



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

ISSN 0258-6452

Ciencia Agropecuaria

REVISTA CIENTÍFICA N° 23

PANAMÁ-2015



Ciencia Agropecuaria: revista científica/
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.
no. 23 (2015). Panamá, PA. Semestral
169 p.
ISSN: 0258-6452
1. Investigaciones Agrícolas
2. Investigaciones Pecuarias



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Ciencia Agropecuaria

REVISTA CIENTÍFICA N° 23

PANAMÁ-2015

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

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI) – Panamá

Editora Asociada

Neysa Garrido Calderón

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Consejo Editorial

Román Gordon Mendoza

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

José A. Yau

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI) – Panamá

Hilda Lezcano

Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) – Universidad de Panamá

Axel Villalobos C.

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI) – Panamá

Audino Melgar M.

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Esteban Arosemena

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Bruno Zachrisson

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI) – Panamá

Diseño y Diagramación

Gregoria del C. Hurtado Ch.

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Revisión y Traducción de Resúmenes

Audino Melgar M.

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

CONTENIDO

ARTÍCULOS

- | | |
|------|---|
| 1-19 | INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LA AGRICULTURA FAMILIAR NGÄBE BUGLÉ
<i>Julio Santamaría G; Eduardo Palacio R; Gladys González D; Ilza Mariano</i> |
|------|---|
-

- | | |
|-------|--|
| 20-38 | PATOGENICIDAD Y VIRULENCIA DEL AISLADO DE LA CEPA NATIVA DE <i>Isaria</i> spp. Y DOS HONGOS ENTOMOPATOGENOS COMERCIALES
<i>José A Lezcano B; Edwilcar Saldaña; Ronal Ruíz; Sindy Caballero</i> |
|-------|--|
-

- | | |
|-------|--|
| 39-59 | SELECCIÓN DE VARIEDADES DE MAÍZ TOLERANTES AL DÉFICIT HÍDRICO
<i>Román Gordon Mendoza; Jorge Franco Barrera; Félix San Vicente</i> |
|-------|--|
-

- | | |
|-------|---|
| 60-74 | INFLUENCIA DE ZEOLITA Y ROCA FOSFÓRICA SOBRE EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS DE SORGO Y PAPA
<i>Miguel Soca Núñez; José Ezequiel Villarreal Núñez</i> |
|-------|---|
-

- | | |
|-------|---|
| 75-94 | ZONIFICACIÓN POR BALANCE HÍDRICO DEL CULTIVO DE ARROZ EN LA CUENCA DE RÍO GRANDE
<i>Ruth Del Cid Alvarado</i> |
|-------|---|
-

- | | |
|--------|--|
| 95-109 | UTILIZACIÓN DE LA GALLINAZA COMO BIOFUMIGANTE DE SUELO EN EL CULTIVO DE MELÓN
<i>Luis Alberto Barahona; Rubén D Samaniego; José A Guerra; Gustavo Castillo; Julio Agurto</i> |
|--------|--|
-

110-120	EFFECTOS FIJOS SOBRE LA PRODUCCIÓN POR LACTANCIA EN BOVINOS MESTIZOS PARDO SUIZO <i>Axel Villalobos Cortés; Benigno Guerrero; Jessica Hassán; Domiciano Herrera</i>
---------	---

121-133	VALOR PREDICTIVO POSITIVO DEL DIAGNÓSTICO CLÍNICO DE DIARREA NEONATAL EN TERNEROS <i>Selma Franco; Marcelo Signorini; Héctor Tarabla</i>
---------	--

NOTAS TÉCNICAS

134-141	INFLUENCIA DE SUSTRATOS SOBRE LA GERMINACIÓN Y LONGITUD DE LA PLÚMULA DE LA SEMILLA DE PIFÁ (<i>Bactris gasipaes</i>) <i>Claudio Córdoba C</i>
---------	--

142-155	SEROPREVALENCIA Y FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A ENFERMEDADES REPRODUCTIVAS EN VACAS LECHERAS <i>Selma Franco; Marcelino Jaén; Odalys González</i>
---------	--

COMUNICACIÓN CORTA

156-164	PRODUCCIÓN DE BIODIESEL Y EVALUACIÓN DE SU PUREZA POR CROMATOGRAFÍA DE GASES <i>Rodolfo Morales; José María García</i>
---------	--

165-169	NORMAS PARA AUTORES
---------	----------------------------

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LA AGRICULTURA FAMILIAR NGÄBE BUGLÉ¹

Julio Santamaría G²; Eduardo Palacio R³; Gladys González D⁴; Ilza Mariano⁵

RESUMEN

El IDIAP, ejecutó el proyecto Innovación Tecnológica de los Sistemas de Producción de la Agricultura Familiar de la Comarca Ngäbe Buglé (CNB), el cual generó un marco orientador para la investigación e innovación de sistemas de producción de la agricultura familiar, se desarrollaron capacidades institucionales y se fortalecieron los Sistemas Locales de Ciencia y Tecnología Agrícola en localidades de la CNB. Durante cuatro años se diseñó, implementó y evaluó de manera participativa sistemas agroalimentarios que incorporaron tecnologías agroecológicas, con el objetivo de disminuir la dependencia de insumos externos, reutilizando los desechos orgánicos generados y conservando los recursos naturales y la biodiversidad local, para aumentar la disponibilidad de alimentos y generar ingresos adicionales. Los sistemas agroalimentarios diseñados e implementados bajo este marco orientador, incorporaron innovaciones tecnológicas como semillas criollas saneadas, variedades mejoradas, fertilización orgánica, riego por goteo a gravedad, casa de vegetación construida con materiales locales, siembra en hilera y prácticas agroecológicas de manejo de cultivos y conservación del suelo, entre otros, que aportaron significativamente a la seguridad alimentaria, a la sostenibilidad ambiental e incrementaron los ingresos de las familias. Después de cuatro años de investigación, en el caso de la Granja La Esperanza en Hato Horcón, se incrementó la producción de alimentos, pasando de abastecer las necesidades de calorías del productor y su familia de 163 días en el 2008 a 350 días en el 2012, mejorando de manera significativa su seguridad alimentaria y con un incremento en el mismo periodo del valor bruto de su producción de 206%.

PALABRAS CLAVES: Agroecología, Gestión integrada del conocimiento, Gestión de la innovación, sistema agroalimentario.

¹Recepción: 11 de marzo de 2015. Aceptación: 13 de abril de 2015. Proyecto Innovación Tecnológica de los Sistemas de Producción de la Agricultura Familiar de la Comarca Ngäbe Buglé (CNB), cofinanciado por el FIDA y SENACYT.

²Ph.D. en Innovación Institucional, IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOc).
e-mail: juliosguerra@gmail.com

³Ing. Agr. IDIAP. CIAOc. e-mail: ingeduardopr03@yahoo.com.ar

⁴M.Sc. en Entomología. IDIAP. CIAOc. e-mail: ggdufau@gmail.com

⁵Ing. Agr. IDIAP. CIAOc. e-mail: franciskin_0512@hotmail.com

TECHNOLOGICAL INNOVATION OF FAMILY FARMING PRODUCTION SYSTEMS IN THE NGABE-BUGLE

ABSTRACT

The IDIAP executed the Research and Innovation Project on Technological Innovation of Agricultural Production System in the Ngäbe Bugle Reserve (CNB). Through this project, a guiding framework was generated for research and innovation on production systems of family agriculture, institutional capacities of Local Science and Agricultural Technology Systems were developed and strengthened at locations in the CNB. Agri-food systems were designed, implemented and evaluated during four years in a participatory manner that incorporated agroecological technologies through management practices that reduce dependence on external inputs, reuse the generated organic waste and conserve natural resources and local biodiversity to increase food availability and to generate additional revenue. Agri-food systems designed and implemented under this guiding framework incorporated technological innovations such as sanitized native seeds, improved varieties, organic fertilization, gravity-activated drip irrigation, greenhouses built with local materials, planting in rows, and agroecological practices and crop management soil conservation among others, contributed significantly to food security, environmental sustainability and increased family income. After four years of research, in the case of La Esperanza Farm in Hato Horcón, food production was increased to supply familiar caloric needs from 163 days in 2008 to 350 days in 2012, significantly improving their food security and increased gross value of production by 206 per cent.

KEY WORDS: Agroecology, Integrated Knowledge Management, Management of innovation, agri-food systems.

INTRODUCCIÓN

La generación, acceso y uso del conocimiento, de la ciencia y de la tecnología se consideran factores impulsores directos y por lo tanto, componentes fundamentales en las estrategias e intervenciones para el desarrollo, especialmente en aquellas orientadas a reducir el hambre y la

pobreza, mejorar la nutrición humana, fortalecer los modos de vida y lograr el bienestar económico, ambiental y socialmente sostenible de las poblaciones rurales.

En Panamá, 36,8% de la población sobrevive en condiciones de pobreza, mientras que en las áreas rurales se

concentra el 54% de los mismos y el 98,4% de los indígenas están en esta situación (ONU 2015). En la comarca Ngäbe Buglé, con una población total de 153 633 habitantes en el 2010, de acuerdo con diagnósticos oficiales, la población bajo la línea de pobreza a 93,4% y la población de pobreza extrema es de 91,5% (INEC 2010).

El sustento de vida de la nación Ngäbe Buglé se basa en la agricultura familiar, que le aporta el 60% de su alimentación y 50% de sus ingresos (Santamaría Guerra *et al.* 2011). En los últimos años, su condición de vida ha empeorado drásticamente a causa de la progresiva deforestación y degradación de sus suelos, principalmente, a consecuencia de la práctica de la agricultura de roza y quema, y al aprovechamiento inapropiado de los recursos naturales (Lao y Samaniego 1994, ANAM-GTZ 2003). La vulnerabilidad de las poblaciones originarias se agrava por ubicarse en tierras agrícolas marginadas y ecológicamente sensibles.

La mayoría de las intervenciones orientadas a la innovación tecnológica para el desarrollo rural se centra en indagar cómo mejorar su efecto inductor y cumplir las promesas de contribuir a la sostenibilidad de la agricultura. En consecuencia, sus respuestas y soluciones

revelan que estos esfuerzos investigativos son realizados desde la perspectiva del modo de innovación tradicional, lineal, unidireccional, de investigación y difusión de tecnología (Roger 1962), que es el mismo que ha prevalecido en la creación del problema que es necesario comprender para superar (Perfecto *et al.* 2009).

No se pueden superar situaciones complejas bajo el mismo modo de interpretación y con el mismo modo de intervención que las generaron. Esto nos lleva a considerar más relevante preguntarnos por qué los marcos filosóficos y conceptuales del paradigma tecnológico del industrialismo ya no sirven como guías confiables para orientar a los actores sociales, económicos, políticos e institucionales del desarrollo; por qué la generación y difusión del conocimiento, la ciencia y la tecnología agrícola no consiguen reducir el hambre y facilitar el desarrollo inclusivo, ambiental, social y económicamente sostenible (Santamaría Guerra 2005, Altieri y Toledo 2011, IDIAP 2009, Altieri y Nicholls 2012).

En los enfoques tradicionales, la vulnerabilidad de los sistemas de producción de la agricultura familiar se concibe a partir de la visión de mundo del dominador (generalmente un experto externo) que impone su concepción

universal de la realidad sobre las visiones e intereses locales de los grupos subalternos y crea una división de trabajo en el proceso de generación, acceso y uso de conocimiento que transforma a los actores locales (productores y productoras) en meros receptores de valores, conceptos y paradigmas generados lejos de su contexto y sin compromiso con sus necesidades, demandas y aspiraciones (Santamaría Guerra *et al.* 2005; Santamaría Guerra 2007). Por el contrario, el enfoque de Sistemas de Información y Conocimiento Agrícolas⁶ considera los sistemas como una construcción social donde los actores que lo integran perciben su interdependencia, se ponen de acuerdo sobre la visión sistémica actual y futura; negocian principios, premisas, objetivos, estrategias y cursos de acción; y sistematizan sus experiencias y lecciones a través de procesos estructurados de interpretación negociada.

La iniciativa de transformación tecnológica de sistemas de producción de la agricultura familiar Ngäbe Buglé bajo un enfoque de sistemas blandos (Röling 1992, Röling y Engel 1991, Röling y

Jiggins 1998, Röling y Wagemakers 1998, Engel 1997, Engel y Salomon 1997) y de actuación intercultural, desarrollada por el IDIAP es parte del Programa de Investigación e Innovación de Sistemas de Producción en Áreas de Pobreza Rural e Indígena que tiene como propósito contribuir de manera significativa a la reducción de la pobreza, el hambre y la desnutrición al mismo tiempo que se recuperan los sistemas de producción degradados y se fortalece la base agro tecnológica para el manejo sostenible de los recursos naturales (IDIAP 2007).

El modo de intervención del IDIAP en la CNB se fundamenta en la Gestión Integrada del Conocimiento y la Innovación que se inspira en el Modo contextual de Generación y Apropiación del Conocimiento para la Innovación, según el cual, innovaciones importantes emergen de procesos de interacción social, donde el conocimiento socialmente relevante es generado en el contexto de su aplicación e implicaciones dentro de espacios democráticos llamados ágoras donde interactúan talentos externos y locales (Santamaría Guerra 2003, 2004, 2005, Álvarez *et al.* 2005).

⁶ Sistemas de Información y Conocimiento (Knowledge and Information Systems- KIS); en la definición de Röling 1988, se entiende como *"Las personas, redes e instituciones, las interfaces y articulaciones entre ellos, que se ocupan de, o gestionan la generación, transformación, transmisión, almacenamiento, recuperación, integración, difusión y utilización del conocimiento y la información, los cuales tienen el potencial de trabajar sinérgicamente, para mejorar la relación entre el conocimiento, el medio ambiente y el uso de tecnologías, en un campo específico de la actividad humana"*.

En este artículo, se presenta el estudio de caso de innovación tecnológica correspondiente a la Granja la Esperanza, en Hato Horcón, distrito de Nole Duima en la comarca Ngäbe Buglé en Panamá. El objetivo consistió en el diseño, implementación y evaluación, de manera participativa de sistemas agroalimentarios que incorporaron prácticas agroecológicas, de manejo que disminuyen la dependencia de insumos externos, reutilizan los desechos orgánicos generados y conservan los recursos naturales y la biodiversidad local, para aumentar la disponibilidad de alimentos y generar ingresos adicionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó como principal método de investigación el estudio de caso, tal y como lo plantea Yin (1998), quien lo define como un proceso de indagación empírica que investiga un fenómeno contemporáneo, dentro de un contexto de vida real, especialmente cuando el proceso de investigación depende de la confiabilidad de múltiples fuentes de evidencias; y los límites entre el fenómeno estudiado y el contexto no son claramente evidentes.

Localización:

La comarca Ngäbe Buglé, creada mediante la ley 10 del 7 de marzo de 1997 de la República de Panamá, es el

territorio asignado a las etnias Ngäbe y Buglé y ocupa un área de unos 13100 km², localizado geográficamente en la zona de confluencia de las provincias de Chiriquí, Veraguas y Bocas del Toro. Está conformada por tres grandes regiones: *Ñokribo*, extendida sobre la parte de la porción continental e insular de la provincia de Bocas del Toro, con clima lluvioso durante todo el año; *Nedrini*, sobre la parte de la porción continental de la provincia de Chiriquí, con suelos con capacidad agrológica media; y *Kodriní*, sobre parte de las provincias de Chiriquí y Veraguas.

El área de estudio se localizó en la comunidad de Hato Horcón, corregimiento de Cerro Iglesia, distrito de Nole Duima, en la región *Nedrini*, parte occidental de la comarca Ngäbe Buglé. El estudio se realizó en la finca de producción orgánica La Esperanza de Hato Horcón perteneciente al Sr. Leandro Guerrero, miembro de la Asociación Mixta de Productores Orgánicos Ngäbe Buglé, fundada en el 2006, conformada por 90 productores orgánicos, la cual está ubicada en las coordenadas de latitud Norte 8°18'8,24" y longitud Oeste 81°46'50,5", con una altitud de 172 msnm. El área total del terreno es de 1,7 ha, más el área de reserva para la protección de fuentes de agua.

La selección de la finca piloto para el estudio, se realizó de acuerdo a los siguientes criterios: accesibilidad, pertenencia a una organización de productores y disposición de colaboración de los productores, representatividad del lugar por sus condiciones edafoclimáticas de la CNB y presencia de una diversidad de actores promoviendo la innovación tecnológica e institucional.

El estudio se realizó entre 2007 y 2013, y comprendió tres etapas para su implementación:

Etapas 1:

Comprensión del sistema de producción y organización de la plataforma de innovación:

A partir de la identificación de actores de la innovación tecnológica, se conformó para cada estudio de caso un grupo de Participación-Acción-Reflexión (PAR), integrado por los productores del área de estudio, extensionistas, promotores e investigadores y se realizó un taller para el diagnóstico rural participativo, apoyándose en técnicas como lluvia de ideas, mapas de fincas, censo de problemas, identificación de soluciones locales y mapeo de ordenamiento de la finca. Este esfuerzo se concibe como mecanismo de desarrollo de capacidades para la investigación participativa, enfocado a comprender la problemática

tecnológica y definir cursos de acción para encontrar soluciones integrales mediante procesos participativos de investigación - acción - reflexión (Santamaría Guerra 2003).

Se realizaron varias actividades, en esta etapa, que van desde la identificación del grupo meta, estudio de línea base, diseño del sistema de producción agroecológica (Altieri 1999) y seminarios de fortalecimiento de la capacidad local e investigación participativa. Una vez identificado el grupo de los productores se aplicó una encuesta semi estructurada al presidente del grupo sobre la generalidad del grupo y la actividad agrícola a que se dedicaban. Posteriormente, se midió y referenció geográficamente el área, se tomaron datos de la producción agropecuaria, ingresos económicos de la finca y un inventario forestal (Gallego *et al.* 1997, Sippel 1995).

Se realizaron muestreos estratificados de suelo siguiendo la metodología del IDIAP, se colectaron muestras de la artropofauna utilizando trampas de caída "pitfall". Los artrópodos se recogieron en frascos con alcohol al 70% para su posterior análisis mediante las claves taxonómicas de (Palacios Vargas 1990, Ospina *et al.* 2003) donde las taxas fueron determinadas hasta el nivel de orden y familia. Se estimaron las

respectivas abundancias de individuos por taxa y apariciones por muestreo. Con los datos de abundancia obtenidos se estimó la diversidad de Shannon-Wiener (H') y la equidad (E') para cada periodo del muestreo.

Etapas 2:

Diseño, incorporación de tecnología y acompañamiento del sistema:

Los mapas de la situación actual y futura de los sistemas piloto fueron discutidos en un seminario taller de Innovación de sistemas de producción, con la participación de productores, extensionistas, investigadores y otros expertos locales y externos para negociar una propuesta de innovación tecnológica y consolidar el plan propuesto por los productores. La negociación permitió diferenciar actividades de validación, difusión de tecnología e investigación y un cronograma de implementación de las mismas.

El grupo PAR acompañó mediante reuniones, giras técnicas, días de campo y seminarios talleres la implementación de prácticas agroecológicas, las cuales se realizaban según las labores propias para cada fase de los cultivos. El sistema piloto se convirtió así en el espacio para la interacción entre los actores de la innovación, para el intercambio de

experiencias entre grupos de diferentes sistemas pilotos, bajo el concepto de capacitación de Ngäbe a Ngäbe. La labor de los investigadores fue facilitar los procesos interactivos, garantizar los recursos e insumos para implementar los cambios propuestos y documentar las actividades mediante diferentes tipos de registros diseñados en conjunto con los productores y extensionistas.

Las siguientes tecnologías y prácticas fueron incorporadas en la Granja La Esperanza de Hato Horcón:

1. La producción de maíz (*Zea mays*) de alta calidad proteica (QPM) para alimentación humana y animal;
2. Cultivares de plátano (*Musa paradisiaca*) y banano (*Musa cavendishi*) (1212 m² con 300 vitro plantas de FHIA 03, FHIA 21 y Curaré enano);
3. La producción de arroz (*Oryza sativa*) biofortificado (IDIAP GAB 2 e IDIAP GAB 11) y arroces criollos (Picaporte y Ligero) para el cultivo en estanque (100 m²);
4. La producción de camote (*Ipomoea batata*) (50 m² con dos variedades de camote, la variedad biofortificada Tainum 66 y el CIP 14);

5. Siembra de guandú (*Cajanus cajan*) y frijol de bejuco (*Vigna* sp.) para consumo fresco y semilla (150 m²);
6. Siembra de raíces y tubérculos a partir de semillas saneadas en laboratorio (25 m² con 70 plántones saneados de ñampí (*Dioscorea trifida*) blanco y morado) y yuca (*Manihot esculenta*);
7. Uso de mucuna (*Mucuna aterrima*) y canavalia (*Canavalia ensiforme*) como abono verde asociado a los cultivos y en aéreas de barbecho;
8. Formulación de abonos orgánicos, elaboración de bioplaguicidas y un módulo de lombriz californiana (*Eisenia foetida*);
9. Se estableció una parcela de 1090 m² con 382 plantas de Bodá (*Chamaedorea tepejilote*). También, incluyo algunas especies de leguminosas, como fuente de proteína vegetal para alimentación de aves y otras especies menores (180 m² de nacedero (*Trichanthera gigantea*), 100 m² de morera (*Morus alba*) y 50 m² de maní forrajero (*Arachis pintoi*). Además se utilizaron como enmienda orgánica para enriquecer el abono orgánico y fertilizante foliar;
10. Rotación de cultivo y conservación de suelos: barrera vivas con piña (*Ananas comosus* L.), vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y hierba de limón (*Cymbopogon citratus*);
11. Protección de fuentes de agua con bambú (*Guadua* sp.);
12. Se estableció viveros con especies forestales maderables y no maderables;
13. Producción de semilla (maíz QPM y plátano);
14. Incorporación de 400 m² con 43 plántones de cabuya (*Agave sisalana*);
15. Construcción de casa de vegetación de 72 m² con materiales locales para producción de hortalizas utilizando riego por goteo a gravedad;
16. Uso de secadores solares para manejo pos-cosecha de productos de la finca;
17. Manejo de tilapia (*Oreochromis* spp.) (alimentación y producción de semilla);
18. Manejo agroforestal (especies en asocio con cultivo);
19. Prácticas de conservación de suelos (terrazas, barreras, cultivos de cobertura);
20. Uso de registro de actividades y de costo e ingreso.

Etapas 3:**Evaluación del desempeño del sistema:**

Al finalizar el proyecto se analizó la información colectada para evaluar el desempeño productivo del sistema y la contribución a la seguridad alimentaria del productor y su familia. El Valor Bruto de la Producción (VBP) se calculó a precios locales de mercado. Para medir la contribución a la seguridad alimentaria se sumaron los alimentos producidos en función de su contenido de calorías y se calculó la necesidad diaria de calorías del productor y su familia considerando edad y sexo (INCAP 2012). Los resultados fueron discutidos durante el proceso de sistematización de la experiencia de innovación tecnológica.

plaguicidas y se maneja el suelo con cultivos de cobertura, barreras vivas y rotación de cultivos.

En cuanto a la flora, se identificó 27 especies forestales (Cuadro 1) distribuidas en 1185 individuos, encontrando mayor abundancia de Balo (*Gliricidia sepium*) (84,4%), Caoba nacional (*Swietenia macrophylla*) (2,11%), Macano (*Diphysa robinioedes*) (1,5%) y Guácimo (*Guazuma ulmifolia*) (1,27%). Se obtuvo un índice de diversidad de Margalef 3,67 y un índice de Menhinick 0,78, lo que indicó que hay una diversidad forestal media en el sistema. Con una dominancia de 0,71 calculado con el índice de Simpson, el cual es alto por la dominancia del Balo en el sistema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el primer año, se levantó la información de la línea base de la finca. De ésta manera se calculó el valor bruto de la producción de B/.509,25 distribuida en 33 rubros o cultivos. Algunos cultivos organizados en terrazas, un arroyuelo permanente, agua permanente en tubería de la propia finca. La práctica orgánica básicamente consistía en el uso de abono orgánico a base de compost, microorganismos de montaña y fertilizante foliar. No se utilizan agroquímicos ni

De acuerdo a los resultados de análisis físico-químico del suelo, los datos de tres estratos de la finca (Cuadro 2) indicó que es un suelo de color pardo amarillo, pH de 5,4 a 5,8 (ácido), textura franco arenosa, bajo en fósforo, medio a alto en potasio, alto en calcio magnesio y bajo en aluminio, medio en materia orgánica, medio en manganeso, bajo en hierro, bajo a medio en zinc y medio en cobre.

CUADRO 1. ESPECIES FORESTALES DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HATO HORCÓN.

Nombre común/ Ngäbere	Nombre científico	N° de individuos	Abundancia relativa (%)
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	5,0	0,42
Nance	<i>Byrsonima crassifolia</i>	2,0	0,17
Roble	<i>Tabebuia rosea</i>	7,0	0,59
Gusanillo	<i>Geoffroea enermis</i>	5,0	0,42
Macano	<i>Diphysa robinioedes</i>	18,0	1,52
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i>	10,0	0,84
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	15,0	1,27
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	10,0	0,84
Mayo	<i>Vochisia</i> sp.	1,0	0,08
Amarillo	<i>Terminalia amazonica</i>	8,0	0,68
Caoba nacional	<i>Swietenia macrophylla</i>	25,0	2,11
Nin	<i>Azadirachta indica</i>	4,0	0,34
Mangle de montaña	<i>Triplaris americana</i>	4,0	0,34
Cedro amargo	<i>Cedrela odorata</i>	4,0	0,34
Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i>	7,0	0,59
MajagUILlo blanco	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	3,0	0,25
Guachapalí	<i>Samanea saman</i>	3,0	0,25
Cafecillo	<i>Casearia</i> sp.	5,0	0,42
Palo santo	<i>Erythrina poeppigiana</i>	2,0	0,17
MajagUILlo colorado	<i>Ficus</i> sp.	15,0	1,27
Jobo	<i>spondias mombin</i>	7,0	0,59
Guabo	<i>Inga</i> sp.	12,0	1,01
Guayabo	<i>Psidium</i> sp.	3,0	0,25
Pamo candela	<i>Ficus</i> sp.	5,0	0,42
Cortezo	<i>Apeiba tiborbou</i>	2,0	0,17
Corozo	<i>Corozo oleifera</i>	3,0	0,25
Balo	<i>Gliricidia sepium</i>	1000,0	84,39
		1185,0	100,00

CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL SUELO, SEGÚN ESTRATOS DE LA FINCA LA ESPERANZA.

			P	K	Ca	Mg	Al	MO	Fe	Mn	Zn	Cu
Muestra	pH	Textura	mg/l	mg/l	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Inclinado	5,4	FA	Tr	106	9,7	4,4	0,1	3,89	10	44	7	8
Plano-												
ondulado	5,4	FA	Tr	172	11,1	4,5	0,1	3,62	3	46	5	6
Montaña	5,8	FA	Tr	180	12,2	5,2	0,1	5,36	9	41	4	5

Fuente: Laboratorio de suelos del IDIAP. FA= Franco arenoso; Tr= Trazas

En relación a la artropofauna, de los ejemplares colectados en las trampas de caída, el grupo insecta representó el 66% seguido por el Collembolla con 29% y el Arachnida con 5%.

La diversidad de especímenes asociados al sitio bajo estudio quedó representada en ocho órdenes, 29 familias con diversos nichos ecológicos dependiendo de su hábito alimenticio en el agroecosistema bajo estudio (Cuadro 3). Así, 73% tenían con acción reguladora y 27% fitófaga. De acuerdo con los resultados y observaciones de este estudio, los Collembollas son el grupo más diverso asociado con nueve familias, las cuales de acuerdo a su fuente alimenticia se destacan los detritívoros (89%) mientras que los fitófagos estuvieron representados con una familia que representa el 11%.

Los coleópteros por su parte (21%), con seis familias, vinculadas a

hábito alimenticio fitófago, propios de crisomélidos, bostrichidae y curculionidos; ya una acción detritívora (Ceratocanthidae) los que son considerados depredadores (Staphylinidae) de escoltídeos, larvas de dípteros, entre otros, y se consideran útiles para el control natural dentro de los sistemas agroecológicos.

El grupo de los himenópteros, (17%) tuvo hábito alimenticio detritívoro-depredador (carnívoro) en un 20% propio de formícidos y parasitoides (80%) estos últimos con una importante contribución en controles naturales de la entomofauna.

Otros órdenes con menor representación díptera (10%) detritívoro-omnívoro (Tilupidae, Muscidae, Phoridae), Hemiptera (6,8%) Coreidae fitófago y Reduviidae depredador. El grupo de los ortópteros (3%), registró una familia representativa Acrididae; y Araneae (3%) con la familia Lycosidae de hábito depredador.

CUADRO 3. TAXA DE ARTRÓPODOS DEL SUELO POR FAMILIA Y HÁBITO ALIMENTICIO EN LOCALIDADES DE HATO HORCÓN, COMARCA NGÄBE BUGLÉ.

Taxa	Familia	Hábito alimenticio
Coleoptera	Crysomelidae	Fitófago
	Bostrichidae	Fitófago
	Nitidulidae	Detritívoro
	Staphylinidae	Predador
	Cerathocanthidae	Detritívoro
	Curculionidae	Fitófago
Homoptera	Cicadellidae	Fitófago
	Aphididae	Fitófago
Collembolla	Hypogastruridae	Detritívoro
	Neanuridae	Detritívoro
	Brachystomellidae	Detritívoro
	Entomobryidae	Detritívoro
	Isotomidae	Detritívoro
	Sminturidae	Fitófago
	Paronellidae	Detritívoro
	Actelletidae	Detritívoro
	Tomobriidae	Detritívoro
	Formicidae	Detritívoro
Hymenoptera	Ichneumonidae	Parasitoide
	Braconidae	Parasitoide
	Cynipidae	Parasitoide
	Perilampidae	Parasitoide
	Lycosidae	Predador
Araneae		
Diptera	Tipulidae	Detritívoro
	Muscidae	Omnívoro
	Phoridae	Detritívoro
Hemiptera	Coreidae	Fitófago
	Reduviidae	Predador
Orthoptera	Acrididae	Fitófago

La diversidad de especímenes asociados sugiere la presencia de mecanismos internos de autoregulación, lo cual puede estar relacionado con la homeostasis del sistema (Griffon 2008). En cuanto a la abundancia, los mayores

registros correspondieron al grupo Collembola (29%), Coleoptera (25%), Hymenoptera (20%), Orthoptera (7,0%), Hemiptera (5,0%), Arachnida (5,0%), Diptera por ciento, Homoptera (4,0%), y como el menos abundante, Dermaptera con 0,05%, con 0,56% (Figura 1).

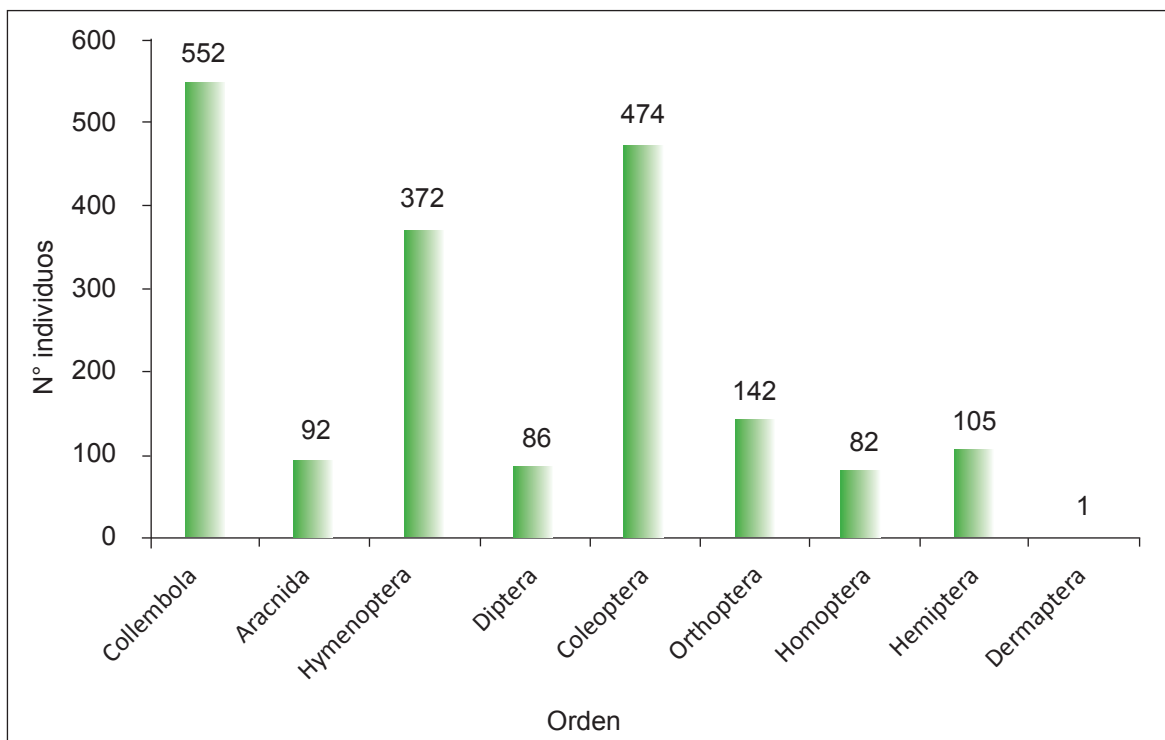


Figura 1. Abundancia relativa de entomofauna en el sistema de producción Hato Horcón en la comarca Ngäbe Buglé.

De acuerdo a los datos de los índices diversidad de Shannon Winner H' y Simpson (D_{Sp}) (Cuadro 4), se observó que la mayor diversidad de artrópodos del suelo se encontró en el cultivo introducido de plátano ($H' = 1,5416$) mientras que el cultivo de arroz fue menor el índice de diversidad ($H' = 1,5213$). No habiendo diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$).

El cultivo de plátano se encontró asociado con otro tipo de vegetación herbáceas, los cuales forman nichos/ ecosistemas más complejos, de aquí al número de individuos observados supera en 2,3 veces al número de individuos observados en el cultivos del arroz.

CUADRO 4. ÍNDICES DE DIVERSIDAD PARA DOS CULTIVOS.

	Plátano (introducido)	Arroz
Taxa S	8	8
N° individuos	1261	545
Dominancia D	0,2993	0,2993
Shannon H'	1,5416	1,5213
Simpson (1-D)	0,7007	0,7007
Equidad	2,0324	1,8821

Incremento del valor bruto de la producción:

Desde el 2008 al 2012 con la incorporación de tecnologías y prácticas agroecológicas, se logró triplicar el valor

bruto de la producción agropecuaria total pasando de B/. 509,25 en el 2008 a B/. 1556,20 en el 2012, lo que representa un incremento de 206% en cuatro años (Cuadro 5).

CUADRO 5. INCREMENTO DEL VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN EN HATO HORCÓN.

Rubros	2008	2009	2010	2012
Frutales	101,25	25,00	567,75	630,70
Hortalizas	122,00	50,00	133,00	100,00
Raíces y tubérculos	146,00	170,00	210,50	447,50
Granos básicos	55,00	287,50	225,00	196,00
Cría de pollos	50,00	50,00	100,00	65,00
Cría de peces	35,00	125,00	217,50	117,00
Total (B/.)	509,25	707,50	1 453,75	1 556,00

El incremento se dio, principalmente, a partir del tercer año (2010), en frutales, por la incorporación de la producción de variedades de plátano (Curaré enano y FHIA 21), de banano (FHIA 03), seguido de las raíces y tubérculos, en especial ñampí y yuca,

y de granos básicos el frijol de bejuco y arroz. La mayor parte de la producción fue consumida por el productor y su familia, y pequeñas cantidades fueron comercializadas en el mercado local, sobre todo el tomate y otros productos perecederos.

Aumento de la disponibilidad de alimentos:

La finca La Esperanza de Hato Horcón, con una superficie de 1,7 ha, producía alimentos en el 2008 para satisfacer las necesidades de calorías del

productor y su familia suficientes para 163 días, mientras que en el 2012 se produjo alimentos para 350 días, considerando las necesidades diarias de 13 000 calorías (Figura 2).

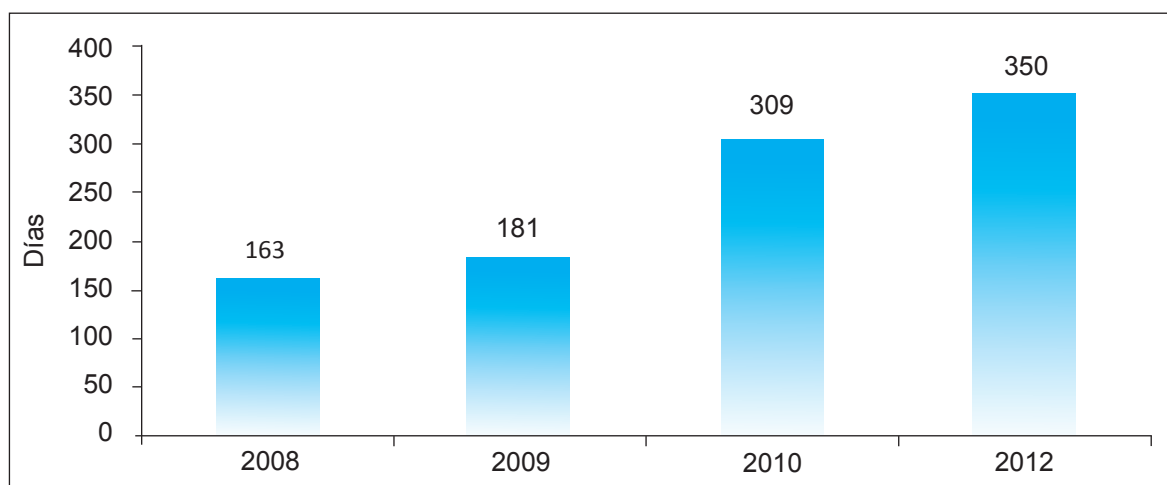


Figura 2. Disponibilidad de calorías para suplir los requerimientos de la familia.

El incremento en la disponibilidad de alimentos en cuatro años fue de 114,73%, no obstante lo más significativo es que los alimentos que ahora produce el sistema le permiten al productor y a su familia salir de la condición de vulnerabilidad agroalimentaria, es decir tienen una alimentación más variada y una menor preocupación de que los alimentos escaseen.

CONCLUSIONES

- Se incrementó en 206% del Valor Bruto de la Producción del sistema como resultado de la inclusión de nuevos

cultivos y las prácticas agroecológicas incorporadas;

- Se incrementó en 114,73% la disponibilidad de alimentos, lo que mejoró significativamente la condición de seguridad alimentaria del productor y su familia.

RECOMENDACIÓN

Replicar la experiencia en otras comunidades incorporando la medición de indicadores de resiliencia socioecológica a eventos de inestabilidad climática, social y/o económica.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, MA. 1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan - Comunidad. Montevideo, UY. 338 p.
- Altieri, MA; Nicholls, CI. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. Universidad de California, Berkely. Ecosistemas 16(1):3-12. Consultado enero 2007. Disponible en <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=457>.
- Altieri, MA; Toledo, VM. 2011. The agro ecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. The Journal of Peasant Studies 38(3):587-612.
- Altieri, M; Nicholls, C. 2012. Agroecología: Única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología. *In* Conferencia global Rio + 20, en junio de 2012. 21 p.
- Álvarez, F; Mato, MA; Santamaría-Guerra, J; J. Cheaz, J; De Souza Silva, J. 2005. El Arte de Cambiar las Personas que Cambian las Cosas: El cambio conceptual del ser humano desde su contexto cambiante. Red Nuevo Paradigma. Quito, PE. 237 p.
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, PA) – GTZ (Agencia Alemana de Cooperación Técnica, DE). 2003. Proyecto Agroforestal Ngäbe. Panamá, PA. 1 disco compacto, 8 mm.
- Engel, PGH. 1997. The social organization of innovation: A focus on stakeholder interaction. Royal Tropical Institute (KIT) Publishers, Amsterdam, NL. 239 p.
- Engel, PGH; Salomon, ML. 1997. Facilitating innovation for development. A RAAKS Resource Box. KIT/CTA/STOAS Publishers, Amsterdam, NL. 79 p.
- Gallego, I. 1997. Sistemas y Combinaciones Agroforestales Tradicionales en la Comarca Ngäbe-Buglé del oriente de Chiriquí-Panamá: Una descripción y Valorización. Proyecto Agroforestal. Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables, Chiriquí, PA. Documento Ngäbe. tomo 13, 81 p.

- Griffon B, D. 2008. Estimación de la biodiversidad en agroecología. *Agroecología* 3:25-31.
- IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá). 2007. Manual de normas y procedimientos del sistema integrado de planificación, seguimiento y evaluación (SIPSyE). Parte II. Panamá.
- IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá). 2009. Plan General de Generación y Transferencia de Tecnologías para la Sostenibilidad de los Sistemas de Producción de la Agricultura Ngäbe-Buglé. Panamá. 39 p.
- INCAP (Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá) 2012. Tabla de composición de alimentos de Centroamérica/INCAP/Menchú MT (ed) Méndez, H (ed). 2 ed. Guatemala. INCAP/OPS. 128 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, PA). 2010. Datos Sociodemográficos. Contraloría General de la República de Panamá (en línea). Consultado 25 may. 2013. Disponible en <http://www.contraloria.gob.pa/inec/>
- Lao, E; Samaniego, G. 1994. Agroforestería Ngöbere: estudio de sistemas tradicionales, Remedios, San Félix, San Lorenzo. Proyecto Agroforestal Ngöbe. INRENARE-GTZ. Documento Ngöbe. San Félix, PA. tomo 10, 120 p.
- Ospina, C; Serna, F; Peñaranda, M; Serna, S. 2003. Colémbolos asociados con cultivos de pastos en tres zonas de vida de Holdridge en Antioquia (Colombia). *Agronomía Colombiana* 21(3):129-141.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas, IT). 2015. Erradicar la pobreza extrema y el hambre en Panamá (en línea). Consultado 5 mar. 2015. Disponible en <http://www.onu.org.pa/>
- Palacios Vargas, JG. 1990. Diagnóstico y clave para determinar las familias de Collembola de la región neotropical. Facultad de Ciencias. Mexico. UNAM. 15 p.
- Perfecto, I; Nivia, E; Ahumada, M; Luz, K; Perez, R; Santamaría Guerra, J. 2009. La agricultura en América Latina y el Caribe: Contexto, Evolución y Situación Actual. *In* IAASTD, 2009. Agriculture

- at a Crossroads: Evaluación internacional del Conocimiento, ciencia y tecnología en el desarrollo agrícola. América Latina y el Caribe. IAASTD. Island Press, Washington DC. v. 3, 239 p.
- Santamaría Guerra, J. 2004. Theories of action for institutional innovation of rural research and development organizations. ISNAR Briefing Paper 74. International Service for National Agricultural Research, The Hague, The Netherlands. 12 p.
- Santamaría Guerra, J. 2003. Institutional innovation for sustainable agriculture and rural resources management: Changing the rules of the game. Ph.D. Thesis. Wageningen, The Netherlands. Wageningen University. 215 p.
- Santamaría Guerra, J; Guerra, C Macre, J; Guillen, V; Ruiz, I. 2005. Escenarios futuros para la tecnociencia y la innovación agropecuaria y forestal en Panamá. Panamá. IDIAP. 178 p.
- Santamaría Guerra, J. 2005. Gestión Integrada del Conocimiento y la Innovación: El enfoque contexto céntrico para la investigación y el desarrollo rural (en línea). *In* Memoria del taller Alianzas de Aprendizaje, ICRA, SETEDER y CATIE (2005, Santo Domingo de Heredia, CR). Memoria. Santo Domingo, CR.
- Santamaría Guerra, J. 2007. Innovación institucional y desarrollo territorial: la teoría de acción contextual para la sostenibilidad del desarrollo territorial. *In* II Encuentro latinoamericano, retos del desarrollo local: "Gestión innovadora de territorios: descentralización, competitividad, participación". (2007, OFIS, Cuenca, Ecuador). Memoria. Ecuador. 24 p.
- Santamaría Guerra, J; Mariano, I; Domínguez, M; Palacios, E; Thomas, G; Jiménez, B; Montezuma, V; Santos, U; Palacios, C. 2011. Aceptación y apropiación de tecnología para la innovación de los sistemas de producción de la agricultura familiar Ngäbe Buglé. *In* LVI Reunión Anual del PCCMCA. (2011, El Salvador). Memoria. 01 p.
- Sippel, A. 1995. Árboles de los Ngöbe: Una alternativa para el futuro. Estudio de caso, San Lorenzo, San Félix, Remedios. Proyecto Agroforestal Ngöbe. INRENARE-GTZ. San Félix, PA. Documento Ngöbe, tomo 10, 80 p.

- Rogers, EM. 1962. Diffusion of innovations. Free Press, New York. 236 p.
- Röling, NG. 1988. Extension science: Information systems in agricultural development. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 233 p.
- Röling, N. 1992. The emergence of knowledge system thinking: A changing perception of relationship among innovation, knowledge processes and configuration. Knowledge and policy: the International Journal of Knowledge Transfer and Utilization 5(1):42-64.
- Röling, N; Engel, PGH. 1991. The developments of the concept of agricultural Knowledge Information System (AKIS): Implication for extension. *In* Rivera, WM. and Gustafson, DJ. (1991). Agricultural Extension Worldwide Institutional Evolution and forces for Change. Amsterdam: Elsevier Science Publisher. 312 p.
- Röling, N; Jiggins, J. 1998. The ecological knowledge system, *In* Röling, N. and Wagemakers, MAE. 1998. Facilitating sustainable agriculture. Cambridge, UK: Cambridge University Press. p. 283-311.
- Röling, N; Wagemakers, MAE. 1998. A new practice: Facilitating sustainable agriculture, *In* Röling, N; Wagemakers, MAE. 1998. Facilitating sustainable agriculture. Cambridge, UK: Cambridge University Press. p. 3-22.
- Yin RK. 1998. The abridged version of Leonard B. and Rog, DJ. Handbook of Applied Social Research Methods. SAGE. London, UK. p. 229-259.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Asociación Mixta de Productores Orgánicos de Hato Horcón, en especial a Leandro Guerrero y a su familia por su hospitalidad y su disposición a compartir experiencias y saberes, tanto con el equipo de investigadores como con los demás actores de la innovación tecnológica. Agradecemos también a la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) quien financió parcialmente esta investigación.

PATOGENICIDAD Y VIRULENCIA DEL AISLADO DE LA CEPA NATIVA DE *Isaria* spp. Y DOS HONGOS ENTOMOPATOGENOS COMERCIALES¹

José A Lezcano B² ; Edwilcar Saldaña³; Ronal Ruíz³; Sindy Caballero⁴

RESUMEN

Los hongos entomopatógenos han demostrado ser una alternativa promisorio para el control de la broca del café. En este estudio se evaluó la patogenicidad y virulencia de un aislado de la cepa nativa de *Isaria* spp., y dos aislados de cepas comerciales de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, sobre adultos de broca del café. Los bioensayos de dosis-mortalidad se realizaron con suspensiones de esporas ($1,92 \times 10^8$ a $1,12 \times 10^{10}$ UFC.ml⁻¹). Se evaluó la mortalidad de adultos de *Hypothenemus hampei* y se calculó la concentración letal media (CL₅₀) para el aislado de *Isaria* spp. A los siete días, la mortalidad de adultos de la broca estuvo entre 80,5% y 100% en los rangos de concentración de $4,48 \times 10^9$ a $1,12 \times 10^{10}$ UFC.ml⁻¹. La muerte de la broca se presentó entre 1,91 y 6,5 días, en concentraciones de $2,22 \times 10^8$ a $3,64 \times 10^9$ UFC.ml⁻¹. La CL₅₀ de *Isaria* fue de $0,11 \times 10^9$ UFC.ml⁻¹. Los aislados de las cepas comerciales de *B. bassiana* y *M. anisopliae*, mostraron una baja mortalidad de brocas. El aislado de la cepa nativa de *Isaria* demostró ser patogénica y altamente virulenta sobre la broca del café bajo condiciones de laboratorio.

PALABRAS CLAVES: Control biológico, bioensayo, *Hypothenemus hampei*, broca del café.

¹Recepción: 1 de enero de 2015. Aceptación: 17 de abril de 2015. Este trabajo pertenece al proyecto para el Manejo Integrado del Cultivo de Café (501.F.2.9), con el financiamiento Nacional.

²M.Sc. en Parasitología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOc).
e-mail: jlezcano@idiap.gob.pa

³Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA). Universidad de Panamá.

⁴Agr. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOc).

PATHOGENICITY AND VIRULENCE OF THE NATIVE ISOLATED STRAIN OF *Isaria* spp. AND TWO ENTOMOPATHOGENIC COMMERCIAL OF FUNGI

ABSTRACT

Entomopathogenic fungi have been shown to be a promising alternative to control the coffee berry borer. This study evaluated the pathogenicity and virulence of an isolate native strain was evaluated *Isaria* spp., And two isolates of commercial strains of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* on CBB adults. The dose-mortality bioassays were performed with spore suspensions ($1,92 \times 10^8$ to $1,12 \times 10^{10}$ CFU.ml⁻¹). Adult mortality of *Hypothenemus hampei* was evaluated and the medial lethal concentration (LC₅₀) was calculated for the isolate *Isaria* spp. After seven days, adult mortality of the coffee berry was between 80,5 and 100%. For the concentration ranges of $4,48 \times 10^9$ to $1,12 \times 10^{10}$ CFU.ml⁻¹. The death of the coffee berry borer ranged from 1,91 to 6,5 days, for concentrations of $2,22 \times 10^8$ to $3,64 \times 10^9$ CFU.ml⁻¹. The LC₅₀ of *Isaria* was $0,11 \times 10^9$ CFU.ml⁻¹. Isolates of *B. bassiana* and *M. anisopliae* commercial strains, showed low mortality. The isolated native strain *Isaria* proved pathogenicity on CBB and virulence to the coffee berry borer under laboratory conditions.

KEY WORDS: Biological control, bioassay, *Hypothenemus hampei*, coffee berry borer.

INTRODUCCIÓN

En Panamá la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari, se ha convertido junto con *Hemileia vastatrix*, en las principales plagas de la caficultura, debido a los graves daños que causa en los frutos, disminuyendo el rendimiento y calidad del grano, ocasionando una reducción en el volumen de café para exportar y un aumento en el costo de producción, causando pérdidas económicas al caficultor, debido a la inversión que se debe realizar en las labores de control de estas plagas.

En muchos de los Centros de investigación del mundo se han dedicado esfuerzos relacionados a estudios sobre la biología y patogenicidad de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, los cuales han mostrado gran potencial para el control de insectos plaga en cultivos de importancia económica (Delgado *et al.* 2001).

Estudios realizados por Castellanos 1997, Patersen *et al.* 1994, Smith *et al.* 1981, St. Leger *et al.* 1986, Zimmermann 1993, González *et al.* 2001,

coinciden sobre entomopatógenos que atacan al insecto a través de la cutícula, donde germinan las esporas, produciendo hifas invasoras que penetran los tejidos del hospedante. Las hifas se ramifican, colonizan y llegan hasta la cavidad hemocélica, donde se produce una masa micelial, debido al crecimiento del hongo y se liberan toxinas que están implicadas en el proceso de bloquear el desarrollo fisiológico del insecto.

Existe una posible relación entre la actividad enzimática de estos hongos y su patogenicidad al insecto sobre el cual se dirige el control. Estudios ultraestructurales e histoquímicos sugieren que en el proceso infectivo del hongo hacia el insecto existe degradación de la cutícula donde se encuentran implicadas varias enzimas (fenoloxidasa, proteasa, lipasa, quitinasa y N-acetilglucosaminidasa o nagasa). Algunas partes de la cutícula del insecto son más susceptibles al ataque enzimático producido por los entomopatógenos, siendo importante, no sólo por su actividad catalítica del complejo enzimático producido sino por el sitio específico de la acción de las enzimas sobre la cutícula (Castellanos 1997, Patersen *et al.* 1994).

