurre conjuntamente con deficiencias hídricas (Cakir 2004). El híbrido y la variedad presentaron comportamientos similares, con valores de R^2 de 0,60 y 0,67 respectivamente. Sin embargo, en el híbrido se observa una mejor eficiencia fotosintética que la variedad.

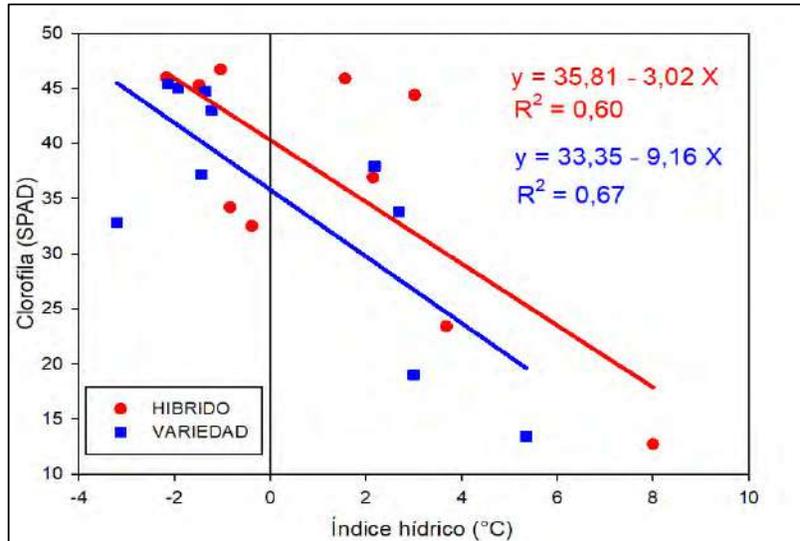


Figura 4. Relación entre el índice hídrico y el contenido de clorofila en el híbrido y la variedad en seco.

A medida que la planta estuvo sometida a un mayor estrés hídrico, mayor fue el porcentaje de biomasa en cada muestreo. El menor contenido de agua en el follaje cuando la planta estuvo estresada pudo haber causado esta relación positiva entre el índice hídrico y el porcentaje de biomasa. El análisis de regresión muestra un coeficiente de determinación mayor para la variedad ($R^2=0,76$) (Figura 5).

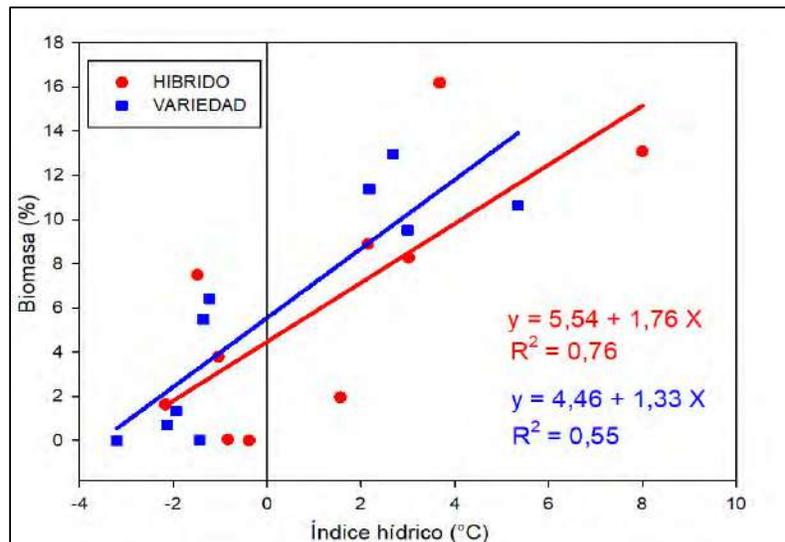


Figura 5. Relación entre el índice hídrico y el porcentaje de biomasa en el híbrido y la variedad en seco.

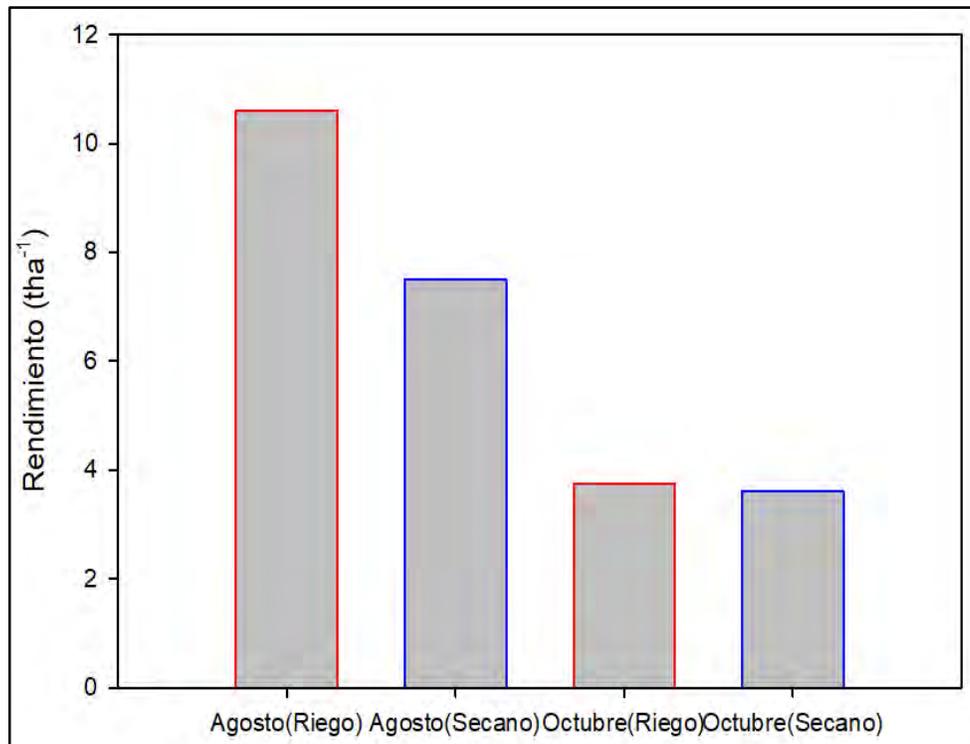


Figura 6. Rendimiento del híbrido por fecha y sistema.

En las siembras de agosto, el estrés hídrico pudo haber afectado el rendimiento de los cultivares. El híbrido con riego obtuvo un rendimiento de 10,6 t.ha⁻¹, mientras que en seco obtuvo 7,5 t.ha⁻¹. En la siembra de octubre el híbrido presentó un rendimiento muy similar con riego de 3,7 t.ha⁻¹ y en seco de 3,6 t.ha⁻¹ (Figura 6). La variedad en la siembra de agosto obtuvo un rendimiento de 6,9 t.ha⁻¹ con riego, siendo mayores que en el sistema de seco en donde obtuvo 5,6 t.ha⁻¹. En la siembra de octubre el rendimiento para la variedad en ambos sistemas fueron de 1,7 t.ha⁻¹ con riego y 0,8 t.ha⁻¹ en seco (Figura 7). Como se puede observar solo en la fecha óptima de siembra (agosto), el estrés hídrico tiene un efecto en el rendimiento en ambos cultivares. En octubre, a pesar de que las plantas fueron sometidas a cierto estrés hídrico se presentó un rendimiento muy similar a las que no lo estaban. Esto indica que el estrés hídrico no es el único factor que afecta el desarrollo del cultivo de maíz. Variables climáticas tales como: radiación solar, temperatura, entre otros; también influyen en el buen desarrollo del cultivo (Sáez 2018).

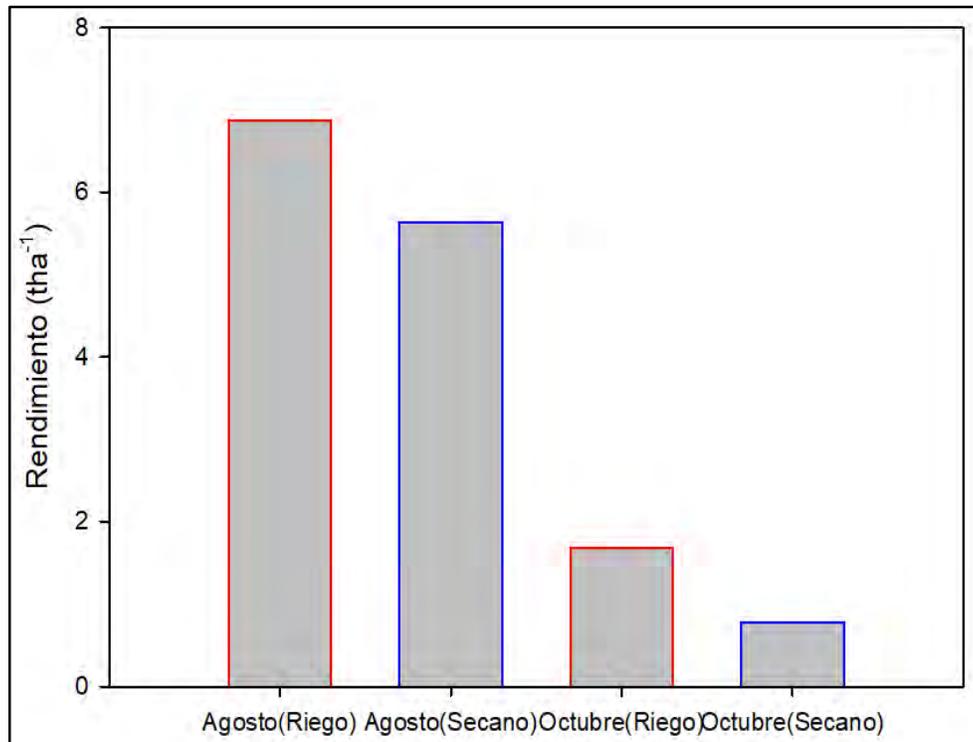


Figura 7. Rendimiento de la variedad por fecha y sistema.

CONCLUSIONES

- El índice hídrico tanto en el híbrido como en la variedad está relacionado con algunas variables de la planta tales como: el porcentaje de humedad, contenido de biomasa y clorofila, lo cual permite su utilización como medida predictiva del contenido de las misma durante el desarrollo del cultivo.
- El contenido de humedad del suelo tiene una relación negativa con el índice hídrico en los dos cultivares. A mayor contenido de agua en el suelo, los valores del índice hídrico disminuyen, sugiriendo que la planta no está bajo estrés hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

- ANAM (Autoridad Nacional Del Ambiente, PA). 2011. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático: ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. – 2a ed.-- Panamá. 170 p.
- Azcón, J; Talón, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal 2ªEd. McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U., Madrid. 669 p.
- Burgos, C; Perdomo, R; Morales, C; Cayón, D. 1998. Efecto de los niveles de agua en el suelo sobre la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). II. Estado hídrico diario de palmas en etapa de vivero. Revista Palmas 19(2): 37-44.
- Cakir R. 2004. Effect of Water Stress at Different Development Stages on Vegetative and Reproductive Growth of Corn. Field Crops Research 89: 1-16.
- Carrasco, J. 2017. Respuesta al estrés hídrico en plantas mediterráneas perspectiva frente al cambio climático. Universidad Complutense. ES. 20 p.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, MX). 2013. Contenido de humedad del suelo. Guía para comparar las prácticas de manejo de cultivo. Programa de Investigación de Cambio Climático. MX. 12 p.
- Gordón, R. 2007. Guía técnica: Manejo integrado del cultivo de maíz 2.ed. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 47 p.
- Marshall, J. 1979. Lösch revisited-again. Journal of Regional Science 19(4): 3.
- Pask, A; Pietragalla, J; Mullan, D; Chávez, P; Reynolds, M. 2013. Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo. México, D.F.: CIMMYT. 140 p.
- Pinter, P; Reginato, R. 1982. A thermal infrared technique for monitoring cotton water stress and scheduling irrigations. Transactions of the ASAE. p. 1651-1655.

Sáez, A. 2018. Efecto del déficit hídrico y temperatura ambiental sobre el cultivo de maíz en El Ejido de Los Santos. Universidad de Panamá. 94 p.

Taiz, L; Zeiger, E. 2002. Fisiología del estrés. In Fisiología Vegetal (Vol.II). Universitat Jaume I, Castelló de la Plana. ES. 1140 p.

Yzarraga, W; Trebejo, I; Noriega, V. 2010. Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 90 p.

ÍNDICE HÍDRICO EN ARROZ BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO Y ALTAS TEMPERATURAS¹

*Luis Alberto Barahona-Amores²; Román Gordón-Mendoza³;
Rubén Samaniego-Sánchez⁴; Gustavo Castillo-Vega⁵*

RESUMEN

El objetivo del experimento era determinar el índice hídrico en el cultivo de arroz mediante la temperatura del cultivo (T_c), temperatura del suelo (T_s), temperatura ambiente (T_a) y el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, por sus siglas en inglés). El experimento se realizó en Tonosí, Los Santos, Panamá (entre 7°26'03" N y 80°24'37" O, a 18 msnm), de agosto 2016 a diciembre 2017. Se utilizaron las variedades IDIAP 38 e IDIAP 145-05, bajo secano y riego suplementario, con parcelas de 100 m² (por variedad y sistema) y cuatro réplicas por tratamiento. Se muestreó cada ocho días y se determinó el NDVI, contenido de humedad del cultivo, T_a , T_c , T_s y los índices hídricos por temperatura (T_c-T_a y T_s-T_a). Los resultados indican que el rendimiento de grano y el estado hídrico del cultivo en su ciclo fenológico completo no se correlacionan. Sin embargo, la humedad del cultivo en la etapa de llenado de grano y el rendimiento mostraron correlación positiva altamente significativa. En esta etapa también se encontró una correlación positiva entre la humedad del cultivo, la humedad del suelo y el NDVI. La humedad del cultivo, T_c y T_c-T_a mostraron correlación negativa. La humedad del cultivo, T_s , T_a y T_s-T_a , no se correlacionaron. Para IDIAP 38 e IDIAP 145-05, los índices que mejor se correlacionan con el estado hídrico del cultivo fueron NDVI, T_c y el T_c-T_a .

Palabras claves: temperatura del cultivo, temperatura del suelo, temperatura ambiente, rendimiento de grano, estado hídrico del cultivo.

¹Recepción: 7 de septiembre de 2018. Aceptación: 21 de noviembre de 2018. Investigación financiada con fondos del Proyecto de "Generación de Investigación e Innovación de estrategias agronómicas ante el cambio climático en el Arco Seco de Panamá.

² Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). M.Sc. Manejo de Suelos y Agua. e-mail: alberline@gmail.com

³ IDIAP. M.Sc. Protección de Cultivos. e-mail: gordon.roman@gmail.com

⁴ IDIAP. M.Sc. Agricultura Ecológica. e-mail: ruben_sama15@hotmail.com

⁵ IDIAP. Agrónomo.



RICE WATER INDEX UNDER WATER STRESS AND HIGH TEMPERATURE CONDITIONS

ABSTRACT

The objective of this experiment was to determine water index of rice crop through crop temperature (T_c), soil temperature (T_s), ambient temperature (T_a) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The experiment was realized at Tonosí, Los Santos, Panama (between 7°26'03" N and 80°24'37" W, at 18 masl), from August 2016 to December 2017. IDIAP 38 and IDIAP 145-05 varieties were tested, under rainfed and supplementary irrigation planting conditions, in 100 m² plots (by variety and planting condition) and four treatment replicates. Samples were taken every eight days and NDVI, crop moisture content, T_a , T_c , T_s , and temperature water indexes (T_c-T_a and T_s-T_a) were determined. Results indicate that grain yield and water status of crop through the complete phenological cycle are not correlated. However, crop moisture and crop yield showed a highly significant positive correlation, during the grain filling stage. In this stage, positive correlations between crop moisture, soil moisture and NDVI were also found. Crop moisture, T_c and T_c-T_a showed a negative correlation. Crop humidity, T_s , T_a and T_s-T_a , were not correlated. For IDIAP 38 and IDIAP 145-05, indexes that best correlate with the water state of crop were NDVI, T_c and T_c-T_a .