El integumento de los insectos, según Andersen 1979, formado por la epidermis y la cutícula, tiene gran

importancia en relación con su defensa y protección, al crear barreras contra la desecación y enfermedades. Además de proteínas y quitina, contiene otros compuestos menores como precursores fenólicos de quinonas, ácidos grasos, esteres de alcaloides y alcoholes grasos. El estudio es importante para entender los mecanismos de virulencia de los distintos hongos entomopatógenos (Willis 1987, Khachatourians 1991). La composición del integumento de los insectos se ha explorado como fuente de nutrición de algunos hongos (Smith y Gula 1981), por ejemplo *Isaria* spp. puede germinar, penetrar la cutícula e invadir el hemocelo de muchos insectos, lo que sugiere que las condiciones necesarias para estos procesos están presentes en los insectos susceptibles (Ferrón 1981, Khachatourians 1991).

La producción a escala y la obtención de una formulación eficaz de hongos entomopatógenos como *B. bassiana*, *M. anisopliae* o *Isaria* spp. como agentes de control biológico, requiere profundizar en el conocimiento de aspectos genéticos, bioquímicos, fisiológicos, factores de virulencia y estudios ecoambientales donde los entomopatógenos ejercen su espectro de acción (Delgado *et al.* 2001).

Estudios realizados por Delgado *et al.* (2001) se evaluaron aislamientos de *B. bassiana* y *M. anisopliae* para cuantificar la actividad catalítica de cinco enzimas y determinar su relación con la patogenicidad sobre la broca del café. Castellanos (1997) y Smith *et al.* (1981) señalan que es necesario cuantificar la actividad catalítica de las enzimas producidas por *B. bassiana*, *M. anisopliae* o *Isaria* spp. patogénicos a *H. hampei* y relacionarla con la patogenicidad como uno de los parámetros a evaluar dentro de los mecanismos de infección de *Isaria* spp., *B. bassiana* y *M. anisopliae* sobre insectos plaga.

Para el control de *H. hampei* dentro de un esquema de manejo integrado se ha recomendado el uso de *B. bassiana* (Bustillo *et al.* 1998), el cual se ha convertido en un importante factor de mortalidad en los cafetales (Ruíz 1996). En Panamá, a partir del 2011, aparece un aislamiento efectivo contra la broca del café, lo que representa una alternativa biológica y disponible para los caficultores (Lezcano 2014).

El control biológico de insectos plaga mediante hongos entomopatógenos ofrece un método alternativo para el control de las poblaciones de *H. hampei* en los sistemas agroforestales del café, siendo una estrategia integrada

satisfactoriamente en los programas de manejo integrados de la broca del café (Ruíz *et al.* 2013, Kim *et al.* 2008).

Los hongos entomopatógenos, *Isaria farinosa* y *Isaria fumosorosea* (Wise) Brown y Smith (Hypocreales: Clavicipitaceae) eran conocidos como *Paecilomyces farinosus* y *Paecilomyces fumosoroseus*, durante más de 30 años (Zimmermann 2008). Ambos hongos tienen una distribución mundial y una relativa amplia gama de huéspedes, mientras que *I. farinosa* es de menor importancia en la investigación y como agente de biocontrol, *I. fumosorosea* es considerado como un complejo de especies, y varias cepas se utilizan con éxito para el biocontrol de algunas plagas de insectos, principalmente moscas blancas, de los cuales se han publicado numerosos artículos científicos en ambas especies de hongos, durante los últimos 40 años, que cubren diversas áreas de investigación.

Dentro de las especies de hongos entomopatógenos más virulentas, Ruíz *et al.* (2013) mencionan a *I. fumosorosea*, considerada una de las especies más promisorias para el control biológico de *Bemisia tabaci* y otros insectos plaga.

Entre los ácaros e insectos plaga sobre los cuales se ha desarrollado

exitosamente un control biológico utilizando *I. fumosorosea* están *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) (Ali *et al.* 2010), *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) (Avery *et al.* 2004), *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) (Kim *et al.* 2008) y *B. tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) (Cabanillas y Jones 2009).

En este estudio se propuso como objetivo determinar la patogenicidad y virulencia del aislado de la cepa nativa de *Isaria* spp. y dos cepas comerciales de hongos entomopatógenos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los laboratorios de biocontroladores ubicado en Río Sereno, distrito de Renacimiento con las coordenadas de latitud norte 08°49'21,5" y longitud oeste 082°50'45,4" y en el laboratorio de parasitología del IDIAP, en el distrito de Boquete con las coordenadas de latitud Norte 8°43'14,5" y longitud Oeste 82°26'18", de la provincia de Chiriquí. El experimento se realizó en el periodo comprendido de 4 de febrero de 2011 al 25 de septiembre de 2014.

Aislamientos y medio de cultivo:

Se utilizaron aislamientos de la cepa nativa de *Isaria* spp. (antes *Paecilomyces* spp.), proveniente de la colección de cepas nativas del laboratorio

de biocontroladores del IDIAP, ubicado en Río Sereno, Renacimiento, provincia de Chiriquí y cepas comerciales de *B. bassiana* y *M. anisopliae* provenientes de un laboratorio ubicado en el distrito de Boquete. Los aislamientos de las cepas comerciales de *B. bassiana* y *M. anisopliae* y el aislamiento de la cepa nativa de *Isaria* spp. se reactivaron sobre adultos de broca del café y se colocaron en medio Papa Dextrosa Agar (PDA) (Vélez *et al.* 1997). Se deben hacer pases sobre el insecto cada veinte días para mantener la patogenicidad del hongo (González *et al.* 1993). El medio con los adultos inoculados y con los aislamientos, se incubaron a temperatura ambiente. Finalmente, cuando el hongo alcanzó su máximo crecimiento y esporulación en el medio, se inició la producción masiva, a partir de este aislamiento (Figura 1).



Figura 1. Adultos de broca del café, con el hongo *Isaria* spp. esporulada en medio PDA. Boquete, 2012.

Producción de *Isaria* spp.:

Una vez activado el hongo en medio PDA, se procedió a preparar una suspensión de conidias y micelio del hongo para la producción masiva, utilizando como sustrato arroz entero.

El procedimiento que se utilizó fue el siguiente: Se inició con 2,27 kg de arroz, que se lavó con agua hasta eliminarle la semolina, se esterilizó con hipoclorito de sodio comercial (6,15%) al 0,5% por 30 min, y se lavó con agua limpia, para remover el exceso de hipoclorito de sodio. Para escurrirlo, se colocó sobre una malla en bastidor, entre 30 min a 60 min. Una vez

escurrido, se tomaron 200 g de arroz y se colocaron en un envase de polipropileno de 500 cc con tapa, en cuyo centro se perforó un orificio y se cerró con algodón.

El sustrato de arroz se esterilizó en autoclave por 15 min, a 121°C y 101325 Pa de presión. Transcurrido este proceso, se inoculó con 20 cc por envase de la suspensión del hongo previamente preparado, girando el envase para distribuir lo más uniforme la suspensión sobre el arroz. El sustrato inoculado fue colocado en un cuarto de incubación por 20 días (Figura 2).



Figura 2. Pasos en la producción de hongos sobre sustrato de arroz: Dilución del medio que contiene el hongo esporulado (a); inoculación del sustrato (b); incubación del sustrato inoculado (c); sustrato después de los 20 días de incubación (d).

Concentración de esporas:

La cuantificación de la concentración de esporas permitió determinar el número de unidades infectivas por unidad de peso o volumen existente en la suspensión madre o diluciones y sirvió de base para establecer la dosificación de un producto (Vélez *et al.* 1997).

Se prepararon suspensiones madre de *Isaria* spp., *B. bassiana* y *M. anisopliae* en 500 ml de agua destilada estéril y Tween 80 al 0,1%. Se realizaron diluciones seriadas, se tomaron cuatro submuestras de 1 ml y se depositaron en tubos de 9 ml de agua destilada estéril (ADE), quedando preparada una dilución 10^{-1} ; se repitió este procedimiento llevando 1 ml de esta solución (10^{-1}) a tubos con 9 ml de ADE para obtener una dilución de 10^{-2} , y así sucesivamente hasta obtener una dilución de 10^{-4} , o la dilución que permitiera el conteo para estimar el número de esporas por mililitro de la suspensión.

Para el recuento de esporas o conidias se utilizó la cámara de Neubauer o Hematocímetro. La concentración se estimó: $C = N \times \text{Dilución empleada} \times \text{Factor de cámara}$ (10^4), donde N es el número promedio de esporas por cuadrante.

Bioensayos de patogenicidad:

La prueba de patogenicidad se diseñó para proporcionar condiciones ideales en el momento de la exposición al patógeno, para que ocurra la germinación e invasión del hospedante y la conidiogénesis (desarrollo de las conidias), para favorecer la esporulación del hongo sobre el insecto muerto y poder confirmar que la mortalidad se debió al tratamiento con el hongo (Vélez *et al.* 1997).

Para esta prueba se utilizó la metodología propuesta por Vélez *et al.* (1997); González *et al.* (1993), que consistió en la selección de adultos de la broca del café de menos de ocho días de edad provenientes de una cría libre de patógenos. Se desinfectaron previamente con una solución de hipoclorito de sodio comercial (6,15%) al 0,5% durante un minuto y se lavaron en ADE usando mallas de tul esterilizadas, que sirvieron de colador. De estas brocas se prefirieron las que mostraron mayor actividad.

Se realizó una prueba de patogenicidad con los aislamientos de las cepas de los tres entomopatógenos, se prepararon suspensiones madres, de concentración $1,41 \times 10^9$ UFC.ml⁻¹ (*M. anisopliae*), $9,58 \times 10^8$ UFC.ml⁻¹ (*B. bassiana*) y $1,12 \times 10^{10}$ UFC.ml⁻¹

(*Isaria* spp.). De estas suspensiones se prepararon las diluciones (Cuadro 1). Para la evaluación de cada hongo se tomaron 20 brocas al azar por tratamiento y tres repeticiones, donde la unidad

experimental fue la caja de Petrí. En cada evaluación se utilizó un testigo compuesto de adultos de broca que no entraron en contacto con los hongos.

CUADRO 1. TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN LA PRUEBA DE PATOGENICIDAD DE *Isaria* spp., *B. bassiana* y *M. anisopliae*. BOQUETE.

Tratamientos	% de dilución	Concentración UFC.ml ⁻¹		
		<i>M. anisopliae</i>	<i>B. bassiana</i>	<i>Isaria</i> spp.
1	100	1,41E+09	9,58E+08	1,12E+10
2	80	1,13E+09	7,66E+08	8,96E+09
3	60	8,46E+08	5,75E+08	6,72E+09
4	40	5,64E+08	3,83E+08	4,48E+09
5	20	2,82E+08	1,92E+08	2,24E+09

A la cepa de *Isaria* spp., se le realizaron dos pruebas de patogenicidad, en la primera, se preparó una suspensión de $3,64 \times 10^9$ UFC.ml⁻¹, de la cual se realizaron diluciones con las siguientes concentraciones: $2,93 \times 10^9$, $2,0 \times 10^9$,

$1,30 \times 10^9$ UFC.ml⁻¹. En la segunda prueba de patogenicidad la suspensión presentó una concentración de $5,51 \times 10^9$ UFC.ml⁻¹, de la cual se realizaron diluciones de $1,87 \times 10^9$, $2,85 \times 10^9$, $3,81 \times 10^9$, $5,34 \times 10^9$ UFC.ml⁻¹ (Cuadro 2).

CUADRO 2. CONCENTRACIONES EVALUADAS EN LA PRUEBA DE PATOGENICIDAD DE *Isaria* spp. SOBRE LA BROCA DEL CAFÉ, 2011-2013.

No.	Concentración (UFC.ml ⁻¹)
1	$1,30 \times 10^9$
2	$1,87 \times 10^9$
3	$2,00 \times 10^9$
4	$2,85 \times 10^9$
5	$2,93 \times 10^9$
6	$3,64 \times 10^9$
7	$3,81 \times 10^9$
8	$5,34 \times 10^9$

Se utilizó la técnica de inmersión de las brocas en la dilución del hongo durante 30 segundos, la cual se mantiene en agitación manual. Luego, se colocaron las brocas tratadas en plato de Petrí que contenían un disco de papel toalla previamente humedecido con ADE y antibiótico. Cumplidas las 24 horas se adicionó como sustrato a cada plato, granos de café en pergamino seco (45% de humedad), es decir, sin ningún proceso de secado mecánico.

Diariamente y durante 10 días se evaluó la mortalidad causada por el hongo en estudio, se observaron al estereoscopio los síntomas y signos de enfermedad en las brocas.

Las brocas vivas o muertas se debieron mantener confinadas en los platos de Petrí, para evitar que se interrumpiera el desarrollo normal del hongo en el insecto. Con una jeringa desechable diariamente se adicionó ADE, hasta humedecer el disco de papel evitando la presencia de agua libre. La humedad puede ser considerada como el factor más importante en el desarrollo de una micosis en las etapas de germinación de las esporas y conidio génesis.

Se registró diariamente la mortalidad para cada aislamiento de los hongos estudiados, y para el caso

del hongo *Isaria* spp. se estableció el ciclo del hongo sobre la broca. Se estimó el porcentaje de mortalidad y el promedio del tiempo de mortalidad, lo que se constituyeron en otros criterios de importancia en la calidad biológica de los hongos en estudio. El tiempo de evaluación varió para cada hongo entomopatógeno estudiado, dependiendo del ciclo biológico del hongo en el insecto y de la sobrevivencia del insecto sin tratar bajo condiciones del ensayo. Los productos comerciales deben causar una mortalidad superior al 80% en esta prueba.

Variables evaluadas: Mortalidad, número de días a la mortalidad, crecimiento micelial, esporulación, CL_{50} y sus Límites de Confianza al 95%, CL_{95} .

Análisis estadístico:

Los datos de mortalidad debido al hongo (patogenicidad) se transformaron con raíz cuadrada de $X+0,5$ y se sometieron a un análisis de varianza y las medias a la prueba de rangos de Tukey ($P=0,05$).

Los datos de mortalidad de las ocho concentraciones de esporas de *Isaria* se sometieron a un análisis Probit, (Camacho 1990), se obtuvo la CL_{50} y su límite de confianza al 95%; y la CL_{95} .

Los datos de los tres bioensayos de la prueba de patogenicidad, se sometieron a la prueba de Chi cuadrado (X^2) para obtener la bondad de ajuste con los valores obtenidos, se estimó el coeficiente de determinación (r^2), y la probabilidad de ocurrencia del evento, a través de una regresión lineal, obteniendo la ecuación de predicción de la forma $y = a + bx$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de adultos muertos después de la aplicación de las concentraciones, con cubrimiento de micelio y esporulado, indican que hubo diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) entre las concentraciones para esta variables (Cuadro 3).

CUADRO 3. CUADRADO MEDIO DE DÍAS A MUERTE, CUBRIMIENTO DE MICELIO Y ESPORULACIÓN; NÚMERO DE ADULTOS MUERTOS, CON CUBRIMIENTO DE MICELIO Y ESPORULACIÓN, BOQUETE.

F de V	gl	Días			Número de adultos		
		Muerte	Cubrimiento	Esporulación	Muertos	Cubrimiento de micelio	Esporulación
Error	30	0,4093	1,1677	4,0388	3,1333	6,0722	1,9777
Conc.	14	3,2538**	6,6097**	25,4388**	58,6285**	41,3388**	52,088**
R ²		0,7876	0,7253	0,7461	0,8972	0,7605	0,9247
CV (%)		13,58	26,92	47,34	13,01	28,46	30,42

*, **=Se refiere a diferencias estadísticas al 1% y 5%, respectivamente.

Al adulto de *H. hampei*, se ha descrito como susceptible a concentraciones superiores de $1,0 \times 10^9$ UFC.ml⁻¹ de *B. bassiana* (Bustillo *et al.* 1998). En este estudio, los días a esporulación del hongo sobre el cuerpo de la broca del café en el aislado de *Isaria*

spp. se presentó un rango entre 2,5 y 2,8 días; mientras que las concentraciones de *B. bassiana*, se mostraron en un rango entre 5,0 y 5,3 días. Para *M. anisopliae*, el rango fue amplio de 1,7 a 8,7 días (Cuadro 4).

CUADRO 4. MEDIAS DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CONCENTRACIONES DE *Isaria* spp., *M. anisopliae* Y *B. bassiana* SOBRE ADULTOS DE *H. hampei* EN DÍAS A MUERTE, A CUBRIMIENTO DE MICELIO Y A ESPORULACIÓN, BOQUETE.

Aislamiento	Concentración UFC.ml ⁻¹	Días		
		Muerte	Cubrimiento de micelio	Esporulación
<i>Isaria</i> spp.	2,24X10 ⁹	6,5	2,2	2,7
<i>Isaria</i> spp.	8,96X10 ⁹	6,0	2,5	2,5
<i>Isaria</i> spp.	6,72X10 ⁹	6,0	2,2	2,5
<i>B. bassiana</i>	9,58X10 ⁸	5,7	3,8	8,0
<i>Isaria</i> spp.	4,48X10 ⁹	5,5	2,2	2,5
<i>B. bassiana</i>	7,66X10 ⁸	5,1	5,5	5,3
<i>Isaria</i> spp.	1,12X10 ¹⁰	5,0	2,2	2,8
<i>B. bassiana</i>	3,83X10 ⁸	4,5	6,4	5,8
<i>B. bassiana</i>	1,92X10 ⁸	4,3	5,5	0,0
<i>M. anisopliae</i>	1,13X10 ⁹	3,9	5,1	6,5
<i>B. bassiana</i>	5,75X10 ⁸	3,9	5,5	0,0
<i>M. anisopliae</i>	8,46X10 ⁸	3,7	4,1	8,0
<i>M. anisopliae</i>	1,41X10 ⁹	3,5	4,9	6,7
<i>M. anisopliae</i>	2,82X10 ⁸	3,5	3,7	8,7
<i>M. anisopliae</i>	5,64X10 ⁸	3,4	4,3	1,7

La muerte de *H. hampei*, utilizando hongo entomopatógenos se dió entre 3,4 y 6,5 días, se presentó en el aislado de *Isaria* un rango de 5,0 a 6,5 días, a pesar de estos resultados, las concentraciones de este hongo mostraron un rango bajo de cubrimiento del micelio de 2,2 días (Cuadro 5).

Los valores del número de adultos de broca muertos, con crecimiento de micelio y esporulados, que se presentan en el Cuadro 5, indican alta virulencia

del aislado de *Isaria*, el cual presentó el mayor valor de adultos muertos de 8 a 11 adultos, estos valores se observan en la columna de adultos esporulados. También, *M. anisopliae* presentó de 2 a 4 adultos muertos con la presencia del hongo esporulado, seguido de *B. bassiana*, 1 a 2 adultos. Bustillo 2006, indica que el hongo pierde gran parte de su virulencia cuando pasa de tres generaciones en medios artificiales, por lo cual es necesario reactivarlo mediante inoculaciones en brocas.

CUADRO 5. MEDIA DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CONCENTRACIONES DE *Isaria* spp. *M. anisopliae* Y *B. bassiana* SOBRE ADULTOS DE *H. hampei* PARA EL NÚMERO DE ADULTOS MUERTOS, CON CUBRIMIENTO DE MICELIO Y ESPORULACIÓN. BOQUETE.

Aislamiento	Concentración UFC.ml ⁻¹	Número de adultos		
		Muertos	Cubrimiento de micelio	Esporulación
<i>Isaria</i> spp.	2,24X10 ⁹	12	11	11
<i>Isaria</i> spp.	8,96X10 ⁹	10	10	10
<i>Isaria</i> spp.	6,72X10 ⁹	11	10	10
<i>B. bassiana</i>	9,58X10 ⁸	13	6	2
<i>Isaria</i> spp.	4,48X10 ⁹	11	10	10
<i>B. bassiana</i>	7,66X10 ⁸	11	4	1
<i>Isaria</i> spp.	1,12X10 ¹⁰	8	8	8
<i>B. bassiana</i>	3,83X10 ⁸	10	4	1
<i>B. bassiana</i>	1,92X10 ⁸	12	2	0
<i>M. anisopliae</i>	1,13X10 ⁹	19	10	4
<i>B. bassiana</i>	5,75X10 ⁸	8	4	0
<i>M. anisopliae</i>	8,46X10 ⁸	20	13	2
<i>M. anisopliae</i>	1,41X10 ⁹	19	10	3
<i>M. anisopliae</i>	2,82X10 ⁸	19	12	4
<i>M. anisopliae</i>	5,64X10 ⁸	20	15	2

En otra prueba de patogenicidad dirigida al aislado de *Isaria* spp. (Cuadro 6), se encontraron variaciones con respecto a la prueba anterior. En esta oportunidad, se ensayó con algunas concentraciones entre 1,3 x10⁹ y 3,64 x10⁹ UFC.ml⁻¹. Los días a muerte de la broca se mostraron entre 1,91 y 2,39 y los días a esporulación entre 5,19 y 5,82. La patogenicidad se presentó entre 84%, 74% y 91,09%, con un promedio de 87,51%.

En Panamá este es primer informe de mortalidad de broca por *Isaria* spp.; es otros insectos plaga, Scorsetti *et al.* 2008, informó la presencia de *Isaria* infectando especies de *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*.

La última prueba de patogenicidad al aislado de *Isaria* spp. se realizó en el 2013 (Cuadro 7), se encontró una suspensión madre que contenía 5,51x10⁹ UFC.ml⁻¹, a esta concentración se encontró un 100% de patogenicidad sobre la

CUADRO 6. MEDIA DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CONCENTRACIONES DE *Isaria* spp., SOBRE ADULTO DE LA BROCA DEL FRUTO DEL CAFÉ, EN LA PATOGENICIDAD Y VIRULENCIA. BOQUETE, MAYO-ABRIL, 2011.

Concentración (UFC.ml ⁻¹)	Días					
	Muerte	Micelio			Esporas	
		Crecimiento	Cubrimiento	Formación	Esporulación	Patogenicidad (%)
1,3 x 10 ⁹	2,39	2,33	3,34	4,16	5,31	85,55
2,0 x 10 ⁹	2,22	2,39	3,21	3,97	5,19	91,09
2,9 x 10 ⁹	2,19	2,10	3,58	4,27	5,39	88,69
3,64 x 10 ⁹	1,91	2,59	3,78	4,11	5,82	84,74
Promedio						87,51

población de broca tratada. Las diluciones de esta suspensión, se presentaron en concentraciones entre 1,87x10⁹ y 5,34x10⁹ UFC.ml⁻¹, con una patogenicidad que estuvo entre 84,91% y 98,14%.

Estos resultados confirman la patogenicidad de *Isaria* spp. bajo condiciones de laboratorio sobre *H. hampei*; mientras que los resultados obtenidos utilizando dos cepas comerciales, se pueden explicar por un excesivo número de generaciones

producidas en medios artificiales utilizados por el laboratorio comercial, que da como resultado una disminución significativa en la virulencia del hongo.

La concentración letal media (CL₅₀) del aislado de *Isaria* spp. se considera que los valores son significativamente diferentes cuando no se traslapan los intervalos de confianza (Cabanillas y Jones 2009). El aislado de *Isaria* spp. es de mayor patogenicidad al obtener una CL₅₀ menor con 0,11x10⁹ UFC.ml⁻¹ (Cuadro 8).

CUADRO 7. MEDIA DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CONCENTRACIONES DE *Isaria* spp., SOBRE ADULTO DE LA BROCA DEL FRUTO DEL CAFÉ, EN LA PATOGENICIDAD Y VIRULENCIA. BOQUETE, SEPTIEMBRE, 2013.

Dilución (%)	Concentración (UFC.ml ⁻¹)	Patogenicidad (%)
0	5,51 x 10 ⁹	100,00 a
80	5,34 x 10 ⁹	98,14 a
60	3,81 x 10 ⁹	95,00 ab
40	2,85 x 10 ⁹	92,96 ab
20	1,87 x 10 ⁹	84,91 b
CV (%) = 5,29		r ² = 0,6320

CUADRO 8. VALOR DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50}), SUS LÍMITES DE CONFIANZA AL 95% Y CL_{95} DEL AISLADO DE *Isaria* spp. SOBRE *H. hampei*. BOQUETE, 2014.

Aislamiento	Límites Fiduciales al 95%				
	CL ₅₀	Inferior		Superior	CL ₉₅
<i>Isaria</i> spp.	0,11 X 10 ⁹	(0,000020	--	0,413)	5,94 X 10 ⁹

Las pruebas de patogenicidad realizadas al aislado de *Isaria* spp., se ajustaron al obtener una X^2 calculada menor que la tabulada, lo que indicó

que los datos se ajustaron (Cuadro 9). Presentando una ecuación de predicción cuya forma es $y = 5,89 + 0,9669x$

CUADRO 9. VALOR DE CHI CUADRADA, COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN Y LA ECUACIÓN DE PREDICCIÓN, PARA LA EVALUACIÓN DE LA PATOGENICIDAD DEL AISLADO DE LA CEPA NATIVA DE *Isaria* spp. SOBRE ADULTOS DE BROCA DEL CAFÉ. BOQUETE, 2013.

Aislamiento	X^2	r^2	gl	Pr > F	Ecuación de predicción
<i>Isaria</i> spp.	0,14808	0,5238	6	0,0659	$y = 5,89 + 0,9669x$

Hernández y Garza (1994), informa que *Isaria fumosorosea* es utilizada en el control de *Bemisia tabaci*, presentando una CL_{50} de $4,3 \times 10^8$ conidios. ml^{-1} , mientras que Vidal *et al.* (1997) encontraron una CL_{50} en rangos de $2,6 \times 10^4$ a $2,3 \times 10^6$ conidios. ml^{-1} de *I. fumosorosea* sobre ninfas de *B. tabaci*. Zimmermann (2008); Kim *et al.* (2008) y Ruíz *et al.* 2013, mencionan que *I. fumosorosea* es un hongo con mayor especificidad hacia *B. tabaci*, ya que los valores obtenidos de CL_{50} son menores comparados con las CL_{50} de otros hongos entomopatógenos u otras especies de *Isaria*.

Los datos obtenidos utilizando una concentración de esporas de *Isaria* spp. de $1,12 \times 10^{10}$ UFC. ml^{-1} , permitió identificar

las fases patogénica y saprofita del hongo (Figura 3). La fase patogénica va desde la inoculación del insecto con las esporas del hongo hasta su muerte, esto ocurre en promedio de 45 días. La fase saprofita, contempla cuatro etapa de desarrollo del hongo, inicia con un crecimiento del micelio del hongo que se presenta en promedio a 1,1 días después de la muerte de la broca, un cubrimiento de micelio sobre el insecto a los dos días después de la muerte de la broca, luego la formación de esporas se presenta un días después del cubrimiento de micelio y dos días después la esporulación. La fase saprofita en promedio se da en 6,1 días después de la muerte de la broca.

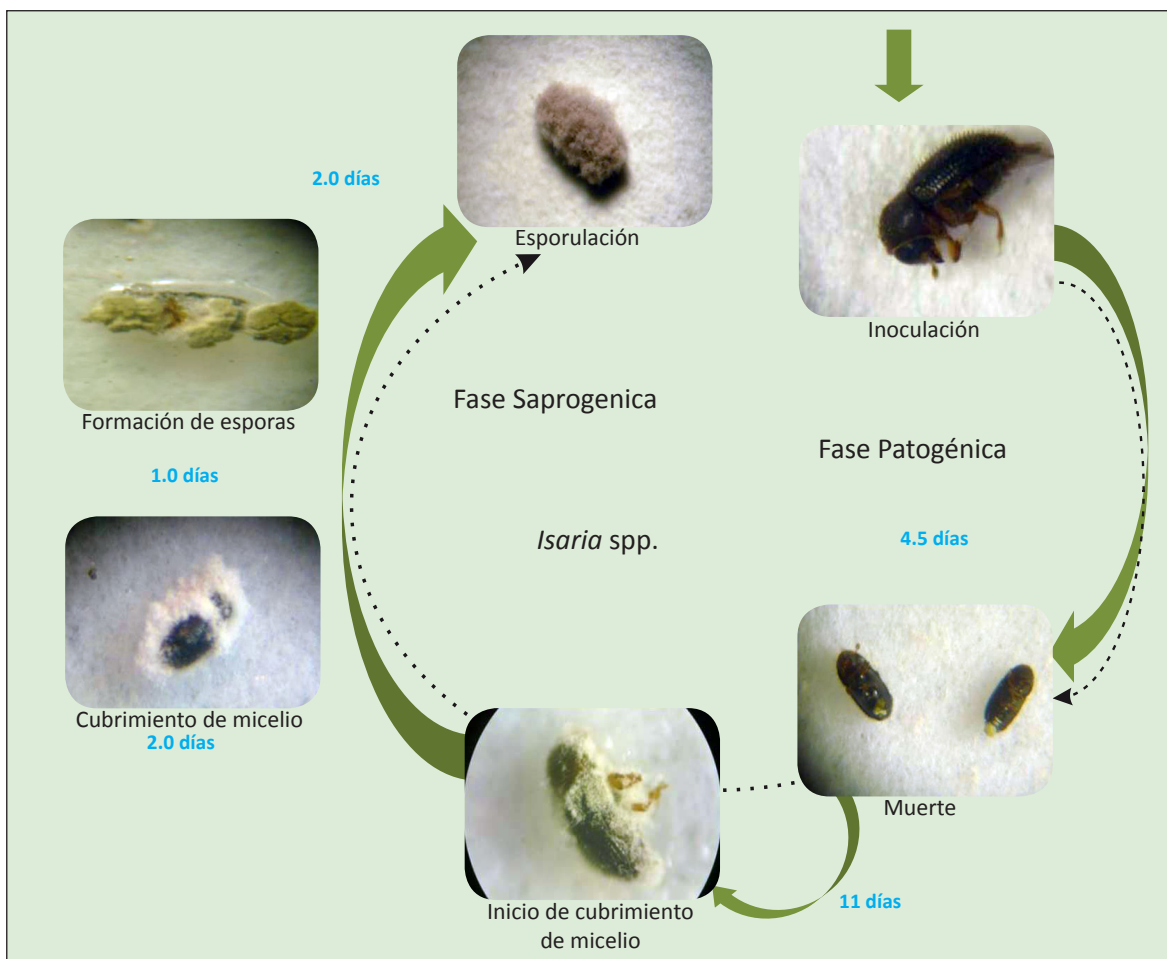


Figura 3. Fases: patogénica y saprofita del aislamiento de la cepa nativa de *Isaria* spp. sobre *H. hampei*, obtenido en las pruebas de patogenicidad.

CONCLUSIONES

- El aislado de la cepa de *Isaria* spp. en todas las pruebas de patogenicidad realizadas resultó con una alta virulencia, también se demostró ser patogénico sobre adultos hembras de la broca del café procedentes de las tierras altas de Chiriquí.
- La cepa nativa de *Isaria* spp. confirmó ser de mayor virulencia que aquellas

introducidas de otras regiones y potencialmente candidata para el desarrollo de bioplaguicida a base de hongo entomopatógeno para el control de *H. hampei* en la región cafetalera de la provincia de Chiriquí.

RECOMENDACIONES

- Continuar pruebas similares con adultos de broca procedentes de regiones donde se produce la especie

Coffea canephora, para validar el efecto sobre individuos procedentes de alturas menores a 1000 msnm.

- Estudiar su eficacia biológica en parcelas de café bajo condiciones de campo, en dos sistemas de siembra, sombra y a pleno sol, para verificar su potencial de control bajo condiciones diferentes.
- Validar estos resultados en parcelas de café en las áreas de producción de café de los distritos de Renacimiento, Bugaba y Boquete; y probar metodologías de formulación líquida y en polvo, que permitan un acceso rápido de la tecnología para productores.

BIBLIOGRAFÍA

- Ali, S; Zhen, H; Ren, S. 2010. Production of cuticle degrading enzymes by *Isaria fumosorosea* and their evaluation as a biocontrol agent against diamondback moth. J. Pest Sci. 83:361-370.
- Andersen, SO. 1979. Biochemistry of insect cuticle. Annual Review of Entomology 24(1):29-61.
- Avery, PB; Faull, J; Simmonds, MS. 2004. Effect of different photoperiods on the growth infectivity and colonization of Trinidadian strains of *Paecilomyces fumosoroseus* on the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, using a glass slide bioassay. J. Insect Sci. 4(38):1-10.
- Bustillo P, AE; Cárdenas, R; Villalba, DA; Benavides, P; Orozco, J; Posada, FJ. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná, Colombia, Cenicafe. 134 p.
- Bustillo P, AE. 2006. Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en Colombia. Revista Colombiana de Entomología 32:101-116.
- Cabanillas, EH; Jones, AW. 2009. Effects of temperature and culture media on vegetative growth of an entomopathogenic fungus *Isaria* sp. (Hymenochaetales: Clavicipitaceae) Naturally Affecting the Whitefly, *Bemisia tabaci* in Texas. Mycopathologia 167:263-271.
- Camacho C, O. 1990. PCPROBIT VER 1.0 Colegio de Postgraduados. Centro de Estadística y Cálculo. Licencia: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. México.

- Castellanos, D. 1997. Importancia de la patogenicidad de la acción enzimática del hongo *Beauveria bassiana* sobre la broca del café. Revista Colombiana de Entomología 23(1-2):65-71.
- Delgado, F; López, Y; Girado, EM. 2001. Actividad enzimática de hongos y su patogenicidad sobre *Hypothenemus hampei*. Manejo Integrado de Plagas no. 60:43-49.
- Ferrón, P. 1981. Pest control by the fungi *Beauveria* and *Metarhizium*. In Burges, H.D. Ed. Microbial control pest and plant diseases 1970-1980. London, academic Press. p. 465-482.
- González G, MT; Posada, FJ; Bustillo, AE. 1993. Desarrollo de un bioensayo para evaluar la patogenicidad de *B. bassiana* sobre *Hypothenemus hampei*. CENICAFE 44(3):93-102.
- González G, MT; Valencia J, A; Bustillo P, AE. 2001. Incremento de la patogenicidad de *Beauveria bassiana* sobre *Hypothenemus hampei*, utilizando integumento del insecto en el medio de cultivo. Manejo Integrado de Plagas 60:31-35.
- Hernández, VM; Garza, E. 1994. Patogenicidad de *Paecilomyces fumosoroseus* a mosquita blanca *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae). In XVII Congreso Nacional de Control Biológico. Oaxaca. (1994, Oax, México). Sociedad Mexicana de Control Biológico. 42-43 p.
- Khachatourians, GG. 1991. Physiology and genetics of entomopathogenic fungi. In Aurora, DK; Ajello, A; Mukerji, KG. Eds. Handbook of Applied Mycology. Humans, Animals and Insects. New York, Marcel Dekker. 2:613-661.
- Kim, JS; Roh, JY; Choi, JY; Shin, SC; Jeon, MJ; Je, YH. 2008. Insecticidal activity of *Paecilomyces fumosoroseus* SFP-198 as a multi-targeting biological control agent against the greenhouse whitefly and the two-spotted spider mite. Int. J. In. Entomol. 17:181-187.
- Lezcano B., JA. 2014. Proyecto de Investigación e innovación para el manejo integrado del cultivo de café. Informe de logros del Proyecto 2010-2014. Programa para la Competitividad del Agronegocio. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. PA. 2 p.

- Patersen, I; Charnley, K; Cooper, R; Clarkson, J. 1994. Specific induction of cuticle-degrading protease of the insect pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. Microbiology no. 140:185-189.
- Ruíz S, E; Chan C, W; Alejo, JC; Tun S, JM; Pérez G, A; Lara R, J. 2013. Virulencia de aislados monospóricos de *Isaria fumosorosea* sobre inmaduros de *Bemisia tabaci*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4(3):381-392.
- Ruíz C, R. 1996. Efecto de la fenología del fruto de café sobre los parámetros de la tabla de vida de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari), Tesis Ing. Agr. Manizales, Colombia. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuaria. 87 p.
- Scorsetti, AC; Humber, AR; De Gregorio, C. 2008. New records of entomopathogenic fungi infecting *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*, pest of horticultural crops, in Argentina. Bio Control 53:787-796.
- Smith, RJ; Grula, EA. 1981. Nutritional requirements for conidial germination and hyphal growth of *Beauveria bassiana*. Journal of Invertebrate Pathology 37(2):222-230.
- Smith, RJ; Pehrul, S; Grula, EA. 1981. Requirement for sequential enzymatic activities for penetration of the integument of entomopathogenic hyphomycetes. Journal of Invertebrate Pathology 38:335-344.
- St. Leger, R; Charnley, K; Cooper, RM. 1986. Cuticle degrading enzymes of entomopathogenic fungi: Synthesis in cultura on cuticle. Journal of Invertebrate Pathology 48:85-95.
- Vélez A, PE; Posada F, FJ; Marín M, P; González G, MT.; Osorio V, E; Bustillo P, AE. 1997. Técnicas para el control de calidad de formulaciones de hongos entomopatógenos. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. CENICAFE. (Boletín Técnico) no. 17:1-10.
- Vidal, C; Fargues, J; Lacey, LA. 1997. Intraspecific variability of *Paecilomyces fumosoroseus*: effect of temperature on vegetative growth. J. Invert. Pathol. 70(1):18-26.
- Willis, JH. 1987. Cuticular proteins: The neglected component. Archives of Insect Biochemistry and Physiology 6(2):203-215.

Zimmermann, G. 1993. The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and its potential as a biocontrol agent. Pesticide Science 37:373-379.

Zimmermann, G. 2008. The entomopathogenic fungi *Isaria farinosa* (formerly *Paecilomyces farinosus*) and the *Isaria fumosorosea* species complex (formerly *Paecilomyces fumosoroseus*): biology, ecology and use in biological control. Biocontrol Science and Technology 18(9):865-901.

SELECCIÓN DE VARIEDADES DE MAÍZ TOLERANTES AL DÉFICIT HÍDRICO¹

Román Gordon Mendoza²; Jorge Franco Barrera³; Félix San Vicente⁴

RESUMEN

Con el objetivo de seleccionar variedades de maíz de grano blanco y amarillo con tolerancia al déficit hídrico, se sembraron 18 experimentos en campos de agricultores colaboradores y en la estación experimental de El Ejido, ubicada en la provincia de Los Santos, República de Panamá en los años 2010, 2011 y 2012. Las variedades sintéticas evaluadas se obtuvieron del proyecto Generación y validación de variedades de maíz tolerantes a sequía como medio de estabilizar productividad y disminuir el daño por micotoxinas como consecuencia del cambio climático. Para evaluar la tolerancia al déficit hídrico cada año se sembraron una serie de ensayos en agosto y otros en octubre. En todos los años, la precipitación pluvial en la siembra de agosto fue mayor que en octubre. El período crítico de falta de humedad fue después de los 50 días después de siembra (dds) con diferencias de 94, 146 y 176 mm para cada año, respectivamente. Las diferencias entre ambas siembras de los distintos ensayos variaron de 0,85 a 2,75 t.ha⁻¹ para los años 2010 y 2011 y de 4,00 a 3,27 t.ha⁻¹ en el año 2012. Se realizaron los análisis de varianza de todos los ensayos y los mismos mostraron diferencias estadísticas entre cultivares. Se obtuvieron altos porcentajes de repetitividad y bajos coeficientes de variación. En los distintos grupos de cultivares se identificaron y seleccionaron tres variedades sintéticas promisorias por su buen rendimiento en el promedio general de todas las localidades y el buen grado de tolerancia o baja reducción del rendimiento debido al déficit hídrico a que fueron sometidos.

PALABRAS CLAVES: Sequía, mejoramiento, Azuero, humedad del suelo, rendimiento.

¹Recepción: 10 de octubre de 2015. Aceptación: 26 de octubre de 2015. Investigación realizada con fondos del proyecto Generación de variedades e híbridos de maíz del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

²M.Sc. en Protección Vegetal. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA).
e-mail: gordon.roman@gmail.com

³M.Sc. en Ciencias Ambientales. IDIAP. CIAA. e-mail: joenfra13@gmail.com

⁴Ph.D. en Mejoramiento Genético. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).
e-mail: f.sanvicente@cgiar.org

SELECTING TOLERANT MAIZE VARIETIES TO WATER STRESS

ABSTRACT

In order to select varieties of white and yellow maize grain with water stress tolerance, 18 trials were planted in farmers' fields and the experimental station of El Ejido, located in Los Santos province, Panama in 2010, 2011 and 2012. The synthetic evaluated varieties were taken from the project Generation and validation of varieties of drought tolerant maize as a means to stabilize productivity and reduce mycotoxin damage due to climate change. To assess tolerance to water deficit each year, a set of tests was sown in August and one in October. In every year, the rainfall in August sowing was higher than in October planting. The most critical period was 50 days after sowing (DAS) with differences of 94, 146 and 176 mm for each year, respectively. The differences between the two crops of different trials ranged from 0,85 to 2,75 t.ha⁻¹ for 2010 and 2011 and 4,00 to 3,27 t.ha⁻¹ in 2012. The variance analyses of all trials were conducted and they showed the same statistical differences between cultivars. Repeatability and high percentages of low coefficients of variation were obtained. In the different groups, three synthetic varieties of promising cultivars were identified and selected for their good performance in the overall average in all locations and good tolerance and low yield reduction due the water deficit they were subjected to.

KEY WORDS: Drought, breeding, Azuero, soil humidity, performance.

INTRODUCCIÓN

Anualmente en Panamá se consume aproximadamente 487 600 toneladas de maíz en grano, de los cuales 96 600 toneladas son producción nacional y el resto son importadas. Del maíz que ingresa a los canales de comercialización, un 12,26% equivalente a 59 800 t, corresponde al que se procesa para consumo humano, y un 87,74% equivalente a 427 800 t, es para el consumo de la industria de alimentos para animales.

En la región de Azuero el área sembrada con este cultivo ha fluctuado en los últimos años, pero la misma alcanzó un promedio de 18 mil ha en las últimas campañas. En esta región se produce el 74,63% de la producción nacional. Esta actividad involucró aproximadamente 600 productores de las dos provincias de esta región. En el ámbito nacional, la mayor cantidad de superficie sembrada es realizada bajo el sistema de chuzo con 44 020 ha, lo cual representa el 69,80% de la superficie total destinada a este cultivo,

esta producción es importante desde el punto de vista de la seguridad alimentaria familiar. El sistema mecanizado con 19 020 ha representa el 30,2% de la superficie sembrada, esta producción es destinada para abastecer el mercado para la industria que elabora alimentos para consumo humano y concentrados para animales.

Un clima adverso y desastres naturales han sido características en todas las provincias del país. Cambios más recientes derivados entre otros factores del calentamiento global y la crisis del precio de los alimentos han aumentado la vulnerabilidad y el riesgo de las comunidades rurales y de los productores causando un impacto significativo en la seguridad alimentaria y la pobreza extrema. Sequías al inicio de los ciclos de siembra, lluvias más intensas en algunos períodos del cultivo y la aparición de nuevas plagas, están causando trastornos importantes en la productividad y la seguridad alimentaria.

Reportes de investigaciones recientes, incluyendo estudios de modelación, señalan que el impacto del calentamiento global podría causar significativas disminuciones en el rendimiento de maíz y otros cultivos en los próximos treinta años (Ruane *et al.* 2013). Neelin *et al.* 2006, examinaron las

tendencias de precipitación global en el trópico por diez de los últimos Modelos de Circulación Global (MCG) usando el escenario A2 de emisiones IPCC; a pesar de las diferencias considerables en los modelos, el estudio resaltó como el cambio más constante y probable, una tendencia significativa a sequía durante junio y agosto en la región de Centroamérica y El Caribe para fines del siglo 21. Existe un consenso entre los especialistas en cambio climático sobre el hecho que un incremento de 1° C en la temperatura podría generar un 5% de pérdidas en estos cultivos; mientras que un incremento de 2° C produciría una pérdida del 20% (Vargas 2009). Bajo ese contexto, la identificación de cultivares con alta capacidad de adaptación y resiliencia a plagas se convierte en una prioridad inmediata.

En Panamá, todos los sistemas de producción de grano se caracterizan por su bajo rendimiento, lo que se refleja en la media nacional. Esto, entre otras causas, se debe a diversos factores bióticos (insectos) y abióticos (precipitación pluvial errática, altas temperaturas), además de técnicas de manejo inadecuadas en lo referente a densidad, control de plagas y fertilización.

El desarrollo de nuevos híbridos y/o variedades, así como prácticas

agronómicas que mitiguen el efecto de la sequía y mejoren la eficiencia del cultivo producirá beneficios económicos para los agricultores, y contribuirá a mitigar el efecto del cambio climático al reducir el impacto de la sequía, junto con la aplicación de cantidades excesivas de fertilizantes químicos y plaguicidas para el control de plagas emergentes.

En años recientes, se han generado variedades tolerantes a sequía para el este y el sur de África, donde prevalece una tendencia a sequía severa y donde los híbridos elite del CIMMYT rinden por lo menos una tonelada más en condiciones de sequía grave que el mejor germoplasma proveniente del sector privado (Banziger *et al.* 2006).

La variabilidad climática significa un cambio importante en las reglas de juego para la cadena del maíz, representando enormes retos y desafíos para los productores y otros actores de la cadena; implica la necesidad de hacer ajustes profundos en el Plan de Acción para la Competitividad de la Cadena del Maíz.

La dependencia de importaciones a futuro, puede ser un factor de alto riesgo en términos de la seguridad alimentaria nacional, la actividad económica y el agro negocio de pequeños, medianos y grandes

productores, y de las mismas empresas que procesan el grano. Si bien cuando los precios internacionales están bajos, las industrias de piensos tienden a desestimar la producción interna, lo cierto que a futuro esto puede ser muy riesgoso. Por lo demás, cualquier acuerdo deberá estar respaldado por un esfuerzo de incremento de la productividad interna sin importar lo que pase con los precios internacionales. Con el objetivo de seleccionar variedades de maíz tolerantes al déficit hídrico para productores de este cultivo en Panamá, se estableció la presente investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético:

Durante tres ciclos agrícolas (2010, 2011 y 2012) se sembraron ensayos en múltiples localidades del país en parcelas de productores colaboradores. Todo el material genético evaluado fue recibido del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), como parte del Proyecto Generación y validación de variedades de maíz tolerantes a sequía como medio de estabilizar productividad y disminuir el daño por micotoxinas como consecuencia del cambio climático, financiado por el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO).

Los ensayos en campo fueron financiados por el proyecto Generación de variedades e híbridos de maíz del Instituto

de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). En el año 2010 se sembraron 18 variedades de maíz grano amarillo (Alfa Látese 6 x 3 con dos repeticiones) incluyendo tres testigos locales. En el 2011 se evaluaron 10 variedades en un Alfa Látese 5 x 2 con dos repeticiones, y en el mismo se incluyeron cinco variedades de grano blanco y cinco variedades de grano amarillo incluyendo un testigo

local. Finalmente, en el año 2012 se sembraron dos ensayos cada uno con tres repeticiones, el primero proveniente del CIMMYT, el cual incluyó 12 variedades de grano amarillo en un Alfa Látese 4 x 3 con dos testigos locales, y el otro se conformó con las cuatro variedades más sobresalientes de los dos años previos y cuatro testigos locales (Cuadro 1).

CUADRO 1. VARIEDADES EVALUADAS POR CICLO AGRÍCOLA EN CADA EXPERIMENTO. PANAMÁ, 2010-2012.

2010	2011	2012a	2012b
1. S05TLY-SEQ /LN	1. S00TLY-AB01	1. S11TLYN-AB01	1. Guararé 8128 (T1)
2. S05TLY-AB01	2. S07TLY-AB01	2. S11TLYN-AB02	2. IDIAP-MV-0706 (T2)
3. S05TLY-AB02	3. S07TLY-AB02	3. S11TLYN-AB03	3. IDIAP-MQ-12 (T3)
4. S00TLY-AB01	4. S03TLYQ-AB05	4. S11TLYN-AB04	4. IDIAP-MQ-14 (T4)
5. SINT-AM-TSR	5. S06TLWQ-AB02	5. S11TLYN-AB05	5. S07TLY-AB01
6. TSR-90-SINT-AM	6. S03TLW-B03	6. S05TLY-AB01	6. S07TLY-AB02
7. SINT-IBP-3	7. S07TLW-AB	7. S05TLY-AB02	7. S05TLY-SEQ /LN
8. SINT-IBP-4	8. S03TLWQ-AB05	8. S00TLY-AB01	8. S06TLWQ-AB02
9. S07TLY-AB01	9. S05TLWQ-SEQLN-AB	9. S07TLY-AB01	
10. S07TLY-AB02	10. IDIAP-MV-0706 (T1)	10. S07TLY-AB02	
11. G26-SEQ-C3		11. IDIAP-MV-0706 (T1)	
12. S03TLYQ-AB04		12. Guararé 8128 (T2)	
13. S03TLYQ-AB05			
14. S03TLYQ-AB03			
15. S03TLYQ-AB01			
16. IDIAP-MV-0706 (T1)			
17. IDIAP-MQ-12 (T2)			
18. IDIAP-MQ-14 (T3)			

Localidades:

En total se realizaron 18 ensayos en terrenos de productores colaboradores del Proyecto. Se distribuyeron en cuatro localidades los años 2010 y 2011 y cinco localidades de cada ensayo de los sembrados en el año 2012 (Cuadro 2).

En la estación experimental El Ejido del IDIAP se sembró el ensayo en dos fechas de siembra; la primera siembra en la fecha recomendada (agosto) y la segunda en una fecha tardía (octubre), de tal forma que debido a la distribución de lluvias de esa localidad todas las variedades fueran sometidas a un déficit hídrico después de la floración femenina para observar su potencial de rendimiento.

CUADRO 2. LOCALIDADES EN DONDE FUERON SEMBRADOS LOS ENSAYOS. PANAMÁ, 2010-2012.

2010	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Fecha de Siembra
El Ejido E	Los Santos	Los Santos	7°54,567'	80°22,211'	27-ago
El Ejido L	Los Santos	Los Santos	7°54,574'	80°22,207'	05-oct
La Colorada	Los Santos	Los Santos	7°49,621'	80°34,457'	21-sep
La Zumbona	Veraguas	Soná			15-sep
2011					
El Ejido E	Los Santos	Los Santos	7°54,560'	80°22,262'	27-ago
El Ejido L	Los Santos	Los Santos	7°54,566'	80°22,260'	05-oct
La Colorada	Los Santos	Los Santos	7°50,204'	80°32,948'	21-sep
La Mina	Los Santos	Pocrí	7°40,126'	80°08,808'	27-ago
2012a					
El Ejido E	Los Santos	Los Santos	7°54,554'	80°22,268'	22-ago
El Ejido L	Los Santos	Los Santos	7°54,543'	80°22,272'	03-oct
La Enea	Los Santo	Guararé	7°51,111'	80°16,250'	03-sep
Santo Domingo	Los Santos	Las Tablas	7°45,735'	80°13,213'	11-sep
Nuevo Ocu	Los Santos	Pocrí	7°41,148'	80°08,206'	25-sep
2012b					
El Ejido E	Los Santos	Los Santos	7°54,565'	80°22,265'	24-ago
El Ejido L	Los Santos	Los Santos	7°54,572'	80°22,261'	04-oct
La Enea	Los Santos	Guararé	7°51,111'	80°16,250'	03-sep
La Pasera	Los Santos	Guararé	7°48,419'	80°18,032'	05-sep
Río Sereno	Chiriquí	Renacimiento	8°49,000'	82°51,000'	20-sep

Precipitación pluvial y humedad de suelo:

En todas las localidades se midió la precipitación pluvial diaria durante todo el desarrollo del cultivo y se acumularon por deca-días (Cuadro 3). Para el análisis, los datos de lluvia se agruparon en los cuatro períodos críticos descritos por Mc William *et al.* (1999); éstos autores agrupan a las fases fenológicas del cultivo en fase de establecimiento (0 a 30 dds) que incluye de germinación a planta con cinco hojas (Vg a V5); fase pre floración (31 a 50 dds) o plantas de la etapa de 6 a 15 hojas (V6 a V15); fase floración y llenado de grano (51 a 80 dds) o plantas de 16 hojas a la fase de grano ampolla (V16 a R2); y fase final de llenado de grano (81 a 100 dds) que va de R3 a R5 (grano lechoso a grano dentado).