Key words: crop temperature, soil temperature, ambient temperature, grain yield, water status of crop.

INTRODUCCIÓN

El contenido de agua en las plantas es una de las variables más críticas para explicar la actividad vegetativa y los modelos de productividad vegetal (Boyer 1995). El contenido de agua es un parámetro clave para explicar la evolución fenológica de las formaciones vegetales, detectando situaciones de déficit que puedan dar lugar a deterioros críticos del tejido vegetal (Hale y Orcutt 1987). La estimación del contenido de agua en la vegetación se puede llevar a cabo por tres métodos distintos: muestreo de campo, información meteorológica y percepción remota. El método de campo es quizás el más preciso y directo, pero tiene el inconveniente de ser costoso, lento y destructivo (Chuvieco *et al.* 2001).

La utilización de la temperatura de los cultivos para detectar el estrés hídrico de las plantas se basa en la asunción de que la transpiración evapora agua y enfría las hojas por

debajo de la temperatura del aire que las rodea. Cuando las disponibilidades hídricas son limitantes, la transpiración se reduce y la temperatura foliar aumenta. Cuando la cantidad de agua transpirada es pequeña, es normal que las hojas se calienten por encima de la temperatura del aire, lo que se justifica por la absorción de la radiación (Burgos *et al.* 1998). La diferencia entre la temperatura del cultivo con la temperatura del aire y del suelo, han sido empleadas como índices asociados al estado hídrico de la vegetación (Morán *et al.* 1994, Nicols *et al.* 2010).

El Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), es usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación mediante la utilización de bandas infrarrojas (Manrique 1999). El NDVI ha sido correlacionado con numerosas variables como la deficiencia de nutrientes en los cultivos, el rendimiento de cereales de grano pequeño y el estrés hídrico prolongado de las plantas. La variabilidad de un índice no está relacionada con una sola característica de la planta o del suelo. Por lo cual, es necesario tener una idea del factor limitante de crecimiento del cultivo. Por ejemplo, en un campo donde el factor limitante es el N, seguramente el NDVI tendrá una fuerte correlación con la cantidad de N disponible en el suelo; sin embargo, en una parcela donde el factor limitante es el agua, el NDVI estará correlacionado en igual medida con la humedad del suelo disponible para las plantas (Verhulst 2010).

Este trabajo se desarrolló con el objetivo de determinar el índice hídrico del cultivo de arroz mediante la utilización del NDVI, la temperatura de la planta, suelo y aire, que permitan ver el efecto del estrés hídrico del cultivo sobre el rendimiento, que sirvan como herramienta en la toma de decisiones para el manejo agronómico del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica: El estudio se realizó en los terrenos del Instituto Profesional Técnico Agropecuario de Tonosí (IPTAT), ubicado en el corregimiento de El Cacao, distrito de Tonosí, provincia de Los Santos, entre los 7°26'03" de latitud Norte y los 80°24'37" longitud Oeste, a 18 msnm (Figura 1). Los suelos fueron clasificados como Typic Udifluvents, textura franca, régimen de humedad Údico y régimen de temperatura Isohipertérmico (MIDA 2015). Esta localidad está ubicada dentro de la zona de vida correspondiente a Bosque Húmedo Tropical según la clasificación de Holdridge (1967).

Material genético: El material genético utilizado en el experimento fueron dos variedades generadas por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, denominadas IDIAP 38 de ciclo intermedio e IDIAP 145-05 de ciclo precoz.

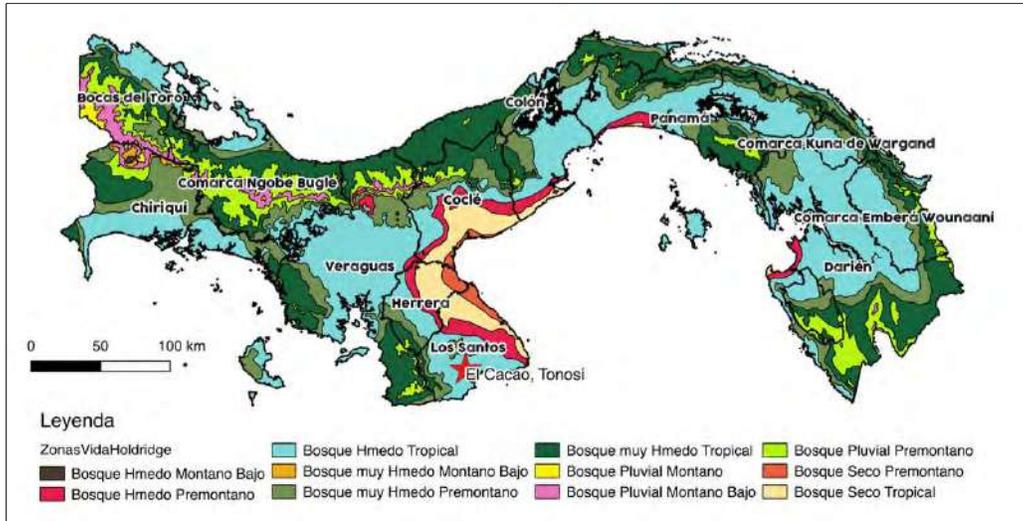


Figura 1. Localización geográfica del estudio de acuerdo con la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (1967).

Características edáficas: En cuanto a contenido de nutrientes y según los niveles críticos establecidos por Name y Cordero (1987), presenta niveles altos de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe); niveles medios de fósforo (P), manganeso (Mn), cobre (Cu); además unos niveles bajos de aluminio (Al) y zinc (Zn). En cuanto a sus características física-química, presenta una textura Franca, con una coloración en seco pardo amarillo claro, pH poco ácido, una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) media, con una baja saturación de aluminio y una elevada saturación de bases, la cual está dominada por la saturación de calcio (70,8%) y un nivel medio de materia orgánica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características física-química del suelo utilizado en el estudio de absorción de nutrientes.

P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
<i>mg l⁻¹</i>		<i>cmol₍₊₎ kg⁻¹</i>			<i>mg l⁻¹</i>			
35	224	25	9,5	0,2	35	80	2,9	5,5
Textura	color	CICE		pH	Al	bases	MO	
		<i>cmol₍₊₎ kg⁻¹</i>			% saturación		%	
Franco	Pardo A. C	35,8		6,2	0,56	99,44	4,4	

Fuente: Laboratorio de Suelos, IDIAP 2016.

Arreglo en campo y manejo: El ensayo se realizó durante los ciclos agrícolas 2016 y 2017 en el periodo de agosto a diciembre. Ambas variedades se establecieron en los sistemas secano y riego suplementario. Se utilizaron parcelas de 100 m² para cada variedad y sistema (10 m x 10 m). La siembra se realizó al voleo con una densidad de siembra de 130 kg semilla ha⁻¹. El manejo agronómico se realizó de acuerdo con las tecnologías generadas por el IDIAP (Camargo *et al.* 2014). La cosecha se realizó cuando ambas variedades alcanzaron la madures fisiológica con una humedad de grano de 25%. Se calculó el rendimiento de grano limpio y seco al 14% humedad.

Muestreo en campo: Se realizaron muestreos al azar utilizando cuatro réplicas por muestra, cada ocho días a partir de la germinación hasta culminado el ciclo fenológico del cultivo.

Análisis estadístico: Se realizó un análisis de correlación de Pearson para determinar la relación entre el contenido de humedad de la planta y el rendimiento, y los índices hídricos determinados, además un análisis de regresión y análisis multivariado de componentes principales.

Variables de respuesta:

- Temperatura del suelo y cultivo con la utilización de un termómetro infrarrojo digital portátil expresado en °C.
- Temperatura del aire proveniente de la base de datos de la Red Agroclimática del IDIAP (Batista *et al.* 2017).
- Índice hídrico por Temperatura, como resultado de la diferencia entre la temperatura del cultivo (Tc) y del suelo (Ts) con la temperatura del aire (Ta) (Tc-Ta y Ts-Ta).
- Índice de vegetación normalizada de diferencia (NDVI) con un sensor portátil GreenSeeker™.
- Contenido de humedad del suelo y de cultivo utilizando el método gravimétrico (Villarreal y Name 1996).
- Rendimiento de grano al 14% de humedad (CIAT 1983).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar los datos incluyendo el ciclo fenológico completo (Cuadro 2), el contenido de agua en el cultivo no mostró correlación con los índices hídricos evaluados ni con el

rendimiento de grano, debido a que el contenido de humedad de la planta está influenciado por el ciclo vegetativo del arroz, ya que a medida que transcurre el tiempo, la planta fisiológicamente produce mayor porcentaje de materia seca (menor contenido de humedad), independientemente del contenido de humedad que haya en el suelo.

Cuadro 2. Análisis de correlación de Pearson entre el estado hídrico del cultivo con respecto a los índices hídricos y el rendimiento durante el ciclo fenológico.

Variable	Combinado	IDIAP 145-05	IDIAP 38
T° cultivo	-0,30	-0,09	-0,38
% humedad suelo	0,53	0,16	0,57
T° suelo	-0,14	-0,08	-0,18
NDVI	0,43	0,09	0,42
T° ambiente	0,01	-0,04	-0,03
Tc-Ta	-0,30	-0,08	-0,36
Ts-Ta	-0,14	-0,07	-0,17
Rendimiento grano	0,09	-0,09	0,02

Al analizar los datos por etapa fenológica se encontró que, durante el llenado de grano, el contenido de humedad del cultivo muestra correlación con el rendimiento, la temperatura del cultivo, humedad del suelo, NDVI y el índice Tc-Ta, mientras que no mostró correlación con la temperatura del suelo, la temperatura ambiente ni con el índice Ts-Ta (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de correlación de Pearson entre el estado hídrico del cultivo con respecto a los índices hídricos y el rendimiento durante el llenado de grano.

Variable	Combinado	IDIAP 145-05	IDIAP 38
T° cultivo	-0,93**	-0,95**	-0,92**
% humedad suelo	0,79**	0,91**	0,88**
T° suelo	-0,29	0,14	-0,38
NDVI	0,89**	0,90**	0,99**
T° ambiente	-0,22	-0,14	-0,23
Tc-Ta	-0,90**	-0,90**	-0,90**
Ts-Ta	-0,19	0,17	-0,25
Rendimiento grano	0,99**	0,99**	0,99**

Humedad de la planta y rendimiento de grano

Existe una correlación positiva (0,99**) en el contenido de humedad de la planta durante la fase de llenado de grano respecto al rendimiento en ambas variedades (Cuadro 3). Existe una relación lineal directa, mostrando que, a mayor contenido de agua en la planta durante esta etapa, mayor es el rendimiento de grano (Figura 2). Estos resultados

coinciden con lo reportado por Yoshida (1981), García *et al.* (2010), Bouman *et al.* (2014), donde indican que las etapas reproductivas de floración y llenado de grano presentan mayor susceptibilidad al estrés hídrico afectando el rendimiento.

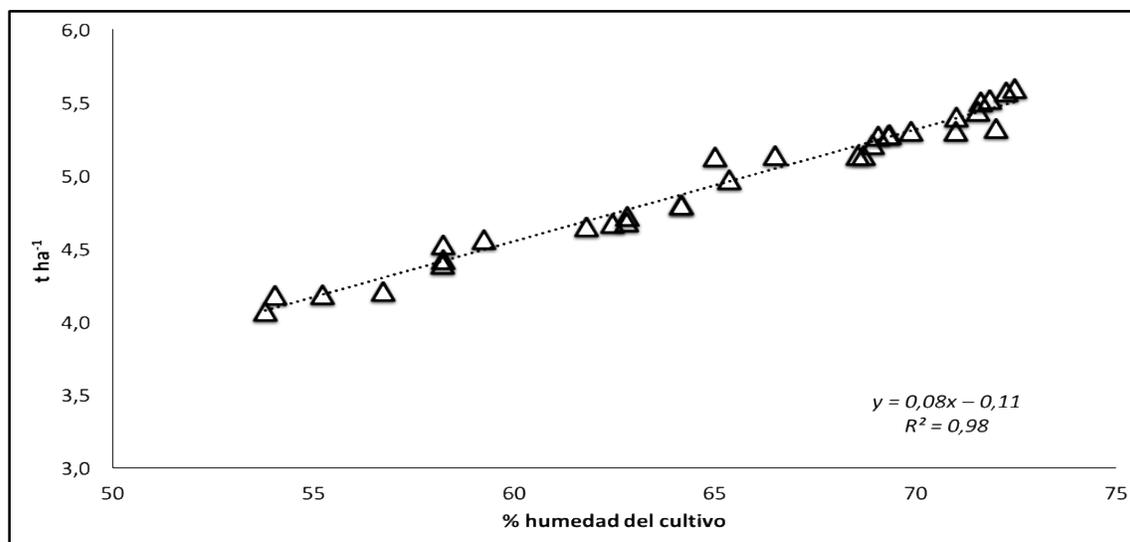


Figura 2. Rendimiento de grano según el contenido de humedad del cultivo de arroz en la etapa de llenado de grano.

Humedad de la planta y humedad del suelo

Se encontró una correlación positiva entre el contenido de humedad del suelo y el contenido de humedad del cultivo durante el llenado de grano (Cuadro 3), presentando un mejor ajuste en la variedad IDIAP 145-05 (0,91**) que en la IDIAP 38 (0,88**). La humedad del cultivo se incrementó en forma lineal a medida que la humedad del suelo aumentó hasta alcanzar un “Plateau” cuando el contenido de humedad foliar es de 72%. Esto se logró con una humedad de suelo de 24,1% y a partir de este punto por más agua que exista en el suelo, no hubo incremento en el estado hídrico del cultivo (Figura 3), lo que indica que, para este suelo, una humedad de 24% en la etapa de llenado de grano es suficiente para mantener un buen estado hídrico del cultivo, traducido en un buen rendimiento. Trabajos anteriores reportan resultados similares, observando reducción del potencial hídrico del cultivo conforme disminuye el potencial húmedo del suelo (Ismail 2010, May-Lara 2011, Ferrara *et al.* 2011).

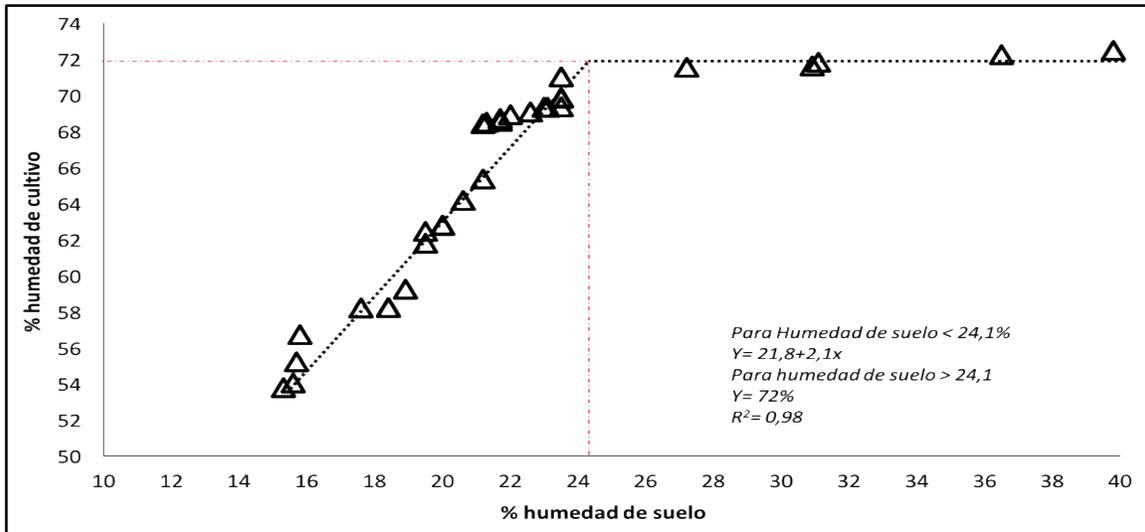


Figura 3. Humedad del cultivo respecto al contenido de agua del suelo en la etapa de llenado de grano.