En la localidad de El Ejido se calculó la humedad del suelo en las distintas fases fenológicas del cultivo en función a la precipitación pluvial. Se calculó la evapotranspiración potencial (Eto) con la fórmula de Penman Monteith (Allen *et al.* 1998) y se realizó el cálculo de la humedad de suelo en función del perfil de suelo del área del estudio en la Estación Experimental.

Unidad experimental:

Las parcelas experimentales consistieron de dos surcos de 5,2 m

de largo. Todos los ensayos fueron sembrados a una distancia de 0,75 m entre hileras y 0,20 m entre posturas de siembra para una densidad inicial de 66 666 plantas.ha⁻¹. El manejo agronómico de los ensayos respecto al control de malezas, plagas dependió de su incidencia y de las recomendaciones de la Guía para el manejo integrado del cultivo de maíz del IDIAP (Gordón 2009).

Se aplicó a la siembra 273 kg.ha⁻¹ de una fórmula completa (13-26-10-3) en forma de banda a 2,5 cm de profundidad. Se realizaron dos aplicaciones suplementarias de nitrógeno en forma de urea, la primera a los 21 días después de siembra (dds) y la segunda a los 37 dds a razón de 159 a 204 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Variables medidas:

Los datos tomados incluyeron caracteres cuantitativos como: días a floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, número de plantas acamadas de tallo, número de mazorcas podridas, número de plantas y mazorcas al momento de la cosecha, rendimiento de grano, número de mazorcas con mala cobertura y humedad del grano.

Además, se midieron variables cualitativas como: aspecto de planta y mazorcas (escala 1 a 5), textura de grano

(escala 1 a 4), enfermedades al follaje como *Bipolaris maydis*, *Exserohilum turcicum*. En donde, 1 indica ausencia de enfermedad y 5 infección muy severa. La

evaluación se realizó en las etapas finales (70-80 dds) del cultivo, antes que las hojas se tornaran de color café.

CUADRO 3. PRECIPITACIÓN ACUMULADA POR DECA-DÍAS EN LOS ENSAYOS DE VARIEDADES SINTÉTICAS. PANAMÁ, 2010-2012.

	0-10	11-20	21-30	0 a 30	31-40	41-50	51 a 50	51-10	61-70	71-80	51 a 80	81-90	91-100	81 a 100	Total
2010															
El Ejido E	64	159	131	354	122	13	135	51	36	39	126	38	36	74	689
El Ejido L	79	99	88	266	91	103	194	99	4	3	106	0	0	0	566
La Colorada	118	73	76	267	120	77	197	49	37	10	96	5	0	5	565
2011															
El Ejido E	124	36	12	172	87	96	183	20	48	67	135	56	68	124	614
El Ejido L	96	20	48	164	50	3	53	58	15	40	113	0	0	0	330
La Mina	93	18	49	160	29	14	43	90	75	4	169	64	5	69	441
La Colorada	106	21	128	255	28	21	49	79	32	51	162	0	0	0	466
2012															
El Ejido E	22	32	64	118	10	94	104	42	79	64	184	0	37	37	444
El Ejido L	94	63	98	254	64	0	64	37	0	8	45	0	0	0	363
La Enea	13	9	38	60	29	130	159	42	36	25	104	27	0	27	350
Santo Dgo	98	29	74	201	143	96	240	30	19	44	93	0	7	7	541
Nuevo Ocu	242	108	104	454	60	98	158	40	0	4	44	3	0	3	659
El Ejido E	15	81	15	111	55	49	104	49	74	62	185	25	13	37	437
El Ejido L	49	129	34	211	62	25	86	13	0	8	21	0	0	0	318
La Enea	136	9	38	183	29	130	159	42	36	25	104	27	0	27	473
La Pasera	112	23	31	167	80	115	195	13	41	31	85	30	5	35	481
Rio Sereno	160	136	52	347	48	60	108	42	38	27	107	80	41	121	562

Diseño experimental y análisis estadístico:

Se realizó un análisis por ensayo utilizando el método REML de SAS (Vargas *et al.* 2013); para el cálculo de las varianzas de cada una de las fuentes de variación según el siguiente modelo lineal.

$$Y_{ijk} = \mu + Rep_i + Block_j(Rep_i) + Gen_k + \epsilon_{ijk}$$

En donde:

Y_{ijk} es el tratamiento de interés; μ es la media general; Rep_i es el efecto de la i-ésima repetición; $Block_j(Rep_i)$ es el efecto del j-ésimo bloque incompleto dentro del i-ésima repetición; Gen_k es el

efecto k-ésimo genotipo, y ε_{ijk} es el error residual. En este modelo, los genotipos se consideran como efectos fijos y las repeticiones y bloques incompletos como efectos al azar.

Previo al análisis combinado por ensayos, se realizó el análisis individual por localidad. En cada análisis por localidad se procedió a calcular la repetitividad (h^2) y a las localidades que tuvieron una repetitividad superior a 0,20 se les realizó un análisis de varianza combinado con el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + Loc_i + Rep_j(Loc_i) + Block_k(Rep_j) + Gen_l + Loc_i \times Gen_l + \varepsilon_{ijkl}$$

En donde:

Los nuevos términos Loc_i y $Loc_i \times Gen_l$ son los efectos para la i-ésima localidad y la interacción genotipo por localidad, ambos considerados términos al azar dentro del modelo. Los genotipos se consideran como efectos fijos y las repeticiones y bloques incompletos como efectos al azar.

Para la estructura de las covarianzas se utilizó el modelo de componentes de la varianza (*Variance components*). A todas las variables se le calculó las medias ajustadas (LS means) y las mismas fueron comparadas utilizando las diferencias mínimas significativas (DMS) al 5% de probabilidad.

Análisis de estabilidad:

Para el análisis de estabilidad se utilizó el modelo Biplot GGE-SREG, que integra el análisis de varianza y el análisis de componentes principales (Zobel *et al.* 1988, Yan *et al.* 2000). El modelo matemático es:

$$Y_{ge} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum^N \lambda_n Y_g \delta_e + p_{ge}$$

En donde:

Y_{ge} es el rendimiento promedio de un genotipo g en un ambiente e, μ es la Media General; α_g es el efecto de las desviaciones de las medias de los genotipos; β_e es el efecto de las desviaciones de las medias del ambiente, λ_n es el valor singular para el PCA; δ_e son los valores de los vectores para cada ambiente (PCA); N es el número de PCA retenidos en el modelo; Y_g son los valores de vectores de los genotipos (PCA) y p_{ge} es el error residual.

Análisis de confiabilidad de la respuesta:

El análisis de confiabilidad se realizó a dos variedades seleccionadas por su alto rendimiento a través de los años. Para la confiabilidad o respuesta normalizada (RNI), del i-ésimo genotipo se determinó a partir de los diferenciales de rendimiento con respecto al testigo IDIAP MV-0706 (di). Los valores promedios di y la desviación estándar de las diferencias se estimaron en todos los ambientes

(Sdi). A continuación, se determinó el valor estandarizado (di/Sdi), al cual se le establece la probabilidad normal estandarizada, mediante la tabla de distribución normal tipificada $N(0, 1)$, que proporciona los valores de alfa de la cola (probabilidad de encontrar un valor de Z mayor al indicado). A esta probabilidad se le llama confiabilidad normalizada con respecto al testigo (RNi) (Córdova *et al.* 1993, Camargo *et al.* 2014). Para separar los valores de RNi por su significancia estadística se utilizó la prueba Wald.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la precipitación pluvial:

La precipitación pluvial registrada varió a través de las localidades con

precipitaciones acumuladas durante todo el ciclo del cultivo entre 318 y 689 mm. Sin embargo, la precipitación acumulada entre 51 y 100 dds fue la que mejor correlacionó con el rendimiento, obteniendo un coeficiente de determinación de 0,75. El valor del R^2 aumentó a 0,96 cuando se incluyeron los datos de las siembras normales (E) y tardías (L) en la localidad El Ejido del 2010 al 2012 (Figura 1). Este resultado confirma lo expresado por Mc William *et al.* (1999) en donde las etapas más críticas para el rendimiento de grano es después de la floración, donde a mayor precipitación en este período mayor es el rendimiento de grano obtenido.

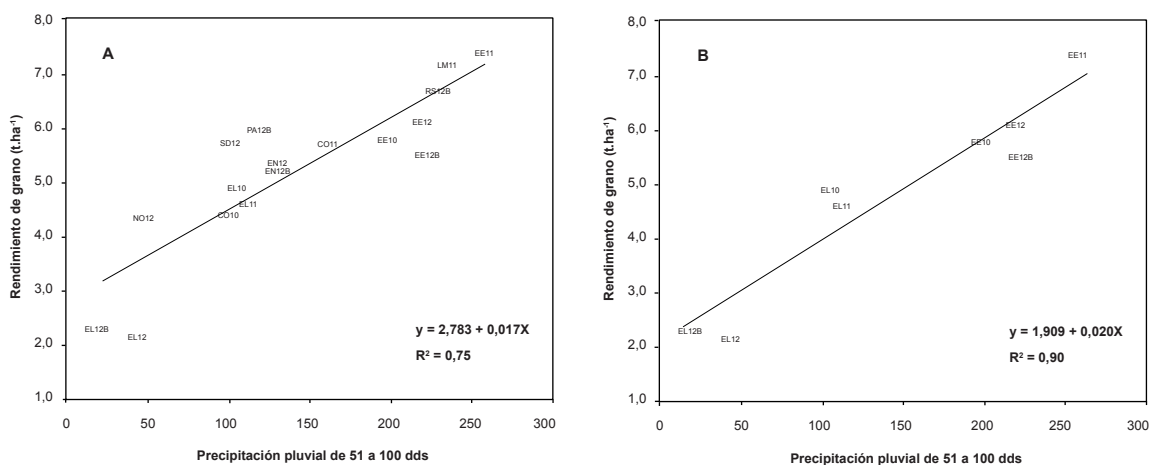


Figura 1. Relación entre la precipitación acumulada en el período de 51 a 100 dds y el rendimiento para todas las localidades (A) y solo El Ejido (B).

Análisis de los ensayos de 2010:

El análisis estadístico por localidad para el rendimiento de grano presentó un valor de repetitividad de cero para La Zumbona, mientras que para el resto de las localidades fue mayor a 0,70.

El análisis combinado de las tres localidades restantes se presentan en el Cuadro 4, son El Ejido E con 0,78; La Colorada con 0,70 y El Ejido L con 0,79. El mismo indica diferencias significativas

para el rendimiento de grano y variables asociadas a él como peso de mazorcas.

Los valores de repetitividad fueron superiores a 0,20 con excepción de la posición relativa de las mazorcas con respecto a la altura de las plantas. El análisis para rendimiento presentó mayor varianza entre variedades que entre localidades y la interacción entre estas dos fuentes fue baja.

CUADRO 4. CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS COMBINADO DE LAS VARIABLES MEDIDAS. PANAMÁ, 2010.

F de V	Rend	Mas	Fem	Al pt	Al Mz	Ptm ²	Mzm ²	Mz/pt	PMz	Pod	Enf	Aca	Aspt	Asmz	Cob	Almz/Alpt
Variedades	1,06	0,85	1,05	85,9	40,1	0,37	0,48	0,00	187,28	1,76	0,05	4,0	0,03	0,05	1,76	0,000
Localidad	0,44	0,23	0,14	167,8	33,2	0,40	0,32	0,00	77,71	0,65	0,03	48,2	0,01	0,04	0,65	0,001
Loc x Var	0,00	0,40	0,44	13,1	0,0	0,00	0,03	0,00	0,00	1,41	0,01	22,3	0,01	0,00	1,41	0,000
Residuo	0,62	0,48	0,67	78,2	57,4	0,60	0,60	0,01	75,07	5,58	0,09	41,0	0,04	0,05	5,58	0,001
h²	0,91	0,80	0,80	0,83	0,81	0,79	0,81	0,40	0,94	0,56	0,73	0,22	0,76	0,86	0,56	0,00
CV	15,7	1,3	1,5	4,0	6,3	14,6	15,8	10,0	8,5	86,5	11,0	68,8	6,0	6,9	86,5	6,4

F de V = Fuente de variación, Rend = Rendimiento de grano, Mas = Floración masculina; Fem = Floración femenina; Al pt = Altura de planta; Al Mz = Altura de mazorcas; Ptm² = Plantas por metro cuadrado, Mzm² = Mazorcas por metro cuadrado, Mz/Pt = Mazorcas por planta, PMz = Peso de mazorcas, Pod = % Mazorcas podridas, Aca = % Plantas acamadas, Enf = Enfermedades; Aspt= Aspecto de plantas; Asmz = Aspecto de mazorcas; Cob = % Mazorcas con mala cobertura; Almz/Alpt = Relación altura de mazorca y altura de planta.

El rendimiento de grano así como el resto de las variables medidas en los experimentos, se presentan en el Cuadro 5. En este año, sobresalieron las variedades S07TLY-AB02 y S07TLY-AB01 con un rendimiento de grano superior a 6,40 t.ha⁻¹ y un rendimiento normalizado superior a

1,10 (36% por encima de la media general del experimento de 5,0 t.ha⁻¹), le siguieron a este grupo, las variedades S05TLY-SEQ/LN y el testigo IDIAP-MV-0706 con un rendimiento superior a 5,50 t.ha⁻¹.

CUADRO 5. RENDIMIENTO DE GRANO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS. PANAMÁ, 2010.

Variedades	Rend t.ha ⁻¹	Mas días	Fem días	Al pt cm	Al Mz cm	Ptm ²	Mzm ²	Mz/pt	PMz g	Pod %	Aca %	AEnf 1-5	Aspt 1-5	Asmz 1-5	Cob %	Rend Norm
1 S07TLY-AB02	6,57	53	56	228	125	6,09	5,81	0,96	114	0,7	3,2	2,5	3,0	3,0	0,7	1,19
2 S07TLY-AB01	6,43	54	57	224	119	5,61	5,56	0,99	120	1,1	4,8	2,4	2,8	2,7	1,1	1,11
3 S05TLY-SEQ /LN	5,84	53	56	234	127	6,21	5,96	0,94	98	3,1	17,7	3,1	3,3	2,9	3,1	0,65
4 Idiap-MV-0706	5,67	54	56	215	117	5,07	4,74	0,93	121	1,0	6,2	2,7	3,0	2,8	1,0	0,52
5 S03TLYQ-AB03	5,48	51	54	233	124	6,03	5,75	0,96	96	0,9	7,7	3,1	3,5	3,1	0,9	0,36
6 SINT-IBP-3	5,45	54	57	241	130	5,43	5,13	0,94	109	2,2	6,8	3,2	3,3	3,2	2,2	0,36
7 S03TLYQ-AB04	5,30	53	56	205	103	5,75	5,51	0,97	96	5,6	3,8	3,0	3,3	3,4	5,6	0,24
8 Idiap-MQ-12	5,29	54	57	224	122	5,72	5,17	0,95	102	1,1	13,5	2,8	3,3	3,0	1,1	0,20
9 S05TLY-AB02	5,27	53	56	234	126	4,66	4,58	0,96	117	1,7	4,4	2,7	3,1	2,8	1,7	0,21
10 S00TLY-AB01	5,23	53	56	231	130	4,78	4,62	0,98	113	2,4	7,3	2,3	3,1	3,0	2,4	0,18
11 S03TLYQ-AB05	5,16	52	55	223	119	5,61	5,37	0,96	99	2,7	9,8	2,8	3,3	3,3	2,7	0,11
12 SINT-IBP-4	5,04	53	56	230	126	5,77	5,22	0,92	94	2,6	12,0	3,0	3,4	3,0	2,6	0,03
13 S03TLYQ-AB01	4,71	54	56	215	114	5,19	4,98	0,97	93	6,3	9,7	2,6	3,3	3,3	6,3	-0,25
14 TSR-90-SINTAM	4,62	55	58	223	126	5,29	4,59	0,92	102	2,9	10,3	2,6	3,1	3,1	2,9	-0,31
15 G26-SEQ-C3	4,61	51	54	222	119	5,12	4,81	0,89	98	3,7	11,1	2,7	3,2	3,3	3,7	-0,29
16 S05TLY-AB01	4,43	55	57	224	120	4,22	3,98	0,93	112	1,1	8,5	2,9	3,1	3,2	1,1	-0,44
17 SINT-AM-TSR	2,79	53	56	207	110	5,06	3,89	0,79	70	3,9	14,5	2,9	3,5	3,6	3,9	-1,70
18 Idiap-MQ-14	2,16	54	57	207	112	3,41	2,93	0,84	73	6,1	16,3	3,1	3,7	3,6	6,1	-2,18
Promedio	5,00	53	56	223	121	5,28	4,92	0,93	101	2,7	9,3	2,8	3,2	3,1	2,7	0,00
DMS 5%	0,91	1	1	12	9	0,90	0,95	0,11	10	3,4	10,7	0,4	0,3	0,3	3,4	0,70

Rend = Rendimiento de grano, Mas = Floración masculina; Fem = Floración femenina; Alpt = Altura de planta; Al Mz = Altura de mazorcas; Ptm² = Plantas por metro cuadrado, Mzm² = Mazorcas por metro cuadrado, Mz/Pt = Mazorcas por planta, PMz = Peso de mazorcas, Pod = % mazorcas podridas, Aca = % Plantas acamadas, Enf = Enfermedades; Aspt = Aspecto de plantas; Asmz = Aspecto de mazorcas; Cob = % Mazorcas con mala cobertura; Rend Norm = Rendimiento normalizado con media igual a 1,0 y desviación estándar igual a 0.

Estas variedades presentaron número de plantas y mazorcas al momento de la cosecha superior a la media del experimento, así como el peso de las mazorcas. Su porcentaje de mazorcas podridas fue bajo (menos de 1,5%), así como el porcentaje de plantas acamadas (menos de 5%) y una baja calificación de enfermedades foliares causadas por hongo.

Análisis de los ensayos de 2011:

El análisis combinado de los ensayos del año 2011 incluyó los ensayos de las cuatro localidades sembrados, dado que el análisis individual de cada ensayo presentó una repetitividad de 0,70; 0,60; 0,55 y 0,93 para El Ejido E, La Mina, La Colorada y El Ejido L, respectivamente. En el análisis combinado se presentó una repetitividad de 0,81 para la variable rendimiento y el resto de las variables se presentaron valores superiores a 0,20

excepto el número de mazorcas por planta y la evaluación de enfermedades. En este año, la variabilidad para rendimiento de

grano fue mayor entre localidades que entre variedades (Cuadro 6), indicando la variabilidad de los ambientes.

CUADRO 6. CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS COMBINADO DE LAS VARIABLES MEDIDAS. PANAMÁ, 2011.

F de V	Rend	Mas	Fem	Al pt	Al Mz	Ptm ²	Mzm ²	Mz/pt	P Mz	Pod	Enf	Aca	Aspt	Asmz	Cob	Al pt/ Al mz
Variedades	0,50	0,19	0,21	16,6	34,0	0,02	0,03	0,00	84,8	1,8	0,00	0,010	0,06	0,032	1,82	0,000
Localidad	1,62	1,81	2,02	356,4	424,7	0,35	0,29	0,00	194,9	1,0	394,0	0,041	0,76	0,041	0,97	0,004
Loc x Var	0,17	0,09	0,00	0,0	16,8	0,05	0,05	0,00	14,4	0,0	67,9	0,000	0,000	0,009	0,00	0,000
Residuo	0,58	0,46	0,57	75,5	33,0	0,11	0,30	0,01	128,9	5,9	85,3	0,078	0,90	0,081	5,95	0,001
h ²	0,81	0,70	0,75	0,64	0,80	0,44	0,38	0,00	0,81	0,71	0,00	0,50	0,36	0,72	0,71	0,58
CV	12,4	1,3	1,4	4,0	5,1	5,5	9,6	8,1	10,7	88,1	36,7	16,3	10,1	8,7	88,1	5,4

En el 2011 sobresalieron las variedades de grano blanco S06TLWQ-AB02 y S03TLW-B03 con rendimiento de 7,48 a 6,68 t.ha⁻¹; así como las variedades de grano amarillo S07TLY-AB01, y S07TLY-AB02 con rendimiento de grano superior a 6,50 t.ha⁻¹. Estas dos últimas sobresalen nuevamente, ya que en 2010 estuvieron en el grupo superior para rendimiento de grano. Le siguieron a este grupo las variedades S07TLW-AB y el testigo IDIAP-MV-0706 con un rendimiento superior a 6,00 t.ha⁻¹. El grupo superior de variedades presentan poblaciones a la cosecha superior a 6,10 plantas.m⁻² y número de mazorcas por planta entre 0,93 y 0,97. El peso de mazorcas de las mismas osciló entre 110 y 115 g.

En relación a las enfermedades se presentaron bajos porcentajes de mazorcas podridas (menores a 4%) y calificación de enfermedades al follaje por debajo de 2,0. En relación al porcentaje

de mala cobertura fue menor de 4%. En relación al porcentaje de plantas acamadas, el mismo osciló entre 16 y 33, siendo la variedad de grano blanco S03TLW-B03 la que presentó los valores altos en esta variables (acame y mazorcas podridas) (Cuadro 7).

Análisis de los ensayos de 2012:

El análisis combinado de los dos ensayos del año 2012 incluyó las cinco localidades sembrados de ambos ensayos, dado que el análisis individual de cada ensayo presentó una repetitividad superior a 0,60 en cada uno de ellos. El análisis combinado presentó una repetitividad de 0,87 para el ensayo recibido del CIMMYT y 0,91 para el armado con testigos nacionales para la variable rendimiento. En ambos ensayos, la variabilidad para rendimiento de grano fue mayor entre localidades que entre variedades (Cuadro 8).

CUADRO 7. RENDIMIENTO DE GRANO AJUSTADO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS. PANAMÁ, 2011.

Variedades	Rend t.ha ⁻¹	Mas días	Fem días	Al pt cm	Al Mz cm	Ptm ²	Mzm ²	Mz/pt	P Mz g	Pod %	Aca %	Enf 1-5	Aspt 1-5	Asmz 1-5	Cob %	Rend Norm
1 S06TLWQ-AB02	7,48	52	55	217	118	6,32	6,15	0,97	121	1,4	18,5	1,6	2,9	3,1	1,4	1,20
2 S07TLY-AB01	6,96	53	56	221	125	6,20	5,87	0,94	118	0,9	26,1	1,5	2,9	2,9	0,9	0,72
3 S03TLW-B03	6,68	52	55	216	118	6,10	5,78	0,95	115	3,9	33,3	1,7	3,1	3,3	3,9	0,51
4 S07TLY-AB02	6,55	52	55	220	118	6,31	5,90	0,93	110	1,4	16,5	1,5	2,9	3,0	1,4	0,30
5 S07TLW-AB	6,25	51	54	209	106	6,19	5,98	0,96	104	2,4	22,0	1,7	3,0	3,3	2,4	0,03
6 Idiap-MV-0706	6,19	53	56	213	109	6,18	5,69	0,92	109	1,9	28,9	1,7	3,0	3,3	1,9	0,16
7 S00TLY-AB01	5,91	52	55	226	117	5,95	5,77	0,98	102	1,6	26,6	1,6	2,9	3,2	1,6	-0,29
8 S05TLWQ-SEQLN-AB	5,31	53	56	210	107	5,71	5,08	0,89	104	5,5	22,6	1,9	2,7	3,6	5,5	-0,84
9 S03TLWQ-AB05	5,22	53	56	213	108	5,78	5,58	0,96	93	4,5	29,7	1,9	3,0	3,4	4,5	-0,92
10 S03TLYQ-AB05	5,15	52	55	213	108	6,31	5,69	0,90	90	4,2	27,6	1,9	3,2	3,5	4,2	-0,87
Promedio	6,17	52	55	216	113	6,10	5,75	0,94	107	2,8	25,2	1,7	3,0	3,2	2,8	
DMS 5%	0,98	1	1	9	8	0,46	0,65	0,09	13	2,5	15,1	0,3	0,3	0,3	2,5	

CUADRO 8. CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS COMBINADO DE LAS VARIABLES MEDIDAS. PANAMÁ, 2012.

	Rend	Mas	Fem	Al pt	Al Mz	Ptm ²	Mzm ²	Mz/pt	P Mz	Pod	Enf	Aca	Aspt	Asmz	Cob	Al pt/ Al Mz
CIMMYT																
Variedades	0,25	0,02	0,05	19	3,3	0,27	0,35	0,00	0	0,0	12	0,01	0,02	0,00	0,0	0,000
Localidad	2,54	3,00	3,90	228	264	0,05	0,71	0,02	477	18,4	462	0,15	0,04	0,29	18,4	0,002
Loc x Var	0,07	0,00	0,00	0,3	6,5	0,06	0,01	0,00	21	2,9	0	0,01	0,00	0,03	2,9	0,000
Residuo	0,33	1,09	1,30	80	57,9	0,17	0,29	0,01	77	9,4	145	0,09	0,10	0,08	9,4	0,001
h ²	0,87	0,20	0,35	0,78	0,39	0,92	0,94	0,69	0,00	0,00	0,55	0,25	0,72	0,00	0,00	0,26
CV	12,2	2,0	2,1	4,3	7,2	6,8	10,4	9,8	9,9	76,4	30,4	19,2	10,3	8,7	76,4	6,3
NACIONAL																
Variedades	1,19	.	0,07	251	147	0,79	0,69	0,01	114	2,7	105	0,01	0,06	0,09	5,6	0,000
Localidad	2,87	.	0,62	406	216	0,18	0,29	0,02	853	42,3	17	0,50	0,01	0,60	23,0	0,002
Loc x Var	0,27	.	0,33	34	1	0,11	0,17	0,00	1	5,3	111	0,01	0,01	0,03	24,1	0,000
Residuo	0,91	.	0,30	85	55	0,46	0,59	0,01	118	8,5	142	0,08	0,08	0,05	39,4	0,001
h ²	0,91	.	0,41	0,95	0,97	0,94	0,90	0,84	0,93	0,62	0,77	0,54	0,86	0,89	0,43	0,05
CV	18,7	.	1,0	4,5	7,1	12,2	16,1	12,6	10,2	53,3	31,9	14,0	9,2	6,4	78,8	6,2

En el ensayo enviado del CIMMYT los cinco genotipos de mayor rendimiento fueron los sintéticos formados en el año 2011 con un rendimiento superior a 4,86 t.ha⁻¹. Las variedades S07TLY-AB01 y S07TLY-AB02 tuvieron un

rendimiento similar y fueron superados estadísticamente por los dos primeros sintéticos del Cuadro 9. Estos a su vez superaron al testigo Guararé 8128 y fueron similares al testigo IDIAP-MV-0706.

En el ensayo con testigos nacionales la variedad S07TLY-AB01 tuvo un rendimiento promedio de 6,99 t.ha⁻¹ y superó estadísticamente a todas las demás variedades evaluadas. Por otro lado, el sintético S07TLY-AB02

con un rendimiento de 6,01 t.ha⁻¹ fue similar estadísticamente al testigo IDIAP-MV-0706 y superior al resto de los testigos. En relación a la variedad de grano blanco S06TLWQ-AB02 tuvo un rendimiento de 5,29 t.ha⁻¹.

CUADRO 9. RENDIMIENTO DE GRANO AJUSTADO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS PARA LOS DOS ENSAYOS SEMBRADOS. PANAMÁ, 2012.

		Rend	Mas	Fem	Al pt	Al Mz	Ptm ²	Mzm ²	Mz/pt	P Mz	Pod	Aca	Enf	Aspt	Asmz	Cob	Rend	Tex
	CIMMYT	t.ha ⁻¹	días	días	cm	cm				g	%	%	1-5	1-5	1-5	%	Norm	1-5
1	S11TLYN-AB03	5,37	52	55	214	111	6,38	5,73	0,90	93	4,6	43,5	1,5	2,9	3,4	4,6	0,79	2,7
2	S11TLYN-AB05	5,20	53	55	216	106	6,23	5,80	0,93	87	4,3	40,1	1,4	3,0	3,3	4,3	0,63	2,1
3	S11TLYN-AB01	5,12	53	55	212	106	6,32	5,50	0,88	91	4,0	29,9	1,5	3,0	3,2	4,0	0,51	2,1
4	S11TLYN-AB02	5,07	53	55	218	111	6,32	5,40	0,86	92	3,1	35,8	1,4	2,9	3,2	3,1	0,52	2,3
5	S11TLYN-AB04	4,86	52	55	211	105	6,46	5,39	0,83	88	4,1	36,1	1,5	3,1	3,2	4,1	0,20	2,1
6	S05TLY-AB02	4,72	52	55	215	105	6,36	5,41	0,86	86	3,0	43,0	1,6	3,1	3,1	3,0	0,01	1,4
7	S05TLY-AB01	4,65	53	55	206	105	6,23	5,50	0,89	84	4,6	42,3	1,7	2,9	3,4	4,6	0,00	2,0
8	S07TLY-AB02	4,65	52	55	204	107	6,18	5,11	0,83	89	4,9	40,0	1,6	3,1	3,4	4,9	-0,13	2,5
9	S07TLY-AB01	4,62	53	55	203	104	6,06	5,15	0,84	87	3,4	40,7	1,6	3,0	3,2	3,4	-0,12	1,7
10	S00TLY-AB01	4,46	52	54	210	105	6,04	5,07	0,85	87	2,8	45,7	1,6	3,3	3,2	2,8	-0,28	2,3
11	Idiap-MV-0706	4,32	52	55	204	99	5,54	4,83	0,86	88	6,3	33,3	1,5	3,1	3,3	6,3	-0,40	2,1
12	Guararé 8128	3,32	52	54	212	106	4,51	3,49	0,77	93	2,8	45,3	1,7	3,4	3,4	2,8	-1,72	2,3
Promedio		4,70	52	55	210	106	6,05	5,20	0,86	89	4,0	39,7	1,6	3,1	3,3	4,0		2,1
DMS 5%		0,53	1	1	6	6	0,43	0,41	0,06	9	3,1	8,7	0,2	0,2	0,3	3,1		0,4
NACIONAL																		
1	S07TLY-AB01	6,99	.	56	200	103	6,08	5,71	0,95	122	3,5	32,4	2,0	2,8	2,9	3,6	1,39	1,3
2	S07TLY-AB02	6,01	.	55	202	104	6,08	5,36	0,89	110	3,8	34,1	2,0	2,8	3,2	4,1	0,61	2,1
3	Idiap-MV-0706	5,91	.	55	199	96	5,98	5,45	0,93	105	5,7	25,6	2,0	3,0	3,5	6,7	0,42	2,2
4	S06TLWQ-AB02	5,29	.	56	197	99	5,98	5,35	0,91	96	7,9	24,3	1,8	2,9	3,7	6,6	0,07	1,9
5	Idiap-MQ-12	4,93	.	56	200	104	5,78	5,11	0,89	95	6,6	30,7	2,2	3,1	3,7	10,3	-0,11	1,8
6	Guararé 8128	4,52	.	55	205	105	5,80	4,67	0,81	95	5,8	47,4	2,2	3,5	3,7	11,8	-0,40	1,9
7	S05TLY-SEQ /LN	3,79	.	56	187	97	3,87	3,60	0,96	107	2,7	29,3	2,1	3,4	3,2	2,8	-0,77	2,3
8	Idiap-MQ-14	3,41	.	56	189	97	3,96	3,31	0,85	100	8,8	27,3	2,2	3,3	3,7	11,7	-1,20	2,1
Promedio		5,13	.	56	203	105	5,52	4,75	0,86	107	5,5	37,3	2,1	3,1	3,4	8,0		2,0
DMS 5%		0,96	.	1	10	6	0,65	0,76	0,09	8	3,6	15,8	0,3	0,3	0,3	7,7		0,4

De acuerdo al rendimiento de grano de los tres años de evaluación, sobresalieron las variedades de grano amarillo S07TLY-AB01 y S07TLY-AB02 con una media global entre 6,19 y 5,83 t.ha⁻¹. En este grupo de ensayo sobresalió la variedad de grano blanco S06TLWQ-AB02 con media de 6,26 t.ha⁻¹.

El testigo IDIAP-MV-0706 tuvo un rendimiento promedio en los tres años de 5,46 t.ha⁻¹, mientras que la variedad de mayor uso en el país Guararé 8128 presentó un rendimiento promedio de 3,87 t.ha⁻¹ en los ensayos del 2012. Estas tres nuevas variedades presentan buenas características agronómicas en relación al tamaño de plantas (Cuadro 10).

CUADRO 10. RENDIMIENTO DE GRANO AJUSTADO Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE TRES VARIEDADES SELECCIONADAS Y DOS TESTIGOS NACIONALES. PANAMÁ, 2010-2012.

Variedad	Rend t.ha ⁻¹	Mas días	Fem días	Al pt cm	Al Mz cm	Ptm ²	Mzm ²	Mz/pt	P Mz g	Pod %	Aca %	Enf 1-5	Aspt 1-5	Asmz 1-5	Cob %	Al pt/ Al Mz	Tex 1-5
S07TLY-AB01	6,19	53	56	210	111	6,02	5,56	0,92	110	2,5	28,1	2,2	2,9	3,0	2,5	0,53	1,5
S07TLY-AB02	5,83	52	55	212	112	6,16	5,49	0,89	105	3,0	26,1	2,0	3,0	3,2	3,1	0,53	2,3
S06TLWQ-AB02	6,26	52	56	206	107	6,13	5,71	0,94	107	5,0	21,7	1,7	2,9	3,4	4,3	0,52	1,9
Idiap-MV-0706	5,46	53	55	207	104	5,74	5,20	0,91	104	4,2	24,6	2,5	3,0	3,3	4,4	0,50	2,1
Guararé 8128	2,31	52	55	208	105	5,15	4,08	0,79	94	4,3	46,3	2,0	3,5	3,5	7,3	0,50	2,1

Evaluación de la tolerancia al déficit hídrico:

Para la evaluación de la tolerancia de las variedades al estrés causado por déficit hídrico en las principales etapas del cultivo se comparó el rendimiento de las variedades en los ensayos sembrados en distintas fechas de la localidad El Ejido.

Se comparó el rendimiento de grano ajustado de cada ensayo sembrado en fecha temprana (E) y tardía (L), así como el cálculo de la precipitación y

humedad de suelo promedio por fase del cultivo (antes y después de la floración) (Cuadro 11).

La variedad S07TLY-AB01 fue la mejor en ambas fechas de siembra superando a los dos testigos evaluados. Por otro lado, la variedad S07TLY-AB02 superó a los testigos en siembras sin déficit y fue similar al IDIAP-MV-0706 en la siembra tardía o con déficit. El sintético blanco se comportó similar a este último sintético.

CUADRO 11. RENDIMIENTO DE GRANO DE LAS TRES VARIEDADES SOBRESALIENTES Y EL TESTIGO IDIAP-MV-0706, ASÍ COMO DATOS DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL Y HUMEDAD DEL SUELO EN LAS FASES ANTES Y DESPUÉS DE FLORACIÓN DEL CULTIVO. EL EJIDO, PANAMÁ, 2010-2012.

	Siembra temprana (sin déficit)				Siembra tardía (con déficit)				Promedios		
	2010	2011	2012a	2012b	2010	2011	2012a	2012b	Temprana	Tardía	Diferencia
S07TLY-AB01	7,33	8,44	6,32	7,45	7,02	5,44	1,86	3,24	7,38	4,39	2,99
S07TLY-AB02	7,26	8,05	6,12	6,57	6,19	4,43	2,02	2,83	7,00	3,87	3,13
S06TLWQ-AB02		8,93		5,08		5,60		2,10	7,00	3,85	3,15
IDIAP-MV-0706	6,31	5,78	5,54	6,82	5,82	5,85	1,66	1,87	6,11	3,80	2,31
Prom del ensayo	5,73	4,90	7,33	4,58	6,08	2,08	5,50	2,23	5,63	3,98	1,66
Ppt 0-50	489	355	222	215	460	217	318	297	320	323	-3
Ppt 51-100	200	259	221	222	106	113	45	21	225	71	154
H Suelo 0-50	139	84	64	64	141	116	107	108	88	118	-30
H Suelo 51-100	143	120	112	113	88	87	40	38	122	63	59

De acuerdo a los datos de precipitación acumulados en cada ensayo (Cuadro 2), se realizó el cálculo de la humedad de suelo por decada en cada ensayo de El Ejido tomando en cuenta que la máxima lámina de agua que se puede acumular es 3 de 150 mm en el perfil en que se desarrollan las raíces del cultivo.

Durante el desarrollo de esta investigación en la estación experimental El Ejido las dos fechas de siembra realizadas cada año permiten desarrollar al cultivo bajo dos tipos de estrés hídrico. El Cuadro 10 muestra el resumen de la lluvia acumulada en las primeras dos fases, según Mc William *et al.* (1999) que va de 0 a 50 dds y en la segunda etapa comprendida entre 51 a 100 dds. En los tres años se observa la disminución de la lluvia en la segunda etapa en comparación a la primera siembra, siendo la mayor

diferencia en los ensayos del 2012 con menos de 50 mm de precipitación acumulada y con poco más de 100 mm en los ensayos de 2010 y 2011.

La baja precipitación se ve reflejada en el promedio de humedad del suelo que se ve en cada una de las dos etapas del cultivo cada año. En la Figura 2 se observan los datos de humedad del suelo de los tres años del estudio y se ve claramente como el ensayo sembrado en fecha tardía (octubre) difiere del ensayo sembrado temprano (agosto) después de los 51 dds. La diferencia se observa en el 2012, coincidiendo con la mayor diferencia en el rendimiento de los ensayos. En el 2012, a partir de los 61 dds se tuvo una humedad de suelo menor a 100 mm, mientras que en 2010 y 2011 estos valores se reportaron hasta pasados los 81 dds.

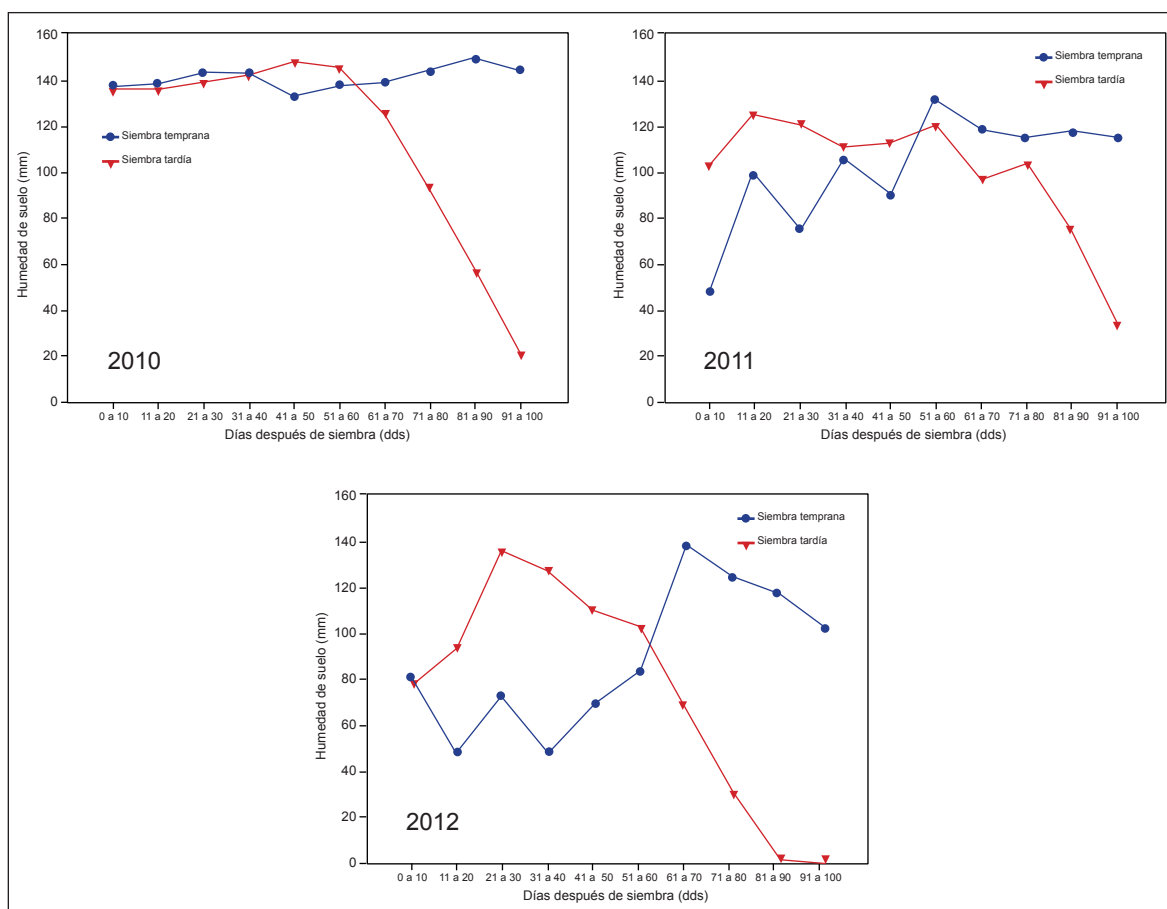


Figura 2. Humedad de suelo según año y fecha de siembra en los ensayos sembrados en El Ejido, Panamá 2010-2012.

Análisis de estabilidad:

En el análisis Biplot GGE-SReg realizado cada año (2010, 2011 y 2012) para interpretar la interacción de los genotipos evaluados en los distintos ambientes se encontró que los dos primeros ejes explicaron el 85% de la interacción con 89,8%; 89,3%; 85,9% y 93,4%, respectivamente. La Figura 3 muestra el Biplot por año y como se comportó cada variedad en los distintos

ambientes evaluados. El análisis indicó que la variedad S05TLY-SEQ-L/N presentó mayor estabilidad en el 2010. Por su parte, las variedades S07TLY-AB01 y S06TLWQ-AB02 fueron las de mayor estabilidad en 2011. Para el 2012 en el ensayo del CIMMYT, la mayor estabilidad la presentó S11TLY-AB05, mientras que para el ensayo nacional fue el sintético S07TLY-AB02.

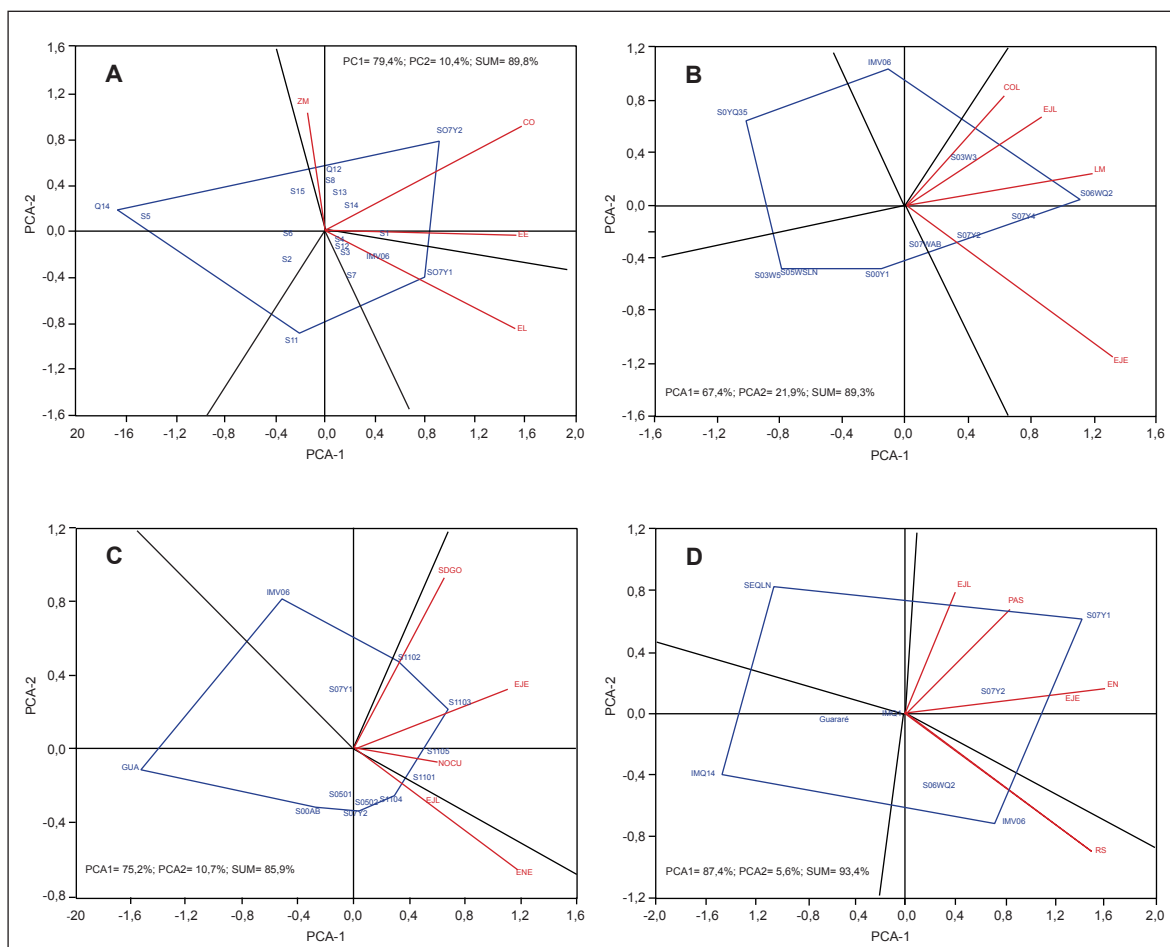


Figura 3. Puntuaciones del primer y segundo eje del componente principal (Biplot GGE-SReg) de los distintos ensayos de variedades sembrados los años 2010 (a), 2011 (b), 2012a (c) y 2012b (d), Panamá.

Análisis de confiabilidad o respuesta normalizada:

El análisis de confiabilidad fue significativo tanto para las variedades S07TLY-AB01 como para la S07TLY-AB02 superando al testigo en 0,75 y 0,35 t.ha⁻¹, respectivamente. La prueba de Wald presentó una significancia de 0,02, lo que indica que las pendientes de ambas variedades son distintas a cero. La inclinación de la pendiente observada

en la Figura 4, refleja la variabilidad en el comportamiento de las diferencias a través de todos los ambientes y puede ser o no similar a la respuesta respecto al testigo. De las dos variedades, la S07TLY-AB01 presenta mayor probabilidad acumulada que la S07TLY-AB02 de superar el testigo, lo que sugiere que en promedio es mejor y en más ambientes que el testigo IDIAP-MV-0706.

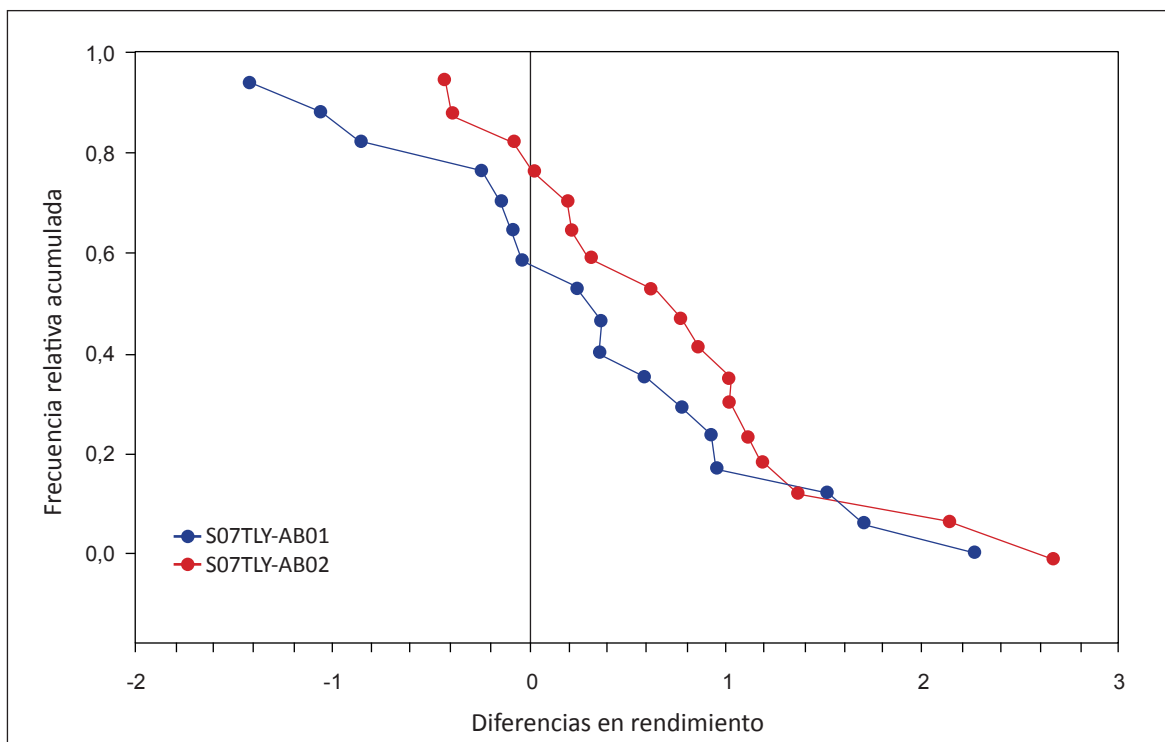


Figura 4. Confiabilidad en función de las diferencias de las variedades de maíz S07TLY-AB01 y S07TLY-AB02 vs el testigo IDIAP-MV-0706, evaluadas en 17 ambientes. Panamá, 2010-2012.

CONCLUSIONES

- Se identificaron tres variedades con tolerancia al déficit hídrico y, también, fueron las mejores en los ensayos desarrollados bajo condiciones favorables de humedad.
- La estrategia de sembrar ensayos en distintas fechas de siembra fue efectivo para identificar cultivares con mayor tolerancia al déficit hídrico.
- La falta de lluvias en la etapa entre 80 y 100 días después de siembra es la más relacionada con el bajo rendimiento que se obtuvo.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, RG; Pereira, LS; Raes, E; Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy: United Nations FAO.
- Banziger, M; Setimela, PS; Hodson, D; Vivek, B. 2006. Breeding for improved abiotic stress tolerance in maize adapted to southern Africa. Agric. Water. Man. 80:212-224.
- Camargo, I; Quirós, El; Camargo, VM. 2014. Selección de nuevos

- genotipos de arroz basados en la probabilidad de superar al testigo. *Agron. Mesoam.* 25(1):63-71.
- Córdova, HS; Barreto, HJ; Crossa, J. 1993. Impacto del desarrollo de híbridos de maíz en Centro América: confiabilidad de las ganancias en rendimiento sobre el genotipo H5 y consideraciones para selección de testigos regionales. *Síntesis de resultados experimentales del PRM* 4:3-10.
- Gordón Mendoza, R. 2009. Manejo Integral del cultivo de maíz. IDIAP. Panamá. 20 p.
- Mc Williams, DA; Berglund, DR; Endres, GJ. 1999. Corn Growth and Management Quick Guide. NDSU Extension Service. University of North Dakota y University of Minnesota. Consultado 17 Apr. 2015. Disponible en http://library.ndsu.edu/tools/dspace/load/?file=/repository/bitstream/handle/10365/9112/A1173_1999.pdf?sequence=1.
- Neelin, JD; Munnich, M; Su, H; Meyerson, JE; Holloway, CE. 2006. Tropical drying trends in global warming models and observations. *PNAS* 103:6110-6115.
- Ruane, AC; DeWayne, CL; Horton, RM; Gordón, R; McCollum, R; Brown, D; Killough, B; Goldberg, R; Greeley, AP; Rosenzweig, C. 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agricultural and Forest Meteorology* 170:132-145.
- Vargas, M; Combs, E; Alvarado, G; Atlin, G; Mathews, K; Crossa, J. 2013. META: A suite of SAS Programs to Analyze Multienvironment Breeding Trials.
- Vargas, P. 2009. El cambio climático y sus efectos en el Perú. D.T. N°2009-14 Serie de Documentos de Trabajo Working Paper series. 59 p.
- Yan, W; Hunt, LA; Sheng, Q; Szlavnics, Z. 2000. Cultivar Evaluation and Mega Environment Investigation based on the GGE Biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Zobel, RW; Wright, MJ; Gauch Jr, HJ. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:388-393.