Humedad de la planta y temperatura del cultivo

Los resultados muestran una correlación negativa entre la temperatura del cultivo y el contenido de humedad de la planta durante el llenado de grano (Cuadro 3), presentando un mejor ajuste en la variedad IDIAP 145-05 (-0,95**) con respecto a la IDIAP 38 (-0,92**). Existe una relación lineal inversa donde a medida que aumenta la temperatura del cultivo su contenido de humedad va decreciendo (Figura 4).

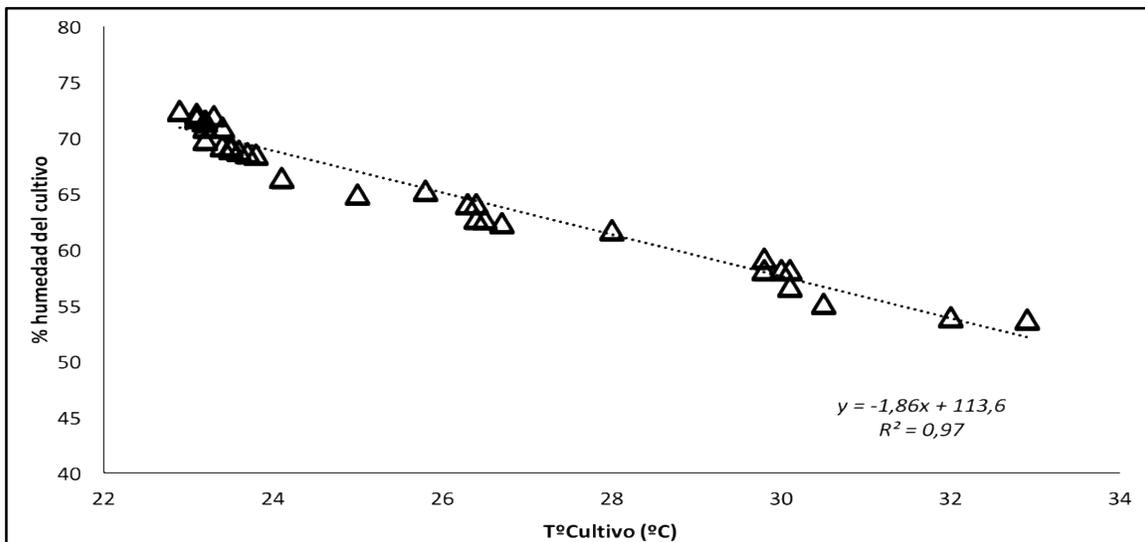


Figura 4. Humedad del cultivo respecto a la temperatura del cultivo en la etapa de llenado de grano.

Esta relación ha sido expuesta por varios autores, reportando que cuando un cultivo presenta estrés hídrico, los estomas se cierran y la transpiración decrece, por lo que la temperatura de la hoja se incrementa, así cuando una planta transpira completamente, no hay estrés hídrico y la temperatura de la hoja oscila de 1 °C a 4 °C menos que la temperatura ambiental, sin embargo, cuando la transpiración decrece, la temperatura de la hoja asciende y puede alcanzar de 4 °C a 6 °C más que la temperatura del aire; en este caso, el déficit hídrico es alto y la transpiración de las hojas se ve drásticamente reducida resultando un incremento de la temperatura foliar (Idso y Clawson 1986, López-López *et al.* 2009, De La Hoz 2016).

Humedad de la planta y NDVI

Existe una correlación positiva entre NDVI y el contenido de humedad del cultivo durante el llenado de grano (Cuadro 3), presentando un mejor ajuste en la variedad IDIAP 38 (0,99**) con respecto a la IDIAP 145-05 (0,90**). Se encontró una relación cuadrática, donde al aumentar el contenido de humedad de la planta, aumentan los valores de NDVI (Figura 5). Estos resultados son similares a los expuestos por Aguilar *et al.* (2010), Sancha Navarro (2010), Palacios-Vélez *et al.* (2011), que afirman que los valores de NDVI disminuyen drásticamente cuando el estrés hídrico del cultivo es mayor. González *et al.* (2016), reportaron correlaciones positivas entre el NDVI y el estado hídrico de cultivos como la vid, mientras que Calera *et al.* (2016) han utilizado el NDVI para calcular necesidades hídricas del mismo cultivo.

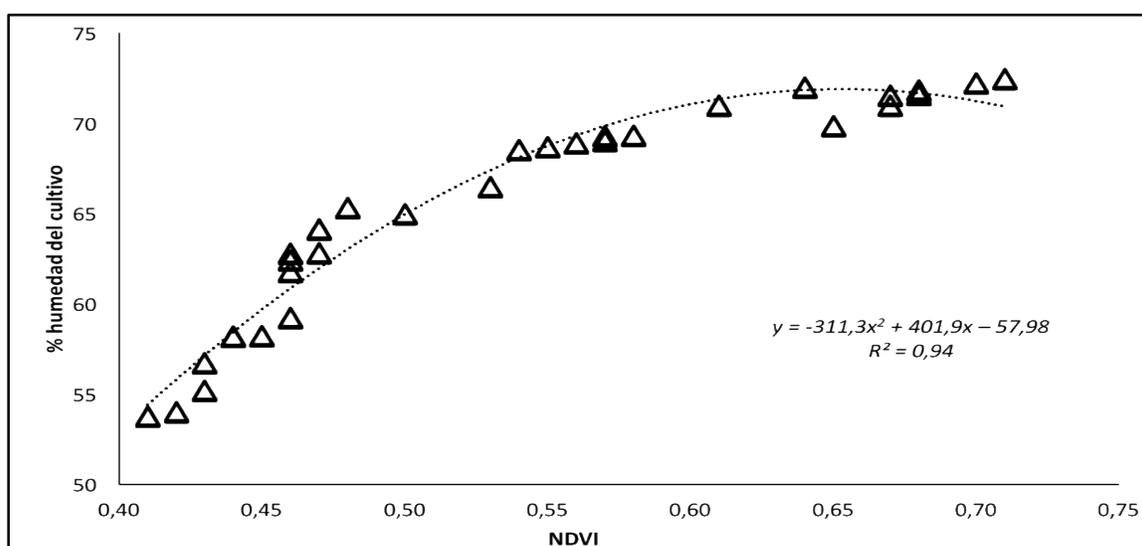


Figura 5. Humedad del cultivo respecto a valores de NDVI en la etapa de llenado de grano.

Humedad de la planta y el Índice hídrico por temperatura (IHT)

Se encontró una correlación negativa entre el IHT respecto al contenido de humedad del cultivo en la etapa de llenado de grano, con un buen ajuste en ambas variedades (-0,90**). Existe una relación lineal inversa entre el IHT y el contenido de humedad de la planta, de manera que, si el IHT es negativo, las plantas están bien dotadas de agua y si es positivo existe un estrés hídrico (Figura 6). Esta relación fue estudiada anteriormente donde se expone que, cuando la temperatura del cultivo (T_c) es mayor a la temperatura del aire (T_a), resultan valores negativos de IHT, indicando que la planta presenta una alta transpiración (sin problemas de estrés hídrico), mientras que valores positivos del IHT indican un T_c superior al T_a , señalando una reducción en la transpiración por consecuencia de un déficit de humedad (Idson *et al.* 1981, Idson 1982). Resultados similares afirman que valores positivos de IHT sugieren déficit hídrico en varios cultivos, además de mermas en el rendimiento (Helyez *et al.* 2006, Vázquez 2012, Tarqui-Delgado 2016).

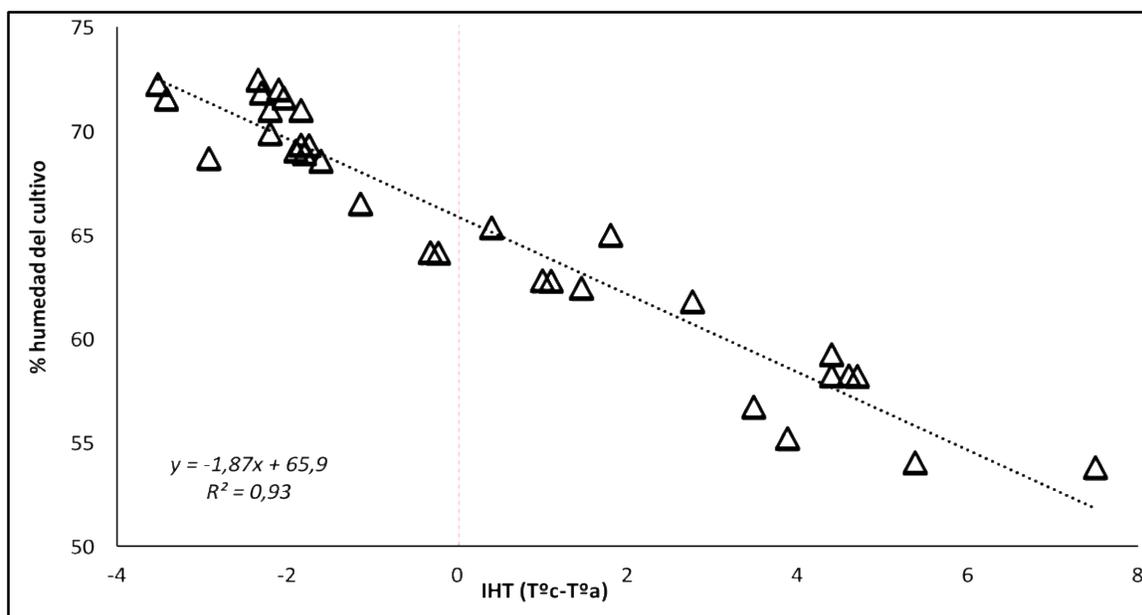


Figura 6. Humedad del cultivo respecto a valores IHT ($T_c - T_a$) en la etapa de llenado de grano.

Análisis multivariado de componentes principales

Se realizó la medida de la adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (Coeficiente KMO), la cual contrasta si las correlaciones parciales entre las variables son pequeñas, toma valores entre 0 y 1, e indica que el análisis factorial es tanto más adecuado cuanto

mayor sea su valor. Esta prueba resulto con un coeficiente de 0,82 indicando una buena adecuación muestral (Kaiser 1974). También se realizó la prueba de esfericidad de Bartlett, que contrasta si la matriz de correlaciones es una matriz identidad, lo cual indicaría que el modelo factorial es inadecuado. Esta prueba resulto que la significancia es menor al 0,001 encontrando diferencia significativa y mostrando adecuación del modelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de adecuación muestral Kaiser-Meyer-Olkin y Prueba de esfericidad de Bartlett.

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0,82
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	114489
	Grados de libertad	36
	Significancia	<0,000

El análisis multivariado de componentes principales muestra que el Componente Principal 1 (CP-1) explica el 60,6% de la varianza que existe entre las variables estudiadas, mientras que el Componente Principal 2 (CP-2) explica el 23,4%. Entre ambos componentes explican el 84% de la varianza (Cuadro 5).

Cuadro 5. Varianza total explicada por el análisis de componentes principales.

Componente	Autovalores iniciales		
	Varianza total	% de varianza	% acumulado
CP-1	5,449	60,6	60,6
CP-2	2,110	23,4	84,0
Residuo	1,441	16,0	

En el Biplot del análisis de Componentes Principales se observa una relación entre la temperatura del cultivo y el ITH (Tc-Ta) ya que éstos al presentar valores elevados indican estrés hídrico, lo cual se asocia a niveles de humedad más bajos presentes en el sistema de secano. Los valores altos de humedad del suelo, humedad del cultivo y NDVI están más asociados al alto rendimiento, los cuales se agrupan junto al sistema de riego (Figura 7).

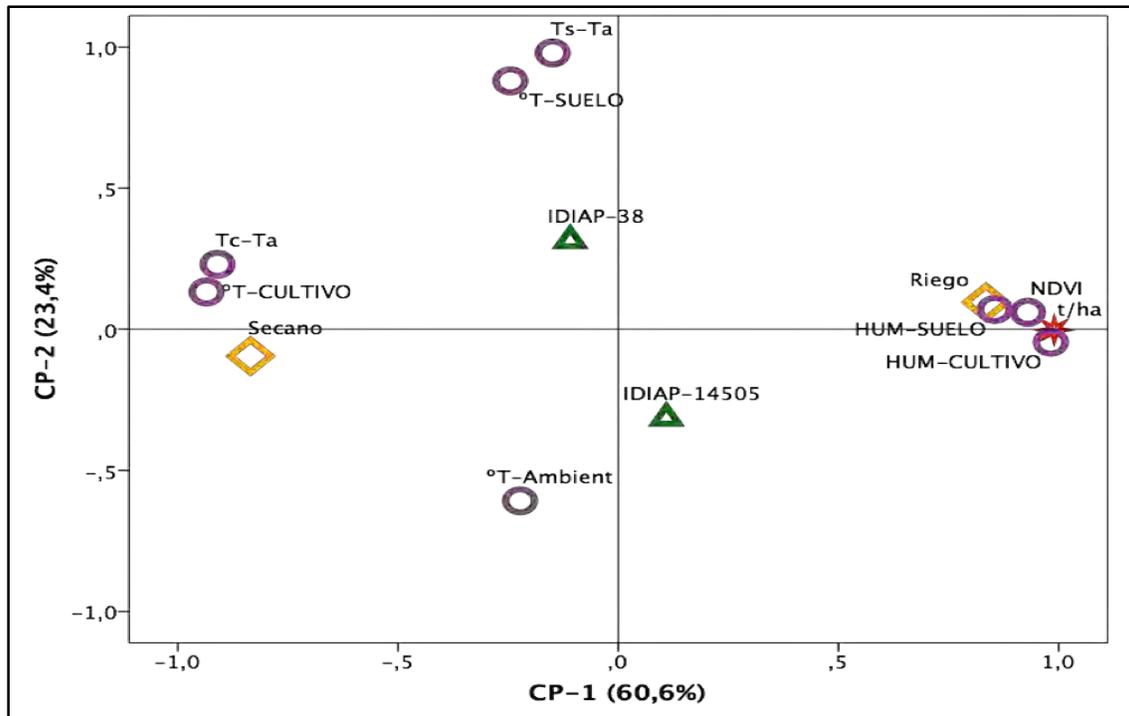


Figura 7. Biplot del análisis multivariado de componentes principales.

CONCLUSIONES

- El contenido de humedad de la planta en la etapa de llenado de grano afecta el rendimiento.
- Los índices NDVI y la temperatura del cultivo se ajustan mejor a la variedad IDIAP 38.
- Los índices de temperatura del cultivo y el IHT (Tc-Ta) se ajustan mejor a la variedad IDIAP 145-05.
- Se determinaron Índices Hídricos asociados al estado de humedad de la planta en la etapa de llenado de grano.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, N; Galindo, G; Fortanelli, J; Contreras, C. 2010. Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina. Universidad de Colima. Avances en Investigación Agropecuaria 14(2):49-65.
- Batista, A; Urriola, D; Bustamante, S; Batista, E; Díaz, L. 2017. Boletín del clima en la región de Azuero. Red Agroclimática y calidad de agua en dos sub-cuencas de Los Santos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 7 p.
- Bouman, B; Haefele, S; Izzi, G; Peng, S; Hsiao, T. 2014. Arroz: Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Organización de Las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, IT. 109-118 pp.
- Boyer, JS. 1995. Measuring the water status of plants and soils. Academic Press, Inc. San Diego. 178 p.
- Burgos, C; Perdomo, R; Morales, C; Cayón, D. 1998. Efecto de los niveles de agua en el suelo sobre la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). II. Estado hídrico diario de palmas en etapa de vivero. Revista Palmas 19(2):37-44.
- Calera, A; Campos, I; Garrido, J. 2016. Determinación de las necesidades de agua y de riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales. Universidad de Castilla La Mancha. España. 20 p.
- Camargo, I; Quirós Mcl., E; Zachrisson, B. 2014. Innovación tecnológica para el manejo integrado del cultivo de arroz en Panamá. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 140 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, PA). 1983. Sistema de Evaluación Estándar para Arroz. Cooperación IRRI-CIAT. Segunda edición, CO. 61 p.
- Chuvieco, E; Salas, FJ; Aguado, I; Cocero, D; Riaño, D. 2001. Estimación del estado hídrico de la vegetación a partir de sensores de alta y baja resolución. Universidad de Alcalá,

España. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la información Geográfica, GeoFocus no. 1:1-16.

De La Hoz, F. 2016. Sensores de monitoreo de humedad de suelo y cultivo. Centro del agua para la agricultura. Universidad de Concepción, Chile. 23 p.

Ferrara, A; Lovelli, S; Di Tommaso, T; Perniola, M. 2011. Flowering, growth and fruit setting in green house bell pepper under water stress. Journal of Agronomy 10(1):12-19.

García, A; Dorado, M; Pérez, I; Montilla, E: 2010. Efecto del déficit hídrico sobre la distribución de foto asimilados en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.). Venezuela. Inter ciencia 35(1):47-54.

González, XP; Fandiño, M; Rey, BJ; Cancela, JJ. 2016. Valoración del estrés hídrico empleando Índices de Vegetación en *Vitis vinifera* cv. Treixadura en la DO Ribeiro (España). II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola. Automatización y TICs en agricultura, del 10-12 de febrero de 2016. Almería, ES. pp. 337-340.

Hale, M; Orcutt, DM. 1987. The Physiology of Plants Under Stress. New York, John Wiley & Sons. 206 p.

Holdridge, Lr. 1967. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Ecología basada en zonas de vidas. San José, CR. 206 p.

Idso, S. B., Jackson, R.D; Pinter, P.J; Reginato, R.J; Hatfield. J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agricultural Meteorology: no. 24:45-55.

Idso, SB; Clawson, KL. 1986. Foliage temperature: effects of environmental factors with implications for plant water stress assesment and the CO₂/Climate connection. Water Resources Research 22(12):1133-1138.

Idso, SB. 1982. Non-water-stressed baselines, a key to measuring and interpreting plant water stress. Agricultural Meteorology no. 27:59-70.

- Ismail, SM. 2010. Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annum* L.). *Meteorology, environment and arid land agriculture sciences* 21(2): 29-43.
- Kaiser, HF. 1974. A second-generation little jiffy. *Psy-chometrika* no. 35:401-415.
- López-López, R; Arteaga-Ramírez, R; Vázquez-Peña, M; López-Cruz, I; Sánchez-Cohen, I; Ruiz-García, A. 2009. Índice de estrés hídrico del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(3):259-267.
- Manrique, E. 1999. Índice de vegetación. Aplicación de NDVI. Teledetección, avances y aplicaciones. *Asociación Española de teledetección*, pp. 217-219.
- May-Lara, C; Pérez-Gutierrez, A; Ruiz-Sánchez, E; Ic-Caamal, A; García-Ramírez, A. 2011. Efecto de niveles de humedad en el crecimiento y potencial hídrico de *Capsicum chinense* Jacq. y su relación con el desarrollo de *Bemisia tabaci* Genn. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* no. 14:1039-1045.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2015. Estudio, Diseño Y Construcción Del Proyecto Integral Y Multipropósito Para El Desarrollo Agropecuario Del Valle de Tonosí, Provincia De Los Santos. Hidalgo & Hidalgo constructores. 193 p.
- Morán, MS; Clarke, TR; Inoue, Y; Vidal, A. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index, *Remote Sensing of Environment* no. 49:246-263.
- Name, B. Cordero, A. 1987. Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá. Compendio de los resultados de investigación presentados en la Jornada Científica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Región Central. 23 p.
- Nicols, R; Estrela, M; Valiente, J; Barbera, M. 2010. Análisis de correlaciones entre la temperatura del aire y la temperatura de las superficies vegetadas medida con radiometría térmica. *Revista de teledetección* no. 34:36-43.

Palacios-Vélez, E; Palacios-Sánchez, J; Palacios-Sánchez, L. 2011. Agricultura de riego asistida con satélites. *Tecnología y Ciencias del Agua* 2(2):69-81.

Sancha Navarro, E. 2010. El estudio de los índices de vegetación como base para conocer las relaciones entre la vegetación y el clima. *Tecnologías de la Información Geográfica*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. pp.1095-1108.

Tarqui-Delgado, M. 2016. Determinación del índice de estrés hídrico del cultivo de lechuga, mediante el método de termometría infrarroja a diferentes láminas de riego. Tesis de maestría. Universidad Mayor De San Andrés. Ecuador. 147 p.

Verhulst, N; Govaerts, B; Fuentes Ponce, M. 2010. Sensor portátil GreenSeeker TM para la medición del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI): Una herramienta para la evaluación integral de las prácticas agronómicas. Parte A: Conceptos y estudios de caso. México, D.F.; CIMMYT. 9 p.

Villarreal, J; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 110 p.

Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 296 p.

PRODUCTIVIDAD DEL MÉTODO DE COSECHA MANUAL DE YUCA CON UN DISPOSITIVO ARRANCADOR ¹

*Ricardo Hernández-Rojas²; Rodolfo Morales-Muñoz³;
Román Gordón-Mendoza⁴; Jaime A. Espinosa-Tasón⁵*

RESUMEN

El objetivo de este ensayo era evaluar la efectividad de un dispositivo manual extractor para cosechar yuca. La investigación se realizó en La Estación Experimental El Ejido, en Los Santos. Se utilizó un diseño completamente al azar, en una parcela de 500 m² con una densidad de siembra de 10 000 plantas por hectárea. Se establecieron dos tratamientos: cosecha manual con dispositivo arrancador y cosecha manual sin dispositivo arrancador. Se registró el tiempo de cosecha de las plantas, así como la cantidad y peso de las raíces comerciales y no comerciales extraídas. El análisis estadístico consistió en pruebas de t para la comparación de medias. La relación del peso en kilogramos de raíces (en función del método de cosecha como variable ficticia o “dummy”) y el tiempo en minutos empleado en la cosecha se analizaron mediante un modelo econométrico log-lineal. Los resultados indican que el número de plantas cosechadas por minuto fue superior para la cosecha manual del arrancador con palanca, en promedio una planta/minuto, más que con la cosecha manual sin dispositivo arrancador. El modelo predijo que el peso de la cosecha con el dispositivo arrancador sería, en promedio, 123% mayor al peso comparable de la cosecha manual sin dispositivo. Se concluye que el método de cosecha manual con dispositivo arrancador de palanca mostró una productividad superior. Dado que la mano de obra agrícola es escasa, una mayor eficiencia en el tiempo de cosecha reduciría su uso.

Palabras claves: cosecha manual, eficiencia de cosecha, mano de obra.

¹Recepción: 6 de noviembre de 2018. Aprobación: 10 de diciembre de 2018. Trabajo financiado por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

²Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). Ing. Agrónomo en Fitotecnia. e-mail: ricahernandezr@yahoo.es

³IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIA Divisa). M.Sc. en Industrias Agrícolas Alimentarias. e-mail: rodolfommz@yahoo.com

⁴IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). M.Sc. en Protección Vegetal. e-mail: gordon.roman@gmail.com

⁵IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). M.Sc. en Socioeconomía Ambiental. e-mail: j.espinosa.idiap@gmail.com



PRODUCTIVITY OF A YUCA MANUAL HARVESTING METHOD WITH AN EXTRACTING DEVICE

ABSTRACT

The objective of this trial was to evaluate the effectiveness of a manual extracting device to harvest yucca. The research was realized at El Ejido Experimental Station, in Los Santos. A completely randomized statistical design was applied on a 500 m² plot having a planting density of 10 000 plants per hectare. Two treatments were established: manual harvest with the extracting device and manual harvest without the extracting device. Harvesting time of yucca plants was registered as well as the quantity and weight of commercial and non commercial roots extracted. Statistical analysis consisted of t-Tests for the comparison of means. The relation between root weight in kilograms (in function of the harvesting methodology as dummy variable) and time in minutes used for harvesting were analyzed using an econometric log-linear model. The results indicate that the number of harvested plants per minute was superior for manual harvest with the extracting device, an average of one plant/minute, more than with manual harvest without the device. The model predicted that, with the extracting device, harvested weight would be 123% greater than that of manual harvest without the device, as an average. It is concluded that harvest method with the extracting device showed a superior productivity. Due to agricultural hand labour scarcity, a greater efficiency in time of harvesting would reduce its usage.

Key words: manual harvesting, harvesting efficiency, hand labour.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura se utilizan tres fuentes principales de energía: la humana, la animal y mecánica. El uso de la energía mecánica en la agricultura se desarrolla a partir del siglo XIX después de la segunda guerra mundial motivado por la necesidad de aumentar la competitividad de la agricultura. Se recurre a la mecanización para aumentar la productividad, la rentabilidad y proveer de fuerza a la agricultura ante la escasez de mano de obra (Palacios-Rangel *et al.* 2016).

La obtención de nuevos cultivares de yuca con alto potencial de rendimiento mejoran la productividad y la competitividad del cultivo. A su vez permite entrar en nuevos mercados como el de las agro industrias con productos como la harina de yuca, almidón nativo y el almidón agro de yuca. Sin embargo, se debe ser muy eficiente para poder competir con otras fuentes de harinas y almidones cuya producción es completamente mecanizada. Uno de los

problemas del cultivo de la yuca en nuestro país, es su alto costo de siembra y cosecha que demandan una gran cantidad de mano de obra.

En Panamá la cosecha de yuca es manual, ya que la mayor parte de las unidades de producción son pequeñas con un promedio de 600 m². La mecanización es rentable y se justifica para parcelas de más de 30 ha (Ospina *et al.* 2007). Sin embargo, es importante promover el uso de herramientas simples que faciliten el trabajo y disminuyan el agotamiento físico que sufre el trabajador sobre todo en climas tropicales donde ha aumentado la temperatura y se han disminuido las horas laborables en el campo.

Se ha estimado que para desarraigar un palo de yuca se necesita una fuerza entre 1,26 kg y 1,49 kg newton es decir entre 283 y 335 lb fuerza (Kolawole *et al.* 2010). También se ha señalado que un hombre solamente puede ejercer una fuerza máxima de 0,8 kg newton (Agbetoye 1999). Esto explica porque es tan extenuante la labor de arrancar palos de yuca, la necesidad de aflojar el suelo y la importancia de mejorar las condiciones de trabajo con una herramienta simple asequible al pequeño productor quien se expone a diferentes tipos de riesgos y exigencias laborales en el cultivo y cosecha de yuca (OIT 2004).

Se reporta que se necesitan entre 25 y 35 hombre-día para cosechar manualmente una hectárea de yuca (Ospina *et al.* 2007). Si se considera, que la hectárea tiene 10 000 plantas y que el día es de ocho horas laborables y se utilizan como máximo 35 hombres para cosechar una hectárea, entonces se deduce que; un hombre debe arrancar tres plantas de yuca en cinco minutos. Sin embargo, se espera que a medida que avanza la jornada de trabajo el rendimiento disminuya debido al cansancio.

Algunas estimaciones para el caso de Panamá indican que para cosechar una hectárea de yuca se utilizan más de 25 jornales, representando la cosecha el 34% del costo de producción (Morán y Saavedra 2008).

En general, la productividad se entiende como la relación entre lo producido y los medios empleados; por lo tanto, se mide mediante el cociente: resultados logrados entre recursos empleados. Los resultados logrados pueden medirse en unidades producidas, o en ganancias. Mientras que los recursos empleados se cuantifican por medio del número de trabajadores, tiempo total empleado, horas máquina, entre otros. De manera que mejorar la

productividad es optimizar el uso de los recursos y maximizar los resultados (Gutiérrez y de la Vara 2009).

Una modalidad de cosecha manual utilizada principalmente en Tailandia es empleando una herramienta de enganche arrancador. La técnica consiste en sujetar el tallo mediante un implemento de enganche a modo de tenaza que va unido aproximadamente a 30 cm del extremo de un palo que se apoya en el suelo; el tallo se engancha por su parte inferior y se hace palanca hacia arriba (Aristizábal *et al.* 2007). Con el propósito de contribuir a facilitar y mejorar la eficiencia de la cosecha del cultivo de yuca en Panamá, se realizó un ensayo con el objetivo de evaluar la productividad en la cosecha manual con arrancador.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en La Estación Experimental El Ejido, en Los Santos, durante 14 meses. Los suelos de la estación en sus primeros 16 cm son franco arcilloso, con estructura en bloques angulares y sub-angulares, muy finos 5 mm de diámetro, grado fuerte en seco, friable en húmedo, pegajoso en húmedo y nula en seco, muy plástico, densidad aparente 1,38 g/cm³, muchas raíces finas. Entre 16 cm y 46 cm su textura cambia a franco-arcillo-arenoso, con estructura en bloques angulares y sub-angulares, mediano 10-20 mm de diámetro, grado moderado en seco, muy friable en húmedo, pegajosidad baja en húmedo y nula en seco y muy plástico, densidad aparente 1,51 g/cm³, pocas raíces muy finas (Villarreal *et al.* 2016).

Se estableció un ensayo experimental con un diseño completamente al azar, en una localidad, con una parcela de 500 m² con una densidad de siembra de 10 000 plantas/ha, y un marco de siembra de una distancia de 1 m entre plantas y 1 m entre hileras. El factor estudiado fue el método de cosecha con dos tratamientos: cosecha manual, y cosecha manual con dispositivo arrancador de palanca (Figura 1).



Figura 1. Herramienta de palanca con dispositivo arrancador.

Se registró el tiempo que tomo cosechar las plantas, la cantidad y el peso de raíces comerciales y no comerciales obtenidas. La productividad de la cosecha se calculó como el cociente:

$$\text{Productividad de la cosecha} = \frac{\text{kg cosechados}}{\text{Tiempo total empleado}}$$

Los datos fueron tabulados en Microsoft Excel y analizados con InfoStat. Para el análisis estadístico se realizaron pruebas de t para la comparación de las medias. Se calcularon estadísticos descriptivos de tendencia central y de dispersión, se visualizó la distribución de los datos mediante gráficos de cajas y bigotes, asimismo se empleó el coeficiente de variación como medida comparativa de la variación entre los métodos de cosecha.

Considerando que el desempeño de un trabajador manual es variable de persona a persona, y que al avanzar el tiempo en la actividad de cosecha se presentan resultados con rendimientos marginales decrecientes debido al cansancio físico del trabajador, la relación entre kg de raíces cosechadas y el tiempo empleado de la mano de obra en la cosecha se expresó como una función cuadrática.

Las funciones cuadráticas son utilizadas con bastante frecuencia en el análisis económico para captar efectos marginales crecientes o decrecientes. Se ilustra en teoría como es la función en su forma general para efectos marginales decrecientes (Figura 2).