INFLUENCIA DE ZEOLITA Y ROCA FOSFÓRICA SOBRE EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS DE SORGO Y PAPA¹

Miguel Soca Núñez²; José Ezequiel Villarreal Núñez³

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de una mezcla de roca fosfórica con zeolita sobre el desarrollo de los cultivos de sorgo y papa. El uso de ésta mezcla puede constituir una alternativa de sustitución de fertilizantes fosfóricos importados. Se caracterizó la zeolita del yacimiento de Tasajera y la roca fosfórica de Trinidad de Guedes. En el año 2012, en el Instituto de Suelos de La Habana, se instaló un ensayo inicial con sorgo en macetas de porcelana de 7 kg de capacidad utilizando un suelo Inceptisol, extraído a 20 cm de profundidad y tamizado a 5 mm. Se utilizó un diseño Completamente Aleatorizado con cinco tratamientos (NPK; NK + 2 g de mezcla; NK + 3 g; NK + 4 g y NK + 5 g) y cuatro repeticiones, la mezcla contenía una proporción de 1:1 (roca fosfórica-zeolita). Además, se ejecutó un experimento con papa, en campo, en un suelo perteneciente al orden Oxisol en Quivicán, provincia de Mayabeque, Cuba, utilizando un diseño estadístico de Bloques Completos al Azar con cuatro tratamientos (0; 0,5; 1,0 y 1,5 t.ha⁻¹ de la mezcla). Los datos fueron evaluados mediante la prueba de Dunnett para $P \leq 0,05$. La mezcla se incorporó al realizar la preparación del suelo a una profundidad de 10 cm, en el surco. Los resultados obtenidos indicaron que la mezcla de la roca fosfórica con zeolita permite alcanzar un incremento en el rendimiento de los cultivos estudiados, mejorando las variables del suelo y los índices foliares.

PALABRAS CLAVES: Fertilizantes, índices foliares, rendimiento, Inceptisol, Oxisol.

¹Recepción: 6 de octubre de 2015. Aceptación: 2 de noviembre de 2015. Proyecto: Empleo de la zeolita en el sector agropecuario. Instituto de Suelos de La Habana.

²Ph.D. en Edafología y Nutrición de Plantas. Ministerio de Agricultura (MINAG), Cuba. Dirección de Suelos.
e-mail: programas@minag.cu

³Ph.D. en Edafología y Química Agrícola. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).
e-mail: jevilla38@gmail.com

INFLUENCE OF ZEOLITE AND PHOSPHORIC ROCK ON SORGHUM AND POTATOES CROPS

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the influence of the mixture of phosphoric rock with zeolite and its effect on the sorghum and potato crops. The use of this mixture may be an alternative replacement imported phosphate fertilizers. The zeolite of the location of Tasajera and the phosphoric rock of Trinidad of Guedes were characterized. In 2012, an experiment with sorghum was installed at the Soil Institute of La Habana, in porcelain gavel with 7 kg of capacity using an Inceptisol soil, extracted from 20 cm of depth and sifted at 5 mm. It was used totally randomized design with five treatments (NPK; NK + 2 g of mixture; NK + 3 g; NK + 4 g and NK + 5 g) and four repetitions, the mixture contained a ratio 1:1 (phosphoric rock-zeolite). Also, an experiment with potatoes was run in Oxisols from Quivicán soil, Mayabeque province, Cuba, using statistical design of block at random with four treatments (0; 0,5; 1,0 and 1,5 t.ha⁻¹ of the mixture), the data were evaluated by means of multiple range test of Duncan for $P \leq 0,05$. The mixture was incorporated during soil preparation at 10 cm of depth in the groove. The obtained results indicate that the phosphoric rock mixture allows reaching yield increments of the studied crops and improve soil variables and leaf index.

KEY WORDS: Fertilizer, foliar index, performance, Inceptisol, Oxisol.

INTRODUCCIÓN

Al introducir elementos que mejoren las condiciones del suelo (a nivel biológico y estructural) y que a la vez actúen como un potenciador de los fertilizantes nitrogenados y fosfóricos, sin importar su condición química u orgánica; se logra un uso eficiente y óptimo de los ciclos de fertilización en los cultivos.

Las zeolitas se presentan como minerales potenciadores, ya que por sus propiedades adsorbentes y usos en la agricultura y en la industria, representa

una posible solución a la problemática ambiental y una alternativa viable para disminuir el costo de producción (Villarreal *et al.* 2015).

Debido a que la zeolita mejora las propiedades químicas y físicas del suelo, es uno de los caminos efectivos para incrementar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la zona de las raíces y disminuir las aplicaciones de fertilizantes reduciendo las pérdidas por volatilización y lixiviación (Díaz *et al.* 2009).

Por otro lado, contribuyen ostensiblemente a mejorar la humedad de la capa arable, disminuyen la densidad aparente del suelo, lo que facilita la fluidez del agua, lográndose un incremento de producción en la cosecha de los cultivos, y sobre todo, reduciendo el impacto ecológico. La zeolita no actúa como fertilizante, sino como un aditivo que permite incrementar la eficiencia del fertilizante, permitiendo una disponibilidad controlada de los cationes que son utilizados por las plantas en su nutrición (Soca *et al.* 2004).

La dinámica de liberación de moléculas nitrogenadas ocluidas en la clinoptilolita (principal tipo de zeolita utilizada en la agricultura) es compleja. Las moléculas nitrogenadas quedan retenidas por atracción electrostática y se producen en ella modificaciones en sus ángulos moleculares y en los enlaces simples y dobles (Park y Komarneni 1998).

La dinámica suelo-clinoptilolita-nitrógeno-fósforo es variable, dependiendo de las características fisicoquímicas de los suelos, de la dosis de clinoptilolita y nitrógeno aplicada, del manejo del cultivo y de la época del año en la cual se realizan los ensayos (Kolyagin y Arasev 1999). Este hecho sugiere la necesidad de hacer evaluaciones en los suelos donde serán utilizadas.

Además, debido a la problemática de la fijación del fósforo en los suelos ácidos tropicales, también se ha planteado diversas alternativas para optimizar el uso de la roca fosfórica. Entre las prácticas, se puede realizar la aplicación directa en suelos de pH ácido (Perrot y Wisa 2002), o parcialmente acidulada (Rodríguez y Herrera 2002).

Al utilizar una mezcla de roca fosfórica y zeolita, basado en el principio del intercambio iónico (Rehakova *et al.* 2004), la zeolita actúa como intercambiador liberando amonio (NH_4) y solubilizando fósforo (P) de la roca fosfórica, lográndose una liberación controlada del P, el NH_4 y el potasio (K) a través de la disolución y reacciones de intercambio del sistema roca fosfórica-zeolita, elevando así la eficiencia de la roca fosfórica, lo cual fue observado por este autor en un suelo Andisol.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia de una mezcla de zeolita y roca fosfórica sobre el desarrollo de cultivos de sorgo y papa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon como materia prima dos tipos de minerales: zeolita natural (ZN) y la roca fosfórica (RF). El material zeolítico utilizado fue del tipo clinoptilolita,

del yacimiento Tasajeras (provincia Villa Clara, Cuba), la cual es una mezcla de un 70% de Clinoptilolita–Heulantita, 5% de modernita, 15% de anortita y 10% de cuarzo, aproximadamente. La RF utilizada procedía del yacimiento Trinidad

de Guedes, cuyo contenido principal es el carbonato de apatita (Cuadro 1) y contiene 31% de fosfato y 46% de óxido de calcio. Al elaborar la mezcla de RF + ZN, ambas se mezclaron según una relación 1:1.

CUADRO 1. CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA FOSFÓRICA DE TRINIDAD DE GUEDES, CUBA. 2012.

P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	F	SO_3
%								
30,96	0,11	45,56	0,23	2,73	2,07	5,31	1,60	1,18
±0,13	±0,05	±0,14	±0	±0,06	±0,07	±0,04	±0,24	±0,08
Cd	Zn	Cu	Ni	Mn	Cr	Mo	Pb	Co
mg.kg ⁻¹								
4,5±0,5	74±1	66±2	63±2	80±0,01	100±2	2±0	17,5±0,5	16±1
Apatita		Calcita		Cuarzo				
85%		2,5%		7%				

Descripción de los experimentos:

En el año 2012, se instaló un ensayo con sorgo en el Instituto de Suelos, municipio de Boyeros, provincia de La Habana, cuyas coordenadas son: 22°54'22,90" de latitud Norte, 82.3°08'8,77" de longitud Oeste, en casa de cristal, utilizando macetas de

porcelana de 7 kg de capacidad, en un suelo Inceptisol (Cuadro 2), extraído a 20 cm de profundidad y tamizado a 5 mm. El suelo tenía una textura franco arcillo arenosa, pH ácido y nivel medio de materia orgánica. Por tener bajo contenido de fósforo se podría esperar una buena respuesta a su aplicación.

CUADRO 2. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO INCEPTISOL. INSTITUTO DE SUELOS, LA HABANA, CUBA. 2012.

pH	N total	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio	Materia Orgánica
1:2,5	%	mg.kg ⁻¹			cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹		%
5,4	0,13	7,8	54,7	7,28	7,28	0,20	2,98

La siembra se efectuó con 10 semillas, se raleó finalmente a seis plantas por macetas. Se utilizó un

diseño Completamente Aleatorio con cinco tratamientos y cuatro repeticiones (Cuadro 3).

CUADRO 3. TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO CON SORGO. LA HABANA, CUBA. 2012.

Tratamiento	Descripción (g)
1	Testigo (NPK)
2	NK + 2,0 mezcla
3	NK + 3,0 mezcla
4	NK + 4,0 mezcla
5	NK + 5,0 mezcla

N: 223 kg.ha⁻¹ en la forma de urea (1,7 g de urea)

K₂O: 309 kg.ha⁻¹ en la forma de KCl (1,8 g de KCl)

P₂O₅: 223 kg.ha⁻¹ en la forma de Super fosfato triple (SFT) (1,7 g de SFT)

Mezcla: RF + zeolita (1:1)

Se realizó una segunda prueba sustituyendo parte del P con la mezcla de

RF + ZN y duplicando la dosis de P en otro tratamiento (Cuadro 4).

CUADRO 4. TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO CON SORGO SUSTITUYENDO EL FÓSFORO CON LA MEZCLA ZEOLITA + ROCA FOSFÓRICA.

Tratamiento	Descripción (g)
1	NK + P ₂
2	NK + P ⁰ + 3,0 mezcla
3	NK + P ¹ + 3,0 mezcla
4	NK + P ₂ + 3,0 mezcla

P₂O₅: P₀: sin SFT; P₁: 1,7 g de SFT y P₂: 3,4 g de SFT
N: 1,7 g de urea y K: 1,8 g de KCl

Para garantizar el drenaje del agua en toda la maceta durante el ensayo, la humedad fue mantenida a capacidad de campo mediante un riego periódico con agua desionizada.

realizó a las seis semanas después de la siembra, cortando las plantas a ras del suelo. Se determinó el peso seco, luego de mantenerlo en una estufa a 70° C durante 48 horas.

La mezcla física de los minerales se aplicó al inicio del ensayo, previo a la siembra del sorgo, y la cosecha se

El ensayo con el cultivo de papa se realizó en campo, en áreas de suelos Ferralíticos rojos (Oxisoles) de la localidad

de Quivicán, provincia Mayabeque, Cuba (Cuadro 5), cuyas coordenadas son las siguientes: 22,5°49'29" de latitud Norte y 82,2°21'21" de longitud Oeste. Sé

utilizó un diseño de Bloque al Azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones (Cuadro 6).

CUADRO 5. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO FERRALÍTICO ROJO (OXISOL). QUIVICÁN, MAYABEQUE, CUBA. 2012.

pH	N total	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio	Materia Orgánica
1:2,5	%	mg.kg ⁻¹			cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹		%
5,4	0,14	27,80	203,3	10,0	2,95	0,18	2,81

CUADRO 6. TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO CON PAPA. QUIVICÁN, MAYABEQUE, CUBA. 2012.

Tratamiento	Mezcla (t.ha ⁻¹)
1	0,0
2	0,5
3	1,0
4	1,5

El área total del experimento fue de 36 m² y el área efectiva de muestreo de 18 m², siendo el marco de siembra 0,90 m x 0,16 m. Se utilizó la variedad de papa Desiré. La mezcla RF + ZN se aplicó a la preparación del suelo a una profundidad de 10 cm en el surco. La cosecha se realizó manualmente por parcela, cuando la plantación perdió follaje y el tallo aún se mantenía verde.

Los análisis químicos de suelos se realizaron según la Norma Ramal de Agricultura (NRAG 879.88 1996) del Instituto de Suelos y los análisis foliares por la Norma Ramal de Agricultura (NRAG-O5 2010).

Se realizó el análisis de varianza, la prueba de comparación de medias utilizando la prueba de Dunnett al 5% de probabilidad y el análisis de regresión entre dosis de mezcla y el rendimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento con sorgo:

Los resultados del experimento con sorgo (Cuadro 7), mostraron que a medida que se incrementa la cantidad de la mezcla de ambos minerales aplicadas al suelo, el cultivo de sorgo aumenta significativamente en el rendimiento de masa seca, lo que mostró una diferencia estadísticamente significativa respecto al testigo, y los índices foliares son

favorecidos con la aplicación de la mezcla, aumentando el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) en sus tejidos.

Se pueden comprender mejor los resultados tomando en cuenta la ocupación de los iones amonio dentro de la matriz zeolítica. Ming Lai y Ebert (1985) demostraron que las clinoptilolitas modificadas con amonio pueden extraer el calcio asociado al fósforo presente en la roca fosfórica, y éste se libera como di-hidrógeno fosfato, y la clinoptilolita cede amonio y toma calcio. La mezcla utilizada de RF + ZN, provoca un aumento

de la liberación del fósforo en el tiempo hasta los 48 días (Albuquerque *et al.* 2008), quedando el calcio retenido en la estructura de la zeolita.



El análisis de regresión indica que por cada gramo de mezcla aplicado al suelo habrá un aumento de 1,69 g de rendimiento por maceta en el cultivo de sorgo. Mientras que el máximo rendimiento según la curva de regresión sería de 18,87 g/maceta al aplicar 4,7 g de mezcla (Figura 1).

CUADRO 7. INFLUENCIA DE LA MEZCLA RF + ZN SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE SORGO Y LOS ÍNDICES FOLIARES EN UN SUELO INCEPTISOL. LA HABANA, CUBA. 2012.

Tratamientos (g/ maceta+mezcla 1:1)	Rendimiento MS g/maceta	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Testigo (NPK)	5,79 ^{ns}	1,92	0,21	1,91
NK + 2,0	7,45 ^{ns}	2,38	0,21	2,14
NK + 3,0	12,93*	2,36	0,28	2,51
NK + 4,0	12,43*	2,57	0,30	2,21
NK + 5,0	13,05*	2,31	0,32	2,46
ESx	0,43			

ESx = Error estándar de la media; * = Significativo al nivel de 5% de probabilidad, según la prueba de Dunnett; ns = No significativo.

La factibilidad de sustituir parcialmente el fósforo del SFT por medio de la aplicación de la mezcla de RF + ZN al suelo donde se plantó el sorgo (Cuadro 8), logró un incremento en el rendimiento en masa seca de la planta de sorgo.

Los índices foliares de nitrógeno, fósforo y potasio del sorgo (Cuadro 8), se incrementaron por efecto de aplicar la mezcla RF + ZN. Cuando no se aplicó la mezcla, hubo una disminución en el porcentaje de fósforo por efecto de la fijación química por parte de las arcillas y

los óxidos de hierro y aluminio del suelo, aun cuando se duplicó la dosis de fósforo en el tratamiento 1 donde no se utilizó la

mezcla. Al duplicar la dosis de P junto con la mezcla de minerales, hubo diferencia significativa con el testigo donde no se usó la mezcla.

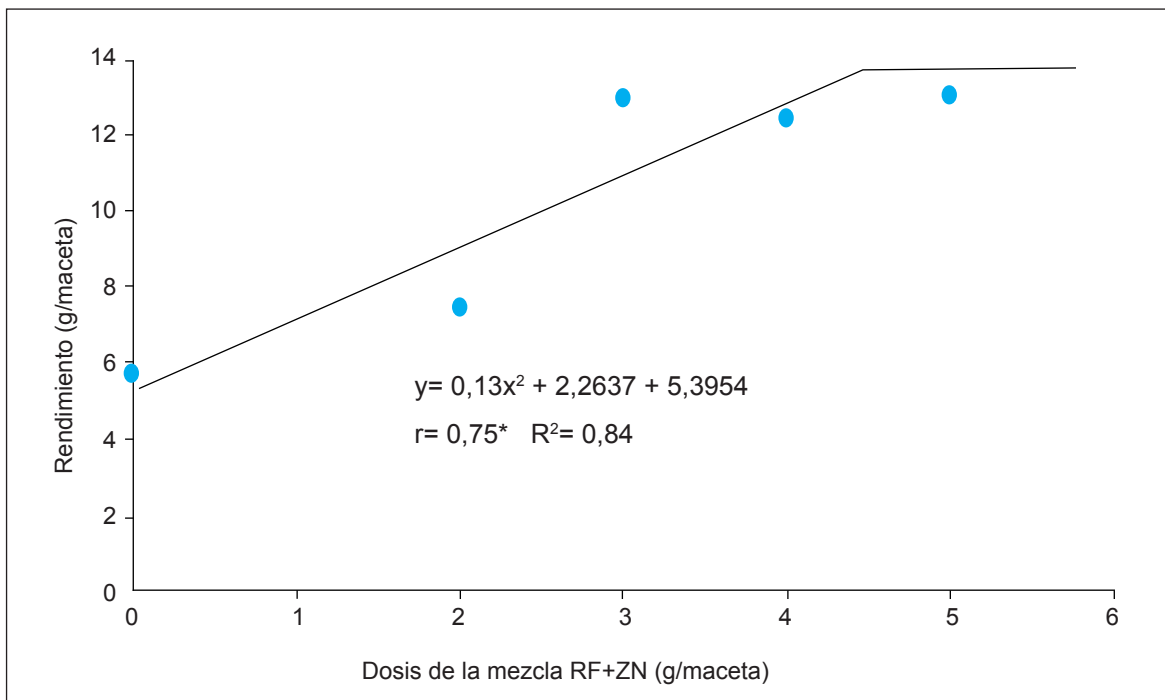


Figura 1. Curva de regresión entre dosis de la mezcla RF+ZN y rendimiento de sorgo.

CUADRO 8. EFECTO DE LA MEZCLA RF + ZN SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA E ÍNDICE FOLIAR DEL CULTIVO DE SORGO AL SUSTITUIR EL FÓSFORO EN UN SUELO INCEPTISOL. LA HABANA, CUBA. 2012.

Tratamientos (g/maceta de mezcla)	Rendimiento MS g/maceta	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
NK+P ₂ +0,0	9,48 ^{ns}	1,89	0,20	1,45
NK+P ₀ +3,0	14,59*	2,60	0,23	2,50
NK+P ₁ +3,0	13,66*	2,61	0,22	2,47
NK+P ₂ +3,0	14,32*	2,58	0,26	2,49
ESx	2,68			

ESx = Error estándar de la media; * = Significativo al nivel de 5% de probabilidad, según la prueba de Dunnett; ns = No significativo.

En todos los tratamientos donde se aplicó la mezcla, se observó un aumento de rendimiento en materia seca del sorgo y mejores niveles de N, P, K en las hojas del cultivo, evidenciando que la mezcla RF + ZN contribuyó con la liberación de P.

Experimento con papa:

En el suelo Ferralítico rojo de Quivicán (Oxisoles), donde se realizó el experimento de campo con papa, se obtuvo un incremento de rendimiento en el tubérculo de 25,6% a 38,8%, debido a la aplicación de 0,5 a 1,0 t.ha⁻¹ de la mezcla RF + ZN (Cuadro 9). Esto indica que potencialmente se puede sustituir la fertilización con 1,0 t.ha⁻¹ de la mezcla, ello se explica porque la papa extrae relativamente pequeñas cantidades de fósforo (entre 13 y 33 kg.ha⁻¹) en comparación a sus requerimientos de N y K (Burton 1996).

La papa se caracteriza por una alta demanda de nutrientes para

lograr un rendimiento económicamente aceptable (por ejemplo, 3,5 kg de N; 0,9 kg de P₂O₅ y 5,3 kg de K₂O por tonelada de tubérculos producidos), llegando a realizar aplicaciones de cantidades hasta 400-200-300 kg de N-P₂O₅-K₂O.ha⁻¹, respectivamente (INCA 2002).

El análisis de regresión indica que por cada tonelada por hectárea de mezcla aplicada al suelo habrá un aumento en rendimiento de 6,0 t.ha⁻¹ en el cultivo de papa. Mientras que el máximo rendimiento según la curva de regresión sería de 22,75 t.ha⁻¹ al aplicar 1,08 t.ha⁻¹ de la mezcla (Figura 2).

En suelos bien suministrados con P, la cantidad total en la solución del suelo puede oscilar entre 0,3 y 3,0 kg.ha⁻¹, y no todo es directamente asimilable, ya que todas las raíces no están en contacto con la solución del suelo. Por lo tanto, el P en la solución del suelo debe renovarse frecuentemente, varias veces en el día,

CUADRO 9. EFECTO DE LA MEZCLA DE RF + ZN SOBRE EL RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE PAPA.

Tratamientos (t.ha ⁻¹)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Incremento (%)
0	16 ^{ns}	
0,5	21*	25
1,0	22*	32
1,5	23*	38
ESx	2,81	

ESx = Error estándar de la media; * = Significativo al nivel de 5% de probabilidad, según la prueba de Dunnett; ns = No significativo.

a partir del P directamente disponible. En este caso, la mezcla aplicada de RF +

ZN permite ir liberando este nutriente de forma paulatina (Nus y Brauen 1991).

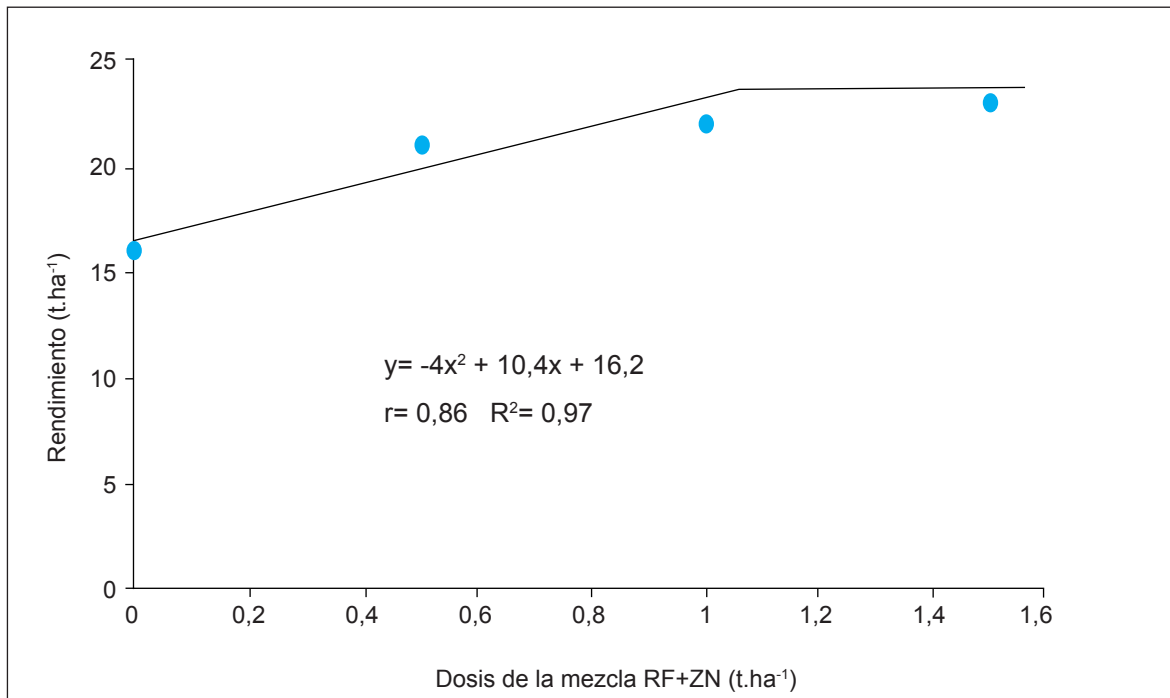


Figura 2. Curva de regresión entre dosis de la mezcla RF+ZN y rendimiento de papa.

Cuando termina el desarrollo del sistema radical, se detiene prácticamente la absorción de P al no existir intercepción radicular, el nutriente se traslada a los tubérculos, por lo que el follaje se empobrece en P y N, y con ello, se disminuye la velocidad del proceso de fotosíntesis (Kupers 1985).

Realmente este cultivo es bastante ineficiente para utilizar el fósforo del suelo, lo que explica que se hayan encontrado respuestas a la aplicación de fertilizante fosfórico y zeolita en suelos con niveles

altos de este nutriente en forma asimilable (Vitosh 1990).

Los índices foliares de nitrógeno, fósforo y potasio de la papa (Cuadro 10), se incrementaron por efecto de la mezcla RF + ZN. Cuando no se aplica la mezcla, hay disminución en el porcentaje de fósforo adsorbido por efecto de la fijación de fosfatos en concentración media de este elemento en el suelo, pero este se incrementa al aplicar una dosis alta de la mezcla.

CUADRO 10. EFECTO DE LA MEZCLA RF + ZN SOBRE EL CONTENIDO FOLIAR DE LA PAPA.

Dosis de la mezcla (t.ha ⁻¹)	N	P (% en hojas)	K
0	3,37	0,41	3,93
0,5	3,82	0,46	4,99
1,0	4,65	0,46	4,84
1,5	4,67	0,48	4,67

N = Nitrógeno; P = Fósforo; K = Potasio.

En el caso del porcentaje de potasio, existe una tendencia a incrementarse con la aplicación hasta de 1,0 t.ha⁻¹ de la mezcla, a partir de la cual comienza a decrecer su contenido. Con ello se afecta el rendimiento, se atrasa la madurez, disminuye la gravedad específica, se debilita la piel, puede ocurrir brotación de los tubérculos afectando adversamente la calidad del tubérculo y las características para su almacenamiento; disminuyendo el índice de cosecha (relación follaje/tubérculos) (Burton 1996).

Durante el desarrollo del experimento no se presentaron síntomas visuales directos de excesos de K, posiblemente por la capacidad de las plantas de realizar consumo de lujo, pero podrían ocurrir antagonismos con otros cationes como el calcio (Ca).

Se observa que hay un efecto positivo al aumentar la dosis de mezcla

sobre la fertilidad del suelo (Cuadro 11), lo que está relacionado con la textura y la nutrición de los cultivos. Sin embargo, este suelo muestra una tendencia a elevar demasiado el pH, lo que podría afectar la disponibilidad de nutrientes como el P y los micronutrientes. Actualmente surge como problema, la elevación sostenida del pH en las áreas paperas, lo cual puede convertirse en un problema grave para el cultivo (IFA 2008, Macías *et al.* 2007).

El contenido de materia orgánica en este suelo se incrementó a valores medios. Los suelos dedicados al cultivo de papa, generalmente, tienen un contenido bajo de materia orgánica, especialmente en regiones donde no se aplican abonos orgánicos y la rotación de cultivos predominante no contempla cultivos altamente productores de masa seca, ya que la papa prácticamente no deja residuos orgánicos en el suelo, lo que afecta directamente el contenido de N.

CUADRO 11. INFLUENCIA DE LA DOSIS DE MEZCLA RF + ZN UTILIZADA SOBRE LA FERTILIDAD DE UN SUELO OXISOL. QUIVICÁN, MAYABEQUE, CUBA. 2012.

Dosis de mezcla	pH	Materia Orgánica	P ₂ O ₅	K ₂ O
(t.ha ⁻¹)	(1:2,5)	%	mg.kg ⁻¹	
0	6,7 ^{ns}	3,17	4,14 ^{ns}	9,00 ^{ns}
0,5	6,2 ^{ns}	3,40	8,41*	13,11*
1,0	6,8 ^{ns}	3,42	9,62*	15,12*
1,5	6,8 ^{ns}	3,43	9,77*	15,82*

* = Significativo a nivel de 5% de probabilidad, según la prueba de Dunnett; ns = No significativo.

Se considera al N como el nutriente más deficiente en los suelos dedicados al cultivo de papa en Cuba, según Deroncelé *et al.* 1999. En este sentido diversos trabajos han demostrado la utilidad del uso de la zeolita, ya sea como un medio para reducir la cantidad de N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺ residual en la solución del suelo (Arora *et al.* 1996, Inglezakis *et al.* 2004), disminuir la tasa de nitrificación en suelos arenosos (Tremols 1978) o incrementar el contenido de N₂ en el tejido vegetal.

El contenido de P en los suelos dedicados al cultivo de la papa depende de su manejo precedente. En suelos que han recibido altas dosis de fertilizantes fosfóricos, sistemáticamente por más de 30 años, el contenido de fosfatos disponibles es alto, como por ejemplo en la provincia de La Habana, en donde Deroncelé y Guerra (1977) han llegado a reportar 296,9 mg P.kg⁻¹ por el método de Oniani; por el contrario, en áreas

recientes, el contenido de fósforo es bajo o medio, como en la provincia de Ciego de Ávila, pero en esta región ya los suelos están pasando a niveles medios y se encuentran algunos con altos niveles de P, lo cual permite como alternativa, el empleo de rocas fosfóricas mezcladas con zeolita.

El pH y textura del suelo afectan la disponibilidad del P (Vitosh 1990), ya que es asimilable en el rango de 6,2 a 6,8 de pH, pues a valores inferiores es antagonizado por el Fe, Al y otros oligoelementos, y valores superiores de 7,0 por el Ca y el Mg.

Los suelos Ferralíticos y Ferríticos, principalmente los de pH ácido, son altamente fijadores de P, a pesar que algunas regiones son ricas en P asimilable.

El 80% de las áreas paperas de Cuba se encuentran en suelos Ferralíticos

rojos (Oxisoles): muy profundos, de topografía llana, bajo contenido de materia orgánica (2%), CIC 13-26 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de suelo y pH 6. Se prefieren los suelos Ferralíticos rojos (típicos o compactados), por su estructura suelta, buen drenaje y aireación. Estos suelos tienen baja fertilidad natural, limitada retención de agua y de nutrientes. En estos suelos, el predominio de óxidos e hidróxidos de Fe y Al en el complejo coloidal y el bajo contenido de materia orgánica, determinan una alta capacidad de retención del P y hacen temer fuertes pérdidas de N y K, aspecto que puede ser contrarrestado con el uso de la mezcla de zeolita y roca fosfórica.

CONCLUSIONES

- La aplicación de la mezcla de zeolita con roca fosfórica permitió obtener mejor rendimiento de materia seca en los cultivos de papa y sorgo, al igual que mejoró el nivel de los nutrientes en el tejido vegetal de estos.
- El uso de la mezcla permitirá la disolución del fósforo de la roca fosfórica mejorando su liberación y reducir las aplicaciones de fertilizantes fosfóricos importados.
- La mezcla produjo una mejoría del estado de fertilidad del suelo y los niveles de nutrientes adsorbidos por los cultivos de sorgo y papa.

BIBLIOGRAFÍA

Albuquerque, A; Brooks, O; Garrido, V. 2008. Cinética de liberación del fósforo en la roca fosfórica. CIPIMM 20(3):13-17.

Arora, RP; Savhdev, MS; Sud, YK; Lutara, VK; Subbiah, BV. 1996. Fate of fertilizer nitrogen in a multiple cropping system. Soil Nitrogens fertilizer on pollutant. Proc. Symp. realizado en Piracicaba, Brasil, IAEA /FAO STI/Pub, p. 3-22.

Burton, WG. 1996. The Potato. A survey of its history and of factors influencing its yield, nutritive value, quality and storage. 4th edition, Edit. H. Veenman & Zonen, BV, Wageningen, Holanda. 325 p.

Díaz, G; Sánchez, F; Llerena, L; Váscquez, G. 2009. Empleo de zeolitas naturales en la fertilización del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la zona de Quevedo. Ciencia y Tecnología 3:1-6.

- Deroncelé, R; Guerra, A. 1977. Estudio de niveles y formas de aplicación del N en el cultivo de la papa var. Red Pontiac. Ciencia y Técnica de la Agricultura, Suelos y Agroquímica 1(1):38-45.
- Deroncelé, R; Padrón, E; Moreno, V; John, C; Irigoyen, H. 1999. La Fertilización mineral de la papa en Cuba. Situación Actual y Perspectivas. Editado por el Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova, La Habana, Cuba. 15 p.
- IFA (International Fertilizer Association). 2008. World Fertilizer Manual. Editado por la International Fertilizer Industry Association. Paris. 632 p.
- INCA (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas). 2002. Informe de los resultados del taller sobre "La fertilización en el cultivo de la papa". Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 5 p.
- Inglezakis, V; Loizidou, M; Grigoropoulou, H. 2004. Ion exchange studies on natural and modified zeolites and the concept of exchange site accessibility. Journal of Colloid and Interface Science 275:117-119.
- Kolyagin, YS; Karasev, OA. 1999. Root nutrition and the quality of sugarbeet. Sakharnaya Svekla (Bulgaria) 6:11-12.
- Kupers, L. 1985. Fertilization and crop rotation of potatoes: a theory and recommendation. International Potato Course. Wageningen University, Holland. 7 p.
- Macías, AF; Galvis, A; Hernández, T; De León, F; Payán, F. 2007. Efecto de la aplicación de zeolita (clinoptilolita y modernita) en un andosol sobre el ambiente químico edáfico y el crecimiento de avena. Interciencia 32(10):692-696.
- Ming Lai, D; Ebert, D. 1985. Controlled and renewable release of phosphorus in soils from mixtures of phosphate rock and ammonium exchanged clinoptilolite". U.S. Geological Survey, Resources Division, Denver, Colorado, USA. Technical bulletin no. 16:45.
- NRAG 879.88 (Norma Ramal de Agricultura 879.88). 1996. Norma ramal de análisis químicos de suelo. Instituto de Suelos. Cuba.

- NRAG-O5 (Norma Ramal de Agricultura - O5). 2010. Norma Ramal de análisis foliares. Instituto de Suelo. La Habana, Cuba.
- Nus, J; Brauen, E. 1991. Clinoptilolitic zeolite an amendment for establishment of creeping bentgrass on sandy media. Hort-Science 26:117-119.
- Park, M; Komarneni, S. 1998. Ammonium nitrate occlusion vs. nitrate ion exchange in natural zeolites. Soil Science Society of America Journal 62:1455-1459.
- Perrot, K; Wisa, R. 2002. Determination of residual reactive phosphate rock in Soil. Ed. IRRI, Filipinas. p. 399-425.
- Rehakova, M; Curanova, S; Dzivak, M. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. Curr.Opin. Solid St. 12:397-404.
- Rodríguez, R; Herrera, J. 2002. Field evaluation of partially acidulated phosphate rocks in ferrosol from Cuba Nutrient cycling. Agroecosystems 63:21-26.
- Soca, M; Castellanos, J; Febles, J. 2004. Efecto de la zeolita en la eficiencia de los fertilizantes químicos, fertilizantes y enmiendas de origen mineral. Panorama Minero 14:261-268.
- Tremols, J. 1978. Respuesta de la papa a la fertilización mineral sobre diferentes subtipos de suelos Ferralíticos. Agrotecnia de Cuba 10(2):79-85.
- Villarreal, J; Barahona, L; Castillo, O. 2015. Efecto de zeolita sobre la eficiencia de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de arroz. Agron. Mesoam. 26(2):315-321.
- Vitosh, M. 1990. Potato fertilizer recommendations. Extension bulletin E-2220, Michigan State University Extension Department. Michigan, USA. 54 p.

ZONIFICACIÓN POR BALANCE HÍDRICO DEL CULTIVO DE ARROZ EN LA CUENCA DE RÍO GRANDE¹

Ruth Del Cid Alvarado²

RESUMEN

En el manejo de los sistemas agrícolas, el balance hídrico es una herramienta fundamental, en los procesos de toma de decisiones y la planificación de los cultivos. El estudio tuvo como objetivo la zonificación del cultivo del arroz en la cuenca de Río Grande a través de su balance hídrico. Se recopiló toda la información climatológica histórica desde 1955, de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca y en áreas aledañas, proporcionada por la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA). Con la información agroclimática recopilada y ajustada, se realizó el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), brillo solar, índice de calor mensual y capacidad de campo. En el cálculo de la ETP se utilizó la ecuación de Thornthwaite. Conocidos los valores mensuales del escurrimiento superficial, mediante la aplicación de la ecuación del balance hídrico, la cuenca de Río Grande presenta una precipitación media anual de 2112,9 mm y una evapotranspiración media anual de 637,7 mm, lo que representa un déficit de 131,8 mm. De acuerdo a los resultados, los meses en déficit están entre diciembre y abril; los excedentes y almacenamientos se encuentran de mediados de mayo a diciembre y el uso de la reserva de enero a marzo. La zonificación final se efectuó teniendo en cuenta los excesos que se obtienen del balance hídrico, mapas de fertilidad de suelo, CARTAP y requerimientos del cultivo.

PALABRAS CLAVES: Sistema agrícola, data climatológica histórica, evapotranspiración potencial, déficit, excedentes.

¹Recepción: 26 de noviembre de 2014. Aceptación: 10 de septiembre de 2015. Actividad de investigación del proyecto Investigación e Innovación para el Desarrollo de Germoplasma Mejorado de Arroz para los Sistemas Comercial y a Chuzo.

²M.Sc. en Ciencias Ambientales. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Recursos Genéticos (CIARG).
e-mail: rutis07@yahoo.es

ZONING BY WATER BALANCE OF RICE CROP IN RÍO GRANDE BASIN

ABSTRACT

In the management of agricultural systems, hydric balance is an essential tool, as it helps us in the decision-making process and crops planning. The objective of this study was zoning by water balance of rice cultivation in Rio Grande basin. It was compiled all the climatological historic data since 1955, from weather stations located within and in bordering areas of Rio Grande basin, using information provided for Electric Transmission Company, S.A. (ETESA). With the compiled and adjusted agro climatic information, there were calculated the potential evapotranspiration (ETP), solar brightness, index of monthly heat and field capacity. Thornthwaite's equation was utilized in the ETP calculation. Knowing the monthly values of surface runoff by applying the water balance equation, the Rio Grande Basin has an annual rainfall average of 2112,9 mm and an mean evapotranspiration of 637,7 mm, which means a shortage of 131,8 mm. According to these results, the Rio Grande basin has deficit from December to April, the surplus and storage from mid May to mid-December and reserve from January to March. The final zoning was build up considering the excesses that were obtained from the water balance, soil fertility maps, CARTAP and crop requirements.

KEY WORDS: Agricultural systems, climatological historic data, potential evapotranpiration, deficit, surplus.

INTRODUCCIÓN

El ordenamiento y planificación para el uso del suelo, la zonificación de unidades homogéneas de suelo, la determinación del uso adecuado del suelo, la planificación y manejo de cultivos y forestales, la identificación de áreas con riesgo de degradación, y diseño de sistemas de riego, son estudios que obligatoriamente se deben realizar para proponer los usos recomendables y adecuados para una cuenca hidrográfica.

El balance hídrico es una herramienta fundamental para determinar la aptitud agrícola de una región (Abril y González 2006). Conociendo la precipitación media mensual y la evapotranspiración mensual estimada, podemos estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año. El conocimiento del balance de humedad (balance hídrico) es necesario para definir la falta y excesos de agua y se aplica para la clasificación climática, definir la hidrología de una zona

y para la planificación hidráulica (Almorox 2003). Estas características son de gran utilidad en la planificación y ordenamiento de una región determinada.

El conocimiento previo del almacenamiento del agua en cada tipo de suelo y de explotación agrícola, en función de la variación temporal de la lluvia, temperatura y evapotranspiración, y de otros atributos del clima, es posible determinar para cada época del año la demanda por mano de obra, tractores e implementos agrícolas, definir épocas de preparación del suelo, siembra, aplicación de agroquímicos, verificar la posibilidad de la utilización de técnicas de riego y estimar el rendimiento agrícola (Arévalo *et al.* 2007).

El cálculo del balance hídrico es una serie de procesos, los cuales provocan cambios a partir de la precipitación, la infiltración y drenajes. Para una región se calcula para un período determinado, por comparación entre los aportes y pérdidas de agua del área (Durand Dastes 2010).

En el crecimiento y producción de rubros agropecuarios, es de vital importancia considerar la disponibilidad hídrica donde se desarrollan los cultivos. Según Thornthwaite y Matter (1957), el balance hídrico climático y el seriado dan una aproximación de la disponibilidad de

agua de una región determinada, es de suma importancia en varios campos de la investigación, como lo es el conocimiento del déficit de humedad que es primordial para determinar la factibilidad del riego y el volumen de agua necesario para cada época del año. La información sobre los excedentes de agua y la capacidad de campo, es fundamental en todo estudio hidrológico, debido a que permite realizar una adecuada planificación de los recursos hídricos de una forma racional y armónica de los recursos naturales.

Por las razones antes expuestas, el estudio tuvo como objetivo la zonificación del cultivo de arroz por balance hídrico de la cuenca hidrográfica de Río Grande, en la provincia de Coclé, utilizando como herramienta el Sistema de Información Geográficas (SIG).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó utilizando la base de datos históricos climáticos de la cuenca hidrográfica de Río Grande, provincia de Coclé, ubicada entre las coordenadas UTM 518662,39 – 595105,99 E y 914414,34 – 962065,48 N.

La cuenca hidrográfica comprende un área de 221 795,45 ha, que abarcan los distritos de La Pintada, Olá, Natá, Penonomé y Antón (Figura 1) y pertenece a las zonas de vida de Bosque Muy

Húmedo Premontano (bmh-P), Bosque Húmedo Premontano (bh-P), Bosque Húmedo Tropical (bh-T), Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T), Bosque Pluvial Montano Bajo (bp-Mb), Bosque

Pluvial Premontano (bp-P), Bosque Seco Premontano (bs-P), Bosque Seco Tropical (bs-T), según la clasificación de Holdrige en 1947 (Figura 2).

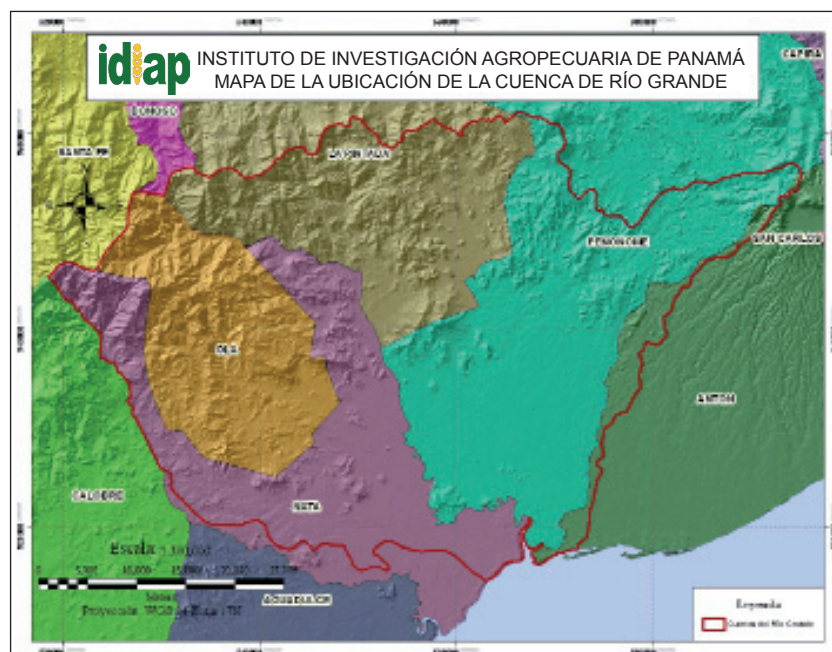


Figura 1. Ubicación de la cuenca de Río Grande.

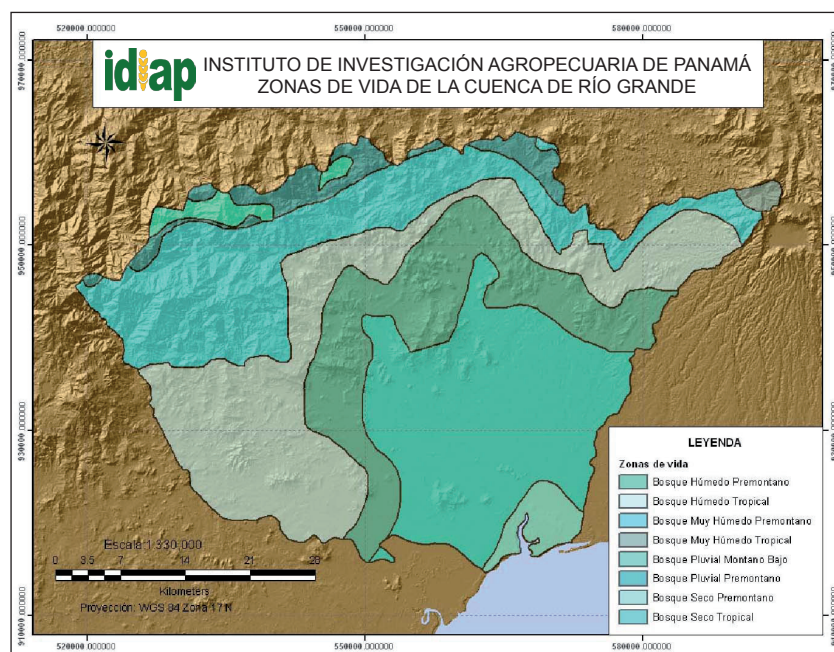


Figura 2. Zonas de vida de la cuenca de Río Grande.

La altitud varía entre 0 y 1400 msnm, con una precipitación anual media anual de 1800 mm y una temperatura media anual de 26° C. El 95% de los suelo de la zona pertenecen a las categorías III,

VII y VIII y el 5% restante pertenecen a suelos tipo II, IV, V y VI (Figura 3), según el sistema de clasificación agrológica del Departamento de Agricultura de los EEUU (USDA 1961).

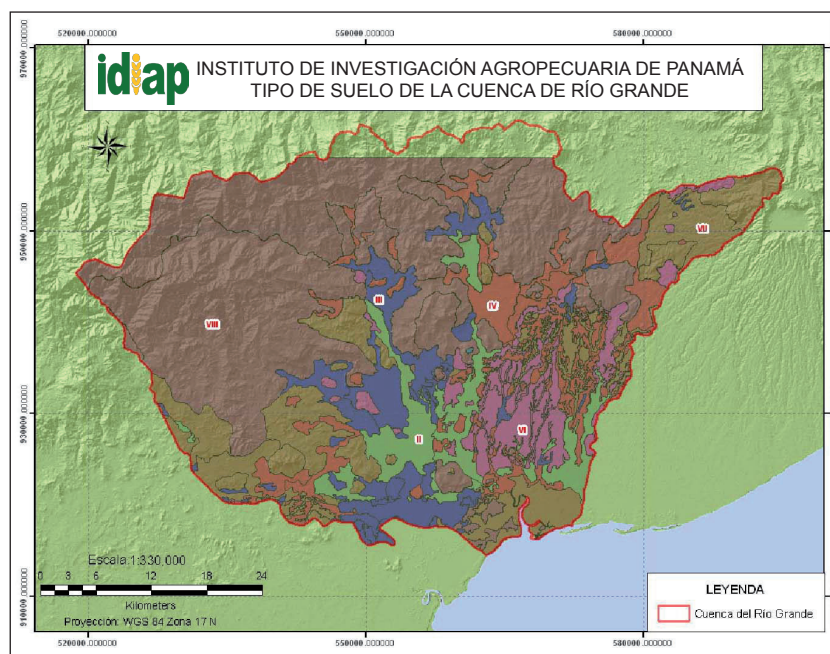


Figura 3. Tipo de suelo de la cuenca de Río Grande.

Para obtener el balance hídrico de la cuenca de Río Grande, se utilizó

el software InnerSoft – Balance Hídrico ISBH v0.1 Beta, de la Universidad de Chile (Figura 4).

InnerSoft - Balance Hídrico ISBH v0.1 Beta

Archivo Ayuda

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Capacidad de Campo (CDC): 225

☒ El suelo está saturado al inicio del primer mes

% respecto a CDC: 100

Valor absoluto: 225

Primer Mes del Año Hidrológico: Enero

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitación) y ETP (evapotranspiración potencial)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
P	65.8	49.2	82.3	161.9	403.9	417.2	312.4	424.3	536.8	585.2	343.5	128	3510.5
ETP	3.42	3.33	3.71	3.63	3.67	3.5	3.56	3.56	3.4	3.47	3.34	3.39	41.98
P-ETP	62.38	45.87	78.59	158.27	400.23	413.7	308.84	420.74	533.4	581.73	340.16	124.61	3468.52
R	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	2700
AR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETR	3.42	3.33	3.71	3.63	3.67	3.5	3.56	3.56	3.4	3.47	3.34	3.39	41.98
E	62.38	45.87	78.59	158.27	400.23	413.7	308.84	420.74	533.4	581.73	340.16	124.61	3468.52
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
*													

El Índice de Aridez (Im) es: 8262.315

Calcular

El símbolo decimal que está usando su sistema operativo es: el punto (.)

Uselo para la entrada de datos

Figura 4. InnerSoft ISBH v0.1 Beta.

Para el análisis del modelo, fue necesario contar con la siguiente información:

1. Precipitación mensual: Los datos fueron proporcionados por la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA) de las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro y fuera de la cuenca. Los datos de precipitación fueron de 53 años, lo que hace muy confiable la información.
2. Evapotranspiración potencial (ETP) por mes: Para obtener estos datos, se utilizó la ecuación de Thornthwaite en 1948:

$$ETP = 1.6 \left(\frac{L_1}{12} \right) \left(\frac{N}{30} \right) \left(\frac{10T_a}{I} \right)^{a_1}$$

Donde:

L1: Número de horas reales de sol al día

N: Número de días del mes

Ta: Temperatura media mensual

$$a_1 = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.49$$

La información requerida por la metodología fue obtenida a partir de las estaciones meteorológicas y calculada (Figura 5). Fue necesario realizar algunos cálculos para poder obtener los datos con las unidades requeridas por la ecuación.

3. Temperatura mensual: Se utilizaron registros de 43 años obtenidos de las

estaciones meteorológicas dentro y fuera de la cuenca en estudio. Esto permitió una alta confiabilidad en los modelos.

4. Brillo solar mensual: Los registros mensuales se transformaron por día proporcionados por las estaciones meteorológicas Enrique Enseñat y Santa Rosa. Para la confiabilidad de los registros se realizó una interpolación utilizando ArcGis 9.3, la herramienta Spatial Analyst Tools – IDW.
5. Capacidad de campo (CDC): Se obtuvo a partir de la textura del suelo, y la información fue proporcionada por el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA 1968) del mapa y los datos de CARTAP. La cuenca de Río Grande presenta cinco tipos de textura que se pueden observar en el Cuadro 1.