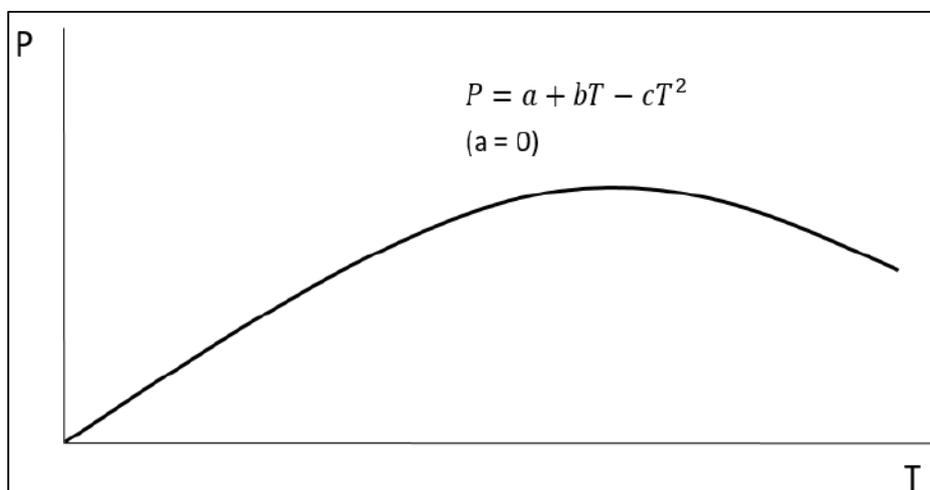


Figura 2. Relación funcional entre el peso de raíces cosechadas por persona (P) y el tiempo empleado por persona (T).

Asimismo, el peso en kg de raíces de yuca cosechadas se estudió en función del método de cosecha como variable dummy o binaria, y el tiempo en minutos empleados en la cosecha. Considerando que la forma funcional logarítmica proporciona coeficientes que se interpretan como efectos porcentuales, la cuantificación y análisis del peso de las raíces de yuca cosechadas se realizó a través de un modelo econométrico log-lineal.

$$\log(\text{peso}) = \beta_0 + \beta_1 \text{min} + \beta_2 \text{min}^2 + \beta_3 \text{palan} + \varepsilon$$

Donde:

$\log(\text{peso})$ = logaritmo natural del peso en kg de las raíces cosechadas

min = tiempo en minutos que toma cosechar un número específico de plantas

min^2 = término cuadrático que permite efectos marginales crecientes o decrecientes

palan = toma el valor de 1 si la cosecha fue manual con palanca y 0 en caso contrario

ε = contiene otros factores que afectan el peso de las raíces cosechadas

Los coeficientes estimados de las variables explicativas miden el cambio relativo que se produce en el regresando ante un cambio absoluto producido en la variable explicativa a la que acompañan. Los coeficientes estimados se multiplicaron por 100 para interpretarse como el cambio porcentual producido en la variable explicada ante un cambio absoluto en la variable explicativa correspondiente.

$$\Delta y = (100\beta_i)\Delta x_i$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La proporción de raíces comerciales respecto al total de raíces cosechadas resultó diferente ($P < 0,01$) entre ambos métodos de cosecha, con medias de 0,60 para la cosecha manual con palanca y de 0,40 para la cosecha manual. El peso medio de las raíces comerciales por minuto fue diferente y mayor para la cosecha manual con palanca, siendo superior en 6,33 kg de raíces comerciales por minuto con respecto al promedio de la productividad de la cosecha manual (Cuadro 1).

Cuadro 1. Prueba t del peso de raíces comerciales cosechadas kg minuto^{-1} en los métodos de cosecha.

	Man+palanca	Manual
n	15	15
Media	8,53	2,20
Media(1)-Media(2)	6,33	
Límite Inferior (95)	5,02	
Límite Superior (95)	7,63	
pHomVar	0,0015	
T	10,14	
p-valor	<0,0001	

El número de plantas cosechadas por minuto fue diferente entre los dos métodos de cosecha, resultando superior para la cosecha manual con palanca (Figura 3). En la cosecha manual con palanca, en promedio la diferencia de la productividad de plantas cosechadas por minuto fue de 1 planta/minuto más que con la cosecha manual. La variación de la productividad fue mayor en el caso de la cosecha manual con un coeficiente de variación de 39%, mientras que la cosecha manual con palanca tuvo una variación de 19%.

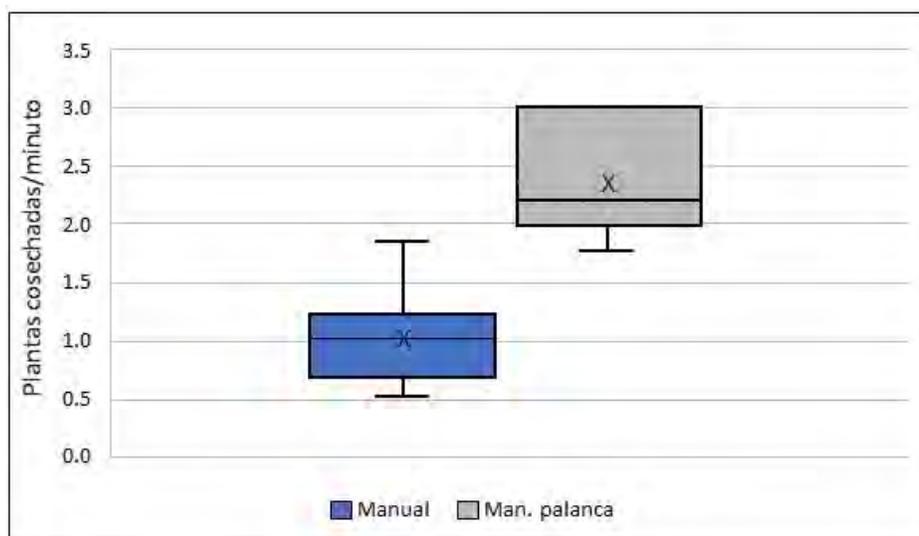


Figura 3. Número de plantas cosechadas por minuto en los métodos de cosecha manual y manual con palanca.

El análisis de regresión muestra que el modelo estimado resultó altamente significativo, al igual que los coeficientes del mismo a un nivel de significancia de 95% (Cuadro 2). De acuerdo con el R-cuadrado ajustado, el modelo presentó un buen ajuste, las variables independientes consideradas explicaron en 91,5% la variación del peso de las raíces de yuca cosechadas. El signo del término cuadrático en el modelo fue negativo como se esperaba, indicando rendimientos marginales decrecientes.

Cuadro 2. Resultado del análisis de regresión del modelo funcional del Peso de raíces cosechadas.

R ² = 0,925		Ajustado R ² = 0,915		r= 0,962		n= 28	
ANOVA							
Fuente	SC	gl	CM	F	valor-p		
Regresión	20,026	3	6,6755	98,44	<0,0001		
Residuos	1,627	24	0,0678				
Total	21,654	27					
Coeficientes de regresión				Intervalo de confianza			
variables	coeficientes	std. error	t (gl=24)	valor-p	Inf. 95%	Sup. 95%	
Intercepción	1,2228						
Min	0,3237	0,0608	5,320	<0,0001	0,1981	0,4493	
Min ²	-0,0101	0,0033	-3,088	0,0050	-0,0168	-0,0033	
Palanca	1,2253	0,0987	12,409	<0,0001	1,0215	1,4291	

El análisis gráfico de los residuos mostró que el modelo cumplió con los supuestos de linealidad y homocedasticidad de la ecuación de regresión múltiple (Figura 4). La probabilidad normal de los residuos, confirman la suposición de que los residuos siguen la distribución de probabilidad normal (Figura 5).

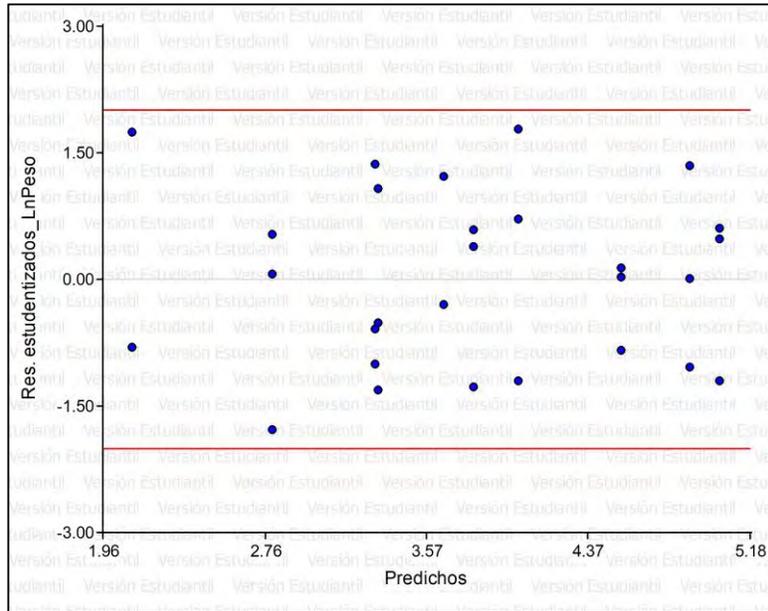


Figura 4. Residuos frente a los predichos.

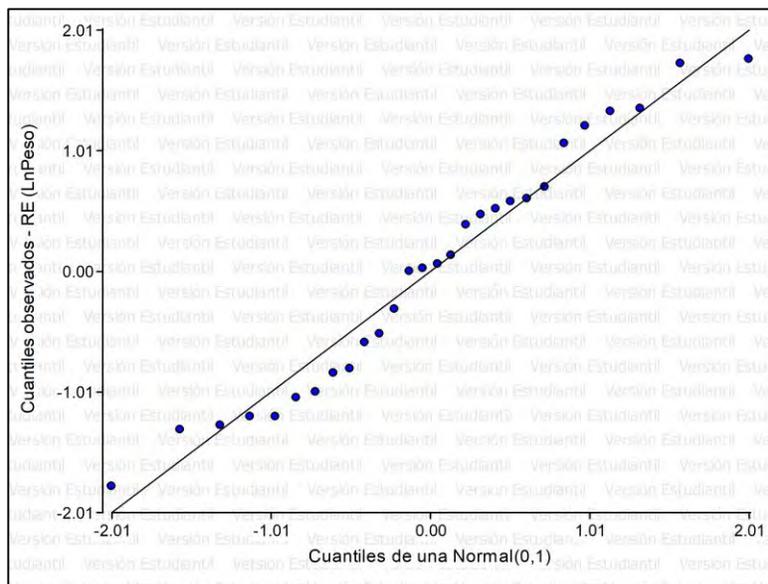


Figura 5. Q-Q plot.

Asimismo, la prueba de Shapiro-Wilks concluyó que los residuos siguen una distribución normal ($p=0,2245$). La prueba de Durbin-Watson con un valor calculado de $d = 1,90$, resultó mayor que du por lo que se concluye que no existe autocorrelación entre los residuos.

La ecuación del modelo funcional resultó como se muestra a continuación:

$$\log(\widehat{peso}) = 1,22 + ,324(min) - ,01(min^2) + 1,23(palan)$$

Para la variable minutos, los coeficientes estimados fueron $\hat{\beta}_1 > 0$ y $\hat{\beta}_2 < 0$, por lo que el máximo de la función se alcanzó en el punto correspondiente al coeficiente de min sobre el doble del valor absoluto del coeficiente de min^2 :

$$\begin{aligned} min &= |\hat{\beta}_1 / (2\hat{\beta}_2)| \\ min &= .324 / [2(.01)] \approx 16.2 \end{aligned}$$

En la ecuación, el rendimiento del tiempo del jornal en la cosecha se vuelve cero aproximadamente a los 16,2 minutos. Lo anterior implica que para el próximo minuto-hombre cosechando después de los 16,2 minutos se tiene un valor negativo para el cambio porcentual del peso de la cosecha.

El costo de emplear ecuaciones cuadráticas para captar efectos decrecientes es que llega un momento en el que la forma cuadrática cambia de dirección, según Wooldridge (2010). Se espera que el rendimiento del tiempo del jornal en la cosecha se vuelva negativo o empiece a disminuir en algún punto, y puede ser difícil creer que esto ocurra a los 16,2 minutos de estar cosechando. Sin embargo, también al alcanzar el punto de inflexión podría esperarse un efecto plateau, temporalmente previo al efecto negativo decreciente.

Sin embargo, en la interpretación es importante considerar que diferentes trabajadores en la cosecha presentaran variación entre los niveles de cansancio físico, debido a factores que no se hayan controlado como la salud, edad y experiencia (método) realizando las labores de cosecha. Así, cada trabajador tendría una función de productividad específica y punto de inflexión con rendimientos marginales decrecientes.

El efecto

$$\Delta \log(\widehat{peso}) \approx \{[.324 - 2(.01)]min\} \Delta min$$

de esta forma

$$\Delta \widehat{peso} \approx 100\{[.324 - 2(.01)]min\} \Delta min$$

$$(32,4 - 2min) \Delta min$$

Así, el aumento de minutos cosechando, por ejemplo, de 16 a 17, hace que el peso cosechado aumente aproximadamente $32,4 - 2(16) = 0,4$; mientras que el aumento de 17 a 18 minutos hace que el peso disminuya aproximadamente $32,4 - 2(17) = -1,6$.

Para valores dados de min y min^2 , la diferencia en log (peso) entre el método de cosecha manual con dispositivo de palanca y el método manual es 1,23. Esto significa que se predice que el peso de la cosecha por el método con dispositivo de palanca será, en promedio, 123% mayor al peso comparable de la cosecha manual.

CONCLUSIONES

- La productividad de la cosecha determinada como la relación entre los kg de raíces cosechadas y el tiempo empleado de la mano de obra en la cosecha mostró efectos marginales decrecientes. Es de esperar que diferentes trabajadores en la cosecha tendrán funciones de productividad específicas.
- El método de cosecha manual con el dispositivo arrancador de palanca mostró una eficiencia superior duplicando los resultados obtenidos comparativamente con la cosecha manual tradicional. Considerando que la mano de obra agrícola es escasa una mayor eficiencia en el tiempo de la cosecha economizaría su uso.

BIBLIOGRAFÍA

- Agbetoye, LAS. 1999. Developments in Cassava Harvesting Mechanization West Indian Journal of Engineering 22(1):11-19.
- Aristizábal, J; Sánchez, T; Mejía L, D. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (en línea). FAO, Rome (Italy). Dirección de Infraestructura Rural y

Agroindustrias. Consultado 20 ago. 2017. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1028s/a1028s01.pdf>

Gutiérrez P, H; de la Vara S, R. 2009. Control estadístico de calidad y seis sigma. Segunda Edición. McGraw-Hill. 482 p.

Kolawole, OP; Agbetoye, LAS; Ogunlowo, AS. 2010. Sustaining world food security with improved cassava processing technologies: The Nigerian experience (en línea). Sustainability, 2: 3681- 3694. Disponible en <http://www.mdpi.com/2071-1050/2/12/3681/pdf>

Morán G, RA; Saavedra S, DA. 2008. Cadena de valor de la yuca en Panamá. Instituto de Mercadeo Agropecuario (IMA). 11 p.

OIT. 2004. Estudio del proceso de trabajo y operaciones, perfil de riesgos y exigencias laborales en el cultivo y empaque de la yuca. CR.

Ospina Patiño, B; Cadavid López, LF; García González, ML; Alcalde Torres, CA. 2007. Mechanization of cassava production in Colombia. *In* Howeler, Reinhardt H. (ed.). Cassava research and development in Asia: Exploring new opportunities for an ancient crop: Proceedings of the seventh regional workshop held in Bangkok, Thailand, Oct 28-Nov 1, 2002. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cassava Office for Asia, Bangkok, TH. p. 277-287.

Palacio-Rangel, MI; Ortiz Martínez, G; Cervantes-Escoto, F. 2016. La mecanización agrícola. Conferencia en Memorias del Quinto Congreso Nacional de Ciencias Sociales, CUCSH, Universidad de Guadalajara, MX.

Villarreal Núñez, JE; Sáez Cigarruista, AE; Núñez Cano, JI; Barahona Amores, LA; Castro Villarreal, JA. 2016. Características morfológicas del Pedón de la Estación Experimental El Ejido de Los Santos. Sin Publicar.

Wooldridge, JM. 2010. Introducción a la econometría. Un enfoque moderno. 4ª. Edición. Cengage Learning, Inc. 865 p.

BEGOMOVIRUS QUE INFECTAN TOMATE EN LA PROVINCIA DE LOS SANTOS, PANAMÁ: SITUACIÓN ACTUAL Y MANEJO¹

José Natividad Jaén-Sanjur²; José Ángel Herrera-Vásquez³

RESUMEN

Los begomovirus, transmitidos por la mosca blanca *Bemisia tabaci*, constituyen el grupo de virus de mayor incidencia y distribución en el cultivo del tomate en los países tropicales y subtropicales. Con el objetivo de determinar la incidencia de begomovirus se realizó una prospección en el cultivo de tomate industrial en la provincia de Los Santos, Panamá, en el período 2016-2017. Se recolectaron 70 muestras de hojas en plantas de tomate con síntomas asociados a infecciones virales, en nueve parcelas de siete localidades, en las principales zonas productoras del cultivo. Se extrajo el ADN total de cada muestra y los extractos se analizaron mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR), utilizando iniciadores degenerados para begomovirus. Las muestras con reacción positiva se analizaron con iniciadores específicos para las tres especies de begomovirus que infectan tomate en Panamá: virus del mosaico amarillo de la papa de Panamá (PYMPV), virus del moteado amarillo del tomate (TYMoV) y virus del enrollamiento de la hoja de tomate de Sinaloa (ToLCSiV). Cincuenta y ocho (58) muestras (82,9% del total) resultaron positivas a begomovirus. El 100% de estas muestras resultó infectado con PYMPV. En las muestras analizadas no había presencia de TYMoV y ToLCSiV. Estos resultados se confirmaron mediante secuenciación de ADN y análisis de secuencias. En este estudio se discute la relación de los begomovirus con los graves perjuicios sufridos recientemente por los agricultores, debido a la baja en la producción de tomate, así como las estrategias para el manejo del complejo begomovirus-*B. tabaci*.

Palabras claves: detección, estrategias de manejo, PYMPV, *Solanum lycopersicum*, tipificación.

¹Recepción: 12 de octubre de 2018. Aceptación: 19 de diciembre de 2018. Investigación incluida en la tesis "Begomovirus y su insecto vector *Bemisia tabaci* afectando cultivos de tomate en la provincia de Los Santos, Panamá (código FCNET-D-836-18)", del estudiante José Natividad Jaén-Sanjur (primer autor del presente artículo), cuya defensa se realizó el 24 de agosto de 2018, en la Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología (FCNET), Universidad de Panamá (UP).

²Escuela de Biología, FCNET, Ciudad Universitaria Dr. Octavio Méndez Pereira, Estafeta Universitaria, UP, 3366 Panamá 4, Panamá

³Grupo de Investigación de Protección Vegetal (GIPV), Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIAD), Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Ctra. Panamericana, Los Canelos, Santa María, Estafeta de Divisa, 0619 Herrera, Panamá. Autor de correspondencia: joshervs11@gmail.com



BEGOMOVIRUSES INFECTING TOMATO IN THE PROVINCE LOS SANTOS, PANAMA: CURRENT SITUATION AND MANAGEMENT

ABSTRACT

Begomoviruses, transmitted by the whitefly *Bemisia tabaci*, constitute the group of viruses with the highest incidence and distribution in tomato crop in tropical and subtropical countries. With the objective to determine the incidence of begomoviruses on industrial tomato in Los Santos Province, Panama, a prospection was realized during 2016-2017 period. A total of 70 leaf samples were taken from plants with viral infection symptoms in nine production plots from seven localities, in the main tomato producing zones. Total DNA was extracted from each sample and extracts were analyzed by the polymerase chain reaction technique (PCR), using degenerate primers for begomoviruses. Samples with positive reaction were analyzed with specific primers for the three begomoviruses species infecting tomato in Panama: Potato yellow mosaic Panama virus (PYMPV), Tomato yellow mottle virus (TYMoV) and Tomato leaf curl Sinaloa virus (ToLCSiV). Fifty-eight (58) samples (82,9% from total) were positive to begomoviruses. A 100% of these samples were infected by PYMPV. TYMoV and ToLCSiV were not found in analyzed samples. These results were confirmed by DNA sequencing and sequence analysis. The relation of begomoviruses with the serious damages recently suffered by farmers, due to a depressed tomato production, as well as strategies for begomoviruses-*B. tabaci* complex management, are discussed in this study.

Key words: detection, management strategies, PYMPV, *Solanum lycopersicum*, typing.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza de mayor importancia en el mundo, debido a su sabor, alto contenido de vitamina A y versatilidad para la industria (Poiroux-Gonord *et al.* 2010, FAO 2018). Durante décadas, esta hortaliza ha sido la más importante en términos de producción en Panamá, ocupando el vigésimo segundo y el quinto lugar en el continente americano y en América Central, respectivamente (FAO 2018). Sin embargo, la producción de tomate en este país ha disminuido de 30499 t en el año 1983 a 18167 t en el año 2017, lo que equivale a una reducción de 40,4% entre un año y otro, y hoy en día ocupa el tercer lugar después de la sandía [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. y Nakai] y la papa (*Solanum tuberosum* L.), respectivamente (FAO 2018). La disminución en la producción de tomate en Panamá se debe en gran parte a las enfermedades causadas por begomovirus (género *Begomovirus*, familia *Geminiviridae*)

transmitidos por la mosca blanca *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) (Engel *et al.* 1998).

La provincia de Los Santos, en la región central del país, está considerada como la principal zona de producción de tomate industrial en Panamá, con una producción de 5898 t (85,6% del total a nivel nacional), mientras que la superficie destinada a su cultivo es de 110,1 ha (74,9% del total a nivel nacional) en el año 2017 (MIDA 2018). Los primeros síntomas asociados a la posible presencia de begomovirus se observaron en el cultivo del tomate en esta provincia desde 1983, siendo estos, enrollamiento y mosaico de las hojas, enanismo de las plantas y reducción de la producción (Engel *et al.* 1998). Sin embargo, el primer begomovirus que se reportó afectando a esta hortaliza en este país se identificó en 1998, siendo este, el virus del mosaico amarillo de la papa de Panamá (PYMPV) (Engel *et al.* 1998). El estudio más reciente sobre begomovirus en Panamá se publicó en el año 2016, donde se identificaron tres especies de begomovirus infectando tomate, siendo estas, el PYMPV (descrito previamente en este país) y dos especies nuevas, el virus del moteado amarillo del tomate (TYMoV) y el virus del enrollamiento de la hoja de tomate de Sinaloa (ToICSiV) (Herrera-Vásquez *et al.* 2016). Estos autores determinaron la presencia de infecciones individuales de estos tres virus en diferentes regiones del país, pero también observaron infecciones mixtas de PYMPV/ToICSiV en la provincia de Chiriquí y de PYMPV/TYMoV en la provincia de Herrera, lo que trajo consigo importantes pérdidas en la producción de tomate en Panamá (Herrera-Vásquez *et al.* 2016).

La identificación de begomovirus debe ser un proceso permanente, ya que las enfermedades causadas por estos patógenos varían en cuanto a la sintomatología que causan en los diferentes cultivares de tomate. Por lo tanto, en el presente estudio se planteó realizar una prospección específicamente en la provincia de Los Santos, con la finalidad de determinar la incidencia y distribución actual de este grupo de virus, considerado importantes en esta hortaliza, presentando de igual forma las estrategias de manejo del complejo begomovirus-*B. tabaci* que afecta a este cultivo en esta región del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo y procesamiento de muestras

Se realizó una prospección en nueve parcelas del cultivo de tomate industrial de diferentes cultivares locales (T-7, T-8 y criollo) ubicadas en siete diferentes localidades de los distritos de Los Santos y Macaracas, en la provincia de Los Santos, Panamá, que representa la principal región de producción de tomate industrial en este país, en el período del 18 de febrero de 2016 al 24 de mayo de 2017 (Figura 1, Cuadro 1). La georeferenciación de estas parcelas se realizó con la ayuda de un teléfono móvil, que usa el sistema de posicionamiento global mediante satélites (GPS). Las coordenadas se mapearon en el sistema de coordenadas universal de Mercator (UTM) y se digitalizaron usando Google Earth Pro (v7.1 para Windows 10), mientras que las imágenes de los mapas se editaron en el programa Paint 3D (v1703 para Windows 10) (Figura 1, Cuadro 1). Se recolectaron 70 muestras de hojas en plantas de tomate en estado fenológico de floración y fructificación, que mostraban síntomas asociados a la posible presencia de begomovirus transmitidos por *B. tabaci*, incluyendo mosaico amarillo, distorsión, tamaño reducido de hojas y reducción del crecimiento de las plantas (Figura 2). Estas muestras se secaron sobre gel de sílice y se almacenaron a temperatura ambiente. Se utilizó agua ultrapura estéril y se cultivaron plantas de tomate de los cultivares locales T-7, T-8 y T-9 en una jaula a prueba de insectos, para ser usadas como controles negativos al momento de realizar los análisis moleculares.

Cuadro 1. Incidencia y distribución del virus del mosaico amarillo de la papa de Panamá (PYMPV) mediante la técnica de PCR en muestras de tomate procedentes de diferentes localidades de la provincia de Los Santos, Panamá (periodo 2016-2017).

Localización geográfica			GPS		Altitud ^a	Muestras	Begomovirus (bipartito), Nuevo Mundo ^b		Especie de begomovirus
			Coordenadas UTM				ADN-A	ADN-B	
Distrito	Corregimiento	No. Parcela	X	Y				PYMPV	
Los Santos	Tres Quebradas	1	566823	867500	64	5	5	5	
		2	565962	867286	72	10	9	9	
	Las Cruces	3	562230	864838	83	5	3	3	
	La Colorada	4	551895	866181	75	6	4	4	
	El Guásimo	5	553017	869702	46	5	5	5	
		6	555129	867867	90	5	4	4	
	Villa Lourdes	7	558713	864190	78	10	8	8	
	El Ejido	8	569538	873882	51	19	17	17	
Macaracas	Chupá	9	546249	859400	79	5	3	3	
Total						70	58	58	58

^a La altitud corresponde a metros sobre el nivel del mar (MSNM).

^b Número de plantas positivas. Para determinar la especie de begomovirus, se analizaron solamente las muestras que resultaron positivas a begomovirus (bipartito). El virus del moteado amarillo del tomate (TYMoV) y el virus del enrollamiento de la hoja de tomate de Sinaloa (ToLCSiV) no se identificaron en este estudio. Por lo tanto, estos virus no se incluyeron en el Cuadro.



Figura 1. Localización geográfica del área muestreada en la provincia de Los Santos, Panamá (período 2016-2017). Distrito de Los Santos: corregimientos de Tres Quebradas (Parcelas Nos. 1 y 2), Las Cruces (Parcela No. 3), La Colorada (Parcela No. 4), El Guásimo (Parcelas Nos. 5 y 6), Villa Lourdes (Parcela No. 7) y El Ejido (Parcela No. 8); Distrito de Macaracas: corregimiento de Chupá (Parcela No. 9).



Figura 2. Moscas blancas *Bemisia tabaci*, vector de begomovirus, en el envés de las hojas en una planta de tomate (a); síntomas de mosaico amarillo y enrollamiento de hojas (b); mosaico amarillo y reducción del tamaño de frutos de tomate (c); aspecto general de una parcela de tomate afectada por begomovirus (d).

Extracción de ADN

La extracción del ADN total de cada muestra de hojas se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Dellaporta *et al.* (1983). La concentración y calidad del ADN extraído se estimó mediante espectrofotometría, utilizando la placa Take3 acoplada a un espectrofotómetro Epoch (BioTek Instruments, Vermont, USA).

Detección de begomovirus

La detección de begomovirus se realizó mediante la técnica de PCR, siguiendo el procedimiento descrito por Herrera-Vásquez *et al.* (2016), utilizando dos parejas de iniciadores degenerados, PAL1v1978/PARc715 y PBL1v2040/PCRC2, que amplifican parcialmente el ADN-A y el ADN-B de este grupo de virus, respectivamente (Rojas *et al.* 1993). La primera pareja de iniciadores amplifica un fragmento de ~1400-pb, correspondiente a un segmento de la proteína asociada con la replicación (Rep), la región común (CR) completa y un segmento de la proteína de cubierta (CP), mientras que la segunda pareja de iniciadores amplifica un fragmento de ~500-pb, correspondiente a un segmento de la proteína de movimiento (MP) y la región común (CR) completa (Rojas *et al.* 1993).

Tipificación de begomovirus

La tipificación de begomovirus se realizó mediante la técnica de PCR, solamente en las muestras que resultaron positivas a begomovirus (bipartito), siguiendo el procedimiento descrito por Herrera-Vásquez *et al.* (2016). Para ello, se utilizaron iniciadores específicos para las tres especies de begomovirus (PYMPV, TYMoV y ToLCSiV) que infectan tomate en Panamá (Herrera-Vásquez *et al.* 2015, 2016). Los iniciadores PYMPVA-151v/PYMPVA-894c (específicos para PYMPV) amplifican un fragmento de 743-pb, correspondiente a un segmento de la CP (Herrera-Vásquez *et al.* 2016), mientras que los iniciadores TYMoVC1v/TYMoVC1c (específicos para TYMoV) y ToLCSiVC2v/ToLCSiVC2c (específicos para ToLCSiV) amplifican un fragmento de 479-pb y 580-pb, respectivamente, correspondientes a un segmento de la Rep (Nakhla *et al.* 2005).

Secuenciación y análisis de secuencias

Para confirmar la identidad de PYMPV, única especie de begomovirus identificada en este estudio, se secuenciaron dos productos de PCR en el servicio de secuenciación de MacroGen Inc. (Seúl, KOR). Las secuencias obtenidas se compararon con las

secuencias disponibles en la base de datos del GenBank, con la ayuda del instrumento de búsqueda de alineamientos locales básicos (BLAST) (Altschul *et al.* 1997). Las secuencias de PYMPV obtenidas del presente estudio se depositaron en la base de datos del GenBank bajo los números de acceso MF940172 y MF940173.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Detección de begomovirus

La detección de begomovirus se realizó mediante PCR, utilizando iniciadores degenerados para el ADN-A y el ADN-B de este grupo de virus. Cincuenta y ocho (58) muestras de tomate (82,9% del total de muestras recolectadas) (Cuadro 1) mostraron el tamaño de banda esperado de ~1400-pb y ~500-pb para el ADN-A y el ADN-B, respectivamente, tras la electroforesis en gel de agarosa, lo que indica que existe infección por begomovirus bipartito del Nuevo Mundo (Figura 3). No se observó amplificación cuando se utilizó agua ultrapura estéril o plantas sanas de tomate como molde en el análisis de PCR (Figura 3).