Donde:

Nº: Números de suelos encontrados en la cuenca de Río Grande,

Código: Es el código que se registra en CARTAP de las texturas encontradas en la cuenca de Río Grande,

Descripción: Es el tipo de textura en función a los códigos que se encuentran en CARTAP,

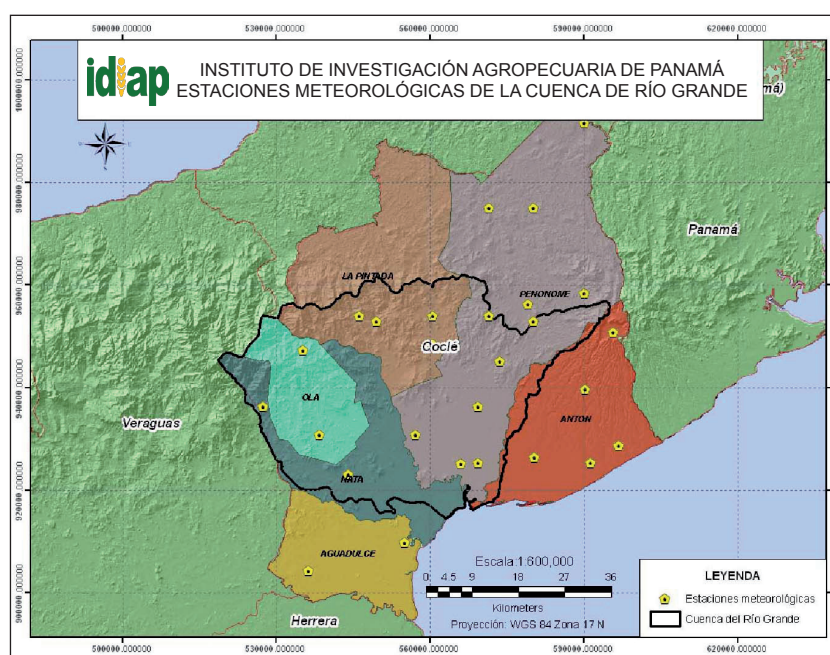
CDC: Capacidad de campo.

CUADRO 1. CAPACIDAD DE CAMPO (CDC) DE LOS SUELOS DE LA CUENCA DE RÍO GRANDE.

TEXTURA			
Nº	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CDC
1	Cf	Arcillosa fina	25
2	Lf	Francosa fina	15
		Esqueleto	
3	Kc	arcillosa	40
4	S	Arenosa	6
5	Sf	Sedimento fino	10

Fuente: MIDA 1968.

6. Primer mes del año hidrológico: Se estableció para reflejar adecuadamente el comportamiento de las precipitaciones sobre una
- cuenca hidrográfica. En el caso del estudio que se realizó, el primer mes del año hidrológico es septiembre.

**Figura 5. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca de Río Grande.****Variables estimadas:**

Reserva (R), evapotranspiración real (ETR), variación de la reserva (AR), excedente o escorrentía (E), déficit hídrico

anual (D), el volumen de agua disponible (P-ETP) y el índice de aridez, llamado también índice de humedad o índice hídrico (Im).

Con los resultados obtenidos, se elaboró una base de datos en Access y transformada a lenguaje Gis, para la manipulación de los mismos. Con la base de datos GIS, se elaboraron los mapas base, precipitación, temperatura, fertilidad (IDIAP 2006), suelo, zonas de vida, pendiente, pH y balance hídrico para obtener los mapas finales: zonificación por requerimientos del cultivo y zonificación

del cultivo de arroz de la cuenca de Río Grande.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la data histórica (1970 – 2011) de este estudio, se indicó que la temperatura promedio anual es 26.16°C , siendo los meses críticos de mayor temperatura, marzo, abril y mayo (Figura 6).

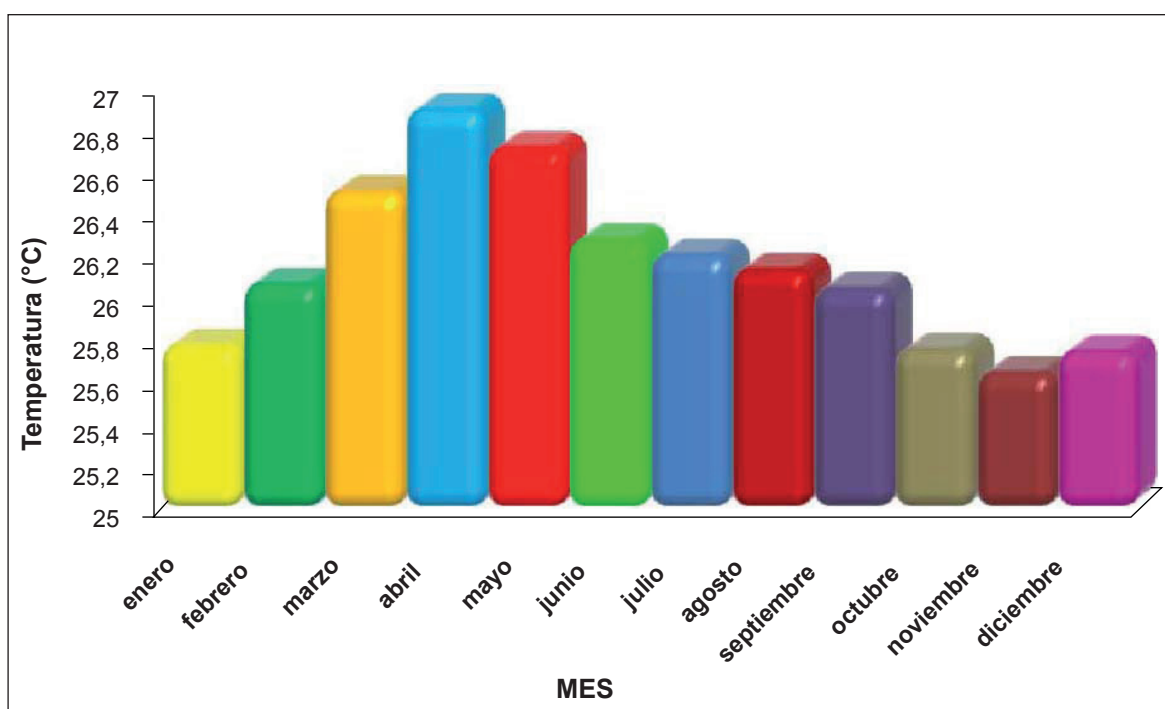


Figura 6. Temperatura media mensual en la cuenca de Río Grande.

El comportamiento de la temperatura se mantiene entre 20°C y 24°C , en la mayor parte de la cuenca. Sin embargo, en algunas áreas se registraron temperaturas de 24°C a 26°C (Figura 7).

De acuerdo al análisis de la data de brillo solar, resulto que enero, febrero, marzo, abril y diciembre fueron los meses con mayor cantidad de horas luz en el año (Figura 8).

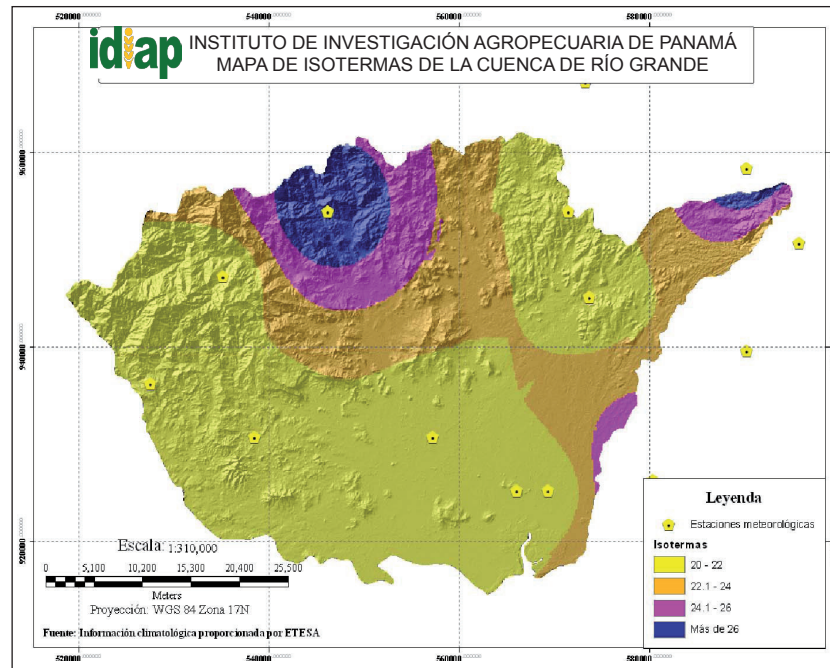


Figura 7. Isotermas de la cuenca de Río Grande.

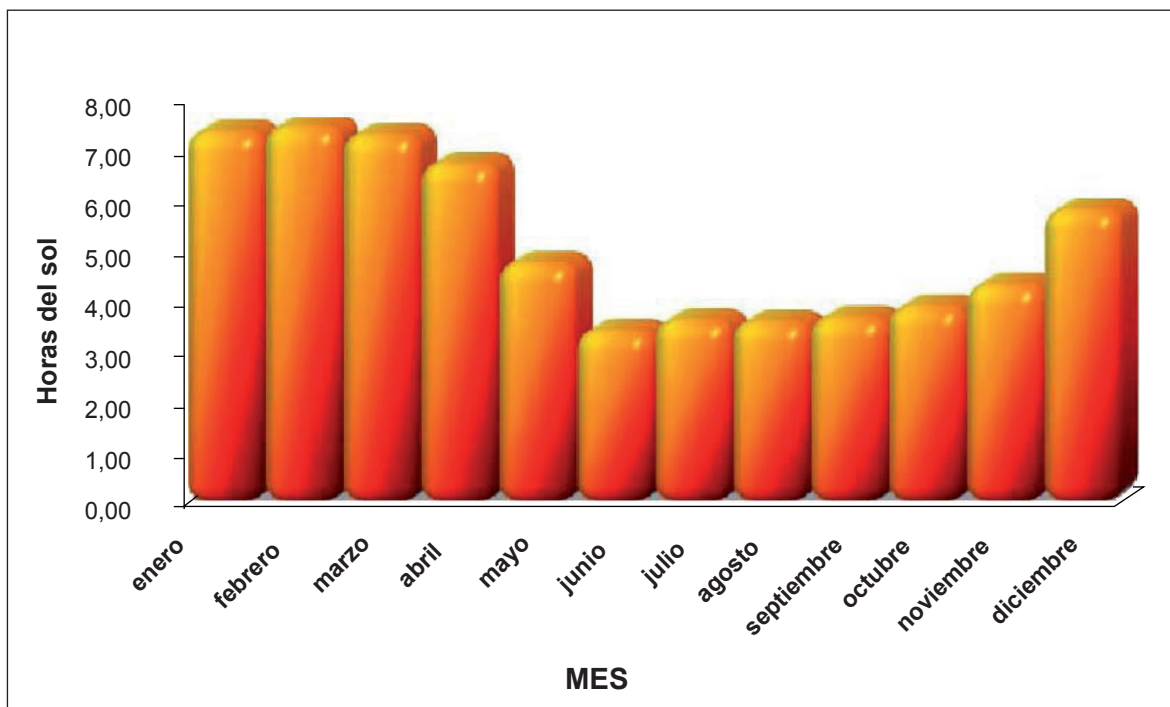


Figura 8. Horas de sol por mes de la cuenca de Río Grande.

La evapotranspiración potencial (ETP) de las plantas es la combinación del agua que se pierde por la evaporación en el suelo y la transpiración del material vegetal. Con los resultados de temperatura y brillo solar, se obtuvo la ETP de la cuenca de Río Grande, dando como resultados los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre como los más altos (Figura 9).

El balance hídrico se estableció para un lugar y período determinado, por comparación entre los aportes y pérdidas de agua del sitio. Con los datos históricos climáticos se obtuvo la precipitación

promedio anual. De acuerdo a los registros, los meses de mayo a octubre se nota un incremento constante de la precipitación e inicia la disminución en el mes de noviembre (Figura 10).

La parte alta de la cuenca mantiene una precipitación que oscila entre 174 y 282 mm/mes, en la media de 147 a 160 mm/mes y en la baja de 115 a 147 mm/mes. Estos resultados indicaron que en el área de captación de la cuenca (la parte alta), la precipitación mantiene un comportamiento aceptable para la recarga de los acuíferos y afluentes (Figura 11).

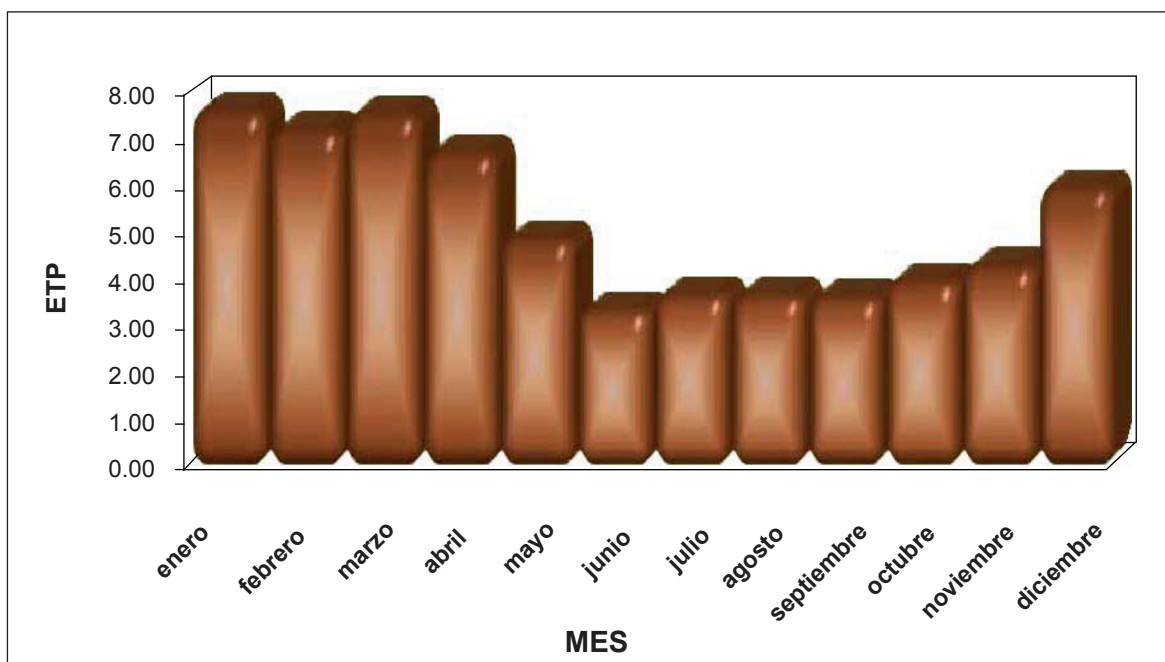


Figura 9. Comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETP) por mes de la cuenca de Río Grande.

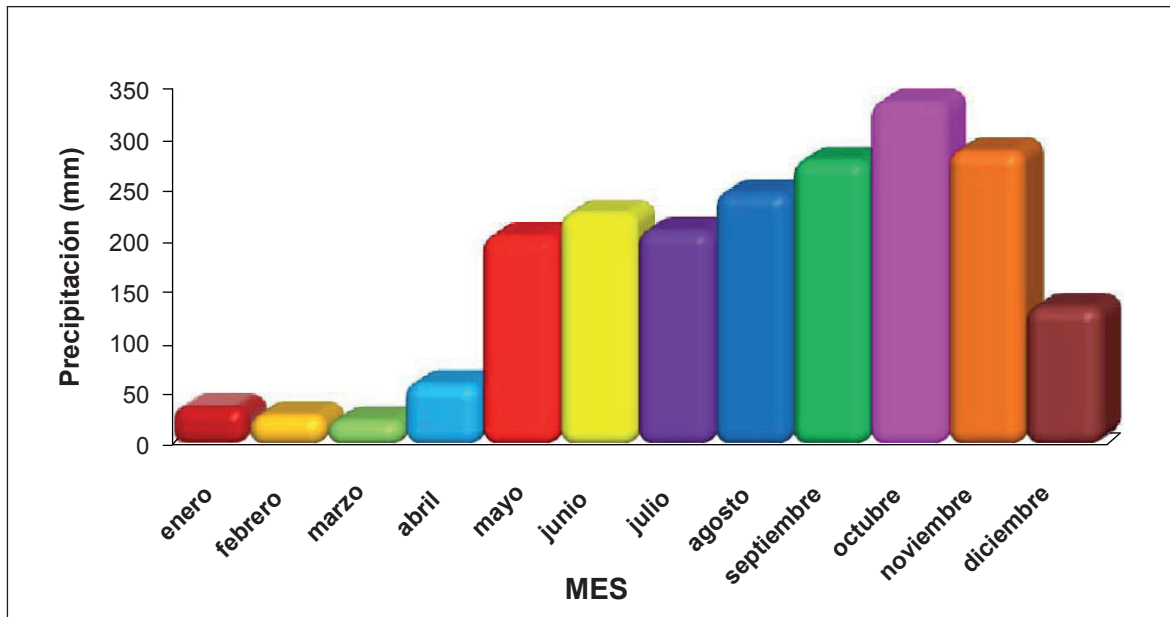


Figura 10. Precipitación media mensual de la cuenca de Río Grande.

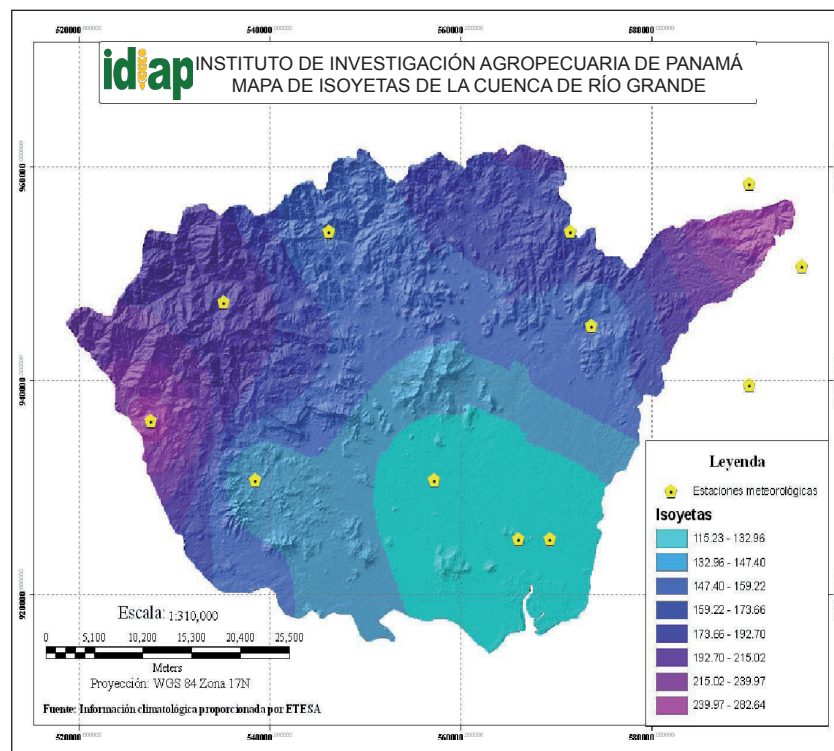


Figura 11. Isoyetas de la cuenca de Río Grande.

En la cuenca de Río Grande se presentó una precipitación media anual de 2112,9 mm y una evapotranspiración media anual de 637,7 mm, lo que significa un déficit de 131,8 mm. De acuerdo a estos resultados, la cuenca presenta

como meses de déficit de diciembre a abril (Figura 12); los excedentes y almacenamientos se encuentran en los meses de mediados de mayo a diciembre y el uso de la reserva de enero a marzo (Figura 13).

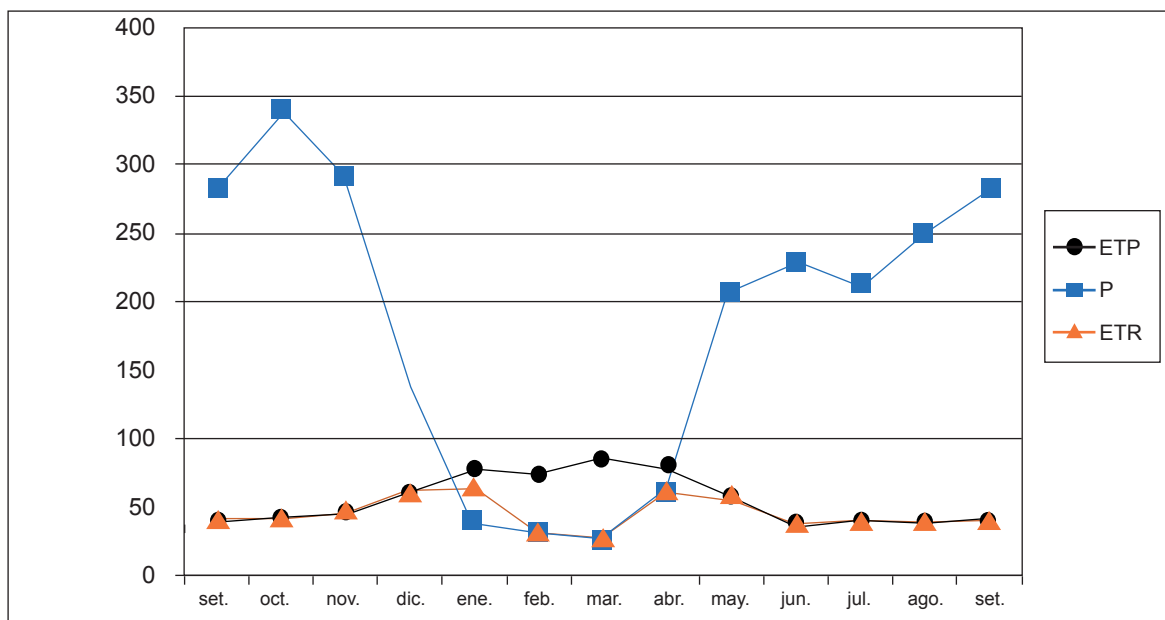


Figura 12. Comportamiento del balance hídrico de la cuenca de Río Grande.

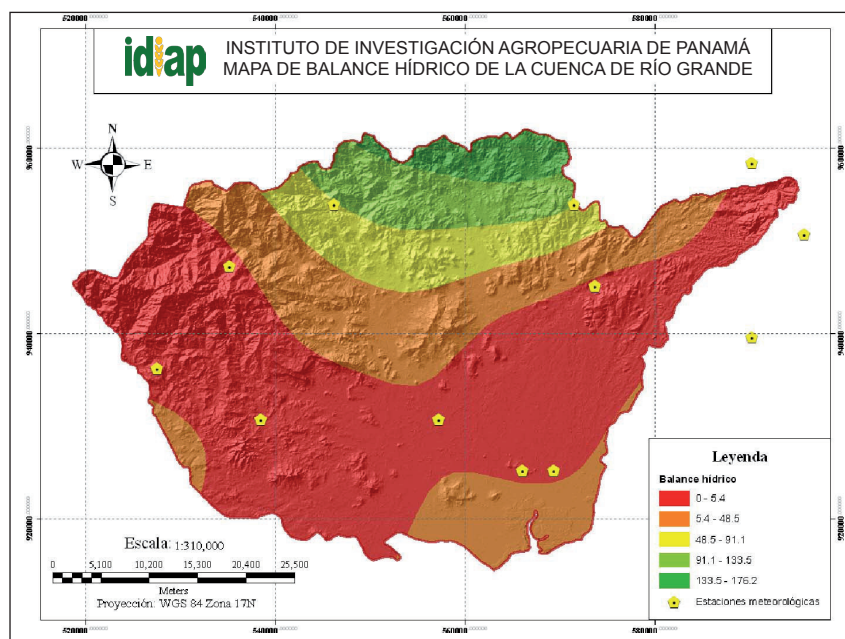


Figura 13. Balance hídrico de la cuenca de Río Grande.

La zonificación de los cultivos a nivel de cuenca hidrográfica es un tema obligado para el mejoramiento de la gestión del sector agropecuario (Tinoco y Acuña 2009), con la finalidad de incrementar la competitividad y sostenibilidad.

El potasio (K) y fósforo (P) se encuentran en niveles bajos para la mayor parte de la cuenca en estudio, como se puede observar en las Figuras 14 y 15, respectivamente. De igual manera, el mapa de pH (Figura 16) presenta áreas donde el suelo es muy ácido, alcalino, neutro, levemente ácido y extremadamente ácido.

Los resultados de pH en su mayoría ácidos, influyen directamente en la etapa vegetativa, reproducción y maduración, y de acuerdo a lo que requiere el cultivo debe ser neutro.

El cultivo de arroz requiere de suelos con textura arcillosa fina, arenosa y francosa fina (infoAgro 1980). De acuerdo a CARTAP, la Figura 17 de textura de suelo dio como resultado que el 63,5% del área de la cuenca corresponde a la textura arcillosa fina, 20,7% a la textura francosa fina y el 4,47% arenosa.

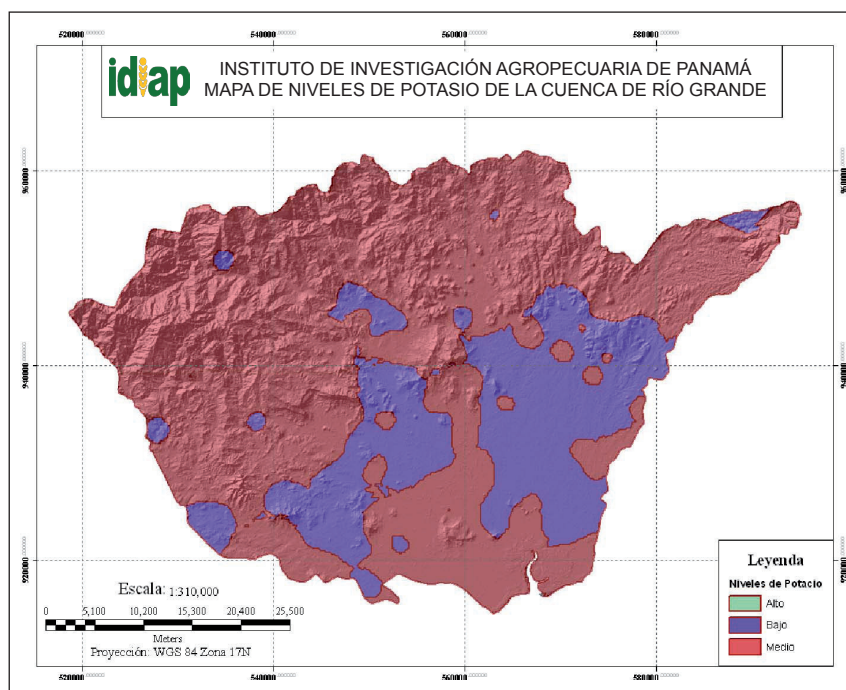


Figura 14. Niveles de potasio en la cuenca de Río Grande.

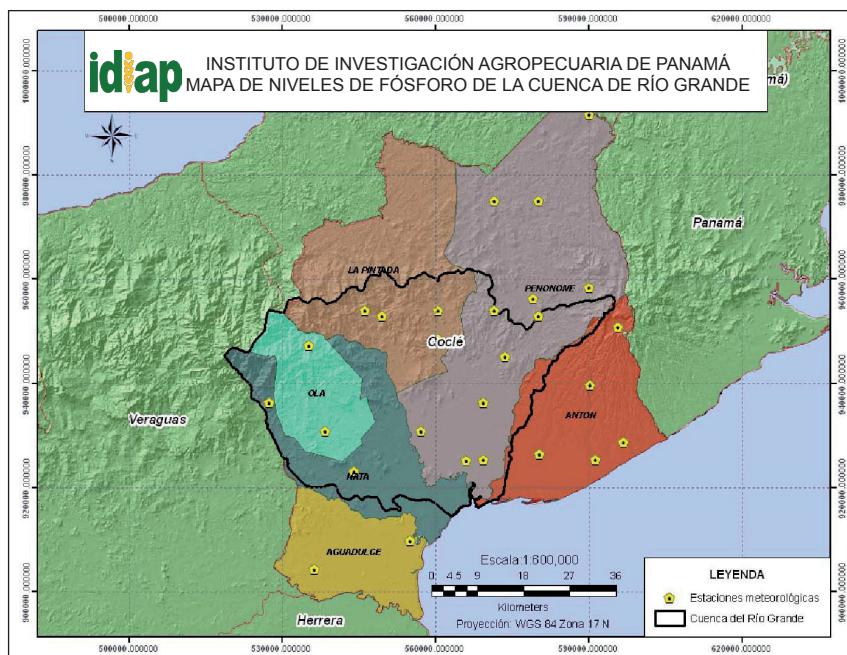


Figura 15. Niveles de fósforo en la cuenca de Río Grande.

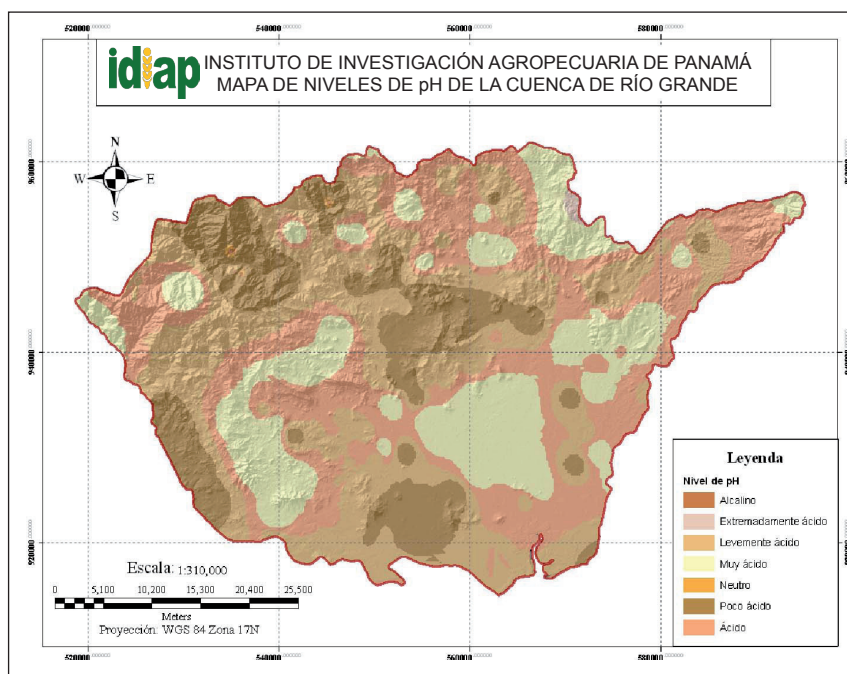


Figura 16. Niveles de pH en la cuenca de Río Grande.

De acuerdo a las características de la cuenca, la pendiente oscila entre 0 y más de 65%. En la parte baja de la cuenca se registran pendientes de 0 a

43%, en la parte media se encuentran entre 25% y 50%, y en la parte alta con más de 65% (Figura 18).

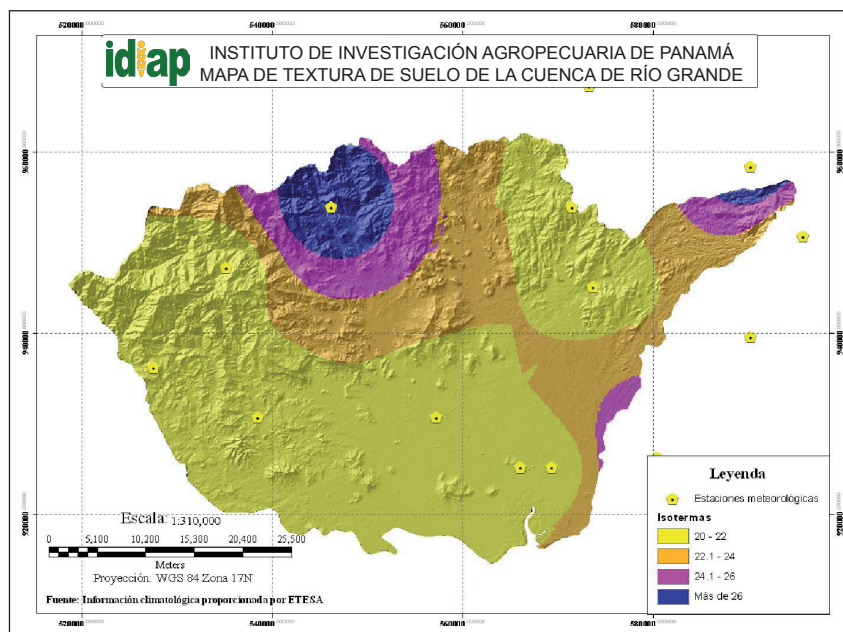


Figura 17. Textura de suelo de la cuenca de Río Grande.

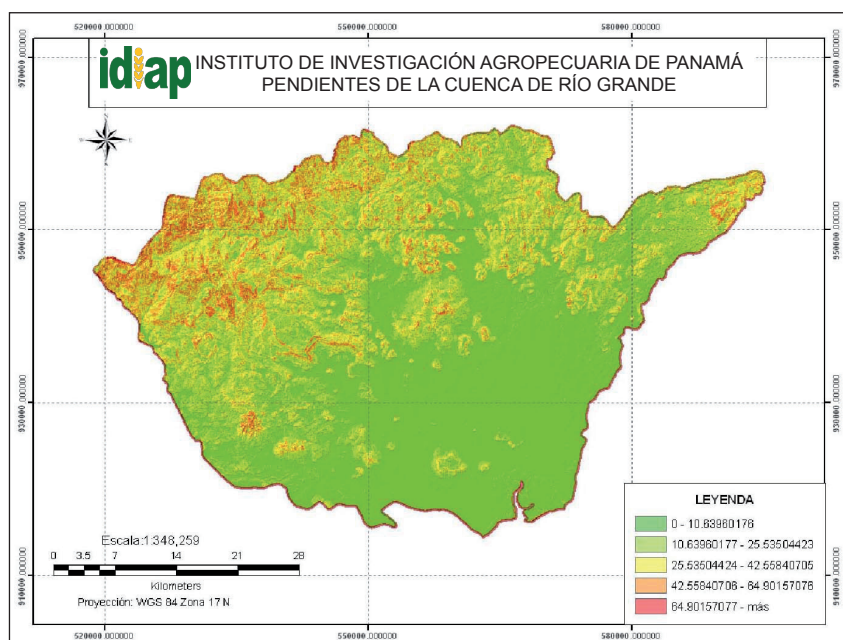


Figura 18. Pendientes de la cuenca de Río Grande.

El drenaje es otro factor muy importante en el desarrollo del cultivo. Los resultados demuestran que los suelos de la cuenca en su mayoría son

bien drenados, esto representa un 60%, seguido de suelos con drenaje imperfecto con un 10% y moderadamente drenado con un 8% (Figura 19).

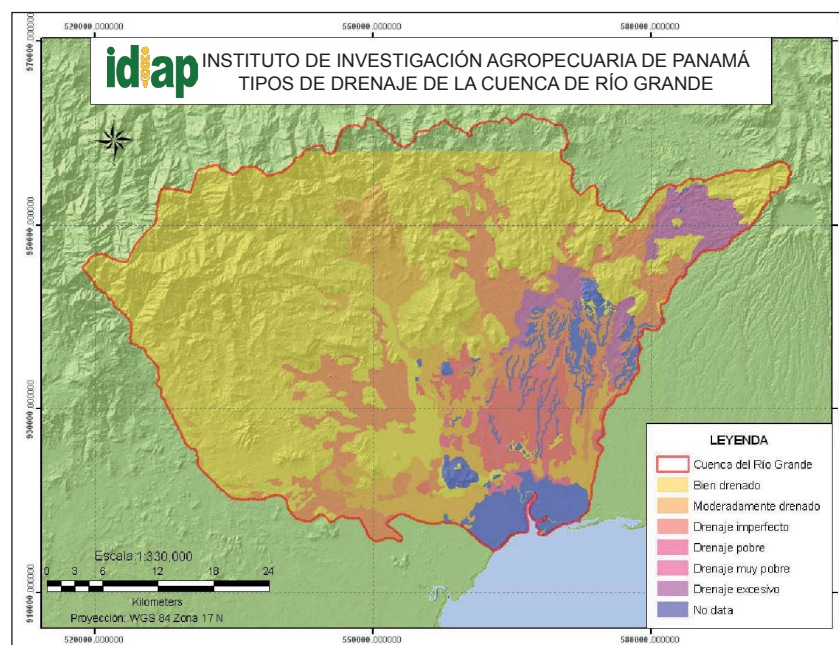


Figura 19. Tipos de drenaje de la cuenca de Río Grande.

Con los resultados de las exigencias agrológicas del cultivo, se obtuvieron tres clases agrológica para la cuenca. Como se puede observar en el Cuadro 2, se tiene la clase 1 = apta, la

clase 2 = moderadamente apta y la clase 3 = no apta, estas clases determinan donde es viable la producción del cultivo en la cuenca (Carmona 2003).

CUADRO 2. CLASES AGROLÓGICAS DEL CULTIVO DE ARROZ PARA LA CUENCA DE RÍO GRANDE.

Parámetros	Clase 1 Apto	Clase 2 Moderadamente apto	Clase 3 No apto
Balance hídrico	< 290	210	> 299
pH	5,5 a 7,0	-	-
Fertilidad	Media	Baja a moderada	Mala
Textura	Limosa (Lf) Arcillosa (Kc)	-	-
Drenaje	Bueno (W)	Imperfecto (N)	Malo (E)
Pendiente	0 a 10% (A)	10 a 20% (C)	> 20% (D)

Producto de las clases agrológicas, se realizó dos tipos de zonificación:

1. Zonificación por requerimientos: De acuerdo a las exigencias del cultivo de arroz, se puede establecer pero con deficiencias, salvo se suplan. Se puede observar en la Figura 20, la zonificación por requerimientos de suelo que abarca 194 520,46 ha, siendo esta la de mayor extensión que tiene la cuenca para el cultivo de arroz. La zonificación por precipitación le sigue en extensión de terreno, con un área de 87 906,58 ha, luego por temperatura con un área de 30 170,93 ha y por fertilidad con 2,68 ha.

2. Zonificación agroecológica: El modelo presenta tanto la clase apta como la moderadamente apta son áreas muy pequeñas dentro de la cuenca que brindan todas las condiciones para el cultivo de arroz en cada una de sus etapas vegetativas, cuentan con las condiciones para su desarrollo y producción. En la Figura 21, se observa que la clase agrológica apta abarca un área de 584,91 ha, ubicada entre los distritos de Natá y Penonomé, y la moderadamente apta 426,40 ha, ubicada en el distrito de Penonomé.

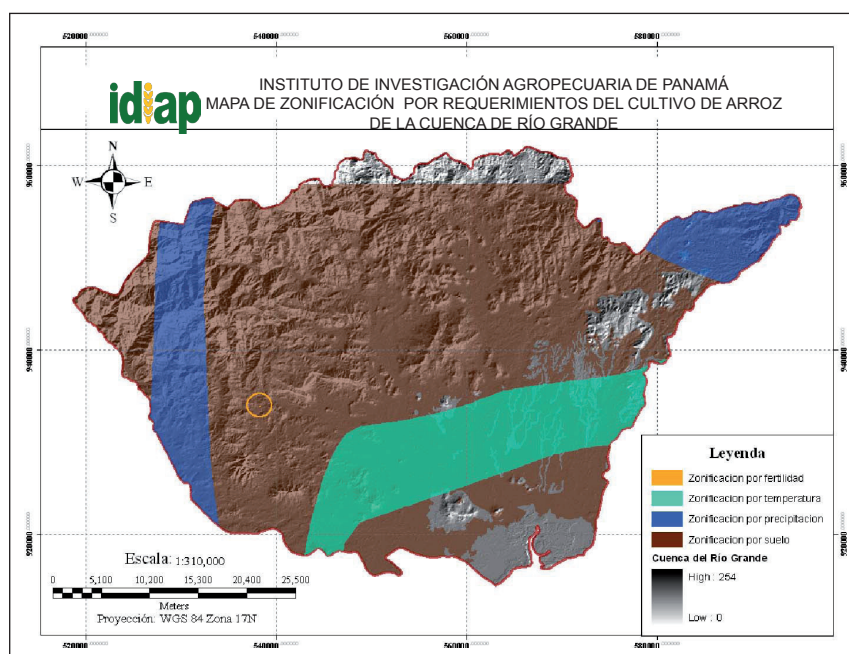


Figura 20. Zonificación por requerimientos de cultivo de arroz.

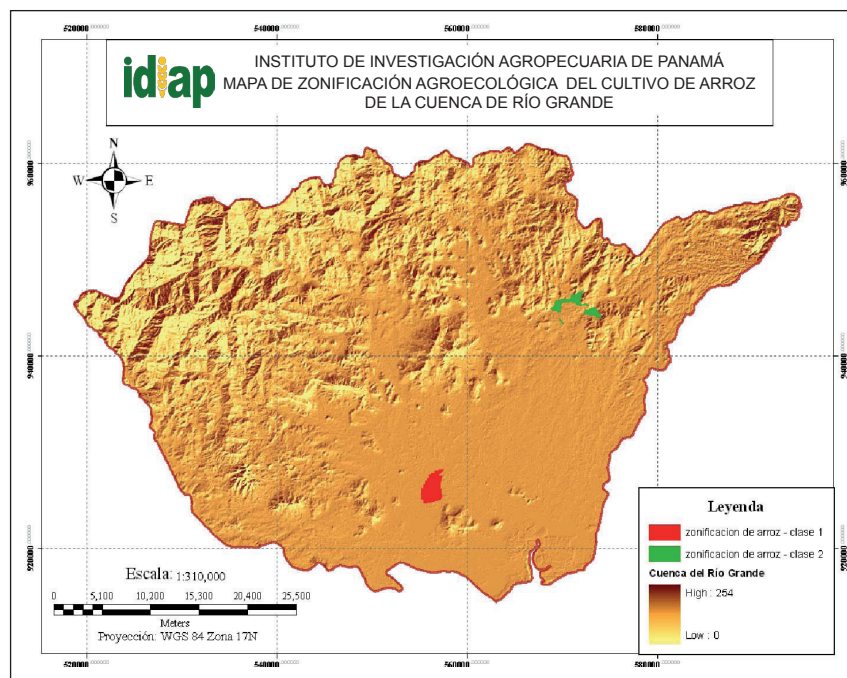


Figura 21. Zonificación agroecológica del cultivo de arroz.

CONCLUSIONES

- La zonificación en la cuenca dio como resultado zonas de poca extensión aptas y viables (584 91 ha), para el establecimiento del cultivo de arroz, de acuerdo a los requerimientos y balance hídrico exigidos por el rubro.
- Con los procedimientos y parámetros se estableció las bases para posteriores estudios a nivel de planeación, administración de recursos y toma de decisiones. Se creó un modelo de zonificación que permite alimentar el sistema, de forma que puede simular situaciones que el cultivo probablemente enfrente, para

la posterior toma de decisiones.

- Los resultados de la zonificación se pueden modificar, a través del modelo, supliendo las necesidades y exigencias del cultivo de arroz.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril F, M; González, CA. 2006. Zonificación por Balance Hídrico de la Cuenca Alta y Media del Río Bogotá, utilizando Sistemas de Información Geográfica. Bogotá, CO. 10 p.
- Almorox, J. 2003. Balance hídrico, método directo (en línea). Metodología de Thornthwaite. Consultado 3 ene. 2010. Disponible en <http://www.eda.etsia.upm.es/climatologia>

- Arévalo, HV; Acuña, J; Yerrén, J. 2007. Balance hídrico superficial de las cuencas de los Ríos Tumbes y Zarumilla. Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos. Ecuador. 12 p.
- Carmona A, JH. 2003. Balance hídrico y clasificación climática para el departamento de caldas - modelo desarrollado en el lenguaje de programación avenue de ArcView. Centro de Investigación y Desarrollo – Facultad de Ingeniería. Manizales, CO. 17 p.
- Durand Dastes, F. 2010. Balance hídrico y descripción de métodos. 2 p.
- ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica S.A). 2010. Datos climáticos de las estaciones meteorológicas de la Cuenca de Río Grande y aledañas. Departamento de Hidrometeorología. Base de datos en formato de Excel. Panamá.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 1969. Sistemas de Información Geográfica (SIG) (en línea). ArcGis, versión 9x. California, Estados Unidos. Consultado 19 feb. 2014. Disponible en <http://www.esri.com/>.
- Holdrige, L. 1947. Determination of world plant formation from simple climatic data. Department of Botany, University of Michigan, Ann Arbor. 367 p.
- IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá). 2006. Zonificación de suelos de Panamá por niveles de nutrientes. Laboratorio de suelo – Divisa. PROVIAGRO. Panamá. 24 p.
- Infoagro. 1980. El cultivo del arroz (en línea). Parte 1. Consultado 23 feb. 2012. Disponible en <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz>
- InnerSoft ISBH v0.1. 2012. Software para el cálculo del balance hídrico (en línea). Versión 0.1. Universidad de Chile. Consultado 5 mar. 2010. Disponible en <http://www.uchile.cl>.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). 1968. Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá (CARTAP). Descripción de códigos de la base de datos de los mapas de suelo. Escala 1: 50,000. 2 p.
- Tinoco, R; Acuña, A. 2009. Manual de recomendaciones técnicas del cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, CR. 78 p.

Thornthwaite, CW. 1948. An approach toward a rational classification of climate. University of North Carolina, United States. 94 p.

Thornthwaite, CW; Matter, JR. 1957. Instructions and tables for computing potencial evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology. 311 p.

USDA (United States Department of Agriculture). 1961. Clasificación agrológica de suelo. Departamento de Agricultura de los EEUU.

AGRADECIMIENTO

Se le agradece a ETESA, S.A., por brindar toda la información climática de las estaciones meteorológicas que influyen en la cuenca de Río Grande, para realizar la base del trabajo. También, al Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), por proporcionar la información de CARTAP, datos necesarios para la elaboración de mapas que sirven de base para el modelo.

UTILIZACIÓN DE LA GALLINAZA COMO BIOFUMIGANTE DE SUELO EN EL CULTIVO DE MELÓN¹

**Luis Alberto Barahona²; Rubén D Samaniego³; José A Guerra⁴;
Gustavo Castillo⁵; Julio Agurto⁵**

RESUMEN

Se realizó la evaluación del uso de la gallinaza como biofumigante de suelo en el cultivo de melón en la estación experimental de El Ejido, Los Santos, Panamá. Los tratamientos fueron solarización, solarización combinada con tres dosis de gallinaza (biofumigación) y el testigo absoluto. Para la biofumigación se incorporó la gallinaza con un arado rotativo, se humedeció a capacidad de campo y se solarizó por 30 días. Las variables fueron rendimiento comercial, presencia de malezas a los 25 días después de la siembra, incidencia de enfermedad causada por *Didimella* sp., temperatura de suelo y propiedades físico-químicas de suelo. Se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar con cuatro réplicas. Se encontró una respuesta altamente significativa en la incidencia de malezas ($P=0,001$), se mostró que los tratamientos con biofumigación presentaron menor incidencia de maleza con respecto al testigo y a la solarización. Para la incidencia de *Didimella* sp., existió diferencias altamente significativas ($P=0,0047$) entre los tratamientos con 2, 4 y 6 kg de gallinaza/m² y solarización, que obtuvo valores promedios de 42,5%, 17,5%, 30% y 20%, respectivamente. La respuesta en el rendimiento de frutos fue altamente significativa entre los tratamientos ($P=0,007$), donde la solarización y biofumigación superaron estadísticamente al testigo. La biofumigación presentó diferencia con la solarización ($P=0,0013$). Los tratamientos con biofumigación presentaron una mayor producción que la solarización por sí sola. En los tratamiento con biofumigación aumentó el contenido de materia orgánica en el suelo y pH de 5,3 a 6,4, en la dosis más alta. Sin embargo, la conductividad eléctrica fue subiendo a niveles peligrosos para algunos cultivos (3,23 dS/m). Por último, no existió diferencia significativa entre los tratamientos con biofumigación para ninguna de las variables estudiadas. En el cultivo de melón, la biofumigación con gallinaza redujo la incidencia de malezas y de *Didimella* sp., e incrementó el rendimiento de frutos comerciales.

PALABRAS CLAVES: Biofumigación, desinfección, solarización, incidencia de malezas, *Didimella* sp.

¹Recepción: 10 de diciembre de 2014. Aceptación: 2 de marzo de 2015.

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

³M.Sc. en Agricultura Ecológica. IDIAP.CIAA. e-mail: rubensama_15@hotmail.com

⁴Ing. Agrónomo Fitotecnista. IDIAP. CIAA. e-mail: guerra.joseangel@gmail.com

⁵Agr. IDIAP. CIAA.

USE OF CHICKEN MANURE IN SOIL BIO-FUMIGATION ON MELON CROP

ABSTRACT

An assay was conducted to evaluate the use of chicken manure in soil bio-fumigation on melon crop at El Ejido Experimental Station, Los Santos, Panama. The treatments evaluated were soil solarization, solarization combined with chicken manure in three different dosages (bio-fumigation) and control. For bio-fumigation the chicken manure was incorporated by disking, field was irrigated to full capacity and solarization was performed by 30 days. The response variables were commercial fruit yield, incidence of weeds (at 25 day after planting), incidence of disease causes by *Didimella* sp., soil temperature and soil physicochemical properties. The experiment was laid out in a Randomized Complete Blocks design replicated four times. The incidence of weeds was significantly lower ($P=0,001$) for treatments with bio-fumigation compared to control and solarization treatments. The incidence of *Didimella* sp. was significantly lower ($P=0,0047$) for bio-fumigation treatments with 2, 4 and 6 kg chicken manure/m², with average values of 42,5%, 17,5%, 30% and 20%; compared to control with average value of 57,5%. Fruit yield was significantly higher ($P=0,007$) in solarization and bio-fumigation treatments than control; and bio-fumigation was significantly higher than to solarization ($P=0,0013$). The total organic material in soil was improved with bio-fumigation and pH value increase from 5,3 to 6,4 with the highest dosage of chicken manure. However, the electric conductivity was increased to danger levels for some crops systems (3,23 dS/m). Finally, no statistical significant difference was observed for the assessed response variables among the three chicken manure evaluated dosages. In melon crop, bio-fumigation with chicken manure significantly reduces the weeds and *Didimella* sp. incidence, and increases the commercial fruit yield.

KEY WORDS: Bio-fumigation, biological disinfection, solarization, incidence of weeds, *Didimella* sp.

INTRODUCCIÓN

La producción del cultivo de melón, es influenciada negativamente por diversos problemas relacionados con organismos vivos presentes en el suelo, entre los cuales están los hongos *Sclerotium rolfii* y *Fusarium* sp., el nematodo *Meloidogyne incognita* y malas hierbas. El uso de agroquímicos como pesticidas y fumigantes aplicados al

suelo, se han hecho indispensable para la producción de cualquier cultivo. Entre las diferentes estrategias probadas para el control de estos problemas, las que han recibido mayor atención son las basadas en la aplicación de productos químicos, debido a que han dado mejores resultados y sus efectos suelen ser más rápidos. Sin embargo, estas estrategias son de un costo elevado, implican una

mayor contaminación al medio ambiente (Zavaleta Mejía *et al.* 2002), y un riesgo para el usuario.

El bromuro de metilo (BM) ha sido el producto químico ampliamente utilizado de manera comercial para la fumigación del suelo, debido a sus propiedades como gas fumigante del suelo con alta eficacia y rápida actuación en el control de enfermedades de origen edáfico, mostrando un amplio espectro de actividad frente a los patógenos. Sin embargo, de 50% a 95% del BM aplicado pasa en forma de emisiones gaseosas a la estratósfera, donde se liberan átomos de bromo que reaccionan con el ozono y otras moléculas estables que contienen cloro, dando lugar a una reacción en cadena que destruye la capa de ozono, incrementando la emisión de rayos ultravioleta (Thomas 1997, Müller *et al.* 1999). Además, una de las principales desventajas de este producto radica en su alta toxicidad, reduciendo la biodiversidad del suelo y provocando problemas de fitotoxicidad y contaminación. El Protocolo de Montreal establece la retirada del BM en la agricultura, obligando a los países demandantes de este producto a desarrollar numerosas investigaciones durante la última década, tendientes a estudiar y evaluar alternativas para la desinfección del suelo (Camacho y Tello 2006).

Con relación al BM se eligió la función de la materia orgánica a través de los procesos de degradación que producen gases capaces de controlar los patógenos de los vegetales. Este proceso ha sido definido como biofumigación y ha sido incluido como una alternativa no química al BM por el "Methyl Bromide Technical Committee" (MBTOC 1997), perteneciente al Protocolo de Montreal, ampliando a todas las materias orgánicas y residuos agroindustriales el anterior concepto de biofumigación que se aplicaba sólo a la emisión de isotiocianatos durante la descomposición, su efecto fungicida e insecticida (Bello *et al.* 1998).

La biofumigación para el control de patógenos de suelo se basa en la acción de compuestos volátiles producidos por la descomposición de la materia orgánica, fundamentalmente glucosinolatos y los isotiocianatos derivados de su hidrólisis (Kirkegaard y Sarwar 1999, Harding citado por Porras *et al.* 2007).

La acción de los microorganismos sobre la materia orgánica durante su descomposición produce gran cantidad de productos químicos que pueden actuar en el control de los patógenos del suelo (El amonio, nitratos, sulfídrico y un gran número de sustancias volátiles y ácidos orgánicos); por ello, es difícil determinar con exactitud la sustancia responsable

de la muerte de los nematodos, hongos y afectar la germinación de las malezas (Bello *et al.* 2001).

La biofumigación se diferencia del uso de las enmiendas orgánicas en las características de los materiales y en el método de aplicación. Esta técnica puede ser de gran interés en países en vías de desarrollo, debido al bajo costo y facilidad de aplicación. Bello *et al.* (2001) definen la biofumigación como la acción de las sustancias volátiles producidas en la biodegradación de la materia orgánica en el control de los patógenos de las plantas, incrementándose su eficacia cuando se incluyen en un sistema integrado de producción de cultivos. Ellos presentan resultados de su aplicación en cultivos de cucurbitáceas, pimientos, zanahoria, tomate, fresón, plátano, cítricos, frutales, viñedos y flor cortada, en diferentes ambientes, obteniendo una eficacia similar a los pesticidas convencionales, al mismo tiempo que incrementan los nematodos saprófagos, mejoran las características del suelo y la nutrición de la planta, señalando la necesidad de diseñar una metodología para cada situación.

Se ha encontrado que por lo general, cualquier materia orgánica puede actuar como biofumigante, dependiendo la eficacia, principalmente, de la dosis y del método de aplicación (Bello *et al.* 2001).

El uso de la gallinaza como biofumigación, por Niquén y Venialgo (2001) demostraron que la gallinaza fresca y los residuos de cosecha, son efectivos para el control de malezas y hongos de suelo. Trabajos hechos en España en busca de alternativas a la desinfección del suelo con Bromuro de Metilo, encontraron que el uso de gallinaza a razón de 5 kg/m², tienen un efecto que se asemeja, en cuanto al control de nematodos, hongos de suelo y malezas (López Aranda *et al.* 2001). Trabajos realizados por Lacassa *et al.* (2004), demuestran que la aplicación de materia orgánica (gallinaza), puede ir disminuyendo en cuanto a la cantidad que se requiere de 7 kg/m² a 2 kg/m² en los años subsiguientes, usándola como biofumigante del suelo.

Es coherente pensar que la cantidad de materia orgánica aplicada al suelo para su uso como biofumigante, puede ser diferente, en cada suelo, tomando como referencia la cantidad de materia orgánica que exista en el mismo. Es necesario realizar ensayos con diferentes dosis de gallinaza, para determinar su efecto en la desinfección de los suelos en nuestras condiciones edafoclimáticas.

La biofumigación es una técnica de un costo relativamente bajo y de fácil aplicación, lo que puede ser de gran interés para un cultivo de bajo retorno económico,

particularmente en producciones hortícolas de pequeños agricultores. Además, puede resultar una técnica interesante para aquellos productores que se dedican a la agricultura orgánica.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el uso de la gallinaza como biofumigante del suelo en el cultivo de melón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló un estudio en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), específicamente en la estación experimental de El Ejido, corregimiento de Santa Ana, provincia de Los Santos; localizada entre los 7°54'42" de latitud Norte y 80°22'09" longitud Oeste, a 25 msnm.

Se utilizó un diseño de Bloques Completos Aleatorizados (BCA) con cinco tratamientos (dosis de gallinaza) y cuatro réplicas. El ensayo constó de un total de 540 m², en donde cada unidad experimental fue de 27 m² (36 plantas), la cual se constituyó por tres hileras de 5 m de largo, 12 plantas/hilera separadas a 0,40 m y separadas a 1,80 m entre ellas; la parcela efectiva fue de 10 plantas de la hilera central, dejando una a cada lado como efecto de borde.

El material genético que se utilizó fue la variedad de melón tipo cantaloupe Oro duro, la cual es utilizada por los productores del área, tanto para la exportación como para el mercado nacional. Los tratamientos evaluados se describen en el Cuadro 1.

CUADRO 1. TRATAMIENTOS EVALUADOS EN LA BIOFUMIGACIÓN.

Tratamiento	Descripción
1	Plástico transparente + 0 kg de gallinaza/m ²
2	Plástico transparente + 2 kg de gallinaza/m ²
3	Plástico transparente + 4 kg de gallinaza/m ²
4	Plástico transparente + 6 kg de gallinaza/m ²
5	Testigo absoluto

Para la aplicación de los tratamientos se realizó una preparación de suelo con arado rotativo, luego se aplicó la gallinaza bien distribuida, se incorporó con un motocultor, se aplicó un riego abundante a capacidad de campo y se procedió a cubrir con un plástico de

polietileno transparente, exceptuando el testigo absoluto (Figura 1), por un período de 30 días (6 enero 2011 - 5 febrero 2011). Luego de tres días de haber levantado el plástico, se procedió a sembrar el cultivo de melón.



Figura 1. Tratamientos de biofumigación aplicados en campo.

Los semilleros se hicieron en bandejas dentro de una casa de vegetación y se realizó el trasplante después de 13 días. El manejo de insectos y fertilización se realizó según la tecnología generada por el IDIAP para el cultivo de cucurbitáceas (González *et al.* 2010). Se utilizó riego por goteo y fertirriego de acuerdo a las necesidades del cultivo por etapa fenológica. No se presentaron enfermedades foliares.

Para observar el efecto de los tratamientos se evitó efectuar el control de malezas en los primeros 30 días del cultivo, aunque luego se realizó un control manual, y se omitieron las aplicaciones químicas para el control de hongos de suelo.

Se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- Incidencia de malezas: Se realizó un muestreo 30 días después de aplicados los tratamientos y se determinó la incidencia/m² un marco de 0,25 m x 0,25 m.
- Incidencia de enfermedades: Se evaluó el porcentaje de incidencia en campo de enfermedades causadas por hongos de suelo en el cultivo del melón.
- Rendimiento: Se pesaron los melones para determinar el rendimiento en t.ha⁻¹.

- Análisis físico-químico de suelo: Se analizó el suelo, antes y después de aplicar los tratamientos, se determinó la concentración de materia orgánica (MO), Capacidad de intercambio catiónico (CIC), la densidad aparente (DA), conductividad eléctrica (CE) y el pH.
- Temperatura de suelo: Se muestreó diariamente la temperatura del suelo a 15 cm de profundidad, durante los 30 días después de la aplicación de los tratamientos.

Análisis estadísticos:

Los datos de las variables fueron sometidos al análisis de varianza, y las medias fueron comparadas mediante los siguientes contrastes ortogonales:

testigo vs biofumigación y solarización; solarización vs biofumigación; biofumigación baja vs biofumigación media y alta; biofumigación alta vs biofumigación media.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre las características físico-química del suelo antes de la aplicación de los tratamientos, se presentó un pH ácido; los valores de fósforo (P), aluminio (Al), hierro (Fe) y zinc (Zn) fueron bajos; los contenidos de materia orgánica (MO), manganeso (Mn) y cobre (Cu) medios; las cantidades de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) se consideraron altas, la textura franco-arcillosa (Cuadro 2), mientras que las características químicas de la gallinaza utilizada para la biofumigación aparecen en el Cuadro 3.

CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO UTILIZADO EN EL ENSAYO DE BIOFUMIGACIÓN.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	MO	Mn	Fe	Zn	Cu	Textura
	mg/l			cmol/kg		%	mg/l				
5,3	13	152	16	7,3	0,1	2,28	46,4	20	0,4	3,9	FARC

Fuente: Laboratorio de suelos. IDIAP-Divisa 2011.

CUADRO 3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA GALLINAZA UTILIZADA EN EL ENSAYO DE BIOFUMIGACIÓN.

pH	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Al	MO	Mn	Fe	Zn	Cu
	%						ug/ml				
8,3	2,65	2,4	2,25	16	7,3	0,1	2,28	46,4	20	0,4	3,9

Fuente: Laboratorio de suelos. IDIAP-Divisa 2011.

Los valores medios de las variables evaluadas, que se presentaron en el ensayo de biofumigación en los diferentes tratamientos se observó que la media general de rendimiento para el

experimento estuvo en 49,9 t.ha⁻¹, con una incidencia de maleza de 232 maleza/m² y un 33% de incidencia de *Didimella* sp. o conocida comúnmente como gomosis (Cuadro 4).

CUADRO 4. VALORES PROMEDIO DE LAS CARACTERISTICAS EVALUADAS.

Tratamiento	Variables		
	Maleza/m ²	<i>Didimella</i> sp. (%)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
Biofumigación 6 kg/m ²	28,7	20,0	55,43
Biofumigación 4 kg/m ²	43,7	30,0	53,15
Biofumigación 2 kg/m ²	48,5	17,5	53,97
Solarización	450,0	42,5	45,20
Testigo	591,5	57,5	41,87
Promedio	232,5	33,5	49,90

En el análisis de varianza de las variables maleza/m², enfermedades (*Didimella* sp.) y rendimiento (Cuadro 5),

se normalizaron los datos de incidencia de maleza y enfermedades, transformados mediante logaritmo normal.

CUADRO 5. CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA ESTUDIADAS.

F de V	gl	CM		
		Maleza/m ²	<i>Didimella</i> sp. (%)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
Bloq	3	0,345 ^{ns}	71,6 ^{ns}	0,464*
Trat	4	9,603**	1107,5**	1,427**
Error	12	0,605	167,5	13708
CV (%)		17,17	38,63	7,46

ns = No existe diferencia significativa; * = Diferencia significativa (P<0,05); ** = Diferencia altamente significativa (P<0,01).

Incidencia de malezas:

El análisis de varianza (Cuadro 5), muestra que existió una diferencia estadística altamente significativa en la incidencia de malezas (P=0,001). En la prueba de contrastes ortogonales (Cuadro 6), se observa que la incidencia de

maleza fue inferior en los tratamientos con biofumigación y solarización (143 maleza/m²) con respecto al testigo (591 maleza/m²). Por otro lado, los tratamientos con biofumigación (40 maleza/m²), presentaron una menor incidencia de maleza que la solarización por sí sola (450 maleza/m²).

No existe diferencia significativa entre las tres dosis de gallinaza evaluadas en la biofumigación con respecto a la incidencia de maleza/m². Estos resultados concuerdan con los trabajos hechos por

Niquén y Venialgo (2001) y por Pereyra *et al.* (2008), los cuales encontraron que el uso de gallinaza en la biofumigación reducía malas hierbas.

CUADRO 6. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS POR CONTRASTES ORTOGONALES.

Comparación	Maleza/m ²	<i>Didimella</i> sp. (%)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
	VALORES PROMEDIO		
Testigo vs biofumigación y solarización	591 vs 143**	57 vs 27**	42 vs 52**
Solarización vs biofumigación	450 vs 40**	42 vs 22**	45 vs 54**
Biofumigación baja vs biofumigación media y alta	48 vs 36 ^{ns}	17,5 vs 25 ^{ns}	54 vs 54 ^{ns}
Biofumigación alta vs biofumigación media	29 vs 44 ^{ns}	20 vs 30 ^{ns}	55 vs 53 ^{ns}

ns = No existe diferencia significativa; * = Diferencia significativa (P<0,05); ** = Diferencia altamente significativa (P<0,01).

Incidencia de enfermedades:

Se diagnosticó la presencia de gomosis (*Didimella* sp.), de acuerdo a los resultados del laboratorio de fitopatología de IDIAP en Divisa (Figura 2). En el Cuadro 4, se observan los porcentajes medios de incidencia en los diferentes tratamientos. En el análisis de varianza (Cuadro 5), se observa que existe diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos evaluados.

El testigo presentó un porcentaje de incidencia de *Didimella* sp. de 57%, el cual fue estadísticamente superior a los tratamientos de solarización y biofumigación (Cuadro 6). La solarización por si sola presentó valores de 42%

de incidencia de *Didimella* sp. siendo estadísticamente superior a los tratamientos con biofumigación que presentaron una baja incidencia con un 22%.

Al comparar las diferentes dosis de gallinaza utilizadas para la biofumigación, se encontró que no hay diferencia significativa entre ellas en cuanto a la incidencia de *Didimella* sp., lo que concuerdan con Bello *et al.* (2001), Zavaleta Mejía *et al.* (2002) y Pereyra *et al.* (2008), donde la biofumigación con gallinaza tiene control sobre hongos de suelo que causan enfermedades en hortalizas.



Figura 2. Síntomas de gomosis causado por *Didimella* sp.

Rendimiento:

El análisis de varianza (Cuadro 5), muestra que existe diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos para el rendimiento de frutos de melón. La comparación de medias por contrastes ortogonales (Cuadro 6), muestra que el testigo obtuvo un rendimiento bajo con 42 t.ha^{-1} , siendo estadísticamente inferior al obtenido con los tratamientos de solarización y biofumigación que presentaron un rendimiento medio de 52 t.ha^{-1} de frutos de melón.

Con los tratamientos de biofumigación, se obtuvo un rendimiento medio de 54 t.ha^{-1} , lo cual fue estadísticamente superior a 45 t.ha^{-1} que se produjeron con el tratamiento de solarización. Comparando las diferentes dosis de gallinaza utilizadas para la biofumigación, no se encontró diferencias estadísticas entre ellas.

La mayor producción de frutos en el cultivo del melón entre los tratamientos que se les aplicó gallinaza para la biofumigación, se debió en parte, a la baja incidencia de malezas, una menor incidencia de *Didimella* sp., y al aporte de nutrientes de la gallinaza al suelo.

Análisis químico de suelo:

Entre las características químicas del suelo antes y después de la aplicación de los tratamientos (Cuadro 7), se observa que el pH en general va mejorando con el aumento de la dosis de gallinaza, es de suponer que mientras más estabilizada está la gallinaza aplicada, contribuye a mejorar ciertas propiedades del suelo.

Una vez que la materia orgánica está mineralizada, gran parte se convierte en humus y este material rico en carbono (C), contribuye a mejorar la estructura del suelo, el pH, la porosidad, estabilidad de agregados y a largo plazo, mejora la densidad aparente y las propiedades químicas.

CUADRO 7. CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL SUELO ANTES Y DESPUÉS DE LA BIOFUMIGACIÓN.

Tratamientos	MO (%)	CIC (meq/100g)	DA (g/cm ³)	CE (dS/m)	pH
Antes	2,28	40,0	1,32	0,28	5,3
Solarización	2,05	33,5	1,39	0,81	5,6
Biofumigación 2 kg/m ²	2,73	33,2	1,37	2,38	5,7
Biofumigación 4 kg/m ²	3,03	38,6	1,34	3,23	5,8
Biofumigación 6 kg/m ²	3,24	36,8	1,36	1,87	6,4
Testigo	2,44	36,7	1,35	1,48	5,4

El efecto sobre la materia orgánica del suelo es claro; a medida que aumenta la dosis de gallinaza, mejora el nivel de materia orgánica en el suelo. Si lo comparamos con el suelo antes de la aplicación, con la solarización y con el testigo, se observan niveles muy superiores de materia orgánica.

Se observa un aumento en el nivel de conductividad eléctrica, a medida que se aumenta la dosis de gallinaza. El valor va subiendo hasta alcanzar niveles considerados peligrosos (3,23 dS/m) donde solo cultivos tolerantes podrán

resistir, tal vez por el alto contenido de K de la gallinaza, sin embargo, no se ha notado igual efecto sobre la CIC, esta última se mantiene similar en todos los tratamientos.

Temperatura de suelo:

La fluctuación de la temperatura durante el período de la biofumigación en los diferentes tratamientos (Figura 3), se observa que a partir del cuarto día hay un incremento en la temperatura del suelo en los tratamientos que se utilizó plástico para la solarización y la biofumigación manteniéndose similares, lo cual nos indica que el efecto en el control de maleza

y enfermedades de tipo edáfica (*Didimella* sp.), no se debió solo al incremento de la temperatura de suelo, sino que hay un efecto en los gases que libera la materia orgánica (gallinaza), en el proceso de la biofumigación.

La temperatura promedio de los tratamientos con plástico estuvo alrededor de los 43° C, mientras que el

testigo sin plástico estuvo por los 33° C. Las temperaturas máximas alcanzadas estuvieron en 52° C para los tratamientos con plástico y 37° C para el testigo absoluto (Figura 3). Se destaca que el incremento de la temperatura de los tratamientos con plástico vs el testigo estuvo en 10° C, se podría aumentar la temperatura aplicando una mayor cantidad de agua antes de colocar los plásticos.

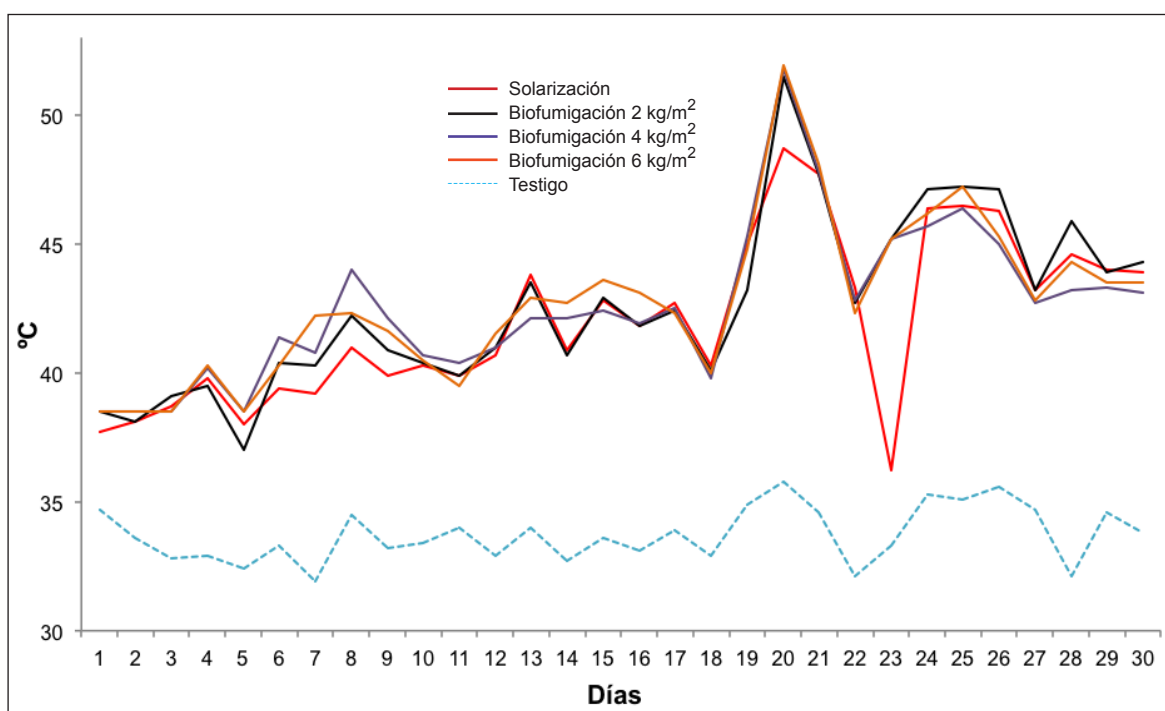


Figura 3. Fluctuación de la temperatura de suelo entre los diferentes tratamientos durante el periodo de biofumigación.

CONCLUSIONES

- La gallinaza, no tiene efecto en el aumento de la temperatura durante la biofumigación.
- Las temperaturas promedio de 53° C, registradas en la solarización, no influyen significativamente en la incidencia de maleza y *Didimella* sp.

- La biofumigación con gallinaza redujo la incidencia de maleza y *Didimella* sp. independientemente del aumento de la temperatura, mientras que el incremento en la dosis de gallinaza no causó efecto en la incidencia de maleza/m² y la incidencia de *Didimella* sp.
- La biofumigación con gallinaza aumenta el contenido de la materia orgánica en el suelo y alta dosis de gallinaza (6 t.ha⁻¹) aumenta la conductividad eléctrica a niveles que pueden afectar negativamente algunos cultivos.
- La biofumigación con gallinaza es una alternativa orgánica para la desinfección de suelo en el cultivo de melón.

BIBLIOGRAFÍA

- Bello, A; López, JA; Sanz, R; Escuer, M; Herrero, J. 1998. Biofumigation and organic amendements. *In* Methyl Bromide Alternatives for North African and Southern European Countries 26-29 May 1998, Rome. UNEP. p. 113-141.
- Bello, A; López Pérez, JA; Díaz Viruliche, L. 2001. Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo (en línea). Consultado 26 nov. 2009. Disponible en <http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/intereshtml/biofumigacion/solarizacion.htm>
- Camacho, F; Tello, J. 2006. Control de patógenos teluricos en cultivos hortícolas intensivos. Universidad de Almeria, España. Agrotécnicas S.L. 160 p.
- González, R; Guerra, J; Osorio, N; Castillo, G. 2010. Recomendaciones para el cultivo de melón Honey dew, Canario y Galia. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Plegable. 2 p.
- Kirkegaard, JA; Sarwar, M. 1999. Glucosinolate profiles of Australian canola (*Brassica napus annua* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars: implications for biofumigation. *Aus. J. Agric. Res.* 50:315-324.
- López Aranda, J; Romero, F; Montes, F; Medina, J; Miranda, L; De Los Santos, B; Vega, J; Páez, J; Domínguez, F. 2001. Problema de la prohibición del bromuro de metilo como desinfectante de suelos agrícolas. Resultante sobre algunas alternativas para el cultivo de fresa. *Terralia* no. 19:33-43.

- Lacassa, A; Guerrero, M; Oncina, M. 2004. Desinfección de suelos en invernaderos de pimiento. *In* II jornada sobre alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento de invernadero. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. 335 p.
- MBTOC (Methyl Bromide Technical Options Committee). 1997. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee (MBTOC). Supplement to the 1994 assessment.
- Müller, M; Reinhold, P; Lange, M; Zeise, M; Jurgens, U; Hallier, E. 1999. Photometric determination of human serum bromide levels a convenient biomonitoring for methyl bromide exposure. *In* Proceedings of the International Symposium on Heath Aspects of Environmental and Occupational Exposure, 28 September-1 October 1998 (Leng, G; Hadnagy, W. eds.). Toxicology Letters 107(1-3):155-159.
- Niquén Bardales, E; Venialgo Chamorro, C. 2001. Estudio comparativo inicial de Biofumigación - Solarización en otoño, para el control de nematodos (en línea). Consultado 26 nov. 2009. Disponible en <http://www.1.unne.edu.ar/cyt/agrarias/a-019.pdf>
- Pereyra, SM; Ávila, A de L; Orecchia, E. 2008. La biofumigación y el Metam sodio como alternativas al uso de bromuro de metilo. Efecto sobre el control de malezas y las características químicas del suelo. *AGRISCENTIA* 25(2):75-79.
- Porras, M; Romero, E; Zurera, C; Barrau, C; Romero, F. 2007. La biofumigación y la solarización como alternativas no químicas en el cultivo de la fresa. *In* XI Congreso SECH. Albacete, ES. 4 p.
- Thomas, W. 1997. Impacto ambiental de bromuro de metilo. *In* Alternativas al Bromuro de Metilo en Agricultura. Junta Andalucía, Sevilla, ES. p. 13-18.
- Zavaleta Mejía, E; Cid del Prado Vera, I; Franco Navarro, F; Sánchez García, P. 2002. Aplicación de enmiendas orgánicas para el manejo de *Nacobbus aberrans* en tomate. *Nematrópica* 32:113-124.

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento al M.Sc. Vidal A. Aguilera del Centro de Investigación Agropecuaria Central en Divisa, por su aporte en el diagnóstico fitosanitario. Al M.Sc. Román Gordón del Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero “Ingeniero Germán De León” en Los Santos y al M.Sc. Rodrigo Morales del Centro de Investigación Agropecuaria Occidental en Chiriquí, por sus valiosos aportes en el análisis estadístico de los datos.

EFFECTOS FIJOS SOBRE LA PRODUCCIÓN POR LACTANCIA EN BOVINOS MESTIZOS PARDO SUIZO¹

*Axel Villalobos Cortés²; Benigno Guerrero³;
Jessica Hassán⁴; Domiciano Herrera⁵*

RESUMEN

Se evaluaron datos de vacas Pardo suizo (S) x Cebú (C), para determinar el efecto de algunos factores fijos sobre la producción de leche ajustada a los 305 días (PAJ, n=147), en un sistema doble propósito. El estudio se llevó a cabo en la unidad productiva de leche de la finca experimental el Ejido, desde 1996 a 2003. Los factores fijos estudiados fueron: grupo racial (GR), nivel de intensificación (NI), número de parto (NP), época de parto (EP), y días en lactancia (DL) como covariable. Los grupos raciales estudiados fueron $\frac{1}{2}$ SxC (n=80) y $\frac{3}{4}$ SxC, (n=67). La media general y desviación estándar para PAJ fue de 1918,55 $\pm$ 555,71 kg. Se encontraron efectos diferentes para todas las fuentes de variación excepto EP. El grupo $\frac{3}{4}$ SxC fue el que mejor producción mostró con 10% de respuesta sobre el $\frac{1}{2}$ SxC. El NI 2 mostró una mejor producción sobre el NI 1 con un incremento de 17% y los mejores valores de producción de leche se encontraron entre el quinto y sexto parto con 2471,67 $\pm$ 154,24 kg y 2492,72 $\pm$ 168,80 kg, respectivamente. Se concluye en que el GR, NI y NP influyen sobre la producción de leche y que es importante establecer planes de mejora genética de acuerdo a los tipos de fincas según nivel de intensificación. Por otra parte, se recomienda incrementar el número de fincas en próximas evaluaciones.

PALABRAS CLAVES: Genotipo, sistema de intensificación, doble propósito.

¹Recepción: 28 de septiembre de 2013. Aceptación: 12 de octubre de 2015. Trabajo realizado en el proyecto: Producción y evaluación de sementales F1 y $\frac{3}{4}$ *Bos taurus* x *Bos indicus* para estabilizar y mejorar los hatos en los sistemas de producción de carne y leche.

²Ph.D. en Conservación y mejora animal. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC) Ing. Carlos Vernon Wynter. e-mail: villalobos.axel@gmail.com

³M.Sc. en Gestión Agroempresarial y Ambiental. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA) Ing. Germán De León.

⁴M.Sc. en Agroforestería Tropical. IDIAP. CIAA.

⁵M.Sc. en Nutrición Animal. IDIAP. CIAA.

FIXED EFFECTS OF PRODUCTIVE PERFORMANCE IN BROWN SWISS WITH ZEBU CROSSBREEDING

ABSTRACT

Data of Brown swiss (S) x Zebu (C) cows were evaluated to determine the effect of some fixed factors on the milk production adjusted to the 305 days (PAJ, n=147) in double purpose system. The study was carried out in the productive milk unit of the experimental facility El Ejido, from 1996 to 2003. The studied fixed factors were racial group (GR), intensification level (NI), calving number (NP), calving season (EP), and days in lactation (DL) as covariate. The racial group studied was $\frac{1}{2}$ SxC (n=80) and $\frac{3}{4}$ SxC, (n=67). The overall mean and standard deviation of PAJ was $1918,55 \pm 555,71$ kg. All factors had significant effects on the productive performance ($P>0,05$) except the EP. The racial groups between $\frac{1}{2}$ and $\frac{3}{4}$ SxC, showed a good performance in the productive system. The genotype $\frac{3}{4}$ SxC was the best with 10% of response over $\frac{1}{2}$ SxC. The NI 2 showed best result over NI 1 with 17% of increment. The best milk production were given in the fifth and sixth lactation with $2471,67 \pm 154,24$ and $2492,72 \pm 168,80$ kg, each one. We conclude that the GR, NI and NP had had influence over the milk production and it is very important to make a plan of genetic improvement over the basis of intensification level of the productive system. On the other hand it is recommended to increase the number of samples in subsequent studies.

KEY WORDS: Genotype, intensification system, dual purpose.

INTRODUCCIÓN

La ganadería de doble propósito es un sistema de producción con bovinos criollos o cruzados con una variedad de razas, extensivo o semi-intensivo, se caracteriza por la mínima aplicación de tecnología, con una alimentación basada en el pastoreo sobre gramíneas nativas y/o mejoradas en malas condiciones y con poca cobertura de terreno, con poca o ninguna suplementación nutricional, sin servicio de control de producción, ni programas de mejoramiento genético, carece de grupos organizados, el fin es

producir becerros para la venta con ordeño estacional y sin patrón constante en el amamantamiento, para que el ganadero obtenga leche vendible (Bodisco *et al.* 1968, ALPA 1988, Álvarez 1986, Mata *et al.* 1990, Osorio 1998, Ruíz y Moro 1998).

El Arco Seco de Azuero presenta un clima tropical subhúmedo en condiciones severas para la producción de leche bajo la modalidad de doble propósito, donde el productor presenta una baja adopción de tecnología, lo que impide incrementar la productividad por hectárea. El genotipo

predominante en estas zonas es el <50% de sangre *Bos taurus* lo que representa un inconveniente para aquellos productores que deseen dar un salto tecnológico a un sistema mejorado (Medina *et al.* 2002). Trabajos realizados por diversos autores (Vaccaro *et al.* 1991, Osorio 1998, Tewolde 1998) han logrado establecer el nivel de encaste ideal que debe poseer un animal en el trópico, el cual se encuentra de 50% a 75% de genes europeos y de 25% a 50% de genes cebuínos. La posibilidad de elevar los niveles de intensificación plantean la posibilidad de incrementar el encaste de los mismos respetando siempre evitar sobrepasar los niveles de encastes adecuados.

El objetivo de este trabajo fue evaluar algunos efectos fijos sobre la producción de leche ajustada a 305 días, de genotipos Pardo suizo (S) con Cebú (C), en un sistema doble propósito en la región de Azuero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en la unidad productiva de leche de la finca experimental El Ejido, Los Santos. Localizada a una altura de 26 msnm con temperatura media anual de 27.5° C y precipitación media anual de 1122 mm. La finca tiene un total de 100 ha y cuenta con recursos forrajeros como *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria*

decumbens, *Cynodon nlemfluensis* y *Digitaria swazilandensis*, manejados bajo pastoreo rotacional y suplementos, utilizando concentrados y mezclas líquidas basadas en melaza, urea, maíz, soya y una premezcla de sales minerales. Durante la época seca, de enero a mayo, los animales se mantienen bajo estabulación y se alimentan con ensilaje de maíz y un suplemento basado en mezclas líquidas. La unidad posee una galera de ordeño mecanizado en tándem con capacidad para cuatro animales y dos ordeños simultáneos. Se práctica el doble ordeño sin ternero y se cuenta con tanque de enfriamiento, sala de espera, depósito de medicamentos y alimentos.

Mensualmente se realiza la prueba de California Mastitis Test (CMT) con un examen bacteriológico en las vacas positivas. El manejo sanitario se realiza a través de la prevención y control de enfermedades parasitarias cada seis meses o cuando se eleva a >20 hpg, previo examen coprológico e inmunización (bacterina triple cada seis meses).

En cuanto al manejo reproductivo se da seguimiento a una calendarización de exámenes ginecológicos diseñados en el programa VAMPP®.

Los grupos raciales estudiados fueron: genotipo 1: ½ S x C (n=80);

genotipo 2: $\frac{3}{4}$ S x C (n=67); se le dio seguimiento a la información previamente registrada desde 1996 incluida en el VAMPP hasta el 2003, que permitió evaluar la producción ajustada a los 305 días (PAJ, n=147). Los niveles de intensificación (NI) evaluados se han considerado desde el año 1996 al 2000 (NI=1), se operaba el sistema mediante un solo ordeño con ternero al pie de la vaca, los terneros se llevaron hasta el destete de 8 a 10 meses y se manejó una rotación de potreros con cuadras de 2500 m².

Desde el 2000 se intensificó el sistema (NI=2) mediante la inclusión de una máquina de ordeño aumentando los mismos a dos diarios y eliminando el apoyo del ternero, además se acortó a cuatro meses el período para el destete y se añadió una suplementación adicional a la dieta. Se estableció la técnica de cercas eléctricas para optimizar el uso de los pastos.

Para este análisis se utilizó el método de mínimo cuadrado. Se calculó la media para la producción de leche ajustada a 305 días (PAJ), como efecto del grupo racial (GR), nivel de intensificación (NI), número de parto (NP), época de parto (EP) y largo de lactancia (DL) se tomó como covariable, mediante el siguiente modelo general de efectos fijos:

$$Y_{ijklm} = \mu + GR_i + NI_j + NP_k + EP_l + \beta(X_i - X) DL_m + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} = Variable dependiente (PAJ);

μ = Media general;

GR_i = Efecto fijo del grupo racial ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$);

NI_j = Efecto fijo nivel de intensificación (1,2);

NP_k = Efecto fijo del número de parto (seca y lluviosa);

EP_l = Efecto fijo de época de parto (1,2);

$\beta(X_i - X) DL_m$ = Covariable largo de lactancia;

ε_{ijklm} = Error aleatorio asociado a las observaciones.

Se realizaron previamente análisis de las interacciones pero se eliminaron del modelo final al resultar no significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza para la producción de leche se mostró diferencias significativas ($P < 0,0001$), con una media general y desviación estándar de $1918,55 \pm 555,71$ kg. Los valores de PAJ que se encontraron son inferiores a los reportados por Villalobos *et al.* (2003) en Platón Sánchez, México, quien reportó producciones de 2876,9 kg; de igual modo Aluja *et al.* (1998) trabajaron con genotipos F_1 y $\frac{3}{4}$ de HxC encontrando producciones de leche entre 2415,9 kg y 2435,0 kg en 306 y 318 días de lactancia, respectivamente; McDowell (1985), en Cuba, reportó producciones de 2108

kg; Ruíz y Moro (1998) en el INIFAP de México, utilizando animales cruzados HxC y SxC reportó producciones de 2185 kg de leche por lactancia. Por otra parte, se observaron producciones menores como las encontradas por Rivera (1998) con el mismo tipo de ganado, en el Centro La Noria en Tamuín, San Luís Potosí 1642 kg (n=265), así como en Tantankín,

Yucatán 1508 kg. Estas diferencias se debieron a la gran variedad de encastes de los animales evaluados, además de los diferentes tipos de alimentación en los diversos sistemas productivos. En el Cuadro, se observa las diferentes fuentes de variación estudiadas con sus respectivos niveles de significancia.

CUADRO. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE AJUSTADA A LOS 305 DÍAS.

F de V	gl	CM	F	Pr>F
GR	1	1069576,73	8,22	**
NI	2	1422638,01	10,93	**
NP	6	963893,99	7,41	**
ÉPOCA	1	2,95	0,00	ns
R2	0,61			
CV	18,80			

** = Altamente significativo; ns = No significativo; GR = grupo racial; NI = nivel de intensificación; NP = número de parto; ÉPOCA = época de parto.

Se observó diferencia significativa ($P=0,0048$) al comparar los dos grupos raciales evaluados siendo el genotipo $\frac{3}{4}$ SxC el que mejor comportamiento mostró con una media y error estándar de

$2398,95 \pm 130,27$ kg, respectivamente, y un incremento del 10% sobre el genotipo $\frac{1}{2}$ SxC. La Figura 1 muestra el resultado de las comparaciones de medias de mínimo cuadrado entre ambos genotipos.

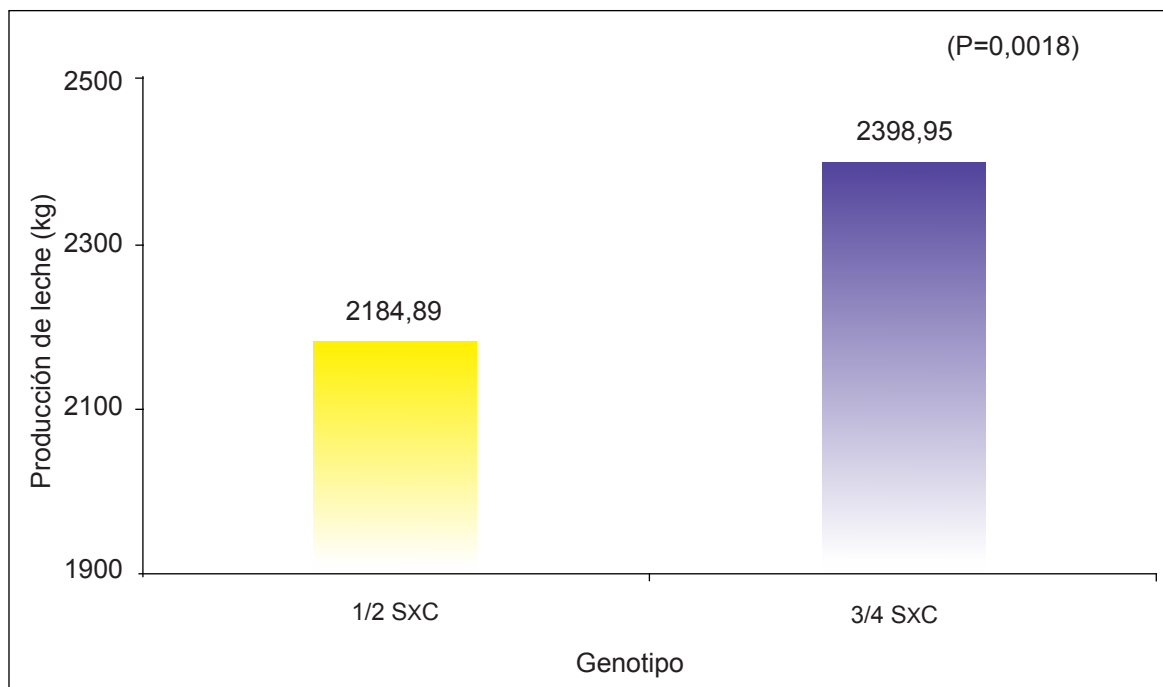


Figura 1. Producción de leche ajustada a 305 días por genotipo.

Los datos concuerdan con lo reportado por Aluja *et al.* 1998 y Villalobos *et al.* 2003 en México, quienes al comparar la producción de cruces $\frac{1}{2}$ SxC y $\frac{3}{4}$ SxC, observaron que los animales de alto encaste europeo, presentaron mejores producciones al encontrarse en sistemas intensificados en cuanto a la alimentación y manejo, ya que se logró expresar con mayor fuerza los genes de esta característica.

Por otra parte, se reportó que el incremento del encaste por encima de los $\frac{3}{4}$ Cebú x Europeo no logra incrementar la eficiencia en la producción sin una proporcional intensificación de los sistemas de producción y por consiguiente,

se incrementa el costo operativo de la finca (Teodoro y Madalena 2005).

Al evaluar los dos niveles tecnológicos aplicados en este sistema de producción, se observó que el análisis mostró diferencias significativas ($P < 0,0001$), siendo el nivel 2 el que mejor comportamiento mostró con $2159,83 \pm 49,26$ kg y un incremento en la producción de 17% sobre el nivel 1. Resultados similares encontraron Guerra *et al.* (1998) al estudiar encastes HxC, observando que los animales con mayor sangre europea respondían mejor al intensificar el sistema de producción (Figura 2).

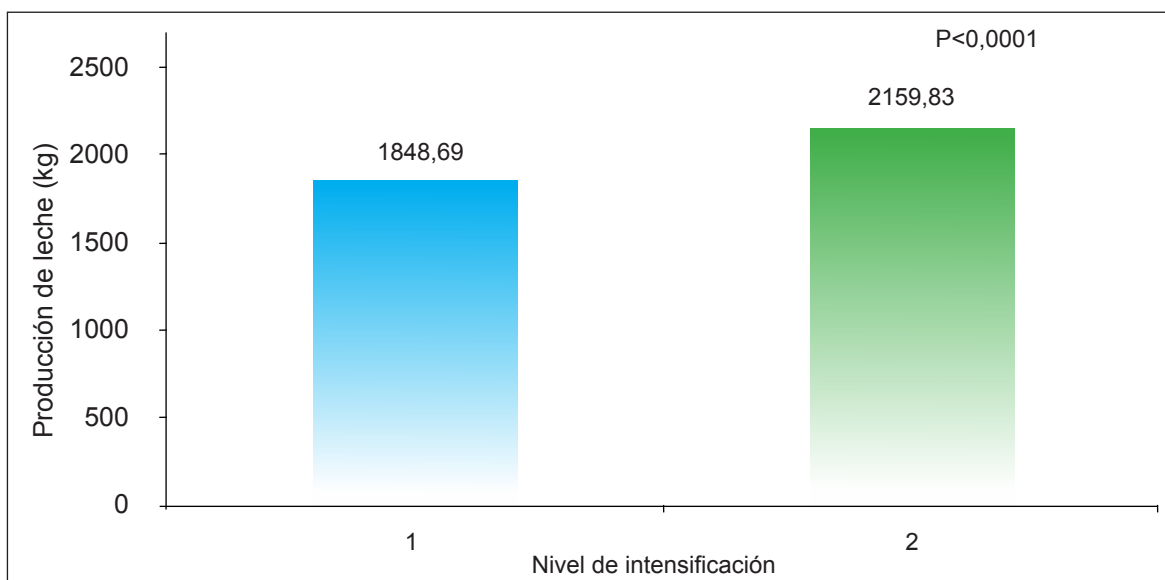


Figura 2. Producción de leche ajustada a 305 días por nivel tecnológico.

Al ser la región de Azuero parte del Arco Seco, los efectos de EP en relación a la capacidad de producción de leche, en la época de menor precipitación pluvial ha sido uno de los problemas que afectan mayormente la economía a los productores. En este sentido no se observaron diferencias significativas

($P > 0,05$), en cuanto a las dos épocas del año en las variables PAJ. Debido a las buenas prácticas de manejo y alimentación durante la época seca en la que se utiliza el ensilaje de maíz y la caña de azúcar, por lo que la producción se ha mantenido sobre niveles similares a la época lluviosa.

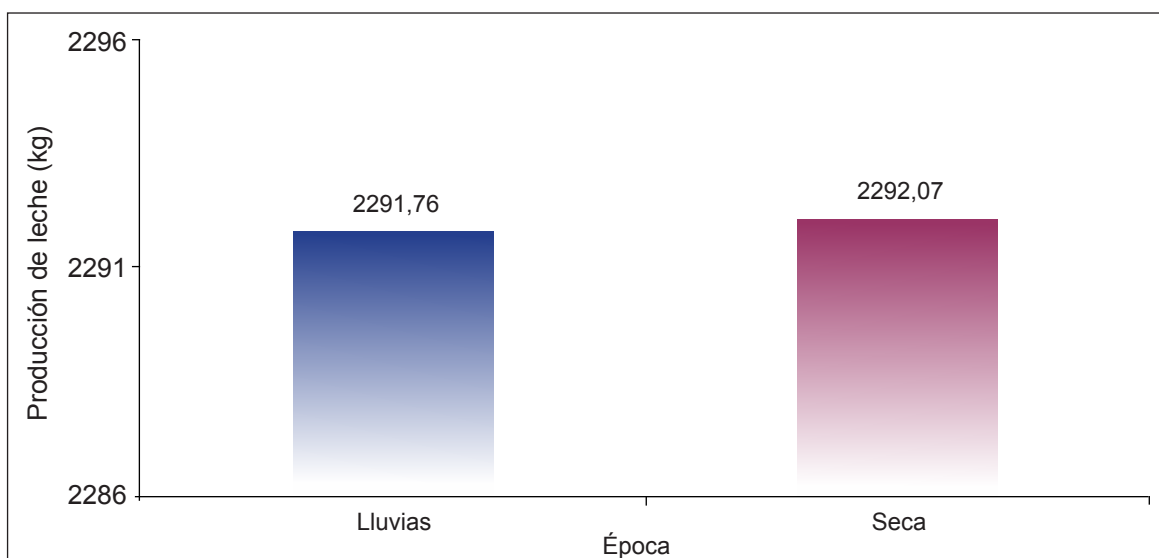


Figura 3. Producción de leche por época de parto.

Se observaron diferencias significativas ($P < 0,0001$) para la variable PAJ, por NP. Se observó que el quinto y sexto parto presentaron los mejores valores con $2471,67 \pm 154,25$ y $2492,72 \pm 168,21$ kg, respectivamente; con respuesta de tipo cuadrática y una $R^2 = 0,94$, aunque no se encontraron diferencias significativas entre el tercero y sexto parto ($P < 0,05$).

En cuanto a los valores encontrados para todas las variables en nuestro estudio, se observaron resultados similares con los encontrados por Parra-Bracamonte *et al.* (2005) en México, Vaccaro *et al.* (1999) en Venezuela y Villegas y Román (1986) en México.

Se hace necesaria la puesta en práctica de un plan de cruzamiento y mejora genética considerando los grupos raciales que se encuentran en los sistemas de producción doble propósito en la región de Azuero y los diferentes niveles de intensificación en que se encuentran los productores, para evitar pérdidas económicas en manejo, sanidad y alimentación, y ampliar el rango de estudio a un mayor número de fincas. Además, la evaluación de la curva de lactancia y crecimiento, sobre los sistemas estudiados, deben ser propuestos como estudios de seguimiento en próximos trabajos de investigación y en poblaciones grandes de animales para mejorar la precisión de los datos.

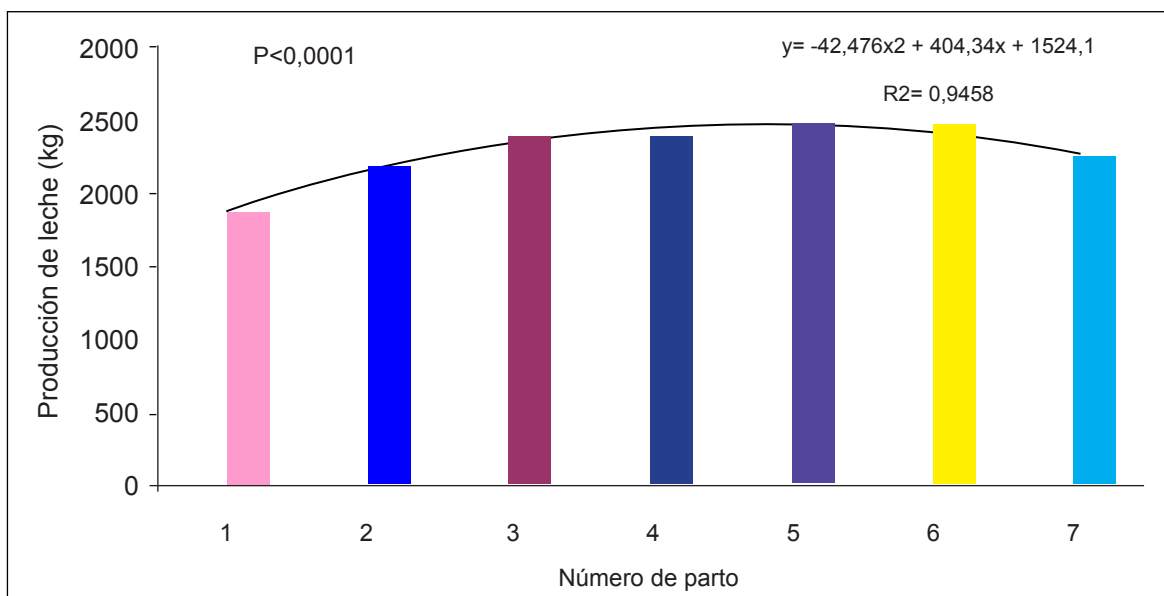


Figura 4. Producción de leche ajustada a 305 días por número de parto.

CONCLUSIÓN

Los factores que influyeron sobre la producción de leche fueron el GR, NI y NP. La mejor lactancia se observó entre el tercer y sexto parto, por lo que es posible un aumento del rendimiento en la productividad de la finca y mayor vida útil de las vacas.

BIBLIOGRAFÍA

- ALPA (Asociación Latinoamericana de Producción Animal). 1988. Normas de Evaluación Genética de Bovinos de Leche y Doble Propósito en el Trópico Latinoamericano. Asociación Latinoamericana de Producción Animal Mem. 23(Supl.1):53-82.
- Aluja, A; Acosta, R; Pulido, A. 1998. Comportamiento del ganado Holstein x Cebú en sistemas de lechería tropical. *In* IV Foro de Análisis de los Recursos Genéticos: Ganadería Bovina de Doble Propósito. Villa Hermosa, Tabasco, MX. p. 85-87.
- Álvarez, F. 1986. Alimentación y manejo de vacas cebú europeo en sistemas de doble propósito o especializado. *In* II Conferencia sobre ganadería tropical Universidad Autónoma de Tamaulipas. Memoria. Facultad de Agronomía, División de Estudios de Postgrado Cd. Victoria, Tamaulipas. p. 47-61.
- Bodisco, V; Carnevali, A; Cevallos, E; Gómez, JR. 1968. Cuatro lactancias consecutivas en vacas Criollas y Pardo suizas en Maracay, Venezuela. ALPA. Mem. 3:61-75.
- Guerra, P; González, M; González, F. 1998. Efecto del nivel tecnológico sobre el comportamiento de animales de alto encaste lechero en un sistema de doble propósito. Ciencia Agropecuaria no. 9:137-151.
- Mata, L; García, E; Livas, F; Basurto, H; Barrero, L. 1990. Evaluación de dos sistemas de amamantamiento en becerros. Boletín informativo 1989/1990. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Veracruz, MX. p. 32-34.
- McDowell, R. 1985. Crossbreeding in tropical areas with emphasis on milk, health and fitness. Journal of Dairy Science 68:2418-2435.
- Medina, M; Herrera, D; Villalobos, A. 2002. Identificación de los factores condicionantes de la adopción de

- agrotecnologías en fincas de doble propósito en la región de Azuero. Informe final. Panamá, PA.
- Osorio, M. 1998. Características de los sistemas bovinos de doble propósito en el trópico. Observaciones sobre el comportamiento productivo de grupos raciales. *In* IV Foro de Análisis de los Recursos Genéticos: Ganadería bovina de doble propósito. Villa Hermosa-Tabasco, MX. p. 8-24.
- Parra Bracamonte, G; Magaña, J; Delgado, R; Osorio Arce, M; Segura Correa, J. 2005. Genetic and non genetic effect on productive and reproductive traits of cows in dual-purpose herds in southeastern Mexico. *Genet. Mol.* p. 482-490.
- Rivera, M. 1998. Las experiencias del FIRA en cruzamiento de ganado bovino doble propósito en el trópico, a través de los centros de desarrollo tecnológico. *In* VI Foro de Análisis de los Recursos Genéticos: Ganadería de Doble Propósito. Villa Hermosa, Tabasco. p. 78-84.
- Ruíz, F; Moro, J. 1998. Programa de mejoramiento genético con sementales híbridos en sistemas de doble propósito. *In* IV Foro de análisis de los recursos genéticos: Ganadería de doble propósito. Tabasco, MX. p. 35-43.
- Tewolde, A. 1998. Los sistemas de producción bovina de doble propósito y los recursos genéticos. *In* IV Foro de Análisis de los Recursos Genéticos: Ganadería de doble propósito. Tabasco, MX. p. 29-43.
- Teodoro, R; Madalena, F. 2005. Evaluation of crosses of Holstein, Jersey or Brown Swiss sires x Holstein-Friesian/Gir dams. 3. Lifetime performance and economic evaluation. *Genet. Mol. Res.* 4(1):84-93.
- Vaccaro, L; Vaccaro, R; Verde, O. 1991. Productividad de bovinos de doble propósito. *In* VII Cursillo sobre Bovinos de Carne. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias Veterinarias. Maracay, VE. p. 23-39.
- Vaccaro, L; Pérez, A; Vaccaro, R. 1999. Productive performance of F1 compared with other 50% European-zebu crossbred cows for dual purpose systems in the Venezuelan tropics (en línea). *Livestock of Rural*

- Development 11(1). Consultado 20 de septiembre 2004. Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd11/1/vac111.htm>.
- Villalobos, A; Tewolde, A; Duarte, A; Briones, F; Martínez, J. 2003. Estrategias de intensificación de sistemas de producción de doble propósito en la huasteca veracruzana. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 106 p.
- Villegas, C Del C; Román, P. 1986. Producción de leche durante el proceso de formación de un rancho doble propósito en el trópico. Tec. Pecu, Mex. 51:51-61.

VALOR PREDICTIVO POSITIVO DEL DIAGNÓSTICO CLÍNICO DE DIARREA NEONATAL EN TERNEROS¹

Selma Franco²; Marcelo Signorini³; Héctor Tarabla⁴

RESUMEN

En el diagnóstico a campo, el médico veterinario clínico debe estimar el diagnóstico etiológico más probable ante una serie de signos y datos anamnésticos y epidemiológicos de un ternero con diarrea neonatal. El objetivo de este trabajo fue determinar el valor predictivo positivo del diagnóstico parasitológico y bacteriano efectuado por veterinarios de campo en terneros con diarrea. Durante un período de ocho meses, se recolectaron muestras de heces provenientes de 92 terneros con diarrea. Se registró 118 diagnósticos presuntivos, 68 bacterianos, 46 parasitarios y cuatro virales. En el laboratorio se efectuaron 86 diagnósticos, 63 bacterianos (*E. coli* 60,2%, *Salmonella* spp. 1,0%) y 23 parasitarios (*Eimeria* spp. 5,8%, *Cryptosporidium* spp. 16,5%). El diagnóstico clínico presuntivo estuvo significativamente asociado a los resultados del laboratorio, en el caso de presunción de etiologías bacterianas ($P < 0,05$), pero no en las parasitarias. La concordancia entre los diagnósticos bacterianos presuntivos y de laboratorio fue moderada con un valor de $\kappa = 0,54$ (0,358; 0,717). Recibieron tratamiento quimioterápico específico 26 de los 65 casos de laboratorio bacterianas, mientras que tres de los seis terneros con coccidiosis confirmada recibieron sulfonamidas. Existe una concordancia de pobre a moderada entre el diagnóstico presuntivo y el clínico en terneros con diarrea neonatal. En el estudio no se presentaron signos patognomónicos que permitirían pronosticar con precisión aceptable el agente etiológico asociado a la presencia de diarrea neonatal en terneros, razón por la cual, el diagnóstico basado exclusivamente en el examen clínico tiene un margen de error.

PALABRAS CLAVES: Pronosticar, anamnéstico, epidemiológico, parásito, bacterial.

¹ Recepción: 29 de mayo de 2015. Aceptación: 12 de octubre de 2015. Extracto de la tesis de Maestría del primer autor.

² M.Sc. en Medicina Preventiva. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).
e-mail: pkfranco91@hotmail.com

³ Ph.D. en Epidemiología Veterinaria. INTA. FCV, UNL Santa Fe, Rafaela Argentina. e-mail: msignorini@gmail.com

⁴ Ph.D. en Epidemiología Veterinaria. INTA. CC 22, 2300 Rafaela, Santa Fe. e-mail: htarabla@rafaela.inta.gov.ar

POSITIVE PREDICTIVE VALUE OF CLINICAL DIAGNOSIS OF NEONATAL DIARRHEA IN CALVES

ABSTRACT

During field practice, veterinarians must estimate the etiological diagnosis upon a series of signs, anamnesis and epidemiological data on a calf with neonatal diarrhea. The objective of this study was to find out the positive predictive value of parasitological and bacteriological diagnoses performed by veterinary clinicians on calves with diarrhea. Over an eight month period, there were collected feces samples from 92 calves with diarrhea. In total, 118 clinical diagnosis were registered, 68 bacterial, 46 parasitic and four viral. In the laboratory were registered 86 diagnosis, 63 bacterial (*E. coli* 60,2%, *Salmonella* spp. 1,0%) and 23 parasitic (*Eimeria* spp. 5,8%, *Cryptosporidium* spp. 16,5%). Clinical diagnosis was significantly associated to laboratory findings upon bacterial presumption ($P < 0,05$), but not in the case of parasites. The concordance between clinical and laboratory bacterial diagnoses was moderate with kappa = 0,538 (0,358; 0,717). Received specific chemotherapeutic treatment 26 of 65 bacterial laboratory cases, while three out of six calves with confirmed coccidia infestation got sulfonamides. The concordance between clinical and laboratory diagnoses ranged from poor to moderate o calves with acute diarrhea. In this study no clinical signs allowed a precise prognosis of the etiological agent associated to calf neonatal diarrhea; for these reasons, diagnosis based exclusively upon clinical examination has a margin of error.

KEY WORDS: Prognosis, anamnesic, epidemiology, parasite, bacterial.

INTRODUCCIÓN

La diarrea neonatal de los terneros es uno de los problemas sanitarios de mayor relevancia en las primeras semanas de vida, representa una importante fuente de pérdidas económicas. Estudios desarrollados en diferentes países demostraron que *Escherichia coli* enterotoxigénica, *Salmonella* spp., *Cryptosporidium* spp., *Eimeria* spp., Rotavirus y Coronavirus son los principales agentes etiológicos diagnosticados en brotes de esta patología en terneros (Bellinzoni *et al.*

1990, Naciri *et al.* 1999, Lorino *et al.* 2005). Sin embargo, para que se manifieste el síndrome clínico los agentes causales y los factores contribuyentes pueden actuar en diferentes combinaciones, habiéndose demostrado la relevancia de factores como la transferencia de inmunidad pasiva y las condiciones ecológicas en las cuales se cría el ternero en sus primeros días (Krogh 1987, Williams *et al.* 2007).

En el diagnóstico a campo, el veterinario debe estimar el diagnóstico presuntivo más probable ante una

serie de signos y datos anamnésicos y epidemiológicos del ternero con diarrea (Tarabla 2000). Efectuado este diagnóstico, el tratamiento se inicia inmediatamente aunque no pueda ser verificado en el laboratorio.

Como paso inicial, el veterinario efectúa la anamnesis del caso, lo que permite conocer la historia del hato y del ternero en particular. Durante la evaluación clínica se considera la edad de los terneros, se inspecciona la región anal, se determina la consistencia y el color de la materia fecal, la turgencia de la piel y la temperatura rectal. Conjuntamente con los datos epidemiológicos se emite un diagnóstico presuntivo de los posibles agentes etiológicos responsables de la diarrea. Sin embargo, solo el diagnóstico de laboratorio podrá determinar el agente etiológico de la diarrea. La identificación del agente patógeno es importante, para determinar las medidas de prevención y el tratamiento adecuado basándose en las características epidemiológicas del mismo.

El valor predictivo de la prueba positiva o valor predictivo positivo (VP) es la probabilidad de que un animal positivo a una prueba diagnóstica esté realmente enfermo (Tarabla 2000).

En un estudio sobre mastitis realizado en Nueva York (EE.UU), se efectuaron cultivos bacterianos en 118 muestras de leche, comparando los resultados de laboratorio con los diagnósticos que habían efectuado los veterinarios basados en la inspección clínica. De un total de 51 diagnósticos presuntivos de bacterias Gram positivas, 31 fueron confirmados por los cultivos bacterianos (VP+60,8%). En el caso de bacterias coliformes, 23 de 55 diagnósticos fueron confirmados por el laboratorio (VP+41,8%). En la práctica, esto significa que el 39,2% de los casos de infecciones por bacterias Gram positiva y el 58,2% de las causadas por coliformes recibieron tratamiento inadecuado (White *et al.* 1986).

El trabajo intentó cuantificar la probabilidad que los diagnósticos etiológicos bacteriológicos y parasitarios efectuados por veterinarios de campo sean confirmados por pruebas de laboratorio específicas. Por lo antes expuesto, el objetivo fue determinar el valor predictivo positivo del diagnóstico parasitológico y bacteriano efectuado por veterinarios clínicos en terneros con diarrea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Del 12 de agosto 2009 al 7 de junio 2010, se recolectaron muestras de

materia fecal provenientes de 92 terneros Holstein con diarrea, localizados en Santa Fe, Argentina. Los terneros tenían entre 2 y 60 días de edad, pertenecían a nueve establecimientos lecheros de la región central Santafesina, Argentina.

Se consideró como caso de diarrea, la presencia de heces acuosas o pastosas. El valor predictivo positivo (VP+) fue definido como la probabilidad de aislar agentes etiológicos parasitarios (*Cryptosporidium* y *Eimeria* spp.) o bacterianos (*E. coli* y *Salmonella* spp.) en terneros con diarrea y diagnóstico clínico de uno o más de estos cuatro agentes etiológicos.

Recolección de muestras:

Se entregó un protocolo a los Médicos Veterinarios clínicos para recabar información sobre el caso que remitían. El formulario incluyó información sobre la raza, sexo, edad, alimentación, diagnóstico presuntivo de la diarrea, mortalidad del ternero, características de la diarrea, tiempo de duración de la diarrea. Las muestras de materia fecal de cada ternero fueron obtenidas directamente del recto, se utilizaron bolsas de polietileno rotuladas con el número del ternero y la fecha de muestreo, luego fueron conservadas en refrigeración a 4° C y enviadas al Laboratorio del Hospital de Grandes Animales de la Facultad de

Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Litoral en cajas de hielo seco refrigeradas.

Procedimiento de laboratorio:

Para la identificación y caracterización microbiológica de las parasitarias *Cryptosporidium* spp. se utilizó la tinción de Ziehl Neelsen modificada (Rosileira 2006). Se dejó secar al aire una gota de sedimento de materia fecal (MF) en un portaobjetos, se cubrió con fucsina fenicada durante 5 min, se lavó con agua corriente y se decoloró con alcohol clorhídrico al 3%. Posteriormente, se lavó con agua corriente y se cubrió con azul de metileno al 1% durante 10 min, se lavó, secó y se observó al microscopio (45 x y 100 x). Con esta coloración los ooquistes de *Cryptosporidium* spp., se tiñeron de color rosado intenso o claro, con bordes definidos.

Para identificar la *Eimeria* spp. se realizó un conteo de ooquistes por gramo de heces (opg) utilizando la técnica de Mc Master modificada (Roberts y O'Sullivan 1949), con un límite de detección de 100 opg. Se colocó 3 g de materia fecal y 60 ml de solución saturada de cloruro de sodio (NaCl) se tapó y agitó para disolver las heces. Se coló recogiendo la suspensión en otro envase y se dejó reposar unos segundos hasta que flotaran las burbujas mayores. Posteriormente, se tomó una

muestra con pipeta. Luego de cargar las cuatro celdas de la cámara de Mc Master; se esperó tres minutos y, posteriormente, se observó al microscopio con un aumento de 100x.

Para el aislamiento de *Salmonella* spp. se utilizó como medio de pre-enriquecimiento caldo tetrionato adicionado con iodine, se incubó por 24 horas a 37° C, posteriormente, se realizaron repiques a medios selectivos y diferenciales como SS (*Salmonella-Shigella*, Britania, Argentina), incubándose de 24 a 48 horas a 37° C en aerobiosis, fueron seleccionadas como colonias sospechosas aquellas de 2 a 3 mm de diámetro, lactosa negativas y productoras de sulfhídrico. Las mismas fueron sembradas en agar tripticasa soya y a partir de ahí, se realizaron pruebas bioquímicas para la determinación de género: Tinción de Gram, oxidasa, ureasa, fenilalanina desaminasa, lisina, ornitina, hierro triple azúcar (TSI) (Terragno 2003).

Prueba TSI:

Se realizó la siembra partiendo de un cultivo puro, se picó el fondo con un asa y se extendió sobre la superficie del medio. Se incubó a 37° C durante 24 horas. La presencia de ácido sulfhídrico fue un indicativo de *Salmonella*, por lo cual se realizaron otras pruebas bioquímicas para diferenciarla de otras bacterias (Murray *et al.* 1999).

Prueba IMVIC (Indol, Rojo metilo, Voges Proskauer y Citrato)

Indol:

Se inoculó tubos con caldo triptonada y se incubaron a 37° C por 24 horas. Luego, se agregaron unas gotas del reactivo Kovacs y, tras unos minutos, se observó en la superficie el cambio a un color rojizo, lo que indicó que la prueba era positiva (Faddin y Jean 2000).

Rojo metilo:

Se inocularon tubos con caldo de Rojo metilo y Voges Proskauer e incubaron a 37° C por 48 horas. Luego, se agregaron cinco gotas de solución de rojo metilo. Se consideró positivo cuando se desarrolló un color rojo y negativo cuando el color era amarillo (Boop *et al.* 1999)

Voges Proskauer (VP):

Se inocularon tubos con caldo RM-VP e incubaron a 37° C por 48 horas, luego se le agregaron cinco gotas de solución de VP, 1 ml de KOH (hidróxido de potasio) al 10%, positivo cuando se desarrolló un color rosa en la superficie (Bopp *et al.* 1999).

Citrato:

Se inoculó en la superficie del tubo, luego se incubó a 37° C por 24 horas y la presencia de un color azul indicó que la prueba era positiva (Simmons *et al.* 1999)

La Prueba IMVIC debe generar un resultado negativo, positivo, negativo, positivo (- + -- +) para que se considere presuntivo de *Salmonella*.

Para realizar el aislamiento e identificación de *Escherichia coli* a partir de las muestras de materia fecal, se tomó una alícuota con un asa de ojal y se estrió sobre la superficie en agar Mc Conkey (Merck, Argentina), se incubó durante 24 horas a 37°C. A las colonias fermentadoras de lactosa (2 ó 3 por placa) se repicaron en agar tripticasa soya (Britania, Argentina) para obtener un cultivo puro y abundante. Luego, se realizó la determinación de su perfil bioquímico utilizando la siguiente metodología estandarizada (Koneman *et al.* 1999) Morfología microscópica, Gram, oxidasa, TSI (agar hierro triple azúcar Britania, Argentina) e IMVIC (Indol, Rojo metilo, Voges Proskauer y Citrato).

Prueba de hierro triple azúcar:

Se sembró a partir de un cultivo puro picando el fondo con un asa y se extendió sobre la superficie del medio. Se incubó a 37°C durante 24 horas. Resultó positiva para *Escherichia coli* cuando existió producción de gas. Los resultados positivo positivo negativo negativo de las pruebas IMVIC (Indol, Rojo metilo, Voges Proskauer y Citrato) indicaron la presencia de *E. coli* (Murray y Barron 1999).

Análisis Estadístico:

En este estudio se incluyeron los diagnósticos presuntivos de etiologías bacterianas y parasitarias efectuados a campo, los diagnósticos efectuados en el laboratorio confirmaron o negaron los agentes etiológicos.

El análisis estadístico se realizó en tres etapas: a) análisis descriptivo, b) búsqueda de asociaciones entre los diagnósticos y las características de los terneros, de las diarreas y los tratamientos efectuados y c) búsqueda de asociaciones entre los diagnósticos clínicos presuntivos y de laboratorio.

El análisis incluyó chi-cuadrado para establecer la existencia de asociaciones y el índice kappa para estimar el grado de concordancia entre el diagnóstico clínico presuntivo y de laboratorio. La valoración de este índice se basó en la siguiente escala: mayor a 0,75 excelente, 0,5-0,40 buena a regular y menor a 0,40 pobre (Fleiss 1981). En este trabajo el valor predictivo positivo (VPP) fue definido como la probabilidad para detectar agentes etiológicos parasitarios (*Cryptosporidium* y *Eimeria* spp.) o bacterianos (*E. coli* y *Salmonella* spp.) en terneros con diarrea y diagnóstico clínico etiológico de estos cuatro agentes. Todos los análisis se efectuaron con el programa

estadístico SPSS® Statistical product and service solution (Pardo *et al.* 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las muestras de materia fecal procedentes de terneros (n=92) con signos de diarrea (81% de los casos) se detectó la presencia de alguno de los cuatro agentes etiológicos investigados. Las etiologías presuntivas fueron mayoritariamente

bacterianas (n=68), parasitarias (n=46), y virales (n=4), ya sea como únicas entidades o combinadas entre sí (Cuadro 1).

Los agentes etiológicos detectados en laboratorio fueron en su mayoría de naturaleza bacteriana (n=63), en 11 oportunidades combinados con agentes parasitarios (Cuadro 2).

CUADRO 1. FRECUENCIA DE DIAGNÓSTICOS ETIOLÓGICOS PRESUNTIVOS DE DIARREA EN TERNEROS (N=118). SANTA FE, ARGENTINA.

Diagnóstico presuntivo			
	Agente etiológico	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Bacterias (n= 68)	<i>E. coli</i>	57	48,3
	<i>Salmonella</i> spp.	11	9,3
Parásitos (n= 46)	<i>Eimeria</i> spp.	10	8,5
	<i>Cryptosporidium</i> spp.	36	30,5
	Rotavirus	4	3,4
Total		118	100,0

CUADRO 2. FRECUENCIA DE AGENTES ETIOLÓGICOS DETECTADAS EN LABORATORIO SOBRE EL TOTAL DE DIAGNÓSTICOS EFECTUADOS (N=103), SANTA FE, ARGENTINA.

Diagnóstico laboratorio			
	Agente etiológico	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Bacterias (n= 63)	<i>E. coli</i>	62	60,2
	<i>Salmonella</i> spp.	1	0,9
Parásitos (n= 23)	<i>Eimeria</i> spp.	6	5,8
	<i>Cryptosporidium</i> spp.	17	16,5
Diagnósticos negativos		17	16,5
Total		103	100,0

Los cuatro agentes etiológicos investigados son reconocidos como responsables de 75% a 95% de los casos de diarreas en terneros (Bellinzoni *et al.* 1990, Pérez *et al.* 2005, Ruíz *et al.* 2000, Achá *et al.* 2004, Williams *et al.* 2007). Igualmente, la menor detección de *Cryptosporidium* y *Eimeria* podrían estar indicando una menor agresividad de estos agentes, su menor presencia en el medio rural de la zona estudiada y/o la mayor frecuencia de agentes bacterianos en la zona de estudio. Asimismo, Nagy y Fekete (2005) especulan que podrían ser agentes causales co-laterales a la presencia de un agente más agresivo (como por ejemplo la presencia de cepas patógenas de *E. coli*) para desencadenar trastornos gastrointestinales de tipo diarreico detectable clínicamente.

Se evaluaron los agentes etiológicos bacterianos y parasitarios diagnosticables por las técnicas tradicionales. Los terneros con diarrea que no pudieron ubicarse en ninguna de las categorías diagnosticadas (*E. coli*, *Salmonella* spp., *Eimeria* spp., *Cryptosporidium*), estuvieron presentes otros microorganismos responsables de la diarrea neonatal.

Estos resultados no reflejan la prevalencia de agentes etiológicos en la población en riesgo, sino la tasa

proporcional dentro de los terneros que padecían diarrea. Esta última, influenciada por la probabilidad de diarreas y de cada agente etiológico en la población susceptible, también por la frecuencia relativa dentro de la población con diarrea. Es importante recordar que *E. coli* es una presencia habitual en la flora intestinal de animales sin diarrea (Martín *et al.* 2003), por lo que su detección no es sinónimo de causalidad. Sin embargo, el diagnóstico de laboratorio se efectuó simplemente para corroborar el diagnóstico clínico presuntivo del veterinario.

Como es lógico la probabilidad para detectar un agente etiológico aumenta con el número de muestras analizadas. Por consiguiente, se analizó una muestra donde quizás la concentración de agentes etiológicos en las heces era baja. Por ello, su ausencia en el laboratorio puede reflejar un diagnóstico presuntivo falso positivo se pudo deber a una falla del veterinario en detectar la ausencia del agente en el examen clínico, o también el efecto del diagnóstico falso negativos en el laboratorio a una falla en detectar un agente existente en la diarrea o la combinación de ambos. Por otra parte, a medida que aumenta la prevalencia de un agente en la población, aumenta también la probabilidad de diagnósticos verdadero positivos (Tarabla 2000), por lo que no puede descartarse que

el mayor valor predictivo positivo (VPP) en los diagnósticos bacterianos y específicamente *E. coli*, se deba simplemente a su mayor prevalencia en la población en riesgo.

Con relación al diagnóstico de laboratorio y la edad de los terneros,

los resultados indicaron una mayor proporción de infección por bacterias y combinadas (bacterias y parásitos) entre la segunda y tercera semana de edad. Con respecto a las de origen parasitario se presentaron con mayor frecuencia de la tercera semana en adelante (Figura 1).

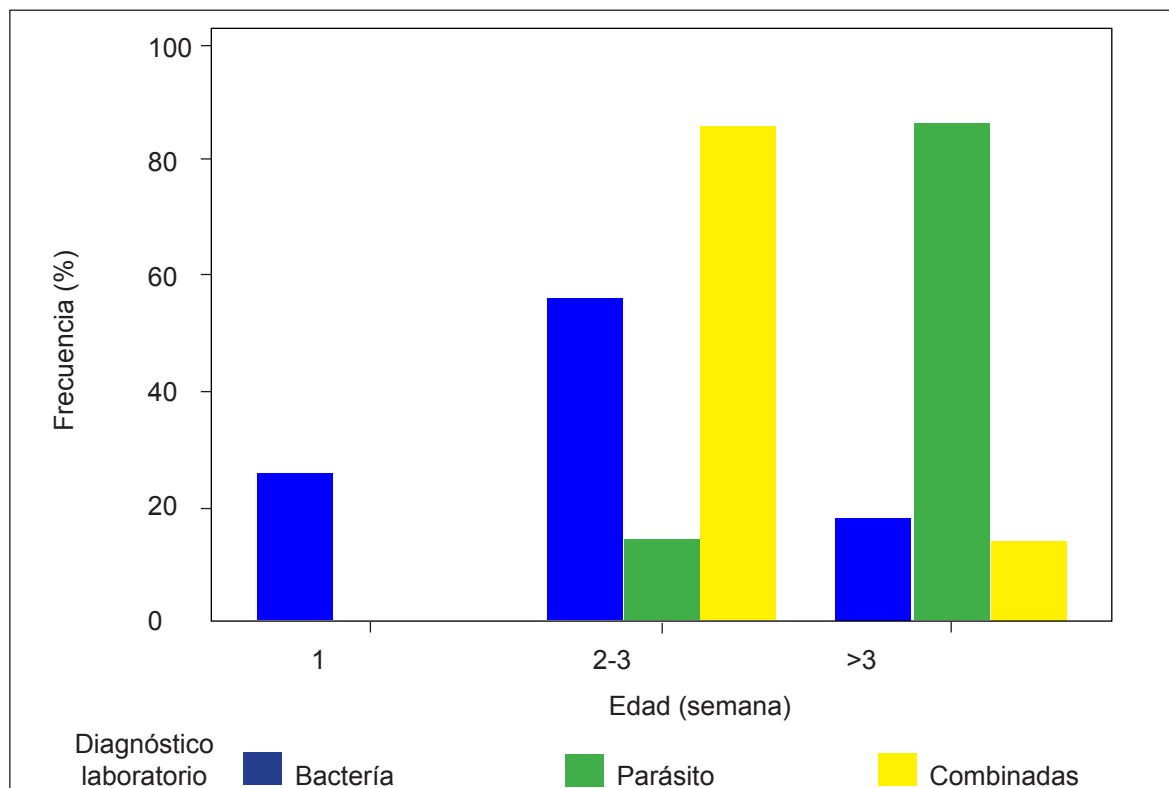


Figura 1. Frecuencia de la edad en función al diagnóstico de laboratorio en la diarrea neonatal de terneros.

La edad de los terneros que muestrearon fue el período de mayor exposición a los factores ambientales y agentes infecciosos (Tadich 1994). La vacunación de la madre antes del parto, resulta en un aumento de las concentraciones de anticuerpos calostrales y títulos de anticuerpos pasivos en terneros.

El calostro es el mecanismo que los terneros pueden obtener inmunidad específica contra agentes infecciosos. La provisión de un volumen adecuado y de buena calidad de calostro dentro de las primeras 12 horas de nacido es sumamente importante para una mejor absorción de inmunoglobulinas (Leyán 1994).

La mayor proporción de diarreas con el agente bacteriano y combinado (bacterias y parásitos) presentaron una

materia fecal de tipo pastosa, mientras que el agente parasitario se halló una diarrea de tipo líquida (Cuadro 3).

CUADRO 3. ASOCIACIÓN DEL DIAGNÓSTICO DE LABORATORIO Y LA CONSISTENCIA DE LA MATERIA FECAL EN LA DIARREA NEONATAL DE TERNEROS.

Diagnóstico clínico	Consistencia de la diarrea	
	Pastosa	Líquida
Bacteria	32 72,7%	12 27,3%
Parásito	3 27,3%	8 72,7%
Combinadas	5 62,5%	3 37,5%

Diferencia significativa $P < 0,02$.

En referencia a la consistencia de las diarreas, ésta estuvo asociada tanto al diagnóstico presuntivo como al laboratorio. Las consistencias líquidas se mostraron asociadas con las etiologías parasitarias, coincidiendo con lo publicado por Heine *et al.* (1984), Vergara y Quilez (2004) y Sánchez *et al.* (2008).

El 76% de los casos de diarrea con diagnóstico presuntivo bacteriano

fueron confirmados por el laboratorio, seguido por las de de origen parasitario y combinados (parásitos y agentes bacterianos). El diagnóstico clínico presuntivo estuvo significativamente asociado con los resultados de laboratorio en el caso de presunción de etiologías bacterianas pero no en las parasitarias. La concordancia entre los diagnósticos bacterianos presuntivos y de laboratorio fue moderada ($k = 0,54$) (Cuadro 3).

CUADRO 4. CONCORDANCIA Y PARÁMETRO DE EVALUACIÓN ENTRE EL DIAGNÓSTICO CLÍNICO Y EL DIAGNÓSTICO PRESUNTIVO EN LA DIARREA NEONATAL EN TERNEROS.

Muestras	VPP (%)	Índice kappa
Bacterias	76	0,28
Parásitos	26	0,02
Combinadas	12	-0,03

VPP = Valor predictivo positivo

Diferencia significativa ($P < 0,05$).

Uno de los objetivos del diagnóstico clínico presuntivo es instrumentar medidas terapéuticas inmediatas. Sin embargo, se observó que una gran proporción de los terneros no recibieron tratamiento para *E. coli*, *Salmonella* spp., *Cryptosporidium* spp. y *Eimeria* spp.

De los terneros diagnosticados presuntivamente como afectados por agentes bacterianos, la tercera parte recibió un antimicrobiano. De igual manera, menos de la mitad de los terneros con diarreas diagnosticadas clínicamente como coccidiosis recibieron sulfamidas. La mayor parte de los terneros enfermos recibieron una terapia de apoyo basada en re-hidratantes y anti-diarreicos.

CONCLUSIONES

- Existe una concordancia de pobre a moderada ($k=0,54$) entre el diagnóstico presuntivo y el diagnóstico clínico en terneros con diarrea neonatal.
- En el estudio no se presentaron signos patognomónicos, que permitan pronosticar con precisión aceptable el agente etiológico asociado a la presencia de diarrea neonatal en terneros.
- El diagnóstico basado exclusivamente en el examen clínico tiene un amplio margen de error y deja a una gran

proporción de terneros con diarrea sin un diagnóstico y tratamiento adecuado.

BIBLIOGRAFÍA

- Achá, SA; Kuhn, I; Jonsson, P; Kotouli, M; Möellby, R. 2004. Studie on calf diarrhoea in Mozambique prevalence of bacterial pathogens. Rev. Vet. Scan. 45:27-36.
- Bellinzoni, RC; Blackhall, J; Terzolo, HR; Moreira, AR; Auza, N; Mattion, N. 1990. Microbiology of diarrhea in young beef and dairy calves in Argentina. Rev. Arg. Microbiol. 22:130-137.
- Bopp, CHA; Brenner, FW; Wells, JG; Strockbine, NA. 1999. *Escherichia*, *Shigella* and *Salmonella*. In Manual of microbiology 7 ed. American Society for microbiology Washington, DC. 27:442-458.
- Faddin, MC; Jean, F. 2000. Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica. 3 ed. Panamericana. AR. p. 173-183.
- Fleiss, JL. 1981. Statistical Methods for Rates and Proportions. 2 ed. Wiley & Sons Inc., New York. p. 321.

- Heine, J; Pohlens, J; Moon, H; Woode, G. 1984. Enterics lesions and diarrhea in notobiotic calves monoinfected with *Cryptosporidium* species. J. Infect Dis. 150:768-775.
- Koneman EW; Allen, SD; Janda, WM; Schreckenberger, PC; Winn, WC. 1999. Diagnóstico Microbiológico. Buenos Aires, Médica Panamericana, p. 171-250.
- Krogh, K. 1987. Presentación de *E. coli* enterotoxigénica en terneros con diarrea aguda neonatal. Información Express 9(52):20-22.
- Leyán, V. 1994. Desarrollo del sistema inmune del ternero. Patología Animal 8:3-9.
- Lorino, T; Daudin, JJ; Robin, S; Sanaa, M. 2005. Factors associated with time to neonatal diarrhea in French beef calves. Prev. Vet. Med. 68:91-102.
- Martín, MJ; Martín Sosa, S; Alonso, JM; Hueso, P. 2003. Enterotoxigenic *Escherichia coli* strains bind bovine milk gangliosides in a ceramide-dependent process. Lipids 38:761-768.
- Murray, PR; Baron, P. 1999. Manual of clinical microbiology 7 ed. American Society for microbiology, Washington, DC. 45:5-20.
- Naciri, M; Lefay, MP; Mancassola, R; Poirie, P; Chermette, R. 1999. Role of *Cryptosporidium parvum* as a pathogen in neonatal complex in suckling and dairy calves in France. Vet. Parasitol. 85:245-257.
- Nagy, B; Fekete, PZ. 2005. Enterotoxigenic *Escherichia coli* in veterinary medicine. Int. J. Med. Microbiol. 295:443-454.
- Pardo, A; Ruiz, MA. 2002. SPSS 11. Guía para el análisis de datos. Madrid: McGraw-Hill.
- Pérez, MA; Bruzual, E; Brito, A; Hurtado, MP. 2005. *Cryptosporidium* spp. Criptosporidiosis. Rev. Soc. Ven. Microbiol. 25:1.
- Roberts, FH; O' Sullivan, PJ. 1949. Methods for eggs counts and larval cultures for strongyles infesting the gastrointestinal tract of cattle. Austr. J. Agr. Res. 1:99-102.
- Rosileira, M. 2006. Detection of *Cryptosporidium* oocysts by auramine and ZIEHL NEELSEN staining methods. Parasitol Latinoam 61:117-120.

- Ruíz, JA; García, A; Orden, JA; Cid, D; De La Fuente, R. 2000. Detección de los enteropatógenos principales en brotes diarreicos de terneros. Rev. Med. Vet. 17:155-162.
- Sánchez, R; Romero, J; Fonrouge, R. 2008. Dynamic of *Eimeria* oocyst excretion in dairy calves in the province of Buenos Aires (Argentina) during their first 2 months of age. Vet. Parasitol 151:133-138.
- Simmons, JS. 1999. Culture médium for differentiating organisms of the typhoid aerogenes groups and for isolation certain fungi. J infect Dis. 39:209-214.
- Tadich, N. 1994. Ambiente y enfermedad en los animales de crianza artificial. Patología Animl. 8:10-14.
- Tarabla, H. 2000. Valor Predictivo. Epidemiología Diagnostica. Centro de Publicaciones, Secretaria de Extensión UNL. Santa Fe, AR. p. 60.
- Terragno, T. 2003. Manual de procedimientos para la caracterización de *Salmonella*. In Malbran, CG. Instituto Nacional de enfermedades infecciosas. Dep. de bacteriología. AR. p. 1-37.
- Vergara, C; Quilez, J. 2004. Criptosporidiosis: una zoonosis parasitaria. Rev. MVZ.-CORD. 9:363-372.
- Williams, T; Martin, W; Leslie, K; Duffield, T; Nydam, D; Prergrine, A. 2007. Calf-level risk factors for neonatal diarrhea and shedding of *Cryptosporidium parvum* in Ontario dairy calves. Prev. Vet. Med. 82:12-28.
- White, M; Glickman, LT; Pallesen, FD; Stem, ES; Dinmore, P; Powers, MS; Powers, P; Smith, M; Jasko, D. 1986. Accuracy of clinicians in predicting the bacterial cause of clinical bovine mastitis. Can Vet. J. 27:218-220.

INFLUENCIA DE SUSTRATOS SOBRE LA GERMINACIÓN Y LONGITUD DE LA PLÚMULA DE LA SEMILLA DE PIFÁ (*Bactris gasipaes*)¹

Claudio Córdoba C²

RESUMEN

El objetivo fue evaluar la influencia de seis sustratos sobre el porcentaje de germinación y la longitud de la plúmula de la semilla de pifá (*Bactris gasipaes*). Se utilizaron sustratos de fácil adquisición por los productores, como arena de río y aserrín, arena de río, aserrín, tierra, tierra y aserrín, y un germinador. Se utilizó un diseño Completo al Azar con seis tratamientos (sustratos y germinador) y tres repeticiones. Se utilizaron 50 semillas de pifá por unidad experimental y los datos se sometieron a un análisis de varianza para la comparación de medias. El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas entre los sustratos sobre la germinación de la semilla del pifá (el porcentaje de germinación). El tratamiento con mejor porcentaje de germinación fue la bolsa plástica (88,33%), seguido de arena de río (86%), aserrín (85%), arena y aserrín (68%), tierra y aserrín (66%), tierra (65%). La influencia de los tratamientos evaluados sobre la longitud de la plúmula no presentó diferencias estadísticas, sin embargo, la mayor longitud la mostró el sustrato arena de río. Los resultados indicaron que la mejor germinación de la semilla del pifá se obtuvo con el uso de la bolsa plástica reutilizable, seguido de arena de río y aserrín.

PALABRAS CLAVES: Porcentaje de germinación, arena de río, bolsas plásticas, humedad.

¹ Recepción: 7 de abril de 2014. Aceptación: 29 de septiembre de 2015. Proyecto Innovación del Cultivo de Pifá (*Bactris* spp.) en los sistemas de producción de la agricultura familiar del Trópico Húmedo.

² M.Sc. en Agricultura Ecológica. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria del Trópico Húmedo (CIATH). e-mail: ctc1182@gmail.com

INFLUENCE OF SUBSTRATES ON GERMINATION AND SEED PLUMULA LENGTH OF PIXBAE (*Bactris gasipaes*)

ABSTRACT

The objective was to evaluate the influence of six substrates on the germination percentage and the length of the seed plumula of pixbae (*Bactris gasipaes*). There were used substrates easily acquired by the producers as river sand and sawdust, river sand, sawdust, soil, soil and sawdust, and a germinator. It was used a random complete design with six treatments (substrates and germinator) and three replications. There were used 50 pixbae seeds per experimental unit and the data were subjected to analysis of variance to compare means. The analysis of variance indicated statistical differences between the substrates on pixbae seed germination (germination percentage). The plastic bag was the treatment with the best percentage of germination (88,33%), followed by river sand (86%), sawdust (85%), sand and sawdust (68%), soil and sawdust (66%), soil (65%). The influence of the treatments evaluated over the length of the plumule not present statistical differences, however, river sand substrate showed the longest length. The results indicated that the best pixbae seed germination was obtained with the use of reusable plastic bag, followed by river sand and sawdust.

KEY WORDS: Percentage of germination, river sand, plastic bags, moisture.

INTRODUCCIÓN

El pifá (*Bactris gasipaes*) es una planta autóctona de Panamá con un alto potencial alimenticio y económico para la provincia de Bocas del Toro, principalmente, para aquellas regiones apartadas donde la dieta alimenticia es deficiente. La producción se desarrolla por pequeños agricultores de las comarcas Ngäbe y Teribe, quienes lo siembran en muchos casos, en asocio con cultivos perennes como el cacao o en huertos familiares con musáceas o cítricos.

La propagación por semillas es uno de los métodos principales de reproducción de las plantas en la naturaleza y uno de los más eficientes en la propagación de plantas cultivadas por el hombre. La siembra de la semilla es el inicio físico de la propagación de plántulas.

La semilla es el producto final de un proceso de crecimiento y desarrollo efectuado en la planta progenitora. Este proceso se inicia con la fusión de gametos masculino y femenino para formar, dentro del ovario de la flor, una célula cigótica

(Hartman y Kester 1997). Según Vásquez 2001, la germinación se entiende como el proceso de reactivación metabólica de la semilla y la emergencia de la radícula y la plúmula.

Los pequeños productores utilizan la semilla de tipo gámica, para la propagación del pifá, ya que es fácil obtener. Se utilizan diferentes tipos de germinadores y sustratos, Escobar *et al.* 1998, sugieren el uso de aserrín, tierra de río y bolsas plásticas transparentes; también, bandejas de madera, camas en el suelo y bolsas plásticas.

Los sustratos utilizados para la germinación de semillas varían con la especie en estudio. En palma de aceite, se probaron grandes cantidad de sustratos en cama, tales como, arena a la cual se le añadió materia orgánica, con carbón, y finamente, bolsas de polietileno con un adecuado control de la humedad y la temperatura. En el pifá, también se han probado diferentes sustratos para la germinación de semillas como, carbón de madera, aserrín, bolsas de polietileno, camas de arena, entre otras (Herrera y Villalobos 1991, Solórzano y Hernández 2007).

El uso de diferentes sustratos se realiza con el propósito de lograr incrementos en el porcentaje de

germinación de la semilla de pifá, lo que ha sido reportado en Costa Rica y Colombia. Sin embargo, Bocas del Toro carece de una tecnología establecida, generada a partir de trabajos locales de investigación, lo que permitirá recomendar los mejores sustratos para la germinación de la semilla de pifá. Por lo tanto, se consideró evaluar diferentes sustratos y un germinador (bolsa plástica transparente), tomando en cuenta algunos aspectos que faciliten la utilidad por parte de los productores y mejore el proceso de germinación en las condiciones del área a bajo costo. El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes tratamientos en la germinación y longitud de la plúmula en semillas de pifá.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la casa de vegetación del Centro de Investigación Agropecuaria Trópico Húmedo (CIATH), localizado en el corregimiento de Almirante, distrito de Changuinola, provincia de Bocas del Toro, ubicado entre las coordenadas UTM 17p x=0345285 y=1027930. Se desarrolló entre el 28 de septiembre y el 27 de diciembre del 2012.

Las semillas de pifá se obtuvieron de racimos maduros, a las cuales se les separaron de manera manual la pulpa (exocarpo y endocarpo) y se colocaron en un recipiente con agua por un período de

24 horas, y se procedió a su lavado para la eliminación del mesocarpo.

Unidad experimental:

Para los sustratos la unidad experimental la constituyó una caja de madera de 40 cm de largo por 25 cm de ancho y 10 cm de altura, la cual se llenó según el sustrato que correspondía, se

colocó 50 semillas de pifá en cinco surcos de 10 semillas cada uno, separados a 4 cm entre surco, para luego ser enterradas a 1 cm de profundidad (Figura 1). Para el germinador la unidad experimental la constituyó una bolsa plástica transparente con cierre hermético (18 cm x 10 cm), en la cual, se depositaron 50 semillas agregando 5 ml de agua.



Figura 1. Semillas de pifá colocadas en caja de madera para la germinación.

Variables de respuestas:

Porcentaje de germinación: Se tomó como base el número de semillas germinadas, multiplicadas por 100 y divididas entre 50.

Longitud de la plúmula: A cada una de las semillas germinadas se les midió el largo de la plúmula en centímetros.

Diseño experimental:

Se utilizó un diseño Completo al Azar (DCA), con seis tratamientos (Cuadro 1) y tres repeticiones, dando como resultado 18 unidades experimentales.

El modelo que se utilizó fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + s_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación cualquiera

μ = Media general

S_i = Efecto del i-ésimo sustrato

ϵ_{ij} = Error experimental

Para los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y comparación múltiples de medias con la prueba de Duncan con una $P < 0,05$.

CUADRO 1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

Tratamiento	Sustratos y germinador	Proporción (%)
1	Arena de río + aserrín	50/50
2	Arena de río	100
3	Aserrín	100
4	Tierra	100
5	Tierra de bosque + Aserrín	50/50
6	Bolsa plástica	100

RESULTADOS Y DISCUSIÓN**Porcentaje de germinación:**

En el total de semillas germinadas a los 60 días, se presentó una mejor respuesta en el sustrato arena de río con un 70% de germinación, seguido de las bolsas plásticas con un 60%, presentando una menor respuesta el tratamiento con sustrato de tierra y aserrín.

En cuanto a la germinación a los 90 días, se observó una mejor respuesta

en el tratamiento con bolsas plásticas de 88%, y con arena de río de 86%, siendo menor la repuesta con los tratamientos que incluyen tierra (65%), tierra y aserrín (66%), y arena y aserrín (68%) (Figura 2).

El análisis de varianza para el porcentaje de germinación indicó que hay diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes sustratos (tratamientos) ($P = 0,0359$) (Cuadro 2).

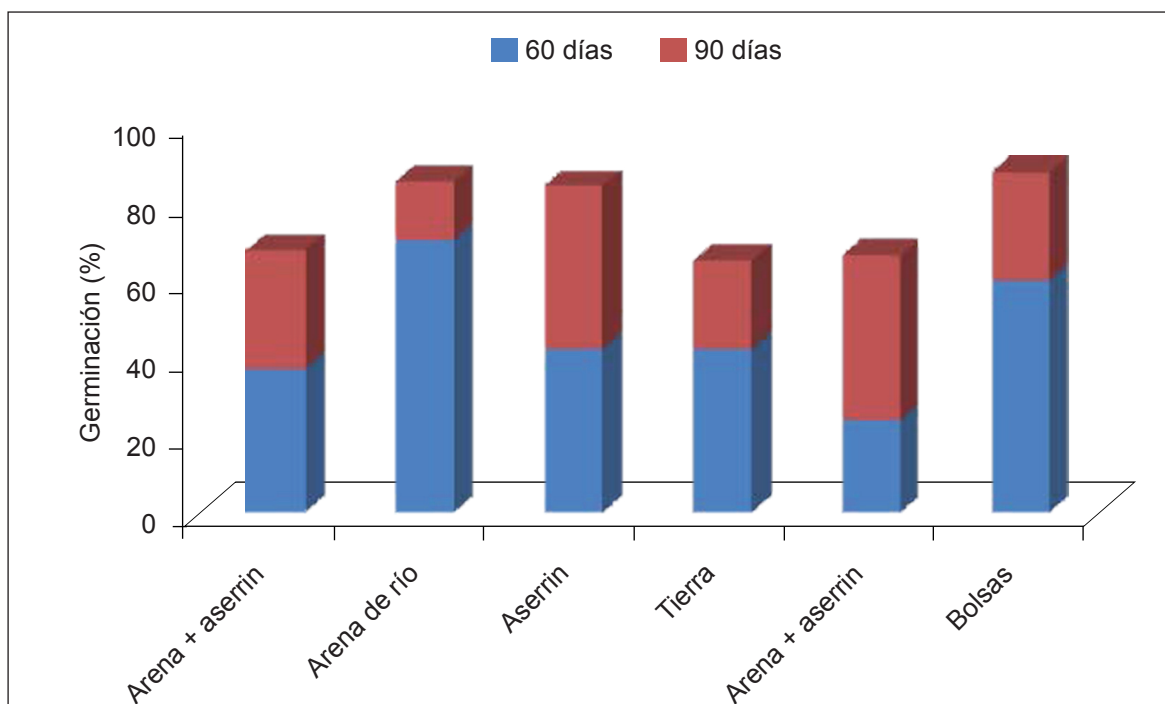


Figura 2. Germinación de semillas de pifá a los 60 y 90 días en los tratamientos evaluados.

En el caso de las bolsas plásticas, el efecto en el proceso de germinación se puede atribuir a los requerimientos mínimos de humedad (40%) (Urpí 1979), ya que la semilla se encuentra en una bolsa sellada y la humedad puede ser controlada. También, los sustratos con arena de río y aserrín, lo que se pudo deber a que los sustratos con arena proporcionan mejor intercambio gaseoso (Herrera y Villalobos 1991), mientras que el aserrín recién aserrado puede proporcionar protección a la semilla de

enfermedades causadas por hongos, lo que se le atribuyó a los componentes que pudiera tener el material.

Los menores porcentajes de germinación se presentaron en los sustratos que incluyeron la tierra como componente y de acuerdo con Martínez 2008, esto se pudo deber a la compactación del material, reduciendo la porosidad del sustrato y el intercambio gaseoso.

CUADRO 2. PRUEBA DE DUNCAN PARA LA GERMINACIÓN DE LA SEMILLA DE PIFÁ.

Sustratos y germinador	Germinación (%)
Tierra	65,30 A
Tierra + aserrín	66,67 A B
Arena + aserrín	68,00 A B
Aserrín	85,00 B C
Arena de río	86,00 B C
Bolsa de plástica	88,33 C

Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí ($P < 0,05$).

Longitud de la plúmula:

El análisis de varianza para el largo de la plúmula indicó que no hay diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tratamientos ($P=0,08$) con un nivel de confianza del 0,95%. Sin embargo, es importante resaltar que el mayor desarrollo de la plúmula se alcanzó con una longitud de 2 cm y se obtuvo con el sustrato arena de río.

La evaluación a los 60 días mostró que el tratamiento arena de río y aserrín obtuvo una mayor longitud de la plúmula con respecto a los demás tratamientos y el uso de la bolsa plástica la menor longitud. Sin embargo, a los 90 días se evaluó y la mayor longitud de la plúmula se presentó en el sustrato arena de río y la menor en tierra más aserrín (Figura 3).

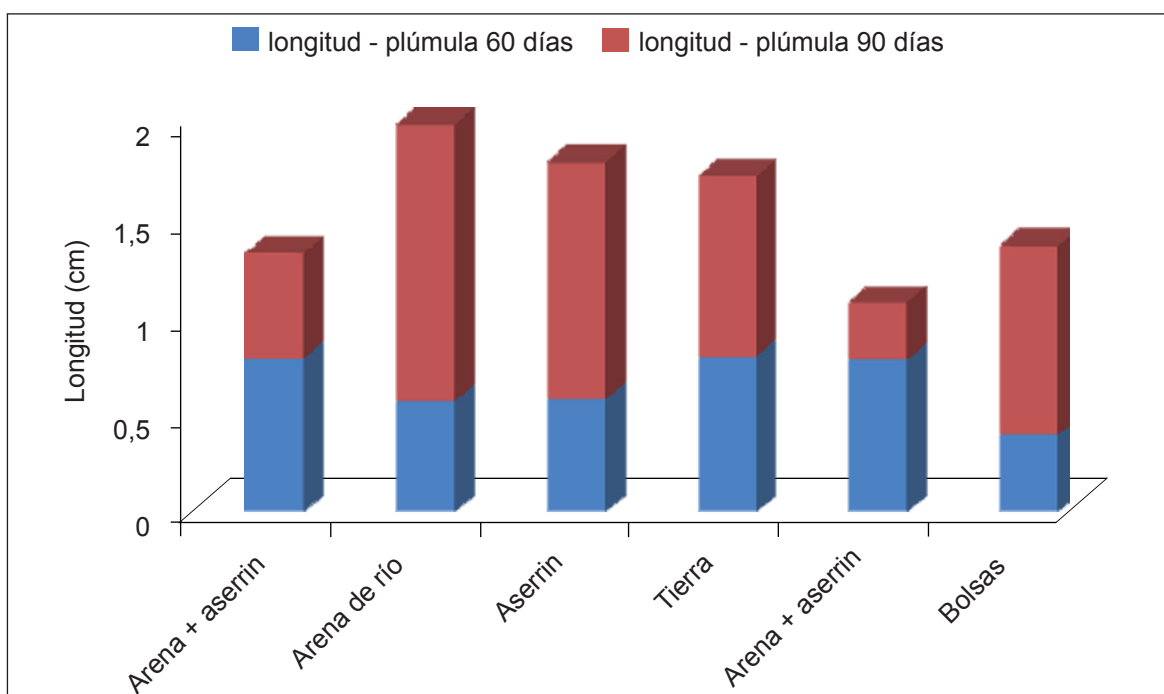


Figura 3. Longitud de la plúmula en semillas de pifá a los 60 y 90 días de la evaluación.

CONCLUSIÓN

- Las mejores condiciones para la germinación de semillas de pifá se mostraron en los sustratos arena de río, aserrín y el germinador de bolsas plásticas transparentes con un porcentaje de germinación superior al 80%, mientras que para la longitud de la plúmula no se presentó diferencia significativa.

BIBLIOGRAFÍA

- Escobar, C; Zuluaga, J; Rojas, J; Yasno, C; Cárdenas C. 1998. El cultivo de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K) para fruto y palmito. Corpoica. Santa Fé, Bogotá. 20 p.
- Hartman, HT; Kester, EE. 1997. Plant propagation: principles and practices. 6 ed. Englewood Cliffs, NJ, US, Prentice Hall. 865 p.
- Herrera, J; Villalobos, R. 1991. Germinación de la semilla de pejibaye (*Bactris gasipaes*). I Efecto de la temperatura y el sustrato. Agronomía Costarricense 15(1/2):57-62.
- Martínez, H. 2008. Propagación de plantas forestales y ornamentales en Finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla. Tesis Lic. Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 92 p.
- Solorzano, A. O; Hernández, E. C. 2007. Consideraciones para el manejo de semilleros y viveros de pejibaye para palmito (*Bactris gasipaes*). San José, CR. 64 p.
- Urpí, M. 1979. Método práctico para la germinación de semillas de pejibaye. Asbana 3(10):14-15.
- Vázquez, F. 2001. Prácticas de laboratorio para determinar la calidad de semillas. Facultad de Agronomía, Sub-área de Manejo y Mejoramiento de Plantas. Guatemala, USAC. 26 p.

SEROPREVALENCIA Y FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A ENFERMEDADES REPRODUCTIVAS EN VACAS LECHERAS¹

Selma Franco²; Marcelino Jaén³; Odalys González⁴

RESUMEN

Para determinar la seroprevalencia y posibles factores de riesgos asociados a enfermedades reproductivas como rinotraqueitis infecciosa bovina (RIB), diarrea viral bovina (DVB) y Neosporosis, se desarrolló el estudio durante el 2011 al 2013 en vacas lecheras de fincas localizadas en un Bosque Seco Tropical. Fueron seleccionadas 22 fincas con antecedentes de aborto y sin vacunación; la muestra fue de 384 vacas al azar, proporcional al tamaño de cada finca. Se utilizó un ELISA indirecto kit (IDEXX) para determinar la presencia de anticuerpos (IgG) contra IBR, DVB y *Neospora caninum*. A través de una encuesta, se recolectó información sobre factores de riesgos asociados, se realizó el cálculo de prevalencia puntual, Chi-cuadrado para la asociación de las variable con las enfermedades y se estimó la asociación entre la seroprevalencia del factor de riesgo calculando la razón productos cruzados (odds ration - OR). Se encontró una seroprevalencia de IBR, DVB y Neospora de 60%, 40% y 28%, respectivamente. Para IBR la edad fue un factor de riesgo (OR=1,79; P=0,005) y abortos (OR= 1,43; P=0,169). Se encontró una asociación negativa de anticuerpos (IgG) de DVB con la edad (OR= 0,968; P=0,481) y aborto (OR=0,837; P=0,344). Los factores asociados a Neospora fueron antecedentes de aborto (OR=2,90; P=0,001), edad (OR=0,816, P=0,211) y presencia de perros (OR= 3,40; P=0,92). Se concluyó que estas enfermedades son endémicas en la zona del estudio y según los factores de riesgo analizados se debe promover medidas de prevención y control en las fincas para minimizar la transmisión.

PALABRAS CLAVES: Rinotraqueitis infecciosa bovina, diarrea viral bovina, Neosporosis bovina, anticuerpos, asociación.

¹Recepción: 29 de mayo de 2015. Aceptación: 9 de octubre de 2015. Investigación financiada por el proyecto Manejo reproductivo del ganado bovino en las provincias centrales

²M.Sc. en Medicina Preventiva. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).
e-mail: pkfranco91@hotmail.com

³M.Sc. en Ciencia Veterinaria Tropical. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).

⁴Licda. en Química. MIDA. Laboratorio de Salud Animal. Divisa.

SEROPREVALENCE AND STUDY OF RISK FACTORS ASSOCIATED WITH REPRODUCTIVE DISEASES IN DAIRY COWS

ABSTRACT

In order to determine the seroprevalence and possible risk factors associated with reproductive diseases as infectious bovine rhinotracheitis (IBR), bovine viral diarrhea (DVB) and neosporosis, a study was developed during 2011 to 2013 in dairy cows from farms located in a tropical dry forest. They were selected 22 farms with history of abortion and no vaccination; the sample was composed by 384 cows at random and proportional to each farm size. An indirect ELISA kit (IDEXX) was used to determine the presence of antibodies (IgG) against IBR, DVB and *Neospora caninum*. Associated risk factors were collected through a survey point prevalence was calculated, chi-square test was performed for the association variable and disease; and it was estimated the association between risk factor seroprevalence using the ratio products crusaders (odd ration-OR). Seroprevalence of IBR, DVB, Neospora was 60%, 40% and 28%, respectively. Age (OR=1,79; P=0,005) and abortions (OR=1,43; P=0,169) were a risk factor for IBR. A negative association of DVB antibodies (IgG) was found with age (OR=0,968; P=0,481) and abortion (OR=0,837; P=0,344). Factors associated with Neospora were history of abortion (OR=2,90; P=0,001), AGE (OR=0,816; P=0,211) and presence of dogs (OR= 3,40; P=0,92). We conclude that these diseases are endemic in the studied area and as analyzed risk factors should promote prevention and control measures on farms to minimize transmission.

KEY WORDS: Infectious bovine rhinotracheitis, bovine viral diarrhea, bovine neosporosis, antibodies, association.

INTRODUCCIÓN

Los problemas reproductivos se caracterizan por infertilidad, muerte embrionaria, abortos, malformaciones congénitas, neonatas y nacidas débiles son prevalentes en el ganado bovino ocasionando serias pérdidas económicas (Houe 1995, McGowan y Kirkland 1995). Las principales enfermedades que afectan la reproducción pueden ser causadas por bacterias (leptospira, campilobacteriosis), virus (rinotraqueitis infecciosa bovina,

diarrea viral bovina) o parasitarios (Neosporosis, Trichomoniasis). En la evaluación del costo producido por efecto de esta enfermedad se deberá considerar, además de los abortos, las muertes perinatales, las muertes embrionarias, la venta de vacas infectadas y con alteraciones reproductivas, la disminución de la producción láctea, la reducción del valor de los vientres y el costo del diagnóstico (Echaide 2000).

La rinotraqueitis infecciosa bovina (RIB) es causada por el herpes virus bovino tipo 1 (HVB) infección de las vías respiratorias altas, la cual se caracteriza por traqueítis, rinitis y fiebre. También, en las hembras se produce la forma genital o vulvovaginitis pustular infecciosa (VPI) y en los machos, balanopostitis infecciosa (BI). El virus se transmite a través de secreciones respiratorias (aerosoles), oculares, a través del semen, la monta natural o inseminación artificial (Davies y Carmichael 1973), otra vía de transmisión es mediante el agua y el alimento contaminados. Todas las edades y razas de ganado son susceptibles a la infección respiratoria por herpes virus bovino tipo 1 (HVB-1) pero la enfermedad usualmente ocurre en animales mayores de seis meses de edad (Wentink *et al.* 1993).

Investigaciones desarrolladas en Panamá de 1992 a 2007, se reportaron seroprevalencias de IBR en sistemas de lechería con rango de 34,52% a 35,45% y de cría 38,8% a 50% (Berroa *et al.* 1992, Jaén 2009b).

La diarrea viral bovina (DVB) es una enfermedad causada por un pestivirus de la familia Flaviridae. El virus se transmite horizontalmente por contacto directo, a través de descargas oculares, nasales, la saliva, el semen, las secreciones uterinas, las heces, orina y leche (Swasdipan *et al.*

2002). También es posible la transmisión vertical de madre a hijo (Rondón 2006).

De 1992 a 2007, se reportaron prevalencias en sistemas de lechería con rangos de 1,7% a 82% (Jaén 2009a, d) y cría de 75% (Berroa *et al.* 1992). Adicional, en el 2008 se reportó una prevalencia de persistentemente infectados 0,6% dentro del hato en estudio en Bugaba (Jaén 2009a).

Neospora caninum es un protozoo de la familia Sarcocystide, donde el perro es el huésped intermedio transmisor definitivo de *N. caninum* (McAllister *et al.* 1998), la infección es fatal, afecta todas las edades y se caracteriza por parálisis severa y progresiva (Moore *et al.* 2001). En el bovino la principal vía de transmisión es de madre a hijo a través de la placenta (transmisión vertical) (Sager *et al.* 2001). También, está la transmisión horizontal, causada por la ingestión de agua y alimento contaminados con ooquistes en heces provenientes de perros (Romero y Frankena 2003).

En el país, de 2002 a 2004, se reportaron rangos de seroprevalencias de *Neospora caninum* en sistemas de lechería especializada de 8,0% a 29,41% y de cría 6,7% a 8,66% (Jaén *et al.* 2005). Por lo antes expuesto, el objetivo de este estudio fue determinar la prevalencia y los

posibles factores de riesgo asociados a las enfermedades reproductivas rinotraqueitis infecciosa bovina (RIB), diarrea viral bovina (DVB), Neosporosis bovina en vacas lecheras de la provincia de Coclé.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El estudio se desarrolló en el distrito de Penonomé (Las Guabas, Aguas Blancas, El Caño) y Aguadulce (Capellanía, El Cristo, Salitrosa, La Loma, El Roble, Jagüito y El Barrero) en la provincia de Coclé. Las fincas se localizaron en las zonas de vida de Bosque seco tropical, ubicada geográficamente a una altitud de 28 msnm, con precipitación media anual de 2500 mm y temperatura media anual de 28° C (Atlas Geográfico de Panamá 1975).

Tipo de estudio y tamaño de la muestra

Se realizó un estudio epidemiológico de corte transversal para estimar la seroprevalencia de las enfermedades reproductivas en vacas lecheras *Bos taurus* de la raza Holstein y Pardo suizo, y sus cruzas con *Bos indicus* con y sin problemas de aborto. Se utilizó una muestra de 384 sueros de vacas de 22 fincas, durante el período de 2011 a 2013. Para la inclusión, se tomaron fincas con antecedentes de aborto y sin vacunación. Se definió aborto como pérdida después del día 42 como gestante y con expulsión

de membranas fetales (Daniel y Marley 2008).

El tamaño de la muestra se calculó utilizando el programa We episcopes 2,0 con una seroprevalencia de 50%, error aceptado 5%, nivel de confianza 95%, por lo que fueron seleccionadas a conveniencia y su distribución proporcional al tamaño de la finca (Cuadro 1). Se tomó aproximadamente el 33% de las vacas vientre de cada finca. Se realizó una encuesta al productor para recabar información sobre los factores de riesgos asociados a la seroprevalencia de las enfermedades reproductivas (RIB, DVB y Neosporosis bovina).

Toma de muestra

A cada animal se le extrajo una muestra sanguínea con un equipo vacutainer al vacío sin anticoagulante, posteriormente, se centrifugaron (Hamilton bell vanguard W6500) y el suero extraído se colocó en viales de polietileno se mantuvo a -20° C para su posterior análisis.

Procedimiento de laboratorio

Se utilizó una técnica inmunoenzimática ELISA (indirecto), para rinotraqueitis infecciosas bovina (HerdChek IBRgB, IDEXX Laboratories; 100% sensibilidad, 96,97% especificidad); diarrea viral bovina (HerdChek BDVB, IDEXX Laboratoire; 100% sensibilidad,

99,5 especificidad); Neosporosis (HerdChek Anti-Neospora IDEXX Laboratories; sensibilidad 100%, 98,5% especificidad. La lectura de la prueba se

realizó con un espectrofotómetro Stat-fax®-2200 de Awareness Technology, Inc. Se utilizó una densidad óptica de 620 nm para las tres enfermedades.

CUADRO 1. LOCALIDADES Y CANTIDAD DE VACAS MUESTREADAS EN LOS DISTRITOS DE AGUADULCE Y PENONOMÉ, EN LA PROVINCIA DE COCLÉ, 2011-2013.

Cantidad de Fincas	Localidades	Cantidad de Vacas	suero de vaca recolectado
1	Las Guabas	95	31
1	Aguas blancas	75	24
1	El caño	105	34
2	Capellanía	160	52
4	El Cristo	260	85
3	Salitrosa	100	33
2	La Loma	40	13
4	El Roble	200	65
3	El Jagüito	80	26
1	El Barrero	65	21
Total		1180	384

Análisis estadístico

Para la asociación entre los factores de riesgo (abortos, edad, presencia de perro) y la prevalencia de (RIB, DVB, Neosporosis bovina) se utilizó Chi cuadrado y razón de productos cruzados (odd ration).

Se calculó la prevalencia puntual con la fórmula:

$P = \frac{a}{n}$ Tasa de prevalencia punto

a = Número de bovinos seropositivos en un tiempo dado

b = Número de bovinos: seropositivos y seronegativos en ese mismo período de tiempo (De Graff 1998).

El odd ration (OR) se interpreta:

OR=1 No hay presencia de asociación

OR>1 indica una asociación positiva

OR<1 indica una asociación negativa o un factor protector.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados serológicos (IgG) muestran una mayor prevalencia para RIB de 60% (231/384), seguida de DVB 40%

(154/384), mientras que Neosporosis bovina 28% (108/384). Lo que significa que el bovino en algún momento de su vida estuvo en contacto con los virus y el protozooario neospora. Con relación a la mayor cantidad de aborto ocurrieron durante el segundo trimestre de gestación

(61,2%) (Figura 1). Si bien las vacas con RIB, DVB y neosporosis bovina pueden abortar en cualquier trimestre, la literatura indica que se presenta con mayor frecuencia en el segundo trimestre (Puente 2002).

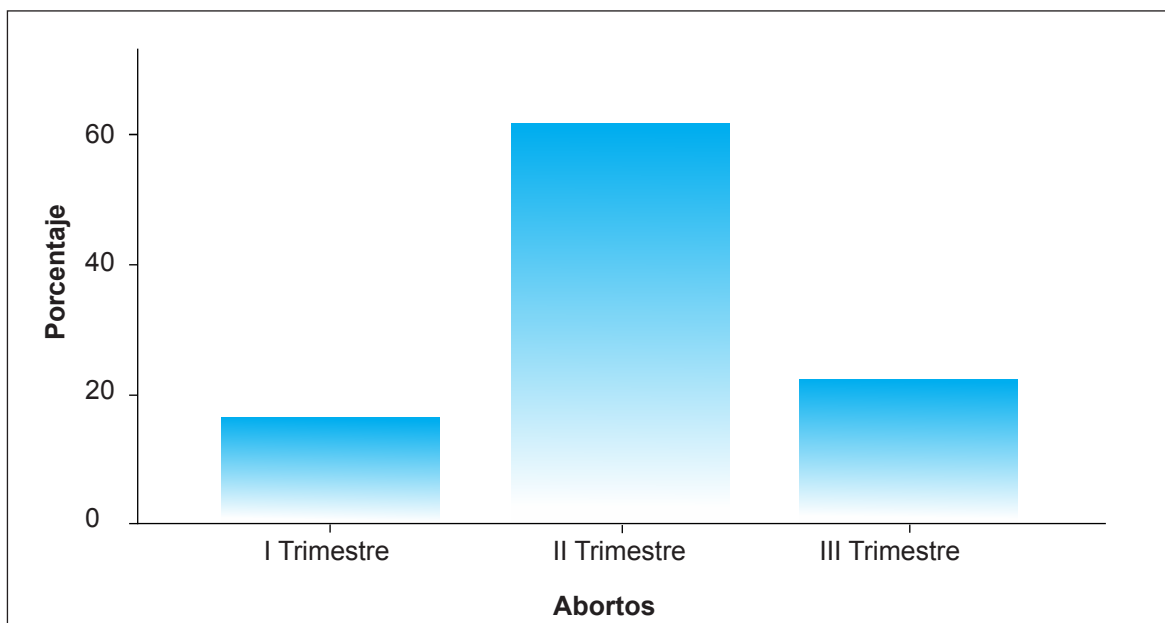


Figura 1. Porcentaje de abortos por trimestre de gestación.

En estudios previos, Jaén (2009b) reporta prevalencia de 42,5% en ganado de leche en Bugaba-Chiriquí, usando para el diagnóstico ELISA indirecto. De modo que, se confirma que estas enfermedades se encuentran circulando en el país. Es importante recordar que RIB permanece latente y en un momento de estrés se puede desencadenar la enfermedad (Vilchis *et al.* 1985).

Con relación al aborto y al diagnóstico seropositivo de RIB no se

encontró asociación estadística lo que coincide con los resultado de otros autores (Urbina *et al.* 2005). Según Miller *et al.* (1991) existen tres cepas de HVB-1 con diferentes propiedades abortivas, de las cuales, sólo los subtipos 1 y 2^a producen el aborto. Las pruebas serológicas comunes, no distinguen entre los diferentes subtipos de HVB-1. Probablemente, las cepas de HVB-1 causantes de aborto no se encuentran en la zona de estudio.

Con relación a la edad se encontró que hay 1,79 mayor riesgo de RIB en vacas con más de cinco años (Cuadro 2), lo que coincide con otros autores (Nardelli *et al.* 1999, Solis Calderón *et al.* 2003) quienes sugieren que la prevalencia aumenta

con la edad, hay más probabilidad de haber estado en contacto con el virus. Sin embargo, durante el estudio no se reportaron casos clínicos, probablemente al estar en contacto con el virus se desarrolla inmunidad (Ackerman *et al.* 1990).

CUADRO 2. FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A RINOTRAQUEITIS INFECCIOSA BOVINA (RIB) EN VACAS LECHERAS EN 22 LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE COCLÉ.

Variable	OR	95% IC	p
EDAD			
3-4años	1,793	1,183 – 2,719	0,005
<5 años			
ABORTO			
SI			
	1,43	0,760 – 2,701	0,169
NO			

IC = Intervalo de confianza

OR = odd ration

La seroprevalencia de DVB, el 40% mostraron ser inferiores, con respecto a lo reportado por Jaén (2009c) de 45,45% en ganado de leche en algunas provincias de Panamá. Al encontrar respuesta serológica al virus, indicó que hay bovinos positivos y negativos, algunos podrían ser persistentemente infectado (PI) y de acuerdo a ciertas condiciones de manejo, se desencadena casos clínicos afectando el desempeño reproductivo y productivo de las fincas. Por otro lado, al ser esta enfermedad de evolución y pronóstico variable, los bovinos persistentemente infectados (PI), son los principales

reservorios y fuentes de infección del virus. Eliminan grandes cantidades del virus con las excreciones y secreciones, lo que ocasiona la transmisión de la enfermedad al hato y a su descendencia (Sánchez Murillo 2000). En cuanto a la edad, se sugiere que esta enfermedad puede presentarse en cualquier etapa de su vida reproductiva (Betancur *et al.* 2007). En cuanto a la presencia de DVB y el aborto se presentó evidencias de que no siempre se encuentra asociación entre la prevalencia de una enfermedad abortiva y la ocurrencia del aborto (Mainar Jaime *et al.* 2001).

Los resultados de la seroprevalencia al 28% de *Neospora caninum* son contrarios a los reportados por Jaén *et al.* 2005 de 9,79% (286 sueros) con rangos de prevalencia de 8,0% a 29,41%, en lecherías especializadas de zonas bajas en Panamá, cabe mencionar que estos varían de acuerdo a la región. La asociación de antecedentes de aborto y la seroprevalencia de *Neospora*

caninum (Cuadro 3) dependerá por un lado de la carga de protozoarios, grado de infestación o tiempo de exposición parasitaria y de la repuesta inmune materna (Innes *et al.* 2005, Almeria *et al.* 2010). El antecedente de aborto fue un factor de riesgo, siendo 2,90 veces mayor la probabilidad de presentar abortos por *N. caninum* (Cuadro 2).

CUADRO 3. FACTORES DE RIESGO ASOCIADO A DIARREA VIRAL BOVINA EN VACAS LECHERAS, EN 22 LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE COCLÉ.

Variable	OR	IC	p
EDAD			
3-4años	0,968	0,639 – 1,467	0,481
<5 años			
ABORTO			
SI	0,837	0,450 – 1,557	0,344
NO			

IC = Intervalo de confianza

OR = odd ration

Con relación a la edad y la infección por *Neospora caninum* no se encontró asociación. En fincas donde predominó la transmisión vertical no se observó diferencias en la seroprevalencias entre los diferentes grupos de edades (McAllister *et al.* 2000, Dubey 2003). Por consiguiente, se considera importante la relación de la seroprevalencia con la edad, ya que indica la vía de transmisión en la finca (Dubey y Schares 2006). Por otro lado, la edad puede estar actuando

como factor protector contra la infección (Cuadro 4). Otros autores concuerdan que la edad no se considera un factor de riesgo para la presencia de neosporosis (García Vázquez *et al.* 2005, Coberllini *et al.* 2006, Koiwai *et al.* 2006). Cuando al aumentar el riesgo de positividad a *N. caninum* con la edad la transmisión horizontal es de particular importancia (Dubey *et al.* 2007) por el contrario cuando existen diferencias predomina la transmisión vertical (Coberllini *et al.* 2006).

CUADRO 4. FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A NEOSPOROSIS (*N. caninum*) EN VACAS LECHERAS, EN 22 LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE COCLÉ.

Variable	OR	IC	p
EDAD			
3-4años	0,810	0,516 - 1,271	0,211
<5 años			
ABORTO			
SI	2,90	1,573 - 5,357	0,001
NO			
Presencia de perro			
SI	340	1,86 - 6,19	0.092
NO			

IC = Intervalo de confianza

OR = odd ration

Hay 3,40 veces mayor probabilidad de infección de *N. caninum* en fincas por la presencia del perro. Sin embargo, no existe asociación estadísticamente significativa entre la presencia de perro y la seropositividad de *N. caninum*. El mantenimiento de la infección en las fincas está asociado a la transmisión vertical y a la horizontal; por lo tanto, pueden estar actuando los dos mecanismos de transmisión. Aunque en situaciones endémicas, la transmisión horizontal no representa el origen de la infección (McAllister *et al.* 2000).

Las pruebas serológicas con resultado positivos indicaron que el bovino ha sido expuesto al agente etiológico, pero no es posible establecer si sufrió o sufre RIB, DVB, Neosporosis. Sin embargo,

una prueba serológica negativa significa que el bovino no tiene anticuerpos para ser detectados por la prueba; por lo tanto, puede ser un animal libre de la enfermedad o puede ser portador latente. En este sentido, un resultado serológico negativo no es una prueba de que el individuo sea libre de alguna de estas enfermedades.

Cabe mencionar que debido a que la prevalencia depende de varios factores no relacionados con la causa de la enfermedad, los estudios de prevalencia no proporcionan pruebas claras de causalidad aunque a veces puedan sugerirlas. Sin embargo, son útiles para valorar la necesidad de asistencia sanitaria y planificar los programas de salud.

CONCLUSIÓN

Las enfermedades reproductivas rinotraqueitis infecciosa bovina (RIB), diarrea viral bovina (DVB), Neosporosis bovina se encuentran en la zona, por lo tanto son enfermedades endémicas (se han mantenido de manera constante en las zona por un período de tiempo). Sin embargo, la diferencia en la seroprevalencia podría estar influenciada por el manejo de cada finca. Por otro lado, en cuanto a los factores de riesgo asociados a la seroprevalencia de RIB se encontró el aborto y la edad. Para DVB no se encontró asociación con los factores estudiados. Para Neospora el aborto y la presencia de perros se consideran factores de riesgo.

RECOMENDACIONES

Implementar por finca un programa de salud con un adecuado manejo, con el fin de minimizar las pérdidas ocasionadas por estas enfermedades, iniciar una identificación y eliminar los animales seropositivos, a través de la realización de exámenes a los sementales y bovinos, que ingresen a la finca, llevar un estricto control sanitario de pruebas diagnóstica y un buen manejo de los productos biológicos. También, se deben realizar diagnóstico de los abortos y evitar la presencia de perros en las fincas. Además, se debe conocer más sobre la relación que existe entre el manejo y la transmisión horizontal.

BIBLIOGRAFÍA

- Ackermann, M; Belak, S; Bitsch, V; Edwards, S; Moussa, A; Rockborn, G; Thiry, E. 1990. Round table on infectious bovine rhinotracheitis/ infectious pustular vulvovaginitis virus infection diagnosis and control. Vet. Microbiol. 23(1-4):361-3.
- Almeria, S; Araujo, R; Lopez Gatus F; Dubey, JP; Gasbarre, LC. 2010. Fetal death in cows experimentally infected with *Neospora caninum* at 110 day of gestation. Vet. Parasitol. 169:304-311.
- Atlas Geográfico de Panamá. 1975. Instituto Geográfico Nacional de Panamá. Mapa Ecológico, Lámina número 27. Panamá, Rep. de Panamá.
- Betancur, H; Gorgoza, G; Martínez, FG. 2007. Seroepidemiología de la diarrea viral bovina en Montería (Córdoba, Colombia). Departamento Ciencias Pecuarias. Analecta Veterinaria 27(2):11-16.
- Berroa, D; Abrego, S; Jiménez, C; Cartin, A; Taylor, R. 1992. Presencia de la Rinotraqueitis Infecciosa Bovina (RIB) y Diarrea Viral Bovina en fincas ganaderas de Panamá. In Jornada Científica Agropecuaria,

- XVII Aniversario. Resúmenes. IDIAP. Región Occidental. David, Chiriquí, Rep. de Panamá. p. 41-42.
- Coberlini, LG; Smith, SA; Schmitz, A; Pescador, M; Shmitz, A; Correa, DJ; Stefeen, D. 2006. Herd-level risk factors for *Neospora caninum* seroprevalence in dairy farms in southern Brazil. *Prev. Vet. Med.* 74:130-141.
- Daniel, GM; Marley, SD. 2008. Infectious causes of embryonic and fetal mortality theriogenology. *Journal Theriogenology* (70):270-285.
- Davies, DH; Carmichael, LE. 1973. Role of cell-mediated immunity in the recovery of cattle from primary and recurrent infections with infectious bovine rhinotracheitis virus. *Infection and immunity.* Am. Soc. Microbiol. 8:510-518.
- De Graff, T. 1998. Curso de epidemiología. *In* Curso de perfeccionamiento epidemiológico como base de planificación para programas de sanidad animal. Centro de Fomento de la Alimentación y Agricultura (ZEL) de la Fundación Alemana para el Desarrollo Internacional (DSE), Feldafing República Federal de Alemania. p. 25-45.
- Dubey, JP. 2003. Review of *Neospora caninum* and Neosporosis in animal. *Korean J. Parasitol.* 41(1):1-16.
- Dubey, JP; Schares, G. 2006. Diagnosis of bovine neosporosis. *Vet. Parasitol.* 140(1-2):1-34.
- Dubey, JP; Schare, G; Ortega, LM. 2007. Epidemiology and control of neosporosis and *Neospora caninum*. *Clin. Microbial Rev.* 20(2):323-367.
- Echaide, EI. 2000. Jornada sobre enfermedades emergentes del bovino (en líneas). FAV. UNRC, Río Cuarto. E.E.A. INTA Rafael, prov. de Santa Fe. Consultado 5 mayo 2015. Disponible en <http://www.producción-animal.com.ar>.
- García Vásquez, Z; Rosario Luz, R; Ramos Aragón, A; Cruz Vásquez, C; Mapes Sánchez G. 2005. *Neospora caninum* seropositivity and association with abortions in dairy cows in Mex. *Vet. Parasitol.* 134:61-65.
- Houe, H; Baker, JC; Maes, RK; Ruegg, PL; Lloyd, JW. 1995. Application of antibody titers against bovine viral diarrhoea virus (BVDV) as a measure to detect herds with cattle persistently infected with BVDV. *J. Vet. Diagn. Invest.* 7:327-332.

- Innes, EA; Wright, S; Bartley, P; Maley, S; Macaldowie, C; Esteban Redondo, I; Buxton, D. 2005. The host parasite relationship in bovine neosporosis. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 108:29-36.
- Jaén, M; Rodríguez, G; Vega, V. 2005. Primer reporte serológico de la neosporosis bovina (*Neospora caninum*) en Panamá. *Ciencia Agropecuaria.* no.18:123-130.
- Jaén, M. 2009a. Diagnóstico de bovinos persistentemente infectados (PI) por el virus de la diarrea viral bovina. *In* Informe Técnico Anual. Dirección Nacional de Investigación Agropecuaria de Panamá. Documento de resúmenes 1980-2008. p.1:3.
- Jaén, M. 2009b. Seroprevalencia de enfermedades reproductivas en hatos bovinos de leche en Bugaba-Chiriquí. *In* Informe Técnico Anual. Dirección Nacional de Investigación Agropecuaria de Panamá. Documento de resúmenes 1980-2008. p.1:6.
- Jaén, M. 2009c. Diarrea viral bovina en hatos de cría y leche en algunas provincias de Panamá. *In* Informe Técnico Anual. Dirección Nacional de Investigación Agropecuaria de Panamá. Documento de resúmenes 1980-2008. p.1:8.
- Jaén, M. 2009d. Prevalencia rinotraqueitis infecciosa bovina y diarrea viral bovina en fincas ganaderas de Panamá. *In* Informe Técnico Anual. Dirección Nacional de Investigación Agropecuaria de Panamá. Documento de resúmenes 1980-2008. p.1:15.
- Koiwai, M; Hamaoka, T; Haritani, M; Shimizu, S; Zeniya, M; Eto, M; Yokoyama, R; Sutsui, K; Kimura K; Yamane, I. 2006. Nationwide seroprevalence of *Neospora caninum* among dairy cattle in Japan. *Vet. Parasitol.* 135:175-179.
- Mainar Jaime, R; Berzal Herranz, B; Arias, P; Rojo Vásquez, F. 2001. Epidemiological pattern risk factors associated with bovine viral diarrhoea virus (BVDV) infection in a non-vaccinated dairy cattle population from de Asturias region of Spain. *Prev. Vet. Med.* 52:63-73.
- McAllister, MM; Dubey, JP; Lindsay, DS; Jolley, WR; Wills, RA; MacGuire, AM. 1998. Dogs are definitive host of *Neospora caninum*. *Int. J. Parasitol.* 28:1473-1478.

- McAllister, M; Björkman, C; Anderson Sprecher, DG. 2000. Evidence of point-source exposure to *Neospora caninum* and protective immunity in a herd of beef cows. J. Am. Vet. Med. Assoc. 217(6):881-887.
- McGowan, MR; Kirkland, PD. 1995. Early reproductive loss due to ovine pestivirus infection. Br. Vet. J. 151:263-270.
- Miller, JM; Whetstone, CA; Van der Maaten, MJ. 1991. Abortifacient property of bovine herpesvirus type I isolates that represent three subtypes determined by restriction endonuclease analysis of viral DNA. Am J. Vet. Res. 52:458-461.
- Moore, DP; Odeón, AC; Campero, CM. 2001. Neosporosis bovina: una actualización (en línea). Vet. Arg. 18(180):752-775. Consultado 5 mayo 2015. Disponible en <http://www.inta.gob.ar/balcarce/info/documentos/ganaderia/bovinos/sanidad/>
- Nardelli, S; Marangon, S; Dalla Poza, M; Ponzoni, A; Viel, L; Bricchese, M. 1999. Bovine Herpesvirus 1 (BHV-1) seroprevalence in the breeding cattle population of the Veneto region prospect for the implementation of a control programme. J. Vet. Med. B. 46:735-740.
- Romero, JJ; Frankena, K. 2003. The effect of the dam-calf relationship on seroestatus to *Neospora caninum* on 20 Costa Rican dairy farms. Vet. Parasitology. 114:159-171.
- Rondón, IA. 2006. Diarrea viral bovina: Patogenesis e inmunopatología. Universidad de los Llanos. Facultad Medicina Veterinaria y Zootecnia. Instituto de Investigación de la Orinaquia, CO. p. 694-704.
- Sager, H; Fisher, I; Furrer, K; Strasser, M; Waldvogel, A; Boerlin, P; Audigé, L; Gottstein, B. 2001. A swiss case-control study to assess *Neospora caninum* – associated bovine abortion by PCR histopathology and serology. Veterinary Parasitology 102:1-15.
- Swasdipan, S; Bielefeldt, O; Phillips, N; Kirkland, P; McGowan, M. 2002. Rapid transplacental infection with bovine pestivirus following respiratory infection. Microbiol. Pathol. 32:49-60.
- Sánchez Murillo, JM. 2000. Rinotraqueitis Infecciosa Bovina (RIB) y Diarrea Viral Bovina (BVD). Pautas

- de control y lucha. Reflexión y Recomendaciones. Laboratorio Regional de Sanidad Animal. Badagoz, ES. Consultado 5 mayo 2015. Disponible en <http://www.colvet.es/badajoz/articulos.htm>.
- Solís Calderón, JJ; Segura, SV; Segura, JC; Alvarado, IA. 2003. Seroprevalence of and risk factors for infection bovine rhinotracheitis in beef cattle herd of Yucatán, México. *Prev. Med. Vet.* 57:199-208.
- Puente, E. 2002. Diagnóstico integral del aborto bovino. *In* III Curso Internacional de ganadería doble propósito. Memorias XI Congreso Venezolano de Producción e Industria animal. Valera 22 al 26 octubre. Trujillo, UL. p. 1-13.
- Urbina, A; Solorio, JL; Segura, JC. 2005. Rinotraqueitis infecciosa bovina en hatos lecheros de la región de Cotzio-Tejaro, Michoacán, México. *Téc. Pecu.* 43(1):27-37.
- Vilchis, MC; Susana, MV; Rosales, BC; Aguilar, SA; Vargas, LJ; Peña, ML. 1985. Estudio epizootiológico de la rinotraqueitis infecciosa bovina en ganado productor de leche y productos de carne. *Tec. Pecu. Méx.* (49):106-115.
- Wentink, GH; Van Oirschot, JT; Verhoeff, J; 1993. Risk of infection with bovine herpes virus 1(BHV-1): A review. *Vet Quarterly* 15:30-33.

PRODUCCIÓN DE BIODIESEL Y EVALUACIÓN DE SU PUREZA POR CROMATOGRAFÍA DE GASES¹

Rodolfo Morales²; José María García³

RESUMEN

Con el agotamiento del petróleo como principal fuente de energía, ha surgido el desarrollo de las energías renovables. Los biocombustibles como el biogás, etanol y el biodiesel son ejemplos de energía renovable y representan la alternativa más inmediata para substituir en parte los combustibles fósiles derivados del petróleo. El biodiesel es una mezcla de esteres alquílicos hecho a partir de grasas vegetales y animales con un alcohol en presencia de un catalizador. Con el propósito de adaptar tecnología de producción de biodiesel y evaluar la eficiencia de una planta piloto artesanal. Se determinó la pureza del biodiesel preparado utilizando la norma ASTM D6584-08. Se encontró que el biodiesel preparado en el laboratorio tuvo una pureza en esteres metílicos de ácidos grasos superior a 96,5%, mientras que el preparado en la planta piloto alcanzó una pureza de 85,76%. Se recomiendan mejoras en el sistema de calefacción y enfriamiento de la planta piloto para producir una mejor calidad de biodiesel.

PALABRAS CLAVES: Biocombustible, grasas vegetales, grasas animales, transesterificación, planta piloto.

¹Recepción: 3 de marzo de 2015. Aceptación: 16 de octubre de 2015.

²M.Sc. en Industrias Agrícolas y Alimentarias. IDIAP. e-mail: rodolfommz@yahoo.com

³Lic. en Administración de Empresas Agropecuarias. IDIAP. e-mail: jmgarcia@yahoo.es

BIODIESEL PRODUCTION AND ASSESSMENT OF ITS PURITY BY GAS CHROMATOGRAPHY

ABSTRACT

With the depletion of the oil as principal source of energy, there has arisen the development of the renewable energies. The biofuels as the biogas, ethanol and the biodiesel are examples of renewable energy and they represent the most immediate alternative to replace partly the fossil fuels derived from the oil. The biodiesel is a mix of alkyl esters from reaction of a vegetable or animal fat with an alcohol in the presence of a catalyst. With the intention of adapting technology of biodiesel production, one tested its production in the laboratory with refined soy bean oil, palm oil and fresh cow tallow. In the pilot plant the biodiesel was made with waste vegetable oil. The fatty acid methyl esters content was determined using the norm ASTM D6584-08. One found that the biodiesel prepared in the laboratory had a purity in fatty acid methyl esters top to 96,5% whereas prepared in the pilot plant reached a purity of only 85,76%. It am suggested that progress to the plant pilot to produce a better quality of biodiesel. It is suggested to improve the heating and cooling system of pilot plant to produce a better quality of biodiesel.

KEY WORDS: Biofuel, vegetable fat, animal fat, fatty acid methyl esters, pilot plant.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo occidental depende, en general, del combustible fósil que es un recurso natural finito. En Panamá, según el MICI (2005), más del 50% de la energía que se consume procede de los derivados del petróleo, siendo la principal fuente energética. El petróleo terminará agotándose, por lo que será insostenible el desarrollo desde esta perspectiva, a parte que las reservas se concentran en un pequeño número de países y la decisión de su precio depende de una reducida cantidad de personas.

Por el momento, se visualiza a la biomasa como reemplazo del petróleo (Hayes y Hayes 2006), ya que los biocombustibles son la alternativa para resolver los problemas energéticos más inmediatos. Sin embargo en la actualidad, la mayor parte de la producción mundial de biocombustibles compite con la producción de alimentos.

En América Latina y el Caribe (ALC), Panamá se ubica dentro del grupo de baja disponibilidad de tierra con aproximadamente 900 000 ha para

la expansión de la agricultura (Gazzoni 2009). Por lo tanto, se necesita hacer buen uso de los suelos productivos y generar información validada localmente para la producción de biocombustibles, usando aceites de comer descartados por restaurantes y oleaginosas de poco valor comercial que no sean alimentos de consumo humano.

Con el aumento del precio del petróleo, se incrementó el número de eventos internacionales de capacitación y difusión de tecnología sobre producción de biodiesel. También, se incrementó la información disponible en algunos sitios de la Internet (Journey to Forever 2015) y atrajo el interés de pequeños empresarios a hacer su propio biocombustible.

En nuestro país, aquellos que han incursionado en esta actividad adquirieron la tecnología en el exterior por su propia cuenta y son muy renuentes a compartir sus experiencias. Algunos incursionaron en pequeña escala y desistieron debido a la falta de tecnología para normalizar la calidad de la materia prima y a la competencia, ya que el aceite de cocina descartado por los restaurantes también es utilizado como fuente de energía en la producción de alimento para aves y cerdos.

En el 2007, en IDIAP se inició un proyecto de investigación adaptativa sobre producción de biodiesel a escala piloto. Se simuló una instalación artesanal para autoconsumo en la finca. El propósito fue generar y ofrecer información a los productores interesados. En agosto de 2011 se desarrolló el primer seminario taller sobre producción de biodiesel. Posteriormente, la investigación y desarrollo de biocombustibles se fortaleció con la creación de la ley 42 del 20 de abril de 2012 (Asamblea Nacional 2011).

Producción de biodiesel:

El biodiesel es un biocombustible hecho con grasa animal o vegetal mediante una reacción química con un alcohol en presencia de un catalizador. Se puede mezclar biodiesel con diesel en cualquier proporción. Si se usa un 20% de biodiesel y un 80% de diesel entonces la mezcla se denomina B20. La formación del biodiesel puede ser por esterificación de ácidos grasos libres o transesterificación de grasas neutras. La catálisis puede ser ácida, básica o enzimática.

La tecnología más difundida para la producción de biodiesel es la transesterificación de grasas neutras con metanol obteniéndose esteres metílicos de ácidos grasos (EMAG); sin embargo, el metanol se debe manejar con precaución debido a que es inflamable y tóxico

(Methanol Institute 2013). La reacción de transesterificación requiere una grasa limpia, neutra y libre de humedad. Solamente admite grasas con un máximo de 0,5% de humedad (IUPAC 1979).

En la transesterificación con metanol, la separación de la glicerina es franca y se obtiene biodiesel (EMAG) hasta con un 94% de rendimiento sobre la grasa utilizada. En la mayor parte de los casos, la reacción se realiza con una relación molar alcohol aceite de 6:1. En la catálisis homogénea, los catalizadores más utilizados son el hidróxido de sodio, metóxido de sodio, y el hidróxido de potasio. La calefacción del medio de reacción es por conducción con fuerte agitación. El tiempo de la reacción puede variar de 30 minutos a 2 horas. Cuando se usa la calefacción asistida con microondas, la reacción de transesterificación dura entre 4 y 10 minutos (Suppalakpanya *et al.* 2011).

El contenido de glicerina libre y unida, reflejan la calidad del biodiesel. Además, un alto contenido de glicerina lleva a una separación durante el almacenamiento, causa una obstrucción de los inyectores por la formación de residuos en las boquillas de los inyectores, también en los pistones y válvulas (ASTM

2008). Los contenidos mínimos y máximos de los componentes del biodiesel están descritos en la norma ASTM D6751 (ASTM 2002).

En el laboratorio de Agroindustria de IDIAP en Divisa, se efectuaron muestras de esteres metílicos de ácidos grasos (EMAG) o biodiesel 100% puro (B100) usando aceites refinados de soya (ASR), palma (APR) y sebo de res sin refinar (SRSR), empleando la metodología para grasas con acidez menor a 2 mg de hidróxido de sodio (NaOH)/ml de grasa (Radtko 2005). A cada muestra se le determinó la presencia de agua por calefacción de 200 ml en un sartén con observación de la aparición o no de burbujas de vapor de agua.

La determinación del contenido de acidez se realizó por disolución de 1 ml de la muestra en 10 ml de alcohol isopropílico y se tituló con solución de NaOH 1 g/L usando fenolftaleína como indicador. Se consideró aptas para la transesterificación aquellas muestras de grasa que no tenían agua y en la determinación de su acidez consumían menos de 2.0 ml de NaOH 1g/L por cada ml de grasa; además, se calculó el peso del catalizador a través de la ecuación: $1 \text{ g de NaOH} = (4 + \text{ml gastados en la titulación}) \times \text{L de aceite}$.

El volumen de metanol que se utilizó fue de 20% de la cantidad de aceite o grasa a procesar. La solución de metóxido de sodio se preparó por disolución del catalizador hidróxido de sodio en metanol, utilizando un agitador magnético. De cada muestra de grasa se tomaron 250 g, se les añadió la solución de metóxido de sodio correspondiente. Se calentó cada muestra con reflujo a 65° C con agitación a 600 rpm durante 30 min. Luego de separar la glicerina y el exceso de metanol, el biodiesel resultante fue pasado por resinas tanto catiónica como aniónica y secado con sulfato de potasio.

Planta piloto:

Se diseñó, construyó y ensayó una planta piloto para producir biodiesel, con capacidad de procesar 60 L de aceite. En ella, se ensayó con aceite de cocina descartado (ACD) sin refinar. El biodiesel elaborado, se lavó cinco veces con agua, se secó calentándolo a 60° C, se dejó reposar y luego, se separó el agua por decantación.

La pureza del biodiesel que se elaboró en el laboratorio y en la planta piloto se determinó por cromatografía de gases conforme a la norma ASTM D 6584-08, se utilizó un cromatógrafo de gases Agilent 7890A, equipado con un inyector “cool on column” sin división, un detector de ionización de flama, una columna

MXT® - Biodiesel TG de 15 m, 0,32 mm D.I. 0,1 µm y el programa Chemstation. El desarrollo del cromatograma se efectuó con tres niveles de temperatura, la primera de 50° a 180° C con incrementos de 15° C/min, la segunda de 180 a 230° C con incrementos de 7° C/min y la tercera de 230° a 380° C con incrementos de 30° C/min. La temperatura final fue de 380° C y se mantuvo por 10 min. Cada muestra de biodiesel se realizó por triplicado, se calculó el promedio del porcentaje de pureza y la desviación estándar.

Composición del biodiesel:

Se utilizó cuatro tipos de grasa, lo que mostró una variación en la composición del biodiesel. Se encontró que la pureza del biodiesel de soya, palma, sebo de res (Figura 1) y ACD fue 97,39+/-0,79; 97,72+/-1,35; 97,40+/-0,23 y 85,76+/-3,94; respectivamente (ver Cuadro).

El biodiesel preparado en el laboratorio mostró un contenido de EMAG superior al 96,5% que es el mínimo aceptado en el mercado internacional y el preparado en la planta piloto presentó un contenido, igualmente, inferior al 96,5%. En ninguna de las muestras analizadas hubo presencia de glicerol.

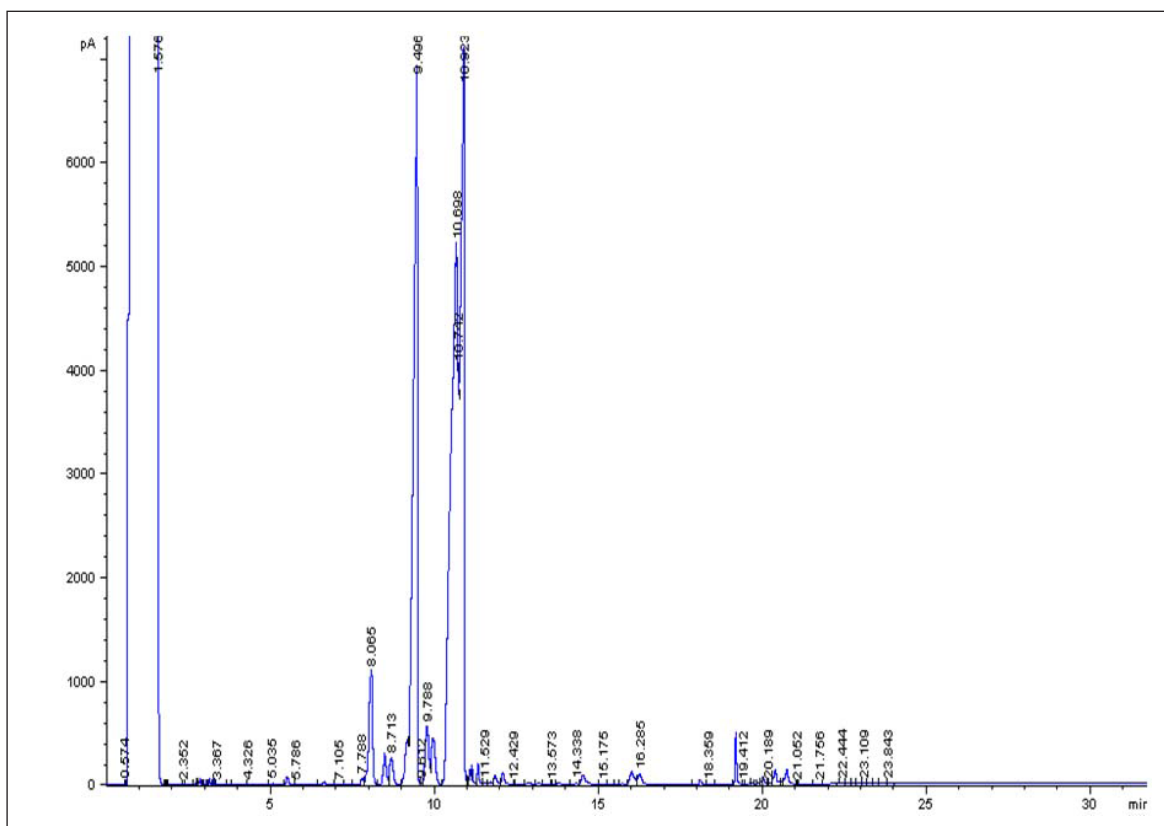


Figura.1 Cromatograma de biodiesel (EMAG), hecho con sebo de res sin refinar.

COMPOSICIÓN DE MUESTRAS DE BODIESEL POR CROMATOGRAFÍA DE GASES.

Muestra	G%	MG%	DG%	TG%	GU%	GT%	EMAG%
B100 – SRSR	0,0	1,16	1,16	0,29	2,61	2,61	97,40+/-0,23
B100 – ASR	0,0	0,59	0,75	0,93	2,28	2,28	97,72+/-1,35
B100 – APR	0,0	0,94	0,85	0,83	2,61	2,61	97,39+/-0,79
B100 – ACD	0,0	0,64	2,08	11,51	14,24	14,24	85,76+/-3,94

G=Glicerol. MG= Mono glicérido. DG=Di glicérido. TG=Triglicérido. GU=Glicerol unido. GT=Glicerol total. EMAG= Esteres metílicos de ácidos grasos.

La metodología ensayada para la preparación de biodiesel en el laboratorio permitió obtener un producto con una pureza superior al mínimo aceptado en el mercado internacional. Además, se adaptó la tecnología para producir y evaluar la pureza del biodiesel. El

biodiesel de la planta piloto alcanzó un 85,76% de pureza en esteres metílicos de ácidos grasos (EMAG). Este resultado se interpretó como una consecuencia de la falta de sostenibilidad de la temperatura de reflujo durante el tiempo de reacción. Un menor rendimiento de EMAG corresponde

a una mayor cantidad de glicerol unido en la muestra. Sin embargo, se ha utilizado en la operación de un vehículo que ha

acumulado un recorrido mayor a 5000 km usando B100. Durante ese recorrido no se han observado fallas en el motor (Figura 2).



Figura 2. Vehículo que ha recorrido más de 5000 km utilizando biodiesel B100.

En conclusión, las muestras analizadas procedentes tanto de laboratorio como de la planta piloto no se detectó la presencia de glicerol, mientras que la metodología ensayada para la preparación de biodiesel en el laboratorio permitió obtener un producto con una pureza en EMAG superior a 96,5% que es el mínimo aceptado en el mercado internacional. El biodiesel hecho en la planta piloto, si bien no contiene glicerol, su pureza es de 85,76%.

El Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC), en Divisa,

cuenta con la metodología y el equipo para evaluar la pureza del biodiesel.

Se espera mejorar el sistema de calefacción y enfriamiento de la planta piloto para mantener constante la temperatura de reflujo de 65° C y luego, repetir el análisis por cromatografía de gases del biodiesel preparado en la planta piloto. Además, continuar adaptando tecnología de producción de biodiesel con etanol, isopropanol o butanol teniendo presente la salud y seguridad ocupacional de los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM (American Society for Testing Materials). D6584. 2008. Standard Test Method for Determination of Free and Total Glycerin in B-100 Biodiesel Methyl Esters by Gas Chromatography.[Impresa]. West Conshohocken (PA): ASTM International. 5 p.
- ASMT (American Society for Testing Materials). D6751. 2002. Standard specification for biodiesel fuel (B100) blend stock for distillate fuels, [Impresa]. West Conshohocken (PA): ASTM International. 8 p.
- Gazzoni, DL. 2009. Biocombustibles y Alimentos en América Latina y el Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José, CR. 118 p.
- Hayes, JD; Hayes, MHB. 2006. Biomass, the oil replacement for the future (en línea). Consultado abril 2007. Disponible en <http://www.Organicmattersmag.com>.
- IUPAC (Union Internationale de Chimie Pure et Appliquee Division de Chimie Appliquee Commission de Matieres Grasses et Derives). 1979. Méthodes d'analyse de matières grasses et dérivés. 6ed, 1er partie (sections I et II) Institut des Corps Gras. Paris. France. 232 p.
- Addison, K. 2013. Make your own biodiesel. Consultado 4 feb. 2015. Disponible en http://journeytoforever.org/biodiesel_make.html.
- Asamblea Nacional. 2011. Ley que establece lineamientos para la política nacional sobre biocombustibles y energía eléctrica a partir de biomasa en el territorio nacional. (2011, Abril) En Gaceta Oficial 26770: Diario Oficial. Panamá, PA. 10 p.
- Methanol Institute. 2013. Methanol Safe Handling Manual (en línea). Consultado 4 feb. 2015. Disponible en <http://methanol.org/getattachment/05f122f1-c9d3-47d8-8c16-5a5d39717cbe/Methanol-Safe-Handling-Manual-Final---English.pdf>.
- MICI (Ministerio de Comercio e Industrias). 2005. Política Nacional de Hidrocarburos y Energías Alternativas (en línea). Panamá. Consultado 4 feb. 2015. Disponible en <http://mici.gob.pa/Hidrocarburos/Documentos%20de%20interes/Texto%20Politica%20de%20Hidrocarburos.pdf>.

Radtke, J. 2005. Biodiesel: Fuel from Vegetables. Solar Living Institute San Francisco, CA, USA. 17 p.

Suppalakpanya, K. Ratanawilai, S. Nikhom, R. Togurar, Ch. 2011. Production of ethyl ester from crude palm oil by two-step reaction using continuous microwave system. Songklanakarin J. Sci. Technol. 33(1):79-86.

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 y con dos dictámenes positivos se evalúa 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, los autores deberán solicitar, cuando sea necesario, los permisos para la publicación de los datos ya reportados.

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 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

Utilizar el sistema autor, año. Las citas de dos autores mencionar el apellido de ambos separado por la conjunción y con tres o más autores, se menciona el apellido del primer autor acompañado de la expresión latina *et al.* Ejemplo: (Gordón *et al.* 2004) o Gordón *et al.* (2004). Para dos o más artículos usando la misma cita, adicione letra minúscula (a, b, c, etc.) para el año en ambos texto y referencia. Separe las citas con una coma. Para citas de múltiples trabajos por el mismo autor, el nombre del autor se coloca una vez. 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)

Los artículos que mencionen productos químicos, deberán hacerlo por el nombre del ingrediente activo.

B. NORMAS ESPECÍFICAS

1. ARTÍCULOS

Se estructurará 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, 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 apellidos sin abreviar, centrado, después del título, se indicarán en orden, primer autor y coautores. Indicar en el pie de página el grado académico, título o especialidad. Institución o Compañía en la que labora (nombre completo y siglas entre paréntesis) 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.
- 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. Recomendaciones:** Esta sección puede estar o no presente en el artículo. En caso de que el autor presente sugerencias, las mismas deberán presentarse en esta sección.
- j. Bibliografía:** Se incluirá sólo la literatura citada tomada en cuenta las recomendaciones del documento sobre Redacción de Referencias Bibliográficas del IICA y el CATIE, 4ª edición.
- 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. No pueden tener una extensión mayor a 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

Costo de la revista 15.00 dólares de EEUU por unidad. Para pedidos fuera de Panamá, agregar el costo de envío en dólares EEUU: Grupo I: países de América \$ 5.80; Grupo II: Argentina, Bermudas, Bahamas, Brasil, Canadá, Chile, Guyana y Uruguay \$ 7.70; Grupo III: Europa \$ 11.45 y Grupo IV: Asia, África, Oceanía \$ 15.25.

El pago de la suscripción deberá hacerse anticipadamente.

Los cambios de dirección se deben notificar en el primer mes del año. Sólo se aceptan suscripciones por un año.

La publicación de artículos será sin costo alguno.

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 evalúa la incorporación del trabajo 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 suscripción y canje debe dirigirse a:
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
Centro de Información Documental Agropecuaria (CIDAGRO)
Tel. (507) 976-1265 ó 976-1168 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. 2015. Derechos Reservados

ACCESO A LA REVISTA EN INTERNET

Texto completo

<http://www.idiap.gob.pa/index.php/revista>

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

Impresión 200 ejemplares

Digitalización 200 unidades

Publicación financiada con fondos del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá,
bajo la administración del Ph.D. Axel Villalobos Cortés – Director General