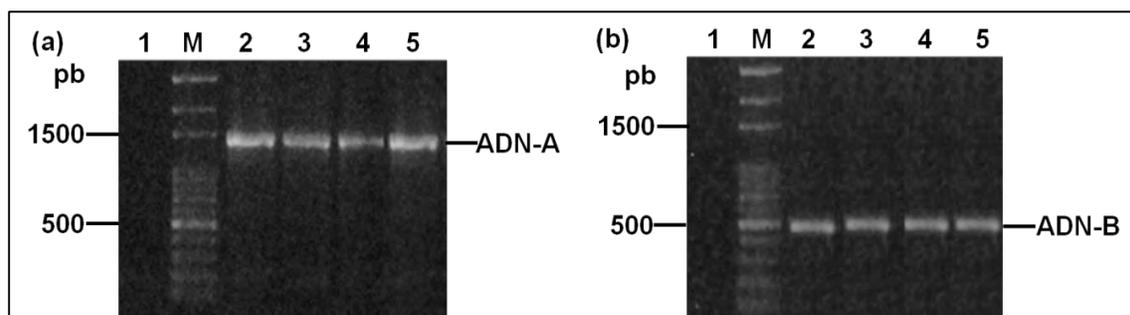


Figura 3. Amplificación mediante la técnica de PCR de fragmentos de ~1400-pb y ~500-pb correspondientes al ADN-A (a) y ADN-B (b) de begomovirus, respectivamente. Línea 1, control negativo (planta de tomate sana); Línea 2, control positivo (planta de tomate infectada con begomovirus); Líneas 3–5, muestras de hojas de plantas de tomate procedentes de diferentes localidades de la provincia de Los Santos; Línea M, marcador de peso molecular de 100-pb (AMRESCO).

La presencia de begomovirus se determinó en todas las parcelas y localidades evaluadas en la provincia de Los Santos, durante el período 2016-2017 (Cuadro 1). La incidencia más alta (100,0%) se presentó en las localidades de Tres Quebradas (Parcela No. 1) y El Guásimo (Parcela No. 5), mientras que la incidencia más baja (60,0%) se obtuvo en las localidades de Las Cruces (Parcela No. 3) y Chupá (Parcela No. 9) (Cuadro 1). En estudios previos realizados por Herrera-Vásquez *et al.* (2016), la incidencia de

begomovirus se presentó en el rango de 20% a 80% en cultivos de tomate en diferentes localidades de la provincia de Los Santos, incluida Tres Quebradas. Sin embargo, el presente estudio es el primero que analiza la incidencia de begomovirus en las localidades de Las Cruces, La Colorada, El Guásimo, Villa Lourdes, El Ejido y Chupá, consideradas las zonas más importantes del cultivo de tomate en esta provincia. Por lo tanto, la disminución de la producción de tomate industrial reportada recientemente en la provincia de Los Santos, podría estar asociada a la alta incidencia de begomovirus determinada en este estudio, lo que coincide con la presencia en esta región del país de los biotipos A y B de *B. tabaci* (Alvarado *et al.* 2004), denominados actualmente grupos Nuevo Mundo (NW) y Oriente Medio Asia Menor 1 (MEAM1), respectivamente (Lee *et al.* 2013), ambos vectores de begomovirus (Morales 2006). La densidad poblacional de *B. tabaci* no fue considerada en este estudio, pero en un trabajo realizado por Valderrama *et al.* (2002), en el que estudiaron la relación PYMPV-*B. tabaci* en condiciones controladas de invernadero, la eficiencia relativa de infección por PYMPV en tomate para 1, 5, 10 y 20 adultos de *B. tabaci* fue de 25; 53,8; 75 y 100%. Sin embargo, aunque los valores de incidencia viral sean altos, la severidad de los síntomas depende de la respuesta de los diferentes genotipos a la infección (Martínez *et al.* 2008).

Tipificación de begomovirus

La tipificación de begomovirus se realizó mediante PCR en las 58 muestras que revelaron una reacción positiva a este grupo de virus (Cuadro 1), utilizando iniciadores específicos para PYMPV, TYMoV y ToLCSiV, únicas especies de begomovirus reportadas en tomate en Panamá (Herrera-Vásquez *et al.* 2015, 2016). Se identificó solamente a PYMPV en el 100,0% de estas muestras (Cuadro 1), coincidiendo con los estudios realizados por Engel *et al.* (1998) y Herrera-Vásquez *et al.* (2016), que reportan solamente a esta especie infectando cultivos de tomate en la provincia de Los Santos. El producto de PCR amplificado con los iniciadores específicos para este virus, presentó el tamaño de banda esperado de 743-pb tras la electroforesis en gel de agarosa (Figura 4). No se observó amplificación de este fragmento en los controles negativos utilizados como molde en el análisis de PCR (Figura 4).

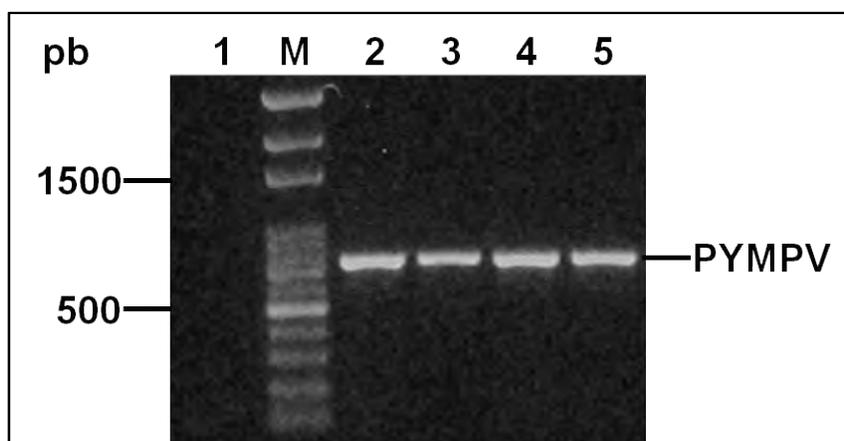


Figura 4. Amplificación mediante la técnica de PCR de un fragmento de 743-pb correspondiente a la proteína de cubierta (CP) del virus del mosaico amarillo de la papa de Panamá (PYMPV). Línea 1, control negativo (planta de tomate sana); Línea 2, control positivo (planta de tomate infectada con begomovirus); Líneas 3–5, muestras de hojas de plantas de tomate procedentes de distintas localidades de la provincia de Los Santos; Línea M, marcador de peso molecular de 100-pb (AMRESCO).

Un total de 12 muestras de tomate que mostraban síntomas asociados a virus, que se recolectaron en diferentes localidades de la provincia de Los Santos, resultaron negativas a begomovirus mediante PCR (Cuadro 1). Estas muestras podrían albergar la presencia de otros virus que infectan tomate en distintas regiones de Panamá, como el virus Y de la papa (PVY; género *Potyvirus*, familia *Potyviridae*) (Herrera-Vásquez *et al.* 2009b), virus del mosaico del pepino (CMV; género *Cucumovirus*, familia *Bromoviridae*), virus del torrado del tomate (ToTV; género *Torradovirus*, familia *Secoviridae*) (Herrera-Vásquez *et al.* 2009a), virus del mosaico del tabaco (TMV) y virus del mosaico del tomate (ToMV), ambos pertenecientes al género *Tobamovirus* dentro de la familia *Virgaviridae* (Herrera-Vásquez 2015). PVY y CMV se transmiten por áfidos de forma no persistente (Brunt *et al.* 1996), mientras que ToTV se transmite por las moscas blancas *B. tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood y *Trialeurodes abutilonea* Haldeman de forma semipersistente (Verbeek *et al.* 2014). En Panamá, se reporta la presencia solamente de *B. tabaci* y *T. vaporariorum* (Zachrisson y Poveda 1992). TMV y ToMV se transmiten mecánicamente y por semilla (Brunt *et al.* 1996). La presencia o ausencia de estos virus en las muestras que resultaron negativas a begomovirus podría analizarse en un futuro estudio.

Secuenciación y análisis de secuencias

Las secuencias de PYMPV obtenidas en este estudio (MF940172 y MF940173) se compararon con las secuencias publicadas en la base de datos del GenBank. En todos los casos, las secuencias de ADN obtenidas fueron las esperadas. La identidad de secuencia entre aislados de este virus fue del 100,0% en la zona del genoma estudiada. Por lo tanto, estos resultados aportan evidencia de que PYMPV presenta una variabilidad genética muy baja, lo que es consistente con los trabajos realizados por Davino *et al.* (2018) para esta especie de begomovirus en Panamá. De igual forma, los estudios realizados para virus de plantas indican que la estabilidad genética en lugar de la diversidad podría ser la regla general de este grupo de virus, independientemente si su genoma es ARN o ADN (Gibbs *et al.* 1999).

CONCLUSIÓN

- Las prospecciones realizadas históricamente en el cultivo de tomate industrial en la provincia de Los Santos, revelan que las infecciones causadas por PYMPV son de especial preocupación en esta región del país. Por lo tanto, para tratar de mitigar los daños causados por el complejo begomovirus-*B. tabaci* en esta hortaliza, se sugiere establecer un Manejo Integrado del Cultivo (MIC).

RECOMENDACIONES

Combinación de medidas indicadas a continuación:

- Proteger las plantas para el trasplante con malla, para evitar la llegada de adultos de moscas blancas y su puesta de huevos.
- Establecer cultivos trampas (por ejemplo, maíz amarillo precoz) en las parcelas. Esta estrategia reduce la presión de las moscas blancas sobre el cultivo, con el fin de minimizar la incidencia de begomovirus.
- Eliminar las malezas hospederas de moscas blancas y begomovirus en los bordes y en el interior de las parcelas, ya que podrían actuar como reservorios de este complejo.
- Evitar establecer plantaciones en las cercanías de plantaciones adultas que pudieran estar infestadas por moscas blancas virulíferas.
- Ubicar las plantaciones que se vayan a establecer en las cercanías de plantaciones adultas, en la dirección contraria a los vientos predominantes, para reducir la infestación en las nuevas parcelas de moscas blancas virulíferas.

- Realizar monitoreo de moscas blancas, con la finalidad de establecer umbrales de acción.
- Utilizar coberturas reflectantes que ayudan a repeler las moscas blancas.
- Eliminar las plantas infectadas con virus antes del incremento de las poblaciones de moscas blancas.
- Eliminar los residuos que se encuentren en el campo de cosechas anteriores, puesto que suelen permanecer como hospedantes de patógenos y plagas.
- Seleccionar genotipos de tomate con alguna característica de tolerancia o resistencia a begomovirus, debido a que los cultivares evaluados en este estudio se mostraron susceptibles frente a begomovirus.
- Aplicar un insecticida sistémico (por ejemplo, imidacloprid) para asegurar que las plantas para el trasplante permanezcan protegidas, debido a que las plantas más jóvenes son las más susceptibles. De igual forma, este insecticida podría ayudar a retrasar la infestación de las moscas blancas en la plantación, lo que ayudaría a reducir la incidencia de begomovirus en el cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) y al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) por el financiamiento de esta investigación, a través de los proyectos FID14-020 y 501.A.1.42. El Dr. J.A. Herrera-Vázquez fue apoyado por el Sistema Nacional de Investigación (SNI, Panamá). Finalmente, queremos agradecer al personal técnico de la Dirección Nacional de Sanidad Vegetal del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (DNSV, MIDA, Panamá) y del IDIAP, así como a los productores de tomate de la provincia de Los Santos por su apoyo y hospitalidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Altschul, SF; Madden, TL; Schaffer, AA; Zhang, J; Zhang, Z; Miller, W; Lipman, DJ. 1997. Gapped BLAST and PSIBLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Research* 25:3389-3402.
- Alvarado, L; Sánchez, J; Zachrisson, B; Fernández, O. 2004. Distribución del biotipo B de *Bemisia tabaci* en la zona central de Panamá. *Manejo Integrado Plagas y Agroecología* 71:67-72.

- Brunt, AA; Crabtree, K; Dallwitz, MJ; Gibbs, AJ; Watson, L; Zurcher, EJ. (eds). 1996. Plant Viruses Online: Descriptions and Lists from the VIDE Database. Version: 16th January 1997. Consultado 3 oct. 2018. Disponible en <http://biology.anu.edu.au/Groups/MES/vide/>
- Davino, S; Panno, S; Caruso, A; Davino, M; Herrera Vásquez, JA. 2018. High genetic stability of *Potato yellow mosaic Panama virus* infecting tomato in Panama. Journal of Plant Pathology 100:59-65.
- Dellaporta, S; Woods, H; Hicks, J. 1983. A plant DNA minipreparation: version II. Plant Molecular Biology Reporter 1:19-21.
- Engel, M; Fernández, O; Jeske, H.; Frischmuth, T. 1998. Molecular characterization of a new whitefly-transmissible bipartite geminivirus infecting tomato in Panama. Journal of General Virology 79:2313-2317.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2018. Base de datos estadísticos FAOSTAT. Consultado 3 oct. 2018. Disponible en <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>
- Gibbs, AJ; Keese, PL; Gibbs, MJ; García-Arenal, F. 1999. Plant virus evolution: Past, present and future. In Domingo, E; Webster, R; Holland, J. (eds). Origin and Evolution of Viruses, pp. 263-285.
- Herrera-Vásquez, JA; Alfaro-Fernández, A; Córdoba-Sellés, MC; Cebrián, MC; Font, MI; Jordá, C. 2009a. First report of *Tomato torrado virus* infecting tomato in single and mixed infections with *Cucumber mosaic virus* in Panama. Plant Disease 93:198.
- Herrera-Vásquez, JA; Córdoba-Sellés, MC; Cebrián, MC; Alfaro-Fernández, A; Jordá, C. 2009b. First report of *Pepper mild mottle virus* and *Tobacco mild green mosaic virus* infecting pepper in Panama. Plant Pathology 58:786.

- Herrera-Vásquez, JA. 2015. Detección del virus del mosaico del tabaco (TMV) y del virus del mosaico del tomate (ToMV) en el cultivo de tomate en la provincia de Los Santos, Panamá. Datos no publicados.
- Herrera-Vásquez, JA; Ortega, D; Romero, AB; Davino, S; Mejía, LC; Panno, S; Davino, M. 2015. First report of *Tomato leaf curl Sinaloa virus* infecting tomato crops in Panama. *New Disease Reports* 31:30.
- Herrera-Vásquez, JA; Ortega, D; Romero, AB; Davino, S; Mejía, LC; Panno, S; Davino, M. 2016. Begomoviruses infecting tomato crops in Panama. *Journal of Phytopathology* 164:102-113.
- Lee, W; Park, J; Lee, GS; Lee, S; Akimoto, SI. 2013. Taxonomic status of the *Bemisia tabaci* complex (*Hemiptera: Aleyrodidae*) and reassessment of the number of its constituent species. *PLoS ONE* 8:e63817. doi:10.1371/journal.pone.0063817.
- Martínez, AK; Morales, FJ; Vallejo Cabrera, FA. 2008. Caracterización molecular de un begomovirus del tomate en el Valle del Cauca, Colombia, y búsqueda de fuentes de resistencia para el mejoramiento de la variedad Unapal Maravilla. *Acta Agronómica (Palmira)* 57:167-173.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2018. Dirección de Agricultura-Unidad de Planificación, cultivo de tomate industrial, cierre agrícola año 2016-2017. Consultado 3 oct. 2018. Disponible en https://www.mida.gob.pa/direcciones/direcciones_nacionales/direcci-n-de-agricultura/cierre-agr-cola-2016-2017.html
- Morales, FJ. 2006. History and current distribution of begomoviruses in Latin America. *Advances in Virus Research* 67:127-162.
- Nakhla, M; Sorenson, A; Mejía, L; Ramírez, P; Karkashian, J; Maxwell, D. 2005. Molecular characterization of tomato-infecting begomoviruses in Central America and development of DNA-based detection methods. *Acta Horticulturae* 695:277-288.

- Poiroux-Gonord, F; Bidel, LPR; Fanciullino, AL; Gautier, H; Lauri-López, F. 2010. Health benefits of vitamins and secondary metabolites of fruits and vegetables and prospects to increase their concentrations by agronomic approaches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58:12065-12082.
- Rojas, MR; Gilbertson, RL; Russell, DR; Maxwell, DP. 1993. Use of degenerate primers in the polymerase chain reaction to detect whitefly-transmitted geminiviruses. *Plant Disease* 77:340-347.
- Valderrama, A; Velásquez, A; Fernández, O. 2002. Infección del virus del rizado de las hojas del tomate (ToLCV-Pan) por *Bemisia tabaci* en Panamá. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 64: 67-71.
- Verbeek, M; Van Bekkum, PJ; Dullemans, AM; Van der Vlugt, RA. 2014. Torradoviruses are transmitted in a semipersistent and stylet-borne manner by three whitefly vectors. *Virus Research* 186:55-60.
- Zachrisson, B; Poveda, J. 1992. Las moscas blancas en Panamá. *In* Hilje, L; Arboleada, O. (eds.). *Las moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en América Central y el Caribe*. Turrialba, CR, CATIE, pp. 64-66.

A. NORMAS GENERALES

La revista Ciencia Agropecuaria publica artículos científicos originales realizados en cualquier área de las ciencias agropecuarias.

Los escritos deben ser redactados en español y enviados vía correo electrónico a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa (solicitar confirmación de lectura). La presentación en otro idioma deberá ser consultada previamente con el editor principal de la revista. Deben ser de interés para un público especializado, redactados en prosa científica y comprensible al lector.

Los trabajos que ingresan a la revista son revisados, evaluados, que cumplan con el formato establecido (formato de revisión). Una vez ajustados al formato de la revista, son enviados a especialistas (revisión de pared) y con dos dictámenes positivos se acepta la incorporación del trabajo al índice en curso.

Aquellos trabajos que no se ajusten a las normas para autores y formato de revisión (disponibles en: <http://www.idiap.gob.pa/index.php/revista>) serán devueltos a los autores para los respectivos ajustes, antes de ser considerados para evaluación y los aceptados serán publicados bajo el entendimiento de que el material presentado es original e inédito, siendo los autores los únicos responsables por la veracidad y exactitud de las afirmaciones y datos presentados. Además, la revista provee acceso libre inmediato a su contenido en el principio de que hacer disponible gratuitamente investigaciones al público apoya a un mayor intercambio de conocimiento global.

Los trabajos deben enviarse vía correo electrónico a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa y su envío debe incluir carta de presentación del artículo, el documento, formato de revisión, declaración de inédito, aprobación de los autores y de las instituciones participantes mencionadas en el documento.

Todos los trabajos deben incluir título, autores, resumen y palabras claves, tal como se describen en el artículo.

Los trabajos deben ser preparados en el procesador de texto Microsoft Word, en letra arial, tamaño 11, a espacio y medio. Márgenes superior e inferior de 2,5 cm (1 pulgada) e izquierdo y derecho de 3,05 cm (1,2 pulgadas) y un máximo de 25 páginas.

Los nombres científicos deben ser escritos en cursiva, mayúscula inicial para el género y la especie en minúscula; para la familia se debe escribir en regular o normal (en Word) con mayúscula inicial. Las abreviaturas y signos redactados con base en el Sistema Internacional de Unidades (SI), también llamado Sistema Internacional de Medidas, usado internacionalmente y basado en el sistema métrico decimal.

Los cuadros y figuras (gráficos, dibujos, esquemas, diagramas) se presentan en secuencia lógica de acuerdo al texto. Adicional, deben aparecer en archivos aparte en original y las fotos en formato JPG o TIF. El tamaño de la fuente igual que el texto en negrita. Los cuadros y leyendas de las figuras deben ser enumerados en arábigo por orden de referencia en el texto.

Citación

La literatura citada se basa en la norma implementada por la ASA (American Society of Agronomy) para la estructuración de la lista de referencias bibliográficas.

Generalidades

- Evitar el uso de referencias de datos no publicados, ya que no se encuentran con la disponibilidad para los lectores que deseen acceder a esas fuentes.
- Las referencias bibliográficas en el texto deben aparecer citadas en idioma español independiente del idioma de origen de la fuente.
- En la literatura cita las referencias deben redactarse de acuerdo con el idioma de origen de la misma.
- No se aceptan referencias bibliográficas que tengan más de diez años de antigüedad, a menos que sea indispensable o sea trabajos clásicos que mantienen su vigencia en el tiempo.
- Evitar más de tres citas para apoyar una idea o información.
- Las citas en el texto se mencionan separando con una coma el apellido del primer autor del año; si son dos autores el apellido de cada autor va separado por “y”, finalmente cuando se trata de referencias con más de dos autores, se menciona el apellido del primer autor seguido de “et al.”.

Ejemplos:

(Murphy, 2001; Murphy y Smith, 2001; Murphy et al., 2001)

(Murphy, 2001; Murphy y Wong, 2001a, 2001b; Murphy et al., 2001)

(Murphy, 2001; Murphy et al., 2001, 2002; Murphy y Davis, 2002)

Debe redactar lo que desea resaltar de la información y luego presentar la cita, igual para los cuadros, figuras e imágenes. Los artículos que mencionen productos químicos, deberán hacerlo por el nombre genérico o ingrediente activo.

La literatura debe estar organizada en orden alfabético de acuerdo con el apellido y las iniciales del nombre del primer autor. Cuando hay varias citas de un único autor se ordenan cronológicamente por año de publicación. Si las citas tienen el mismo año se ordenan alfabéticamente agregando las letras a, b, c, ... después del año de publicación. Si se trata de más de una cita donde el primer autor es el mismo las prioridades al ordenar las referencias es el siguiente:

- Apellido e iniciales del nombre del segundo autor.
- Si los dos primeros autores se repiten en varias citas se utiliza el apellido y las iniciales del nombre del tercer autor, así sucesivamente.

Ejemplo:

Barreto, H., y W.R. Raun. 1990.

Barreto, H. 1991.

Barreto, H., W.R. Raun., and C.W. Hesseltine. 1995.

Barreto, H., W.R. Raun., and C.W. Hesseltine. 1993a.

Barreto, H., W.R. Raun., and C.W. Hesseltine. 1997.

Barreto, H., W.R. Raun., C.W. Hesseltine, and M.L. Goulden, 1993b.

Barreto, H., W.R. Raun., and C.W. Hesseltine. 1995.

Barreto, H., y C.W. Hesseltine. 1994a.

Barreto, H., y C.W. Hesseltine. 1994b.

En el caso de una cita textual de un libro o un capítulo muy largo se requiere el número de páginas en la cita del texto, para ahorrarle al lector una búsqueda tediosa de la redacción original. Si es posible, se prefiere el número exacto de página.

Ejemplo:

Harper (1977, p.372), who called for a Koch's postulates type of approach..., remained skeptical about the feasibility of designing "an experiment that conclusively test the toxin hypothesis of plant interction."

Cuando se trata de comunicaciones personales estas se incluyen únicamente en el texto entre paréntesis.

Ejemplo:

Los daños por insectos plagas, son reportados por los productores como uno de los principales problemas que afectan la producción de hortalizas en las tierras altas de la región occidental del país (Santamaría-Guerra, comunicación personal, 2017).

Todos los autores institucionales deben citarse en texto con su respectivo acrónimo o abreviatura; mientras que en la lista de referencias las siglas van seguidas del nombre completo del autor corporativo, entre paréntesis, excepto las siglas utilizadas para los centros del del Grupo Consultivo en Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) (www.cgiar.org). CIAT, CIFOR, CIMMYT, CIP, ICARDA, ICLARM, ICRAI, ICRISAT, IFPRI, IITA, IIRRI, ILRI, IPGRI, ISNAR, IWMI, WARDA, IBPGR.

Cuando se mencionan imprentas o casas editoriales de Estados Unidos, se incluye únicamente el nombre de la ciudad y la abreviatura del Estado donde se encuentra dicha editorial.

Ejemplo:

Bramley, A. 1992. Milking hygiene and mastitis control. p. 457-463. In: H. Van Horn, and C. Wilcox, editors. Large dairy herd management. Management Services. American Science Association, Champaign, IL.

Los nombres de revistas se abrevian de acuerdo a la norma internacional que se encuentra disponible en <https://www.agrnomy.org/files/publications/style/appendix-a.pdf>

Cada trabajo mencionado en la literatura consultada, debe incluir el apellido del primer autor, seguido de las iniciales del nombre, separadas por punto (Smith, J.R.). Para obras de más de un autor, sólo el apellido del primer autor se escribe antes de las iniciales del nombre (Smith, J.R., M. Jones, y C. Rosen). Los autores se separan por una coma y se debe utilizar la letra “y” antes de citar el último autor.

B. NORMAS ESPECÍFICAS

1. ARTÍCULOS

Se estructurará de la siguiente forma: Título (español e inglés), autores (afiliación, dirección, correo electrónico en pie de página), resumen y palabras claves en español e inglés, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones, bibliografía, cuadros y figuras. Extensión máxima de 25 páginas, incluyendo cuadros, figuras, fotos y referencias.

- a. **Título:** En mayúscula cerrada y centrado, debe expresar en 15 palabras el contenido, las materias y conceptos clave. Se proporcionará en español e inglés. Indicar en pie de página si fue tesis, proyecto, entre otros.
- b. **Autores:** Debe indicar el nombre completo y sus dos apellidos sin abreviar y separados por un guion, centrado, después del título, se indicarán en orden, primer autor y coautores. Indicar en el pie de página la afiliación de cada autor, Institución o Compañía en la que labora (nombre completo y siglas entre paréntesis), dirección o correo electrónico y en caso de contar con el apartado postal incluirlo.
- c. **Resumen:** En español e inglés. Debe ser breve y evitar exceder de 5% (aproximadamente 250 palabras) del texto principal completo. Incluye el objetivo de la investigación, método experimental, los resultados más importantes y las conclusiones. El resumen debe ser lo suficientemente explícito para que el lector obtenga un conocimiento exacto del contenido. Esto es esencial para el resumen en inglés.
- d. **Palabras claves:** Un máximo de cinco palabras, pueden ser compuestas, y las mismas, deben permitir identificar la temática y evitar repetir las palabras del título.
- e. **Introducción:** Debe ser breve y contendrá los antecedentes más importantes o relevantes de la investigación, el estado actual del tema objeto de la investigación, la problemática (alcances y limitaciones) y las razones por las cuales se hizo el planteamiento.
Debe redactar lo que desea resaltar de la información y luego presentar la cita, igual para los cuadros y figuras.
- f. **Materiales y métodos:** Se expondrá de forma concisa, los materiales utilizados y la metodología aplicada. Se deberá presentar los detalles necesarios para

que el lector interesado pueda repetir la parte experimental, con indicación de sobre los datos agro meteorológicos, diseño y métodos de análisis estadísticos empleados. Para los procedimientos ya descritos en la literatura, deben ser citados y sólo se aceptará la mención de modificaciones sustanciales.

- g. Resultados y discusión:** Se dan a conocer los datos obtenidos más importantes. Estos deben presentarse en la forma más concisa posible, (si es necesario se utilizarán subtítulos, si son varios los factores que intervinieron en el estudio). Las figuras y cuadros deben ser elementos de apoyo a los resultados y no deben repetir la información que aparece en el texto. Los promedios y señalamientos de diferencias significativas deben acompañarse de las indicaciones de la variación relativa y probabilidad alcanzada. En la discusión de resultados se señalan las relaciones entre los hechos observados. Debe indicarse el significado de los hechos, las causas, los efectos e implicaciones.
- h. Conclusiones:** En esta sección se presentan los hechos significativos en forma clara y lógicamente ordenadas. Las conclusiones deben dar respuesta a los objetivos descritos en la introducción.
- i. Bibliografía:** Se incluirá sólo la literatura citada tomando en cuenta la normativa implementada por la ASA (American Society of Agronomy) para la estructuración de la lista de referencias bibliográficas y se acepta con un mínimo de 10 citas.
- k. Agradecimiento:** (Opcional) Para efecto de reconocimiento del autor a personas e instituciones que hayan colaborado en la información del manuscrito, sus nombres deberán presentarse en esta sección.

2. NOTAS CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS

- a. Notas científicas:** Serán considerados aquellos escritos basados en aspectos experimentales, investigaciones terminadas o en curso, de cualquier tipo, que presenten un aspecto metodológico novedoso, con resultados que el autor decida comunicar, en este estilo, por considerarlo importante.
- b. Notas técnicas:** Serán considerados aquellos escritos que presenten: (1) Descripción de una nueva técnica de producción; (2) Estudios preliminares de caracterización de nuevos criterios de selección; (3) Resultados o logros sobresalientes de un programa (4) Temas de interés, científico y tecnológico. Se estructurará de igual forma que el artículo: Título (español e inglés), autores (identificación y lugar de trabajo en pie de página), resumen y palabras claves en

español e inglés, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones, bibliografía, cuadros y figuras. Extensión máxima de 10 páginas en Word con el mismo formato y márgenes solicitados en el artículo e incluyendo cuadros, figuras y referencias bibliográficas. Los cuadros no deberán ser más de tres.

3. COMUNICACIONES CORTAS

Las comunicaciones cortas son reportes de significado, urgencia e interés, pero deben contener resultados preliminares relevantes. Una extensión máxima de 10 páginas en Word. La introducción debe indicar la urgencia, el significado o el interés extraordinario de la información, lo cual ayudará al cuerpo editorial en la aceptación o rechazo de la comunicación. No debe ser estructurada de la misma manera que un artículo, debe contener una introducción breve sobre el tema y los resultados más importantes. Si se describe un trabajo sintético, se debe agregar suficiente material suplementario con el fin de quien lo desee pueda replicar la metodología.

Incluir: Título (español e inglés), autores (identificación y lugar de trabajo en pie de página), resumen y palabras claves en español e inglés.

4. ENSAYOS Y REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS

Se estructurarán de la siguiente forma: Título (español e inglés), autores (identificación y lugar de trabajo en pie de página), resumen y palabras claves en español e inglés, introducción, subtítulos y referencias bibliográficas. Podrá ser presentado en otro idioma, previa consulta con el editor principal de la revista. Debe tener una extensión máxima de 25 páginas en Word con el mismo formato y márgenes solicitados en el artículo científico e incluyendo cuadros, figuras y no menos de 50 referencias bibliográficas.

Publicación semestral del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá

La publicación de artículos es sin costo alguno, la revista es de acceso abierto.

Los trabajos que ingresan a la revista se examinan que cumplan con el formato establecido. Una vez revisado y ajustado al formato, son enviados a especialistas y con dos dictámenes positivos se incorporan al índice en curso.

La publicación de los artículos es responsabilidad de los autores, quedando la revista científica CIENCIA AGROPECUARIA sin responsabilidad legal.

Correspondencia relativa a la distribución y canje debe dirigirse a:
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
Centro de Información Documental Agropecuaria (CIDAGRO)
Tel. (507) 976-1265/1168 fax. 976-1349
e-mail: cidagro.idiap@idiap.gob.pa

Correspondencia relacionada al contenido editorial debe enviarse a:
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
CIENCIA AGROPECUARIA - Revista Científica
Tel. (507) 500-0519/0520/0521/0522
e-mail: cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa
Web: idiap.gob.pa
Clayton – Ciudad del Saber
IDIAP. 2018. Derechos Reservados

ACCESO A LA REVISTA EN INTERNET

Texto completo

<http://www.idiap.gob.pa>

<http://www.abcpanama.org.pa/recursos-nacionales/>

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa>