



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

ISSN 0258-6452

Ciencia Agropecuaria

REVISTA CIENTÍFICA N° 21

PANAMÁ - 2013





INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Ciencia Agropecuaria

REVISTA CIENTÍFICA N°21

Ciencia Agropecuaria: revista científica/
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.
No. 21 (2013). Panamá, PA. Anual
154 p. ilustraciones.
ISSN: 0258-6452

1. Investigaciones Agrícolas – Panamá
2. Investigaciones Pecuarias - Panamá

Publicación del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)

Editora Principal

Neysa del C. Garrido C. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
– Panamá

Editores Asociados

Román Gordón M. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
– Panamá
José A. Yau Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
– Panamá

Asistente Editorial

Belquis del C. De Gracia R. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
- Panamá

Consejo Editorial

Ismael Camargo Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
– Panamá
Eric Candanedo L. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
– Panamá
Axel Villalobos Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
– Panamá
Cecilia de Escobar Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
– Panamá

Diseño y diagramación

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

Diseño original de la portada

Stella Martínez 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

- 1-24 **MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN SUPLEMENTARIA Y EFECTO DE DOS MEJORADORES DE SUELO EN MAÍZ**
Román Gordón Mendoza; Jorge Franco Barrera
-
- 25-37 **LÍNEAS DE FRIJOL POROTO CON ALTO CONTENIDO DE HIERRO Y ZINC**
*Emigdio Rodríguez Quiel; Román Gordón Mendoza;
Francisco González Guevara; Eric Quirós Rodríguez;
Ricardo Hernández Rojas; Eduardo Palacios Rodríguez;
Audino Melgar Moreno*
-
- 38-46 **CLONES DE PAPA TOLERANTES A *Phytophthora infestans* y ALTAS TEMPERATURAS EN LA COMARCA NGÄBE BUGLÉ**
*Arnulfo Gutiérrez Gutiérrez; Jorge Muñoz Fuentes;
Javier Pitti Caballero*
-
- 47-70 **VALOR AGRONÓMICO Y CONTENIDO NUTRICIONAL DE ARROCES BIOFORTIFICADOS CON HIERRO Y ZINC**
*Ismael Camargo Buitrago; José Bernal; Gabriel Montero;
Juan Espinosa; Manuel Barrios; Nicolás Fernández;
Carlos Rojas; José Ehrman; León Franco; Edwin Guevara*
-
- 71-89 **ZONIFICACIÓN DE SUELOS DE PANAMÁ EN BASE A NIVELES DE NUTRIENTES**
José E. Villarreal; Benjamín Name; Rubiela García
-
- 90-103 **BIOPRODUCTOS PARA EL MANEJO DE LA SIGATOKA NEGRA EN PLANTACIONES DE PLÁTANO, VAR. CURARÉ ENANO**
*Rodrigo A. Morales A; Domingo Ríos; Jorge Muñoz;
Roger Concepción*
-

104-118 **GENES DE RESISTENCIA A BEGOMOVIRUS EN GERMOPLASMA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) COLECTADO EN PANAMÁ**

*Carmen Bieberach Forero; Zanya Aguilar Reyes;
Rita González Herrera*

119-135 ***Steneotarsonemus spinki* (Smiley, 1967) EN CULTIVARES DE ARROZ Y SU EFECTO EN LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO**

Evelyn Itzel Quirós McIntire; Ismael Camargo Buitrago

136-145 **EFECTOS FIJOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DIARIA DE LECHE EN UN SISTEMA DOBLE PROPÓSITO**

*Axel Villalobos Cortés; Benigno Guerrero; Jessica Hassán;
Domiciano Herrera*

NOTA TÉCNICA

146-154 **CULTIVARES DE CAMOTE EN LA PRODUCCIÓN DE ETANOL**

Rodolfo Morales Muñoz

NORMAS PARA AUTORES

A. NORMAS GENERALES

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

Los escritos deben ser redactados en español y enviados a la Dirección de la revista. La presentación en otro idioma deberá ser consultada previamente con la Dirección de la revista.

Los trabajos 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 ser de interés para un público especializado, redactados en prosa científica y comprensible al lector. Los trabajos deben ser preparados.

Los trabajos deben enviarse vía correo electrónico a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa (solicitar confirmación de lectura) o CD previamente verificado.

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.

Se recomienda emplear para verificar los nombres científicos de animales y plantas el *International Association for Plant Taxonomy* rapt. (Código Internacional de Nomenclatura Botánica). Las abreviaturas y signos redactados con base en el Sistema Internacional de Peso y Medidas.

Los cuadros y figuras (gráficos y fotografías) deben aparecer incorporados al texto y 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.

Estilo para citar

Utilizar el sistema autor-año. Las citas de dos autores, mencionar ambos. Con tres o más autores, usar "et al." 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).

B. NORMAS ESPECÍFICAS

1. Artículo científico:

Se estructura de la siguiente forma: Título (español), autores (identificación y lugar de trabajo en pie de página), resumen 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 es tesis, proyecto, entre otros.
- b. **Autores:** 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 sigas 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 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 en las recomendaciones del documento sobre Redacción de Referencias Bibliográficas del IICA, 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 o investigaciones terminadas o en curso, de cualquier tipo, que presenten un aspecto metodológico novedoso o 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.

Las notas científicas y técnicas no requieren de separación de acápites ni de subtítulos, deben contener en el texto los antecedentes y deben resaltar claramente el objetivo del trabajo, metodología con énfasis en los procedimientos. Las conclusiones y las recomendaciones deben aparecer

en el curso de la discusión de resultados (totales o parciales) alcanzados al tratar el problema.

Las notas deben llevar el título en español e inglés y no incluye resumen. El escrito permite un máximo 10 páginas en Word con el mismo formato y márgenes solicitados en el artículo científico e incluyendo cuadros, figuras y referencias bibliográficas.

3. ENSAYOS Y REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS

Se estructurarán de la siguiente forma: Título, nombre del autor (es), introducción, subtítulos y referencias bibliográficas. Podrá ser presentado en otro idioma, previa consulta con la Dirección de la revista. Debe tener una extensión máxima de 20 páginas en Word con el mismo formato y márgenes solicitados en el artículo científico e incluyendo cuadros, figuras y referencias bibliográficas.

MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN SUPLEMENTARIA Y EFECTO DE DOS MEJORADORES DE SUELO EN MAÍZ¹

Román Gordón Mendoza²; Jorge Franco Barrera³

RESUMEN

Se establecieron cinco ensayos por año en la región de Azuero entre agosto y enero durante tres años seguidos. El objetivo fue determinar alternativas en el manejo de la fertilización suplementaria del cultivo de maíz, así como determinar el incremento del rendimiento por la utilización de bio-estimulantes en el suelo. El diseño experimental utilizado fue Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en dos factores en un arreglo factorial 3 x 3. El primer factor fue: distintos manejos de la fertilización suplementaria a los 21 y 37 días después de siembra (dds) con los fertilizantes urea y abono nitrogenado. El segundo factor fue el uso de los bio-estimulantes del suelo a base de algas y humus, el tercer nivel de este factor fue parcelas sin aplicación de bio-estimulantes. Los bio-estimulantes fueron aplicados al momento de la siembra, junto con la aplicación de los herbicidas. De acuerdo a los resultados obtenidos durante los tres años del estudio, no hubo un incremento estadísticamente significativo en el rendimiento de grano por la aplicación de los bio-estimulantes. En años de precipitación errática o escasa, los tratamientos con abono nitrogenado, fueron una alternativa para la sustitución del uso de urea en la aplicación a los 21 dds. El análisis económico indicó que la doble aplicación del abono nitrogenado sin bio-estimulante superó al resto de los tratamientos. Por otra parte, el análisis de estabilidad indicó que el tratamiento más estable fue la combinación abono nitrogenado-urea sin aplicación de bio-estimulantes.

PALABRAS CLAVES: Rendimiento de grano, tipos de suplementos, abono nitrogenado, bio-estimulantes del suelo, urea.

¹ Recepción: 14 de septiembre de 2013. Aceptación: 8 de octubre de 2013. Trabajo realizado en el Proyecto: Manejo Integrado del Cultivo de Maíz.

² M.Sc. en Protección de Cultivos, ³ M.Sc. en Ciencias Ambientales. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA) "Ing. Germán De León".

SUPPLEMENTARY FERTILIZATION MANAGEMENT AND TWO SOIL IMPROVEMENT EFFECT IN CORN

ABSTRACT

Fifteen trials were established in Azuero Region on the second sowing season (August-January), to determine some alternatives for corn supplementary fertilization management and to measure grain yield increase by soil bio-stimulant utilization. It was used a complete randomized block design with four replicates. The treatments consisted in two factors in a 3 x 3 factorial arrangement. The first factor (Supplementation Type) comprised in different supplementary fertilization managements at 21 and 37 days after seeding (dap) with urea (46-0-0) and nitrogen fertilizer (27-6-3-2-4). The second factor was the use of soil bio-stimulant algae extract and humus, the third level of this factor was a tester (plots without bio-stimulant application), for nine treatments. The soil bio-stimulants were applied at seeding, along with the herbicides. According to the obtained results during the three years of this experiment, grain yield increase was not significant, as a result of the bio-stimulant application. The rainfall at some crop development stage affected urea substitution by other types of supplements. During the years with lack or uneven rainfall, the treatments with N-Fertilizer can be an alternative to urea substitution for using at the first spread at 21 dap. The economic analysis indicated that application of double N-Fertilizer without bio-stimulant succeeded the other treatments. On the other hand, the stability analysis indicated that N-Fertilizer-Urea without bio-stimulant was the most stable treatment.

KEY WORDS: Grain yield, supplementary fertilization, nitrogen fertilizer, soil bio-stimulant, urea.

INTRODUCCIÓN

El uso del nitrógeno es considerado como esencial en la producción del cultivo de maíz; después de muchos estudios se ha podido documentar la importancia de este elemento, así como la respuesta positiva de este cultivo a la aplicación de diferentes fuentes que contienen este elemento. Los fertilizantes nitrogenados son ineficientes porque cerca del 50% del nitrógeno

aplicado es recuperado por los cultivos. La pérdida puede ser parcialmente controlada por el manejo, por el momento de la aplicación y por las aplicaciones fraccionadas y controlando la tasa de disolución de los fertilizantes nitrogenados usando gránulos revestidos (Paliwal et al. 2001).

El nitrógeno aplicado como urea en la superficie del suelo se convierte

rápidamente en amoníaco (NH_3) cuando existe inadecuada humedad, temperatura y presencia de la enzima ureasa. Este NH_3 puede escapar a la atmósfera a través de la volatilización (Potash and Phosphate Institute 1988).

Para la producción del maíz en la región de Azuero, se realizan aplicaciones de nitrógeno (N) en forma de urea, que oscilan entre 70 y 165 kg N/ha, en uno o dos fraccionamientos. Una gran proporción de esta urea es aplicada a la superficie del suelo al voleo o por bandas. Estas formas superficiales de aplicación de fuentes de N amoniacales pueden conducir a pérdidas considerables por volatilización directa o por escorrentía, y así contribuir a la baja eficiencia de su uso.

Diversos estudios han mostrado que la eficiencia de absorción de nitrógeno es baja en los sistemas de producción de maíz. Comparaciones entre tratamientos con aplicaciones de nitrógeno indican una eficiencia aparente de uso del N aplicado cercana al 30%.

Trabajos realizados por Gordón et al. (1997) mostraron una eficiencia baja de absorción (cercana al 30%), confirmando de esta manera los datos obtenidos anteriormente. Estos mismos autores

encontraron recientemente que la cantidad de N que optimiza el rendimiento de maíz aumentó de 130 a 198 kg N/ha (Gordón et al. 2004).

Se ha encontrado que aplicaciones foliares de extractos de algas marinas, reforzaron las enzimas que las plantas contienen en su sistema inmunitario (más defensa) y su sistema alimentario (más nutrición) y activaron sus funciones fisiológicas (más vigor) (Fox y Cameron, López et al. citados por Canales 1999). Experimentos realizados por Canales (1999) indicó que hubo un incremento entre 1.0 y 3.0 t de maíz en parcelas que fueron asperjadas con alga-enzimas. Senn (1987) indicó que la incorporación de algas al suelo incrementa las cosechas y favorece la calidad de los frutos, básicamente porque se administra a los cultivos todos los macro y micro nutrientes que requiere la planta, y 27 sustancias naturales cuyos efectos son similares a los reguladores de crecimiento.

Las algas marinas se aplican en la agricultura tal cual, en forma de harina, de extractos y de polvos solubles. Si los derivados son elaborados en la forma apropiada, los organismos vivos que contienen se conservan en estado viable y se propagan por un tiempo donde se

aplican potenciando su acción, lo que hace posible la aplicación de dosis muy bajas (Metting et al. 1990). Algaenzims[®] es un producto orgánico, extraído de algas marinas, el mismo puede aplicarse al suelo, asperjarse al follaje o a la semilla, refuerza la acción de los fertilizantes, insecticidas y fungicidas, contiene más de 70 iones y las enzimas específicas para cada uno de ellos, contiene un agente quelatante: el manitol, ácidos algínicos, reguladores de crecimiento semejantes en su acción a giberelinas, cito quininas y auxinas (Palau-Bioquim 2005).

El ácido húmico es un componente del humus que está constituido por las huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Los organismos heterótrofos requieren materia orgánica como fuente de carbono, siendo del humus la forma en la que más fácilmente lo toman.

Básicamente, los ácidos húmicos son reservas de nutrientes para las plantas. Viva[®] es un bio-estimulante de aplicación radicular para aplicación en los diferentes cultivos. El mismo es un producto a base de ácido húmico que aporta elementos nutritivos de rápida utilización para la planta. Estimula la actividad en la planta obteniendo mejor

equilibrio hormonal, uniformidad en la maduración y tamaño de los frutos. Está compuesto de materia orgánica (33.0%), proteínas, aminoácidos (12.5%), polisacáridos (1.5%), ácidos húmicos (2.7%) y potasio como K₂O (4.0%). La acción sinergista de sus componentes, actúa de manera combinada sobre el complejo suelo-raíz-planta (Palau-Bioquim 2005).

Se efectuó un experimento con el objetivo de determinar algunas alternativas en el manejo de la fertilización suplementaria del cultivo de maíz. Un segundo objetivo fue determinar el incremento de los rendimientos de grano por la utilización de bio-estimulantes del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación:

Se estableció un experimento en 15 localidades de la región de Azuero de la República de Panamá en los años 2004, 2005 y 2006, los mismos fueron sembrados entre los meses de agosto a enero de cada año. Las localidades de El Ejido, La Enea, Guararé y Pocrí fueron incluidas los tres años del estudio, ubicando los ensayos en las mismas parcelas. La quinta localidad varió en cada año que duró el estudio (Cuadro 1).

CUADRO 1. UBICACIÓN Y FECHA DE SIEMBRA DE LAS DIEZ LOCALIDADES DEL ENSAYO DE MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN SUPLEMENTARIA EN EL CULTIVO DE MAÍZ, AZUERO, PANAMÁ.

	Localidad	Distrito	Latitud	Longitud	Fecha de siembra		
					2004	2005	2006
1.	El Ejido	Los Santos	7°54.49'	80°22.31'	3-sep	31-ago	1-sep
2.	La Enea	Guararé	7°51.08'	80°16.47'	7-sep	02-sep	5-sep
3.	Guararé	Guararé	7°49.15'	80°17.44'	8-sep	09-sep	4-sep
4.	Pocrí	Pocrí	7°39.14'	80°07.19'	23-sep	13-sep	11-sep
5.	Candelaria	Pocrí	7°42.50'	80°10.12'	13-sep		
6.	Sabana Grande	Los Santos	7°50.20'	80°22.38'		20-sep	
7.	San José	Las Tablas	7°50.20'	80°22.38'			7-sep

Caracterización edáfica:

Antes de la siembra de cada ensayo, se tomó una muestra de suelo para su análisis. Para esto, se tomó una muestra compuesta de 0 a 20 cm de profundidad en cada uno de los bloques, las muestras fueron homogeneizadas y enviadas al Laboratorio de Suelos del IDIAP para su análisis.

A las muestras de suelo se les realizó el análisis según Díaz-Romeu y Hunter (1978). El análisis químico del suelo de las localidades, mostró la variabilidad que se puede encontrar en la región maicera de Azuero.

El pH de los suelos indicó que los mismos son de ácidos (4.1) a ligeramente ácidos (6.6) pero con bajo contenido de aluminio (Al).

Las texturas van desde franco-arenoso hasta arcilloso con contenidos de arcillas entre 12 y 36%.

En cuanto a la fertilidad, todos son bajos en fósforo (P) (excepto en Sabana Grande y Pocrí del año 2005), medios en potasio (K) y medios en calcio (Ca) y magnesio (Mg). La materia orgánica (MO) osciló entre 1.71 y 3.15% (Cuadro 2).

CUADRO 2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LOS SUELOS DE LOS ENSAYOS.

Localidad	Año	Arena	Limo	Arcilla	pH	MO	K	Ca	Mg	Al	P	Mn	Fe	Zn	Cu	Text
		(%)				(%)	(cmol kg ⁻¹)			(mg lt ⁻¹)						
El Ejido	2004	56	26	18	4.8	2.16	0.18	4.1	2.0	0.2	tr	45	4	tr	3	FARA
	2005	48	18	34	5.1	2.22	0.21	5.6	4.7	0.2	2	42	10	2	2	FARA
	2006	42	18	40	4.7	2.52	0.18	6.4	5.5	0.1	2	21	4	tr	1	ARC
La Enea	2004	60	20	20	4.1	1.71	0.19	2.2	1.7	0.8	3	51	12	2	3	FARA
	2005	68	20	12	4.3	1.28	0.21	1.5	1.9	0.7	8	56	22	1	2	FA
	2006	48	18	34	5.1	2.05	0.32	7.9	6.2	0.1	4	15	7	tr	1	FARC
Guararé	2004	34	20	46	5.7	3.15	0.15	6.5	3.7	0.2	1	41	3	3	5	ARC
	2005	38	20	42	6.1	1.47	0.46	2.2	3.1	0.2	5	32	8	1	1	ARC
	2006	48	32	30	5.5	2.16	0.33	18.5	12.4	0.1	8	16	11	tr	1	FARA
Pocrí	2004	38	26	36	5.3	2.16	0.51	6.9	3.2	0.1	5	14	7	tr	3	FARC
	2005	36	38	26	5.4	1.76	0.46	9.3	4.7	0.2	17	31	28	2	1	F
	2006	38	28	34	4.8	2.64	0.48	7.9	6.2	0.1	15	22	16	1	1	FARC
Candelaria	2004	62	14	24	4.5	1.96	0.21	1.6	1	0.3	3	72	23	4	2	FARA
Sba Gde	2005	60	26	14	6.6	1.37	0.62	1.9	6.1	0.1	187	31	18	3	1	FA
San José	2006	58	16	26	5.3	1.93	.22	8.8	4.0	0.1	2	34	26	12	1	FARA

FARA = Franco arcillo-arenoso, ARC = Arcilloso, FARC = Franco arcilloso, FA = Franco arenoso, F = Franco, tr = Trazas.

Características climáticas:

Se tomó datos de la precipitación pluvial en cinco pluviómetros ubicados en zonas adyacentes a los ensayos. Los registros obtenidos se pueden observar en el Cuadro 3. Los datos indicaron que el promedio de lluvias durante el desarrollo del cultivo (septiembre-diciembre) en las cinco localidades en el año 2004 osciló entre 403 y 593 mm. En el 2005, este rango aumentó con valores entre 521 y 1386 mm, para los mismos meses, mientras que para el 2006, estos valores oscilaron entre 258 y 660 mm.

En los tres años de estudio, las localidades ubicadas al sur de la región (Pocrí, Candelaria y San José), tuvieron registros superiores a las ubicadas al norte (El Ejido, La Enea, Guararé y Sabana Grande). En las localidades del norte, la precipitación en los primeros 30 días del cultivo, en el año 2004, fue significativamente menor en comparación con las localidades del sur, este mismo resultado se observó en el año 2005 y 2006, con excepción del ensayo sembrado en Sabana Grande (245 mm).

CUADRO 3. PRECIPITACIÓN PLUVIAL ACUMULADA (MM) EN LOS PERÍODOS CRÍTICOS DEL CULTIVO EN LAS LOCALIDADES EN DONDE SE DESARROLLARON LOS ENSAYOS EN AZUERO, PANAMÁ.

Año	Localidades	Ubicación	Precipitación acumulada por fase (mm)				Total
			0-30 dds	31-50 dds	51-80 dds	> 80 dds	
2004	El Ejido	N	113	134	99	57	403
	La Enea	N	137	148	140	55	479
	Guararé	N	127	148	140	55	469
	Pocrí	S	229	130	192	43	593
	Candelaria (Ca)	S	319	99	80	50	548
2005	El Ejido	N	131	152	194	82	559
	La Enea	N	145	95	253	81	573
	Guararé	N	141	154	194	53	541
	Pocrí	S	355	443	322	267	1386
	Sabana Grande (SG)	N	245	91	170	15	521
2006	El Ejido	N	50	91	114	70	325
	La Enea	N	36	65	86	76	263
	Guararé	N	31	65	86	76	258
	Pocrí	S	364	90	138	68	660
	San José (SJ)	S	193	242	154	71	660

En el año 2004, la precipitación acumulada desde la antesis a la fase R2 (51-80 dds) estuvo ligeramente superior al valor mínimo para sufrir estrés hídrico (150 mm), con excepción de El Ejido (99.0 mm) y Candelaria (79.5 mm). La precipitación en esta fase para el 2005 fue superior a la observada el año anterior y en ninguna de las localidades se presentó lluvias por debajo de los 150 mm.

El año 2006 tuvo una precipitación menor en esta fase para todas las localidades del norte, mientras que las del sur, el registro de lluvias estuvo cerca de este valor.

En la otra fase crítica (después de 80 dds), la precipitación pluvial de la región en el 2004 estuvo por debajo del mínimo requerido (100 mm) en todas las localidades.

En el año 2005, la precipitación en esta fase fue normal, con excepción de los ensayos sembrados en Sabana Grande y Guararé, en donde se presentó una baja precipitación, 15 y 52.9 mm, respectivamente.

Para el 2006, la precipitación en esta fase tuvo registros muy similares en todas las localidades con valores que oscilaron entre 68 y 76 mm.

Tratamientos y diseño experimental:

Los tratamientos consistieron en dos factores en un arreglo factorial 3 x 3. El primer factor (Tipo de Suplementación) consistió en distintos manejos de la fertilización suplementaria a los 21 y 37 días después de siembra (dds) con los fertilizantes urea (46-0-0) y abono nitrogenado (27-6-3-2-4) (AbNit).

El otro factor, lo constituyó el uso de los bio-estimulantes del suelo a base de un extracto de algas (en dosis de 1.0 ltha⁻¹) y humus (en dosis de 4 ltha⁻¹), el tercer nivel de este factor fue el testigo (parcelas sin aplicación de bio-estimulantes), para un total de nueve tratamientos (Cuadro 4).

Los bio-estimulantes de suelo fueron aplicados al momento de la siembra junto con la aplicación de los herbicidas.

El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. El análisis estadístico consistió de un análisis de varianza combinado a través de localidades y años después de una prueba de homogeneidad de varianzas. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{tce} = \mu + A + \text{Loc}(A) + \text{Rep}(\text{Loc} \times A) + M + S + M \times S + A \times M + A \times S + \text{Loc} \times M + \text{Loc} \times S + A \times \text{Loc} \times M + A \times \text{Loc} \times S + \text{Loc} \times M \times S(A) + E_{ijk}$$

Donde:

A = Año

Loc = Localidad

Rep = Repetición

M = Tipo de mejorador

S= Tipo Suplemento

E_{ijk} = Error residual

Manejo agronómico:

Cada parcela experimental consistió de cinco surcos de 5.2 m de largo a una densidad teórica de 6.25 plantas/m². Esto se obtuvo con una distancia de siembra de 80 cm entre hilera y 20 cm entre golpes, dejando una planta en cada golpe.

Los cultivares utilizados fueron el X-1358K (2004) y 30F-80 (2005 y 2006), los mismos fueron tratados con el insecticida thiodicarb a razón de 7 g i.a.:kg de semilla. El control de malezas se realizó con la aplicación de la mezcla de atrazina más pendimentalina a razón de 1.50 y 1.65 kg i.a.:ha⁻¹, respectivamente, en algunas localidades y la mezcla de estos dos herbicidas con glifosato a razón de 1.84 kg i.a.:ha⁻¹ en otras.

Todos los ensayos recibieron una fertilización base de 227 kg·ha⁻¹ del abono completo 13-26-6-7 al momento

de la siembra. En el Cuadro 5 se observa las cantidades de los distintos nutrimentos aplicados en los diferentes

tratamientos debido a la variación entre los factores del tipo de suplementación.

CUADRO 4. ESTRUCTURA DE TRATAMIENTOS EVALUADOS EN CINCO LOCALIDADES DE AZUERO, PANAMÁ.

Trat	Denominación	Bio-estimulante del suelo	Tipo de Suplementación			
			1ª Aplicación 21 dds (kg·ha ⁻¹)		2ª Aplicación 37 dds (kg·ha ⁻¹)	
1	SUU	Sin aplicación	Urea	(159)	Urea	(205)
2	SCU	Sin aplicación	Ab. Nitrogenado	(159)	Urea	(205)
3	SCC	Sin aplicación	Ab. Nitrogenado	(159)	Ab. Nitrogenado	(159)
4	AUU	Extracto de Algas	Urea	(159)	Urea	(205)
5	ACU	Extracto de Algas	Ab. Nitrogenado	(159)	Urea	(205)
6	ACC	Extracto de Algas	Ab. Nitrogenado	(159)	Ab. Nitrogenado	(159)
7	VUU	Humus	Urea	(159)	Urea	(205)
8	VCU	Humus	Ab. Nitrogenado	(159)	Urea	(205)
9	VCC	Humus	Ab. Nitrogenado	(159)	Ab. Nitrogenado	(159)

Trat = Tratamiento, dds = Días después de la siembra.

CUADRO 5. CANTIDADES DE N, P, K, S Y Ca APLICADOS EN CADA TRATAMIENTO.

Tratamientos	kg·ha ⁻¹				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Ca
1, 4 y 7 (Completo-Urea-Urea)	197	59	14	16	0
2, 5 y 8 (Completo- AbNit –AbNit)	115	78	23	29	6
3, 6 y 9 (Completo-AbNit-Urea)	167	69	18	22	3

Análisis de estabilidad:

Para el análisis de estabilidad se utilizó el modelo AMMI-Biplot GGE-SReg. Los modelos Lineal-Bilineal son instrumentos útiles para analizar los ensayos en múltiples ambientes y estudiar e interpretar la interacción del ambiente con los tratamientos (Crossa y Cornelius 1997). Entre estos modelos encontramos el de Efectos Principales e

Interacción Multiplicativa (AMMI) y el modelo del Regresión de sitios (SReg).

El modelo AMMI integra el análisis de varianza y el análisis de componentes principales (PCA) para determinar la interacción de los tratamientos en los distintos ambientes (Zobel et al. 1988, Yan et al. 2000).

Para este análisis se tomaron los nueve tratamientos sin considerar su arreglo factorial.

El modelo matemático para el análisis AMMI es:

$$Y_{te} = \mu + \tau_t + \beta_e + \sum_{n=1}^N \lambda_n Y_{tn} \delta_{en} + \rho_{ge}$$

Donde:

Y_{te} = Rendimiento promedio de un tratamiento t en un ambiente e

μ = Media General

λ_n = Es el valor singular para el PCA

N = Número de PCA retenidos en el modelo

Y_{tn} = Son los valores de vectores de los tratamientos (PCA)

τ_t = Efecto de las desviaciones de las medias de los tratamientos

β_e = Efecto de las desviaciones de las medias del ambiente

δ_{en} = Son los valores de los vectores para cada ambiente (PCA)

ρ_{ge} = Residual

Análisis económico:

Se realizó un análisis de presupuesto parcial para determinar la rentabilidad económica (Jáuregui y Saín 1990). Se tomaron datos de peso de campo de la mazorca, número de plantas y mazorcas cosechadas,

porcentaje de humedad del grano, rendimiento de rastrojo, número de plantas acamadas y altura de planta.

En este ensayo se utilizó el clorofilómetro Minolta modelo SPAD-502, para estimar el contenido de clorofila en 12 plantas por parcela y transformarlo en porcentaje de nitrógeno. Este muestreo se realizó en la hoja de la mazorca al momento de la floración a los 65 dds. Se calcularon los componentes del rendimiento estándares (Bolaños y Barreto 1991). Finalmente, para seleccionar el mejor tratamiento, se realizó un análisis de riesgo de los resultados propuesto por Vega (2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación:

Durante el año 2004, la lluvia registrada siete días antes de la primera aplicación suplementaria, tanto en El Ejido como en La Enea, fue menor de 5 mm. Se considera que la lluvia antes de la aplicación del suplemento, afecta de manera directa la absorción de nutrimentos y, por lo tanto, la eficiencia de uso del nutrimento (Cuadro 6).

En Guararé se obtuvo un mejor registro de lluvias en este período (14.8 mm), mientras que en las

localidades de Candelaria y Pocrí la humedad no fue limitante en esta fase (registros > 50 mm).

Para el año 2005, la precipitación acumulada más baja se dio en El Ejido con un registro de 16, el resto de las localidades no presentaron bajas precipitaciones en esta etapa del cultivo.

Durante el 2006, las localidades del norte (El Ejido, Guararé y La Enea) presentaron registros bajos antes de la primera aplicación de la fertilización suplementaria lo que afectó de manera significativa esta práctica; las localidades del sur no tuvieron problemas por humedad al momento de esta aplicación.

CUADRO 6. PRECIPITACIÓN PLUVIAL ACUMULADA ANTES DE LA APLICACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SUPLEMENTARIA.

Localidades	El Ejido	La Enea	Guararé	Pocrí	Candelaria	El Ejido	La Enea	Guararé	Pocrí	Sabana Grande	El Ejido	Guararé	La Enea	San José	Pocrí
	2004					2005					2006				
% arcilla	18	20	46	36	24	34	12	42	26	14	40	30	34	34	26
Fecha Apl.	28-Sep	29-Sep	29-Sep	12-Oct	05-Oct	21-Sep	23-Sep	30-Sep	3-Oct	11-Oct	19-Sep	26-Sep	29-Sep	29-Sep	4-Oct
Ppt acum 1 FS ^a	0.0	5.0	14.8	154.9	50.7	16.0	25.0	97.8	75.0	46.0	13.0	0.0	9.0	22.3	69.4
Fecha Apl	20-Oct	19-Oct	18-Oct	28-Oct	20-Oct	7-Oct	10-Oct	17-Oct	19-Oct	26-Oct	5-Oct	11-Oct	11-Oct	12-Oct	18-Oct
Ppt acum 2 FS ^a	66.0	33	20.4	89.9	9.1	58.0	44.0	18.5	131.7	33.0	27.0	14.1	15.0	50.7	70.9

^a Se considera la precipitación de los siete días antes de la aplicación de la fertilización suplementaria (incluyendo la fecha de aplicación)
FS = Fertilización suplementaria

En contraste a la primera aplicación suplementaria en donde hubo localidades con baja precipitación antes de esta aplicación, en la semana anterior a la segunda fertilización en los tres años que duró el estudio, se presentaron registros superiores a 18.5 mm con excepción de Candelaria (2004), La Enea (2006) y Guararé (2006) cuyo registros fueron de 9.1, 15.0 y 14.1 mm, respectivamente, lo que representa una

mayor eficiencia en el uso de la fertilización suplementaria en esta aplicación.

Análisis de varianza:

El análisis de varianza combinado del rendimiento y algunas características agronómicas se presenta en el Cuadro 7. Se encontró diferencias estadísticas entre años para las diversas variables estudiadas exceptuando el rendimiento de grano, la lectura del clorofilómetro e

de grano, la lectura del clorofilómetro e ingreso neto. Dicho análisis mostró diferencias altamente significativas entre ambientes anidados en los años para todas las variables estudiadas. El análisis, también indicó que se presentaron diferencias altamente significativas para el efecto de tipo de suplementación para el rendimiento de grano, así como las lecturas del clorofilómetro y peso de mazorcas, el resto de las variables no mostró diferencias estadísticas para este factor.

Por otro lado, tanto el efecto de los bio-estimulantes del suelo (Mejoradores) como la interacción tipo de suplemento por mejorador y la interacción año por mejorador, no mostraron diferencias significativas para ninguna de las variables medidas. El análisis indicó diferencias altamente significativas para el rendimiento de grano en las interacciones año por tipo de suplementación, ambientes por tipo de suplemento y año por ambiente por tipo de suplemento.

CUADRO 7. CUADRADOS MEDIOS Y GRADOS DE LIBERTAD DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA COMBINADO DEL RENDIMIENTO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.

F de V	gl	Cuadros medios									
		Rend	Clor 65	Pt/m ²	Mz/m ²	Mz/Pt	Peso mz	Aca	Rast	Ing. Neto	
Año	2	0.88 ^{n.s.}	22.1 ^{n.s.}	1.517**	1.880**	0.006**	559.3**	31425.0**	44.79**	12413 ^{n.s.}	
Amb (Año)	8	26.77**	61.0**	4.886**	6.766**	0.023**	5350.0**	21030.9**	65.46**	571867**	
Rep (Año x Amb)	45	0.83	10.9	0.194	0.160	0.001	263.1	38.7	2.47	29972	
Mejorador	2	0.24 ^{n.s.}	13.2 ^{n.s.}	0.007 ^{n.s.}	0.002 ^{n.s.}	0.000 ^{n.s.}	117.0 ^{n.s.}	53.9 ^{n.s.}	0.08 ^{n.s.}	45325 ^{n.s.}	
Tipo de suplemento	2	2.53**	44.2**	0.096 ^{n.s.}	0.236 ^{n.s.}	0.001 ^{n.s.}	457.1**	152.4 ^{n.s.}	0.23 ^{n.s.}	53903*	
Tipo Sup x Mejorador	4	0.09 ^{n.s.}	16.8 ^{n.s.}	0.071 ^{n.s.}	0.082 ^{n.s.}	0.002 ^{n.s.}	59.1 ^{n.s.}	8.0 ^{n.s.}	0.48 ^{n.s.}	4362 ^{n.s.}	
Año x Mejorador	4	0.07 ^{n.s.}	10.5 ^{n.s.}	0.018 ^{n.s.}	0.032 ^{n.s.}	0.001 ^{n.s.}	21.8 ^{n.s.}	20.9 ^{n.s.}	1.06 ^{n.s.}	3918 ^{n.s.}	
Año x Tipo Sup	4	1.80**	3.2 ^{n.s.}	0.121 ^{n.s.}	0.332*	0.004 ^{n.s.}	379.1**	39.1 ^{n.s.}	2.17 ^{n.s.}	96944**	
Amb x Mejorador	8	0.70 ^{n.s.}	20.5*	0.031 ^{n.s.}	0.045 ^{n.s.}	0.001 ^{n.s.}	145.4 ^{n.s.}	30.3 ^{n.s.}	2.15*	44549*	
Amb x Tipo Sup	8	1.80**	7.1 ^{n.s.}	0.096 ^{n.s.}	0.063 ^{n.s.}	0.001 ^{n.s.}	345.9**	62.8 ^{n.s.}	1.14 ^{n.s.}	113865**	
Año x Amb x Mejorador	16	0.82**	14.4 ^{n.s.}	0.045 ^{n.s.}	0.117 ^{n.s.}	0.002 ^{n.s.}	161.5*	59.7 ^{n.s.}	1.61*	36549 ^{n.s.}	
Año x Amb x Tipo Sup	16	1.05**	16.2*	0.203**	0.249**	0.002 ^{n.s.}	115.6 ^{n.s.}	85.9 ^{n.s.}	1.44 ^{n.s.}	77969**	
Loc x Mej x Tipo Sup (Año)	56	0.28 ^{n.s.}	9.4 ^{n.s.}	0.065 ^{n.s.}	0.079 ^{n.s.}	0.002 ^{n.s.}	87.6 ^{n.s.}	46.1 ^{n.s.}	1.09 ^{n.s.}	15831 ^{n.s.}	
Error	358	0.40	9.8	0.090	0.122	0.002	90.1	66.2	0.99	21777	
CV (%)		9.5	5.8	5.0	6.0	4.5	8.5	77.4	16.4	11.0	

** , * = diferencias estadísticas con probabilidad menor al 1, 5 %; ^{n.s.} = no hay diferencias significativas;

Pt = planta; Clor = Lectura clorofilómetro; Mz = Mazorca; Rend = Rendimiento; Aca, = % Acame; Rast = rastrojo; Ind = Índice de cosecha

CUADRO 8. RENDIMIENTO DE GRANO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS OBTENIDAS EN LAS CINCO LOCALIDADES.

Tratamientos	Clor		Mz/m ²	Mz/Pt	Peso Mz	Rend (t · ha ⁻¹)		Aca
	65 dds	Pt/m ²			(g)	Grano	Rast	(%)
1. Solo Urea-Urea	54.4	6.05	5.83	0.96	112.3	6.71	6.07	11.3
2. Solo AbNit-AbNit	53.9	5.96	5.77	0.97	111.1	6.57	6.04	10.2
3. Solo AbNit-Urea	53.9	6.00	5.80	0.97	112.8	6.67	6.05	10.7
4. Alga Urea-Urea	54.4	6.00	5.86	0.98	113.1	6.72	6.05	11.7
5. Alga AbNit-AbNit	52.4	6.01	5.77	0.96	109.1	6.42	6.23	9.8
6. Alga AbNit-Urea	53.9	6.03	5.83	0.97	111.6	6.63	5.89	10.2
7. Humus Urea-Urea	53.9	6.00	5.81	0.97	113.7	6.77	6.04	12.5
8. Humus AbNit-AbNit	53.6	6.00	5.80	0.97	110.4	6.52	6.07	10.3
9. Humus AbNit-U	54.4	5.96	5.78	0.97	114.8	6.74	6.12	11.7
DMS	4.3	0.42	0.49	0.06	13.2	0.88	1.39	11.3
Bio-estimulante del suelo								
Solo	54.1	6.00	5.80	0.97	112.1	6.65	6.05	10.7
Alga	53.6	6.02	5.82	0.97	111.3	6.59	6.06	10.6
Humus	53.9	5.99	5.80	0.97	113.0	6.68	6.07	11.5
Tipo suplementación								
Urea-Urea	54.2	6.02	5.83	0.97	113.0	6.73	6.05	11.8
AbNit-AbNit	53.3	5.99	5.78	0.96	110.2	6.50	6.11	10.1
AbNit-Urea	54.1	5.99	5.80	0.97	113.1	6.68	6.02	10.9
DMS	2.5	0.24	0.28	0.03	7.6	0.51	0.80	6.5

Clor = Lectura clorofilómetro, Pt = Planta, Mz = Mazorca, Rend = Rendimiento, Aca = Acame, Rast = Rastrojo, Ind = Índice.

De manera resumida, se observó que las fuentes que incluyeron el tipo de suplementación para el rendimiento de grano presentaron diferencias altamente significativas. Se pueden observar, en el Cuadro 8, el promedio del rendimiento de grano, así como las otras variables medidas durante el desarrollo de los ensayos, para cada tratamiento y factor en estudio.

Efecto del tipo de suplementación en el rendimiento de grano:

De acuerdo al análisis de separación de medias realizado, se

encontró que la doble aplicación del abono nitrogenado (6.50 t·ha⁻¹) fue superada estadísticamente por la doble aplicación de urea y la combinación urea-AbNit en el promedio de los tres años (6.73 y 6.68 t·ha⁻¹, respectivamente). Esta respuesta varió en los tres años, presentando la interacción año por tipo de suplementación diferencia altamente significativa.

En el 2004, no se presentaron diferencias entre las tres formas de suplementar el cultivo, obteniéndose medias de 6.76, 6.63 y 6.71 t·ha⁻¹,

respectivamente. Esta respuesta, se puede explicar debido a lo errático de las lluvias y los problemas de falta de humedad (en algunas localidades) al momento de la primera aplicación suplementaria del nitrógeno, lo que pudo haber favorecido a los tratamientos que utilizaron el AbNit y afectando los tratamientos con urea.

El segundo año de evaluación, en contraste con el primer año, los tratamientos urea-urea (6.92 t ha^{-1}) y AbNit-urea (6.74 t ha^{-1}) superaron estadísticamente al tratamiento con doble aplicación de AbNit (6.30 t ha^{-1}); a diferencia del año 2004, en el año 2005 no hubo déficit hídrico en la época de aplicación de los abonos suplementarios;

por lo que la humedad en esta etapa favoreció la buena asimilación de la urea por parte del cultivo.

El año 2006 tuvo similar comportamiento al primer año de estudio, en donde no se observaron diferencias entre las tres fuentes. Las medias observadas para los tres tratamientos fueron de 6.52 , 6.58 y 6.58 t ha^{-1} , respectivamente. Cabe señalar que en estos dos años la precipitación pluvial fue errática y hubo bajos registros al momento de la aplicación de la primera fertilización suplementaria. De los tres tratamientos, el más estable fue la combinación AbNit-urea con rendimientos muy similares durante los tres años (6.71 , 6.74 y 6.58 t ha^{-1} , respectivamente) (Figura 1).

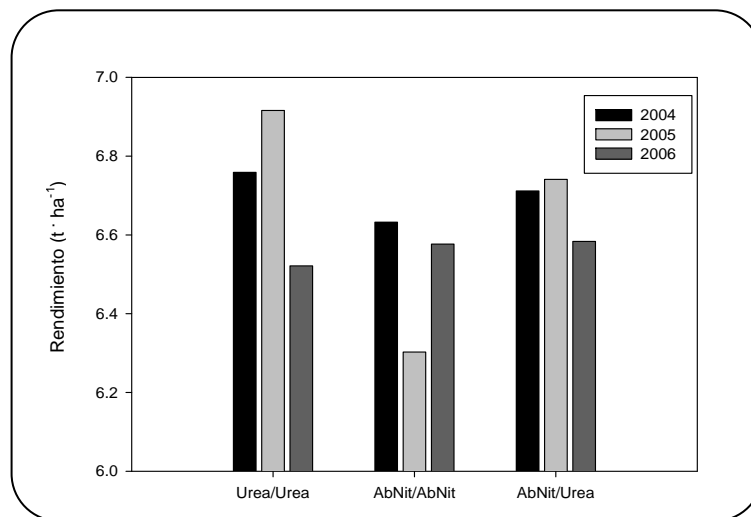


Figura 1. Rendimiento promedio de grano según tipo de suplementación.

En relación al efecto de los tipos de suplementación en las distintas localidades, se observó que la respuesta varió de acuerdo a las localidades. En las localidades de Guararé y Candelaria - Sabana Grande - San José (04-06) la combinación urea-AbNit superó ligeramente a la doble aplicación de urea y en mayor proporción a la doble aplicación de AbNit. Por el contrario, en El Ejido y La Enea, no se encontraron diferencias estadísticas entre los tres tipos de suplementación, pero los tratamientos con dos aplicaciones de AbNit tuvieron rendimientos ligeramente superior a los tratamientos con doble o una sola

aplicación de urea, estas localidades tuvieron en común que son las que menos precipitación acumularon en los días previos a la primera aplicación suplementaria del nitrógeno (0, 16 y 13 mm en El Ejido y 5, 25 y 9 mm en La Enea).

En contraste con las otras localidades, en Pocrí las parcelas tratadas con la doble aplicación de urea superaron significativamente a la aplicación doble de AbNit, así como a la combinación AbNit-urea, esta localidad presentó en ambos años el mayor registro de lluvia acumulada antes de la aplicación del nitrógeno (Figura 2).

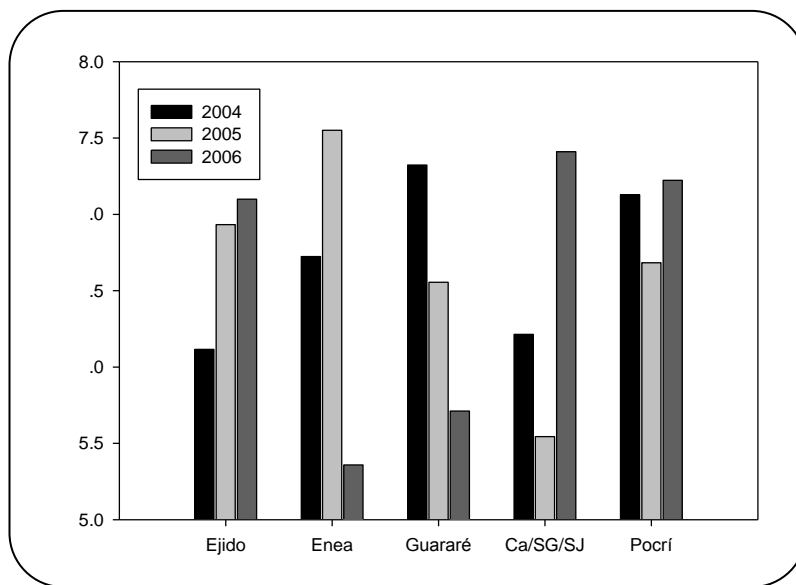


Figura 2. Rendimiento de grano según tipo de suplementación en las cinco localidades.

La respuesta de la aplicación de los diferentes tipos de suplementos en los distintos ambientes a través de los años se puede observar en la Figura 3. En Guararé (2004 y 2005), Candelaria (2004), Sabana Grande (2005), San José (2006) y El Ejido (2005) los tratamientos a base de urea y la combinación de AbNit-urea superaron al

tratamiento con la doble aplicación de AbNit. En Pocrí se observó la misma respuesta, pero con un rendimiento superior para el tratamiento con la doble aplicación de urea en el año 2005. En estas localidades el rendimiento obtenido en el 2004 fue superior al obtenido en el año 2005.

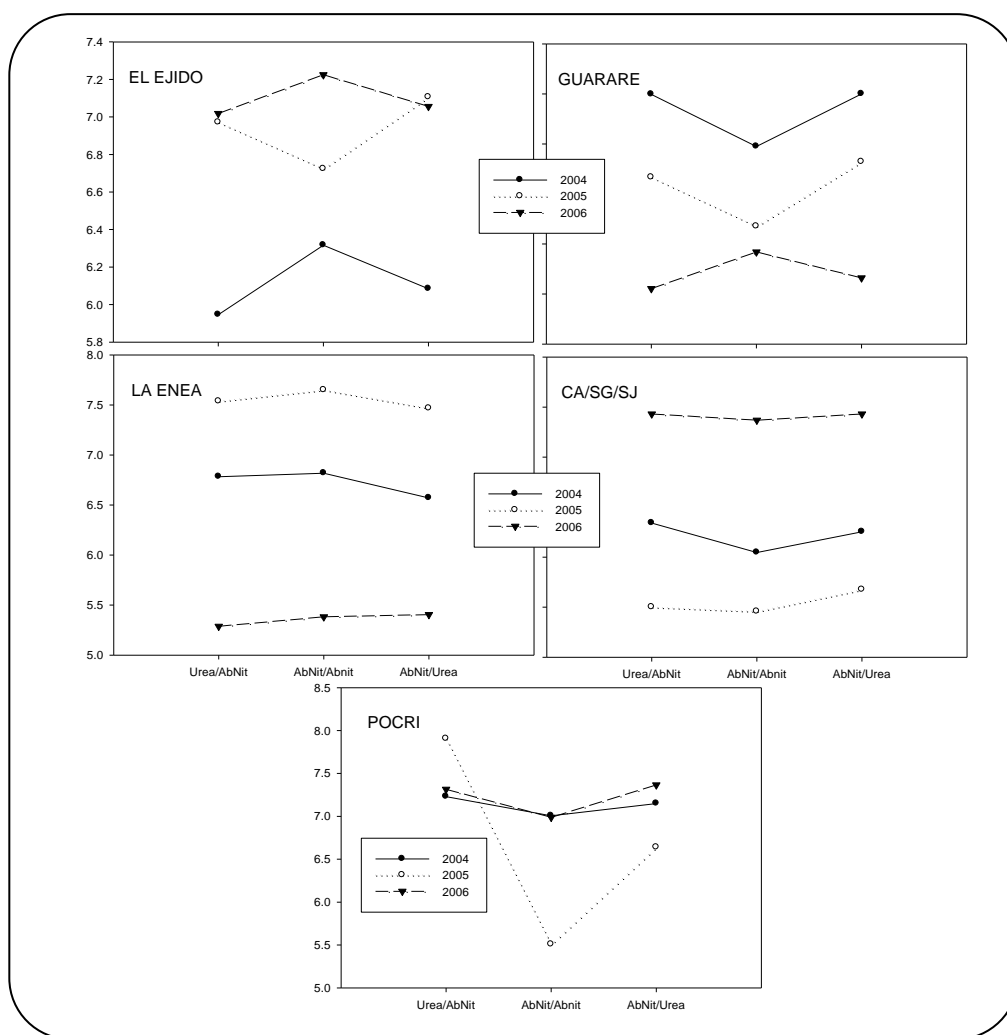


Figura 3. Rendimiento de grano según tipo de suplementación en las cinco localidades evaluadas durante tres años.

En contraste, en La Enea (2004, 2005 y 2006), El Ejido (2004 y 2006) y en Guararé (2006) la respuesta obtenida mostró que el mejor tratamiento fueron aquellas parcelas con doble aplicación de AbNit, seguido de la doble aplicación de urea. Cabe señalar que el rendimiento en El Ejido y La Enea en el 2005 superó al obtenido durante el año 2004.

Este resultado indica que, aun siendo el nitrógeno uno de los nutrimentos con mayor respuesta en la región maicera de Azuero, la reducción de este nutrimento en los tratamientos evaluados con la aplicación parcial o total de AbNit no afectó el rendimiento total (Cuadro 5).

Interpretación del análisis

AMMI Biplot GGE-SReg:

El análisis de varianza para la variable rendimiento de grano, que se muestra en el Cuadro 9, así como el valor de los dos ejes principales de la interacción tratamientos-ambiente, obtenidos a través del modelo AMMI Biplot GGE-SReg. El resultado indicó que los dos primeros ejes (PCA) explicaron el 81.2% de la interacción genotipo ambiente con tan solo el 41.6% de los grados de libertad. El PCA-1 explicó el 66.4%, mientras que el PCA-2 fue responsable del 14.8% con el 17.9 y 16.2% de los grados de libertad, respectivamente.

CUADRO 9. ANÁLISIS DE VARIANZA TIPO IV Y COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE GRANO.

F de V	gl	SC	CM	F	Pr > F	%
Loc	14	242.02	17.29	20.85	**	
Rep (Loc)	45	37.32	0.83			
Trat	8	5.79	0.72	1.82	*	
Loc x Trat	112	70.62	0.63	1.59	**	
PCA 1	21	52.51	3.17	6.30	**	66.4
PCA 2	19	11.68	0.60	1.55	**	14.8
Residual	77	14.84	0.20			18.8

* Diferencia significativa ($P < 0.05$).

** Diferencia altamente significativa ($P < 0.01$).

Las puntuaciones o valores AMMI, que se presentan en la Figura 4, tanto de los nueve tratamientos como de los quince ambientes, muestran diferentes patrones de interacción. De acuerdo a las puntuaciones de ambos ejes (PCA-1 y

PCA-2) se formaron tres Grupos Ambientales; el primer grupo (Grupo A) estuvo conformado por las localidades de El Ejido 04 (EJ4), La Enea 04 (EN4) y La Enea 05 (EN5) San José 06 (SJ6) y Guararé 06 (GU6); el segundo grupo

(Grupo B) lo formaron ocho localidades, entre estas tenemos los dos años de Guararé (GU4 y GU5), El Ejido 05 (EJ5), Sabana Grande 05 (SG5), Pocrí 04 y 06

(PO4 y PO6), La Enea 06 (EN6) y La Candelaria 04 (CA4). El último grupo ambiental, estuvo representado por la localidad de Pocrí del año 2005 (PO5).

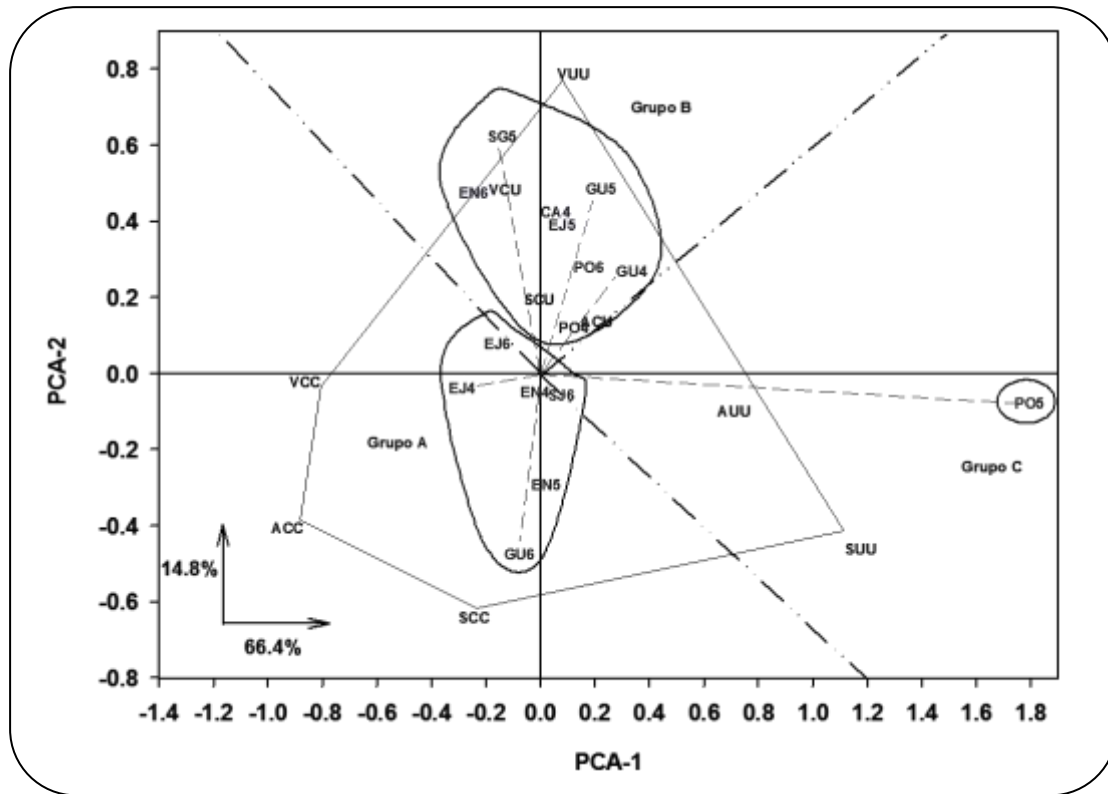


Figura 4. Puntuaciones del primer y segundo eje principal de los nueve tratamientos en 15 ambientes de Azuero, Panamá.

De acuerdo a Yan et al. (2000) y Crossa et al. (2002), los mejores tratamientos en cada grupo ambiental se encuentran en los vértices del polígono formado al unir los tratamientos que se encuentran en la periferia de cada región en la gráfica Biplot GGE. Así tenemos que en el Grupo A, sobresalieron los tratamientos con la doble aplicación de AbNit (ACC y VCC). En cambio, en el

Grupo B sobresalieron los tratamientos con la combinación AbNit-urea (VCU), así como el de doble aplicación de urea (VUU). En la localidad que conformó el Grupo C, sobresalieron los tratamientos con la doble aplicación de Urea (SUU y AUU). Estos resultados coinciden con lo observado en la Figura 3. El tratamiento más estable a través de todas las localidades fue el de humus AbNit-AbNit

(VCC) por estar más cerca al cero del eje del PCA2.

Efecto de los bio-estimuladores del suelo:

La ganancia promedio observada a través de todas las localidades por la aplicación de los bio-estimuladores del suelo fueron mínimas en comparación a las parcelas sin aplicación de estos productos. En relación a las lecturas del clorofilómetro a los 65 días, este instrumento no detectó diferencias entre parcelas tratadas y no tratadas. Esta misma relación se encontró para el peso de mazorca y producción de rastrojo por hectárea (Cuadro 8). Al analizar la respuesta en las distintas localidades, se observó un ligero aumento del rendimiento cuando se aplicó el tratamiento a base de humus en El Ejido, con ganancias de 0.16, 0.27 y 0.25 tha^{-1} para los años 2004, 2005 y 2006, respectivamente. Otras localidades en donde se observó esta tendencia fue en Sabana Grande (2005) y La Enea (2006), con ganancias de 0.60 y 0.71 tha^{-1} , respectivamente (Figura 5).

En las localidades de La Enea (2004 y 2005), Guararé (2004 y 2006), Pocrí (2004, 2005 y 2006) y San José

(2006), no se observó respuesta por la aplicación de ninguno de los dos bio-estimulantes, siendo el rendimiento de las parcelas sin aplicación, iguales o superiores al encontrado en las parcelas con aplicación de los mismos. La interacción de los factores en estudios no fue significativa estadísticamente, pero se observó una tendencia que indica que el rendimiento de grano en las parcelas en que se realizó la aplicación del bio-estimulante a base de humus fue mayor con la aplicación de la doble aplicación de urea y la combinación AbNit-urea (Figura 6).

Análisis económico:

Para el análisis económico de las distintas alternativas se utilizó la base de datos que se presenta en el Cuadro 10. El resultado del análisis de dominancia entre los distintos tratamientos indicó que todos los tratamientos fueron dominados por el tratamiento de doble aplicación de AbNit sin utilización de bio-estimulantes. Cuando se le realizó el análisis por factor se encontró que la doble aplicación de AbNit dominó a los otros dos niveles de este factor, mientras que la aplicación de los bio-estimulantes fueron dominados por el tratamiento sin aplicación.

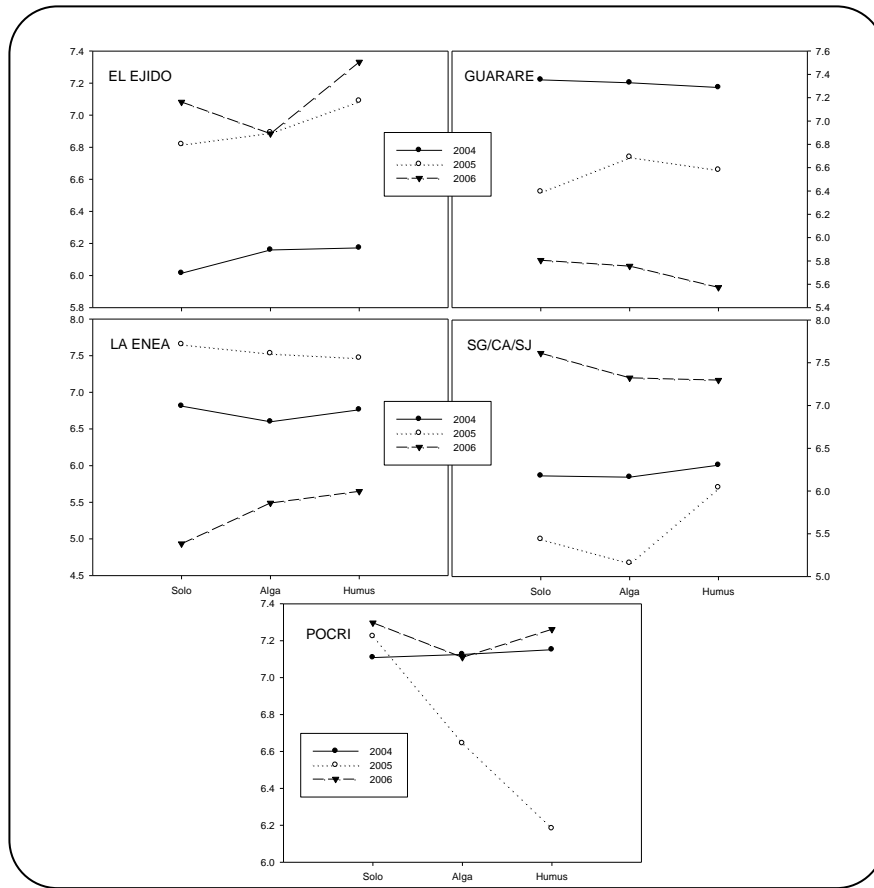


Figura 5. Rendimiento de grano según bio-estimulante aplicado en las cinco localidades evaluadas.

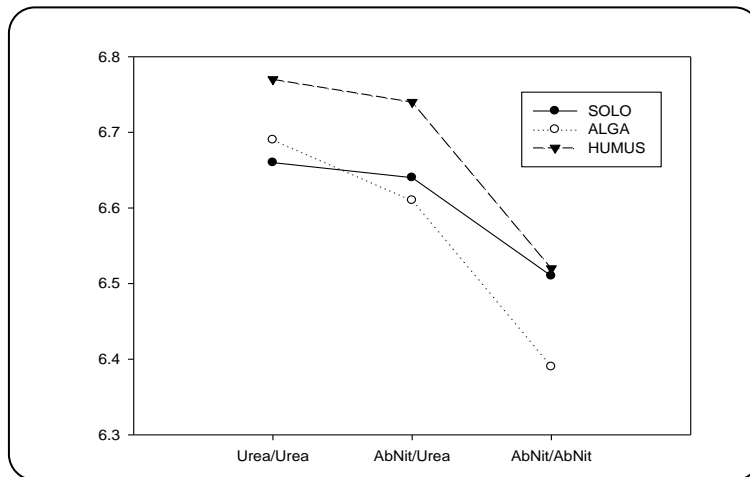


Figura 6. Interacción entre el tipo de suplementación y el uso de bio-estimulantes en el cultivo de maíz.

CUADRO 10. ANÁLISIS DE PRESUPUESTO PARCIAL DEL ENSAYO DE EVALUACIÓN DE TIPO DE SUPLEMENTOS Y MEJORADORES DEL SUELO.

Bio Est.	Tipo Supl.	Costo Bio Est.	Costo Tipo Supl.	Costos Var.	Rend t ha ⁻¹	Ingreso Bruto	Ingreso Neto	Desv. Est.	CV %	Límite Min.	Límite Max.	
Solo	AbNit-AbNit	0.00	199.50	199.50	6.57	2167.23	1967.73	356.01	12.9	1713.93	2221.53	
Alga	AbNit-AbNit	19.00	199.50	218.50	6.42	2119.65	1901.15	d	253.80	13.4	1647.32	2154.97
Humus	AbNit-AbNit	30.40	199.50	229.90	6.52	2151.97	1922.07	d	267.12	12.8	1676.38	2167.77
Solo	AbNit-Urea	0.00	261.75	261.75	6.67	2200.52	1938.77	d	274.41	13.8	1671.66	2205.89
Alga	AbNit-Urea	19.00	261.75	280.75	6.63	2187.44	1906.69	d	253.83	13.4	1652.11	2161.27
Solo	Urea-Urea	0.00	288.00	288.00	6.71	2213.78	1925.78	d	254.58	18.5	1569.77	2281.79
Humus	AbNit-Urea	30.40	261.75	292.15	6.74	2223.98	1931.83	d	235.52	10.9	1720.49	2143.17
Alga	Urea-Urea	19.00	288.00	307.00	6.72	2217.14	1910.14	d	245.69	14.4	1635.73	2184.54
Humus	Urea-Urea	30.40	288.00	318.40	6.77	2233.82	1915.42	d	211.34	12.3	1679.90	2150.94
	AbNit-AbNit	16.47	199.50	215.97	6.50	2146.28	1930.24		251.11	13.0	1679.21	2181.42
	AbNit-Urea	16.47	261.75	278.22	6.68	2203.98	1925.74	d	244.34	12.7	1681.42	2170.11
	Urea-Urea	16.47	288.00	304.47	6.73	2221.58	1917.11	d	288.65	15.1	1628.46	2205.76
Solo		0.00	249.75	249.75	6.65	2193.84	1944.09		292.31	15.0	1651.78	2236.40
Alga		19.00	249.75	268.75	6.59	2174.74	1905.99	d	260.94	13.7	1645.05	2166.93
Humus		30.40	249.75	280.15	6.68	2203.26	1923.11	d	230.85	12.0	1692.26	2153.96

Urea = B/. 0.792 kg⁻¹, AbNit = B/. 0.627 kg⁻¹; Ext Alga = B/. 19.00 lt⁻¹; Humus = B/. 7.60 lt⁻¹;
Maíz = B/. 0.330 kg⁻¹, d = dominado

Además del análisis económico se calculó el riesgo asociado tomando en cuenta la desviación estándar y el coeficiente de variación de acuerdo a la metodología expresada por Vega (2004). Este análisis mostró que el tratamiento con doble aplicación de AbNit y sin bioestimulantes a pesar de dominar al resto de los tratamientos con el mayor ingreso neto y menores costos que varían, posee un coeficiente de variación superior al tratamiento de humus y la aplicación de AbNit-urea, producto de la mayor

variación de los rendimientos obtenidos durante los tres años del estudio. Por lo tanto, se puede indicar que el productor tiene un 84% de confianza para obtener al menos una ganancia de B/. 1720.49 cuando utilice la aplicación de humus y la combinación AbNit-urea.

Cuando se tomaron en cuenta los factores se encontró que los coeficientes de variación más altos se encontraron en los tratamientos con doble aplicación de urea (15.1%), mientras que los más

bajos se encontraron en los tratamientos que incluyeron la aplicación de AbNit-urea. Esto se tradujo en que el límite mínimo de los beneficios netos calculados (restando el valor de una vez la desviación estándar del promedio) de este factor (B/. 1628.46) fue superado por el valor calculado del tratamiento con la combinación AbNit-urea (B/. 1681.42), debido a que éste presentó menor variabilidad en los tres años que duró el experimento (Cuadro 10).

En relación a los bio-estimulantes del suelo los tratamientos con la aplicación de humus tuvieron el mayor retorno mínimo con B/. 1692.26, superando a los otros dos factores en estudio.

CONCLUSIONES

- Durante los tres años del estudio, no se observó un incremento estadísticamente significativo en el rendimiento de grano por la aplicación de los bio-estimulantes del suelo.
- La precipitación pluvial durante el desarrollo del cultivo afecta la recomendación de la sustitución de la urea por otros tipos de suplementos.

- En años de precipitación errática o escasa, los tratamientos con AbNit pueden ser una alternativa para la sustitución del uso de urea, en la primera aplicación, a los 21 días después de siembra.
- El análisis económico indicó que la doble aplicación de AbNit sin bio-estimulante superó desde el punto de vista económico al resto de los tratamientos evaluados.
- La aplicación de la combinación AbNit-urea resultó con menor variabilidad a través de los años, lo que sugiere ser un tratamiento más seguro.

BIBLIOGRAFÍA

- Bolaños, J; Barreto, H. 1991. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990. In Análisis de los Resultados Experimentales del PRM 1990, v. 2, p. 9-27.
- Canales, B. 1999. Enzimas-Algas: Posibilidades de su uso para Estimular la Producción Agrícola y Mejorar los Suelos. Terra 13(9):271-276.

- Crossa, J; Cornelius, PL. 1997. Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variances. *Crop Sci.* 37:405-415.
- Crossa, J; Cornelius, PL; Yan, W. 2002. Biplot of Linear-Bilinear Models for Studying Crossover Genotype x Environment Interaction *Crop Sci.* 42:1761.
- Díaz-Romeu, R; Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejidos vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, CR, CATIE. 68 p.
- Gordón, R; González, A; De Gracia, N; Franco, J. 1997. Eficiencia del uso de nitrógeno aplicado en forma de urea en el cultivo de maíz, Azuero, Panamá, 1993-95. In Síntesis de los resultados experimentales del PRM, 1993-95. CIMMYT-PRM, Guatemala. v. 5, p. 159-163.
- Gordón, R; Franco, J; González, A. 2004. Determinación de la dosis óptima de nitrógeno para el cultivo de maíz con tres modelos de respuesta, Azuero, Panamá, 2000-2002. *Revista Ciencia Agropecuaria* no. 15:1-16.
- Jauregui, MA; Saín, G. 1990. Continuous economic analysis of crop response to fertilizer in on farm research. CIMMYT. México DF. 125 p.
- Metting, B; Zimmerman, WJ; Crouch, I; Van Staden, J. 1990. Agronomic uses of seaweed and microalgae. In Introduction to applied phycology. SPB, The Hague, The Netherlands. p. 267-307.
- Palau-Bioquim. 2005. Algaenzims® (en línea). Consultado 31 mayo 2007. Disponible en <http://filsa.com.mx/plm/prods/749.htm>
- Paliwal, RL; Granados, G; Lafitte, R; Violic, AD. 2001. El Maíz en los trópicos: Mejoramiento y Producción. Colección FAO: Producción y protección vegetal no. 28.
- Potash and Phosphate Institute. 1988. Manual de Fertilidad de los Suelos. Primera Impresión en español. 85 p.

Senn, TL. 1987. Seaweed and plant growth. Traducido al Español por Benito Canales López. Crecimiento de alga y planta. Ed. Alpha Publishing Group, Houston, Texas, USA. 192 p.

Vega, F. 2004. Consideraciones sobre el riesgo asociado a recomendaciones de resultados de investigación. Revista Ciencia Agropecuaria no. 15:135-143.

Yan, W; Hunt, LA; Sheng, Q; Szlavnic, Z. 2000. Cultivar Evaluation and Mega Environment Investigation based on the GGE Biplot. Crop Sci. 40:597-605.

Zobel RW; Wright, MJ; Gauch JR, HG. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agron. J. 80:388-393.

LÍNEAS DE FRIJOL POROTO CON ALTO CONTENIDO DE HIERRO Y ZINC¹

Emigdio Rodríguez Quie²; Román Gordón Mendoza³; Francisco González Guevara⁴; Eric Quirós Rodríguez⁵; Ricardo Hernández Rojas⁶; Eduardo Palacios Rodríguez⁷; Audino Melgar Moreno⁸

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar un grupo de líneas de frijol poroto para seleccionar las de mayor rendimiento de grano y alto contenido de hierro y zinc. En el 2009, se seleccionaron parcelas en siete áreas agroecológicas contrastantes para evaluar 64 líneas utilizando un diseño de Alfa Látice 8 x 8 con dos repeticiones. En el segundo año, las 20 mejores líneas se evaluaron en cuatro localidades en un diseño Alfa Látice 5 x 4 con tres repeticiones. En ambos ciclos de evaluación, se realizó un análisis tipo REML para estimar los componentes de la varianza para rendimiento de grano. Para la interpretación de la interacción genotipo ambiente se utilizó el análisis AMMI Biplot-SReg. En el primer año se realizó el análisis combinado de cinco de las siete localidades en función al cálculo del índice de repetitividad ($h^2 > 0.30$) calculado para la variable rendimiento. El análisis de varianza indicó diferencias ($P < 0.01$) para los ambientes, genotipos y la interacción genotipo ambiente; los componentes principales 1 y 2 resultaron diferentes ($P < 0.01$). Seleccionaron 11 líneas con alto contenido de hierro y zinc y ocho líneas por sus altos rendimientos. Para el segundo año se encontraron diferencias ($P < 0.01$) entre localidades y tratamientos. Las líneas de frijol poroto con mayores contenidos de hierro fueron NUA 24, NUA 27, NUA 59 y NUA 46 con 93, 87, 85 y 83 ppm, respectivamente. El promedio del contenido de zinc para estas líneas fue de 33 ppm.

PALABRAS CLAVES: Variedades, localidades, interacción genotipo ambiente, rendimiento, Biplot GGE-SReg.

¹ Recepción: 31 de julio de 2013. Aceptación: 2 de octubre de 2013. Trabajo del IDIAP financiado por el proyecto de Biofortificación del frijol común en Panamá. SENACYT.

² M.Sc. en Fitomejoramiento. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOc). e-mail:erodriguezq15@yahoo.es

³ M.Sc. en Protección de Cultivos. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Azuero (CIAA). e-mail:gordon.roman@gmail.com

⁴ Agr. IDIAP. CIAOc. e-mail:pancho125710@yahoo.com

⁵ Ing. Agr. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC). e-mail:ericquirosr@yahoo.es

⁶ Ing. Agr. IDIAP. CIAC. e-mail:ricahernandezr@yahoo.es

⁷ Ing. Agr. IDIAP. CIAOc. e-mail:ingeduardopr03@yahoo.com

⁸ M.Sc. en Nutrición Animal. IDIAP. CIAOc. e-mail:melgmore@gmail.com

LINES OF BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) WITH HIGH OF IRON AND ZINC

ABSTRACT

This work was developed in order to evaluate a group of kidney bean lines and to select those with high grain yield and high iron and zinc content. In 2009 there were selected seven contrasting ecological environment to assess 64 lines using an Alpha Lattice Design 8 x 8 with two replicates. During the second year the top 20 lines were evaluated at four locations with an Alpha Lattice 5 x 4 with three replicates. Assessments in both cycles of yield were analyzed with REML, to estimate variance components for grain yield. The genotype-environment interaction was explained using AMMI Biplot-SReg analysis. During the first year, five locations were included in a combined analysis due to the repeatability index ($h^2 > 0.30$) of grain yield. The analysis of variance indicated differences ($P < 0.01$) among environments, genotypes and genotype-environment interaction; the main components 1 and 2 were also significant ($P < 0.01$). Eleven lines were selected with high iron and zinc content and 8 lines for its high yields. For the second year high significant differences ($P < 0.01$) between sites and treatments were found. The beans lines with the highest iron content were NUA 24, NUA 27, NUA 59 and NUA 46; with 93, 87, 85 and 83 ppm, respectively. The zinc content averaged 30.93 ppm for each of these lines.

KEYWORDS: Varieties, locations, genotype environment interaction, performance, Biplot GGE-SReg.

INTRODUCCIÓN

La deficiencia de hierro es la principal causa de anemia, su gran prevalencia indica que es la más ampliamente distribuida en el mundo. El estimativo de anemia global es alrededor del 30%, (2000 millones de personas) (Rodríguez 2008). Es mayor en países del sur de Asia y África (44 a 56%), y Asia oriental y Latinoamérica (20 a 26%), que en países industrializados (8-12%). El déficit de hierro puede ser mayor que la

anemia, ya que pueden coincidir niveles adecuados de hemoglobina con cantidad muy baja en ferritina. La deficiencia ocurre principalmente en mujeres en edad fértil y niños (FAO 2000).

En Panamá, la situación es preocupante por encontrarse en un promedio a nivel nacional del 20.6% de la población total de niños en edad escolar que marcan niveles de desnutrición (Beebe 1997, Rodríguez 2008).

En la zona urbana se diagnosticó un 13.6%, en el área rural total un 29%, en las rurales no indígenas 18.5%, en la rural indígena 56%, en las catalogadas como no pobres un 10.2%, en las pobres 29.8% y en las de pobreza extrema 39.6%. Las áreas con mayores niveles de desnutrición se registran en las comarcas Ngäbe Buglé (71.8%), Guna Yala (66.3%) y Emberá (60.1%), las provincias de Bocas del Toro y Chiriquí muestran 36.3 y 15.4%, respectivamente (Rodríguez 2008).

La deficiencia de zinc, especialmente en poblaciones que no tienen una dieta adecuada, contribuye de manera importante a reducir el crecimiento y la resistencia a enfermedades infecciosas, al aumento de la incidencia de la mortalidad, y posiblemente, a una alteración del desarrollo cognoscitivo (De Onis et al. 2000, FAO 2001a). Sin embargo, son escasos los estudios y encuestas que reportan este problema, en los países en desarrollo (FAO 2001b).

Existen tres formas de combatir la desnutrición por micronutrientes: los enfoques basados en la suplementación con productos farmacéuticos, la fortificación de productos agrícolas transformados y la biofortificación (Graham et al. 2000).

Los adelantos de los programas de suplementación han sido significativos en la lucha contra la deficiencia de micronutrientes y éstos pueden ser efectivos, en términos de costos, a corto plazo (Kelly 1992). Pero en muchas partes del mundo en desarrollo, el acceso limitado de la población más pobre a servicios adecuados de salud, obstaculiza severamente esta estrategia.

La fortificación de alimentos requiere de infraestructura industrial y de mercados bien establecidos para el procesamiento y la entrega de alimentos que no están disponibles en muchos países en desarrollo. En los sitios donde hay disponibles alimentos fortificados están fuera del alcance de la población de más bajos recursos. Los enfoques de suplementación y de fortificación son limitados en el sentido de que a veces no cumplen con las necesidades de las poblaciones marginadas y demandan esfuerzos y gastos constantes para poder sostenerlos, y por lo general, tratan los síntomas de la desnutrición por micronutrientes pero no abordan las causas del problema.

El enfoque de biofortificación de cultivos parte de la base de tener unos costos fijos, una sola vez, para

desarrollar metodologías de mejoramiento, incorporar rasgos de calidad nutricional en variedades cultivadas comercialmente y adaptar esas variedades a diferentes ambientes. Esto hace que este enfoque sea atractivo en términos económicos en comparación con los programas de suplementación y fortificación, puesto que no se requieren grandes inversiones a intervalos regulares durante el tiempo que dure el programa y los costos no aumentan con el número de personas beneficiadas.

La biofortificación para aumentar la cantidad de micro nutrimentos en cultivos de frijol poroto constituye un primer paso para el desarrollo de un programa con base en un sistema alimenticio que busca reducir los problemas de anemia y las deficiencias de micro nutrientes como el hierro y el zinc, en forma preventiva, no curativa.

Estudios preliminares indican que la biodisponibilidad está asociada con el contenido de hierro sugiriendo que no hay un aumento simultáneo de sustancias que interfieren con la absorción y que proveen mayor cantidad de hierro es una estrategia viable y que debe ser considerada por los programas

de mejoramiento (Welch et al. 2000, Graham et al. 1999).

Evaluaciones de líneas avanzadas del frijol común, las que se obtuvieron de cruzamientos entre diversas fuentes en el CIAT, en países como Colombia, Cuba y Bolivia, se demostró que existen materiales con mayor contenido de hierro y zinc y con tan buenos rendimientos como las variedades mejoradas que existen actualmente en estos países (Rodríguez 2008). El siguiente experimento se estableció con el objetivo de seleccionar líneas y/o variedades de frijol común con mayor contenido de hierro y zinc que las variedades cultivadas tradicionalmente.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el primer año de evaluación 2009, se seleccionaron parcelas en siete áreas agroecológicas contrastantes, para evaluar las líneas del vivero de altos nutrimentos en el cultivo del frijol poroto o líneas NUA. Estas fueron sembradas en fincas de productores colaboradores, con la participación de las organizaciones más importantes en cada zona de producción. Las áreas seleccionadas fueron: Cerro Mesa y Cerro Tula en la comarca Ngäbe Buglé; en Santa Fe de Veraguas se seleccionaron las localidades de El Alto y

la Montañuela; en el sur de Soná en La Zumbona y en la provincia de Chiriquí se sembraron en las localidades de Salitral de San Andrés y Caisán.

Se utilizó la tecnología IDIAP de mínima labranza generada para el cultivo del frijol poroto.

Para el análisis combinado de las localidades se utilizó el procedimiento REML para estimar los componentes de varianzas del modelo lineal. A continuación el modelo utilizado:

$$Y_{ijkl} = \mu + \text{Loc}_i + \text{Rep}_j (\text{Loc}_i) + \text{Block}_j (\text{Loc}_i \text{Rep}_j) + \text{Gen}_l + \text{Loc}_i \text{Gen}_l + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Rendimiento de un tratamiento de interés

μ = Media General

Loc_i = Es el efecto de ambiente

$\text{Rep}_j (\text{Loc}_i)$ = Efecto de repetición anidado entre localidades

$\text{Block}_j (\text{Loc}_i \text{Rep}_j)$ = Efecto del bloque incompleto dentro de la interacción Ambiente por repetición

Gen_l = Efecto de los genotipos

$\text{Loc}_i \text{Gen}_l$ = Efecto de la interacción genotipo por ambientes

ε_{ijk} = Efecto Residual

Para el análisis de estabilidad se utilizó el modelo AMMI-Biplot GGE-SReg. Este modelo combina el de Efectos Principales e Interacción Multiplicativa (AMMI) y el modelo de Regresión de sitios (SReg). El modelo AMMI integra el análisis de varianza y el análisis de componentes principales (PCA) para determinar la interacción de los tratamientos en los distintos ambientes (Zobel et al. 1988, Yan et al. 2000).

El modelo matemático para el análisis AMMI es:

$$Y_{te} = \mu + \tau_t + \beta_e + \sum^N \lambda_n Y_{tn} \delta_{en} + \rho_{ge}$$

Donde:

Y_{te} = Rendimiento promedio de un tratamiento t en un ambiente e

μ = Media General

λ_n = Es el valor singular para el PCA

N = Número de PCA retenidos en el modelo

Y_{tn} = Son los valores de vectores de los tratamientos (PCA)

τ_t = Efecto de las desviaciones de las medias de los tratamientos

β_e = Efecto de las desviaciones de las medias del ambiente

δ_{en} = Son los valores de los vectores para cada ambiente (PCA)

ρ_{ge} = Residual

Para la siembra de los experimentos se utilizó el diseño Alfa Látice 8 x 8 con dos repeticiones. Se hizo un desglose de la varianza a través del método REML. En el segundo año se evaluaron las 20 mejores líneas del primer año evaluación, utilizando el diseño Alfa Látice 5 x 4 con tres repeticiones. Los ensayos fueron sembrados en cuatro ambientes: Cerro Tula y Cerro Mesa en la comarca Ngäbe Buglé, El Tute y San Francisco en Santa Fe de Veraguas.

Se evaluó la variable de rendimiento de grano y se midió el contenido de Fe y Zn en las variedades estudiadas.

Se incorporó en un trabajo participativo a las asociaciones de productores y productoras de cada localidad, desde la selección de los lotes a utilizar hasta la selección de las variedades por su color de grano y apariencia física.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primer año

En el análisis de varianza por localidad (Cuadro 1), se observó diferencias estadísticas para tratamientos. El cálculo de la repetitividad para las

localidades de Caisán y La Montañuela está por debajo de 0.20, lo cual indicó que hay poco aporte de éstas para seleccionar las mejores variedades evaluadas, por esta razón, fueron excluidas del análisis combinado.

El análisis combinado de las cinco localidades restantes se muestra en el Cuadro 2. El mismo presenta diferencias altamente significativas entre tratamientos para el rendimiento de grano. La variable número de plantas cosechadas no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos. El valor de la repetitividad del rendimiento de grano fue de 0.70. La interacción genotipo ambiente para rendimiento fue altamente significativa. La localidad con mayor rendimiento fue Caisán (1698 kg/ha) seguida por las localidades de Salitral y Cerro Mesa con rendimientos de 1527 y 1394 kg/ha, respectivamente.

El análisis de varianza Tipo IV para el rendimiento de grano fue realizado para la interpretación de la interacción genotipo ambiente a través del modelo Biplot GGE-SReg. Este análisis mostró que los dos primeros ejes de los componentes principales explicaron el 70.4% de toda la interacción.

CUADRO 1. CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA POR LOCALIDAD PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE GRANO EN SIETE LOCALIDADES. 2009.

F de V	gl	Cerro Tula	Caisán	La Montañuela	Cerro Mesa	Salitral	El Alto	La Zumbona
Repetición (Rep)	1	0.000	0.000	0.008	0.022	0.009	0.000	0.004
Rep x bloque	7	0.054	0.060	0.061	0.008	0.013	0.003	0.189
Tratamiento	63	0.040	0.000	0.006	0.143	0.205	0.159	0.029
Error	56	0.102	0.347	0.087	0.103	0.182	0.255	0.195
Repetitividad		0.44	0.00	0.11	0.73	0.69	0.56	0.23

CUADRO 2. VARIANZA DEL RENDIMIENTO Y PLANTAS COSECHADAS DE GRANO EN EL ANÁLISIS COMBINADO DE LAS CINCO LOCALIDADES. 2009 – 2010.

F de V	gl	Rendimiento	Plantas cosechadas
δ^2 localidad (loc)	4	0.152	4.983
δ^2 tratamiento (trat)	63	0.044	0.193
δ^2 loc x trat	252	0.039	0.719
δ^2 res	320	0.181	8.084
Repetitividad		0.70	0.17

El primer eje (PCA1) explicó el 46.7%, mientras que el segundo explicó el 23.7%, con el 21.6 y 21.6% de los grados de libertad, respectivamente (Figura 1).

De acuerdo al análisis Biplot GGE-SReg se formaron dos grupos ambientales, el primero formado por las localidades de Cerro Tula, El Alto, Salitral y Cerro Mesa. La localidad de La Zumbona se comportó distinta a las localidades de este primer grupo.

El grupo de líneas más estables y con mayor rendimiento fueron la NUA 93, AFR 612, NUA 11, NUA 87, NUA 82 y NUA 45. A este grupo le siguieron el grupo

conformado por las líneas NUA 43, IDIAP C1, NUA 100, CAL 143 y NUA 86.

La línea con más alto rendimiento fue la NUA 43 seguido por NUA 97. Esta última presentó un alto rendimiento en La Zumbona y Cerro Mesa pero no así en Cerro Tula.

De las mejores líneas por su contenido de hierro y zinc, solamente 11 resultaron las más rendidoras. Esta es la principal característica que se tomó en consideración para seleccionar las líneas que fueron escogidas para la siguiente fase de evaluación (Cuadro 3).

Segundo año

El análisis de varianza combinado de los experimentos del año 2010 (Cuadro 4) presenta diferencias altamente

significativas para Localidades, Genotipos y la Interacción Genotipo Ambiente para el rendimiento de grano de las 20 líneas evaluadas.

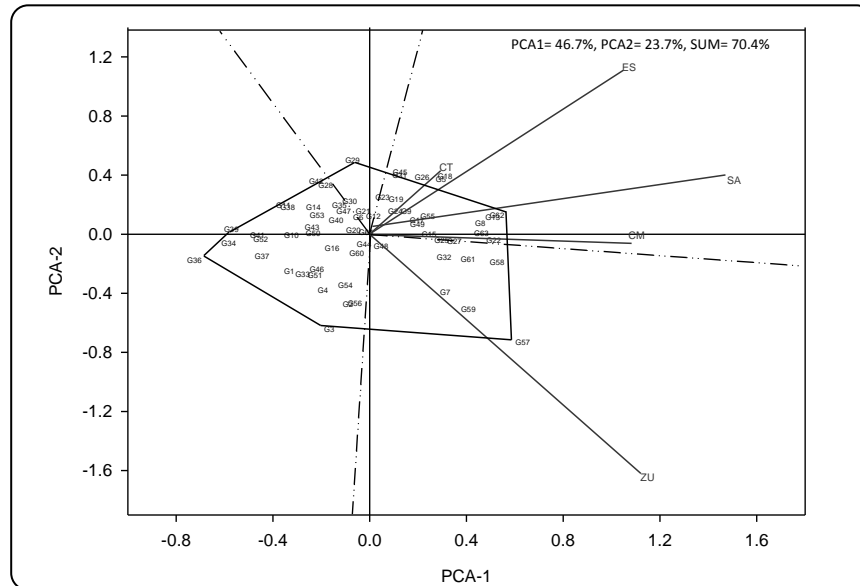


Figura 1. Análisis Biplot GGE-SReg para las cinco localidades. 2009-2010.

CUADRO 3. CONTENIDO DE HIERRO Y ZINC DE LAS LÍNEAS NUA. 2009-2010.

Nombre	Rendimiento (kg/ha)	Hierro (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
NUA 24	0.638	93.073	29.222
NUA 27	0.853	87.323	32.717
NUA 59	1.425	85.027	28.602
NUA 46	0.775	83.087	33.182
NUA 35	0.710	77.903	29.380
NUA 89	1.231	75.867	25.297
NUA 80	0.835	74.847	29.313
NUA 56	0.898	74.737	25.110
NUA 62	0.971	74.713	33.043
NUA 95	1.218	74.527	26.895
NUA 79	0.865	73.580	28.193
NUA 83	1.141	73.307	27.962
NUA 78	0.566	73.093	30.013
NUA 31	0.579	72.740	28.147
NUA 98	1.169	71.270	27.290
NUA 47	1.037	70.683	28.523
NUA 92	1.458	70.547	25.665
NUA 69	1.225	70.317	33.043
NUA 63	1.276	69.987	27.098
IDIAP C1	1.728	65.783	26.982

CUADRO 4. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS LÍNEAS SELECCIONADAS Y LA INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE. 2010-2011.

F de V	gl	SC	CM	Probabilidad
Localidades	3	15.027	5.009	0.003
Repetición(Loc)	8	1.841	0.230	
Tratamiento (Trat)	19	7.896	0.416	0.0001
Loc*Trat	57	6.046	0.106	0.0001
Error	152	4.475	0.029	

CV = 10.24%

La separación de medias mostró que los mejores rendimientos se obtuvieron en la localidad de Cerro Tula con rendimientos de 1966 kg/ha, seguido de Cerro Mesa con 1872 kg/ha, El Tute con 1493 kg/ha y San Francisco con 1369 kg/ha. Todas las localidades fueron diferentes entre sí.

El análisis de estabilidad utilizando el Análisis de Varianza Tipo IV indicó que los dos primeros ejes de los componentes principales explican el 93.4% de la interacción Genotipo-Ambiente con el 53.6% de los grados de libertad de la interacción.

El análisis Biplot GGE-SReg de los dos primeros ejes indicó que las líneas más estables fueron IDIAP-C1, NUA 11 y NUA 45 (Figura 2). Este análisis separó los ambientes en dos Grupos: el primero conformado por las localidades de San Francisco, Cerro Tula y Cerro Mesa y el segundo fue

conformado por la localidad de El Tute. En esta última localidad sobresalieron las líneas NUA 43 y NUA 24.

La línea con altos rendimientos fue IDIAP C1, variedad mejorada por el IDIAP, utilizándose otros criterios para su selección como susceptibilidad a la mustia hilachosa, color y tamaño del grano y su rendimiento. Esta variedad no es diferente estadísticamente de las siguientes 12 líneas evaluadas que tienen rendimientos entre 2066 y 1792 kg/ha al 14% de humedad, indicando que cualquiera de esos materiales pueden ser seleccionados por su calidad nutritiva y color de grano.

El análisis del contenido de hierro y zinc reveló que las líneas con mayor contenido de hierro no son las más altas en zinc (Cuadro 5). Es importante indicar que el máximo contenido de hierro alcanzado en líneas experimentales es de 100 ppm y el de zinc está en el orden

de las 50 ppm. Estas líneas tampoco son las más rendidoras. Una alternativa sería utilizar poblaciones lo suficientemente grandes para romper la asociación entre los caracteres o determinar el tipo de herencia que tiene el carácter o bien esperar hasta generaciones avanzadas para hacer la selección de las líneas por sus características agronómicas cuando el carácter estudiado este fijado en las líneas de frijol (Beebe 1997).

Las líneas con más alto contenido de hierro son: NUA 24, NUA 27, NUA 59 y NUA 46 con 93.87.3. 85.1 y 83.1 ppm, respectivamente, mientras que el testigo comercial mostró 65.7 ppm de hierro. Por otro lado, el zinc fue más alto en las líneas NUA 43, NUA 24 y NUA 46, con 38.4, 35.7 y 35.0 ppm, respectivamente. El testigo comercial mostró 26.9 ppm de zinc.

Las líneas con mejor tipo de grano y altos rendimientos fueron NUA 97 y NUA 11, con 1916 y 1866 kg/ha, al 14% de humedad.

Con la ayuda de los productores y productoras de las localidades en la comarca Ngäbe Buglé se seleccionaron

las mejores líneas por su contenido de hierro, color de grano y rendimiento. Las líneas seleccionadas pasarán por una tercera evaluación conocida como validación de tecnología en la que las asociaciones de productores escogerán las dos mejores líneas, de acuerdo a sus características, en una parcela de mayor tamaño donde les será más fácil seleccionar las líneas que se convertirán en variedades.

El IDIAP tendrá la responsabilidad de multiplicar la semilla para entregar a los productores y productoras de las zonas en estudio.

Las líneas seleccionadas para la etapa de validación aparecen resaltadas en el Cuadro 5 en el que las líneas NUA 97 y NUA 11 fueron escogidas por tener buenos rendimientos, buen color y tamaño de grano, según la preferencia de los productores, comerciantes y consumidores y las líneas NUA 24, NUA 27, NUA 56 y NUA 59, por su alto contenido de hierro, buen color, tamaño de grano y buenos rendimientos.

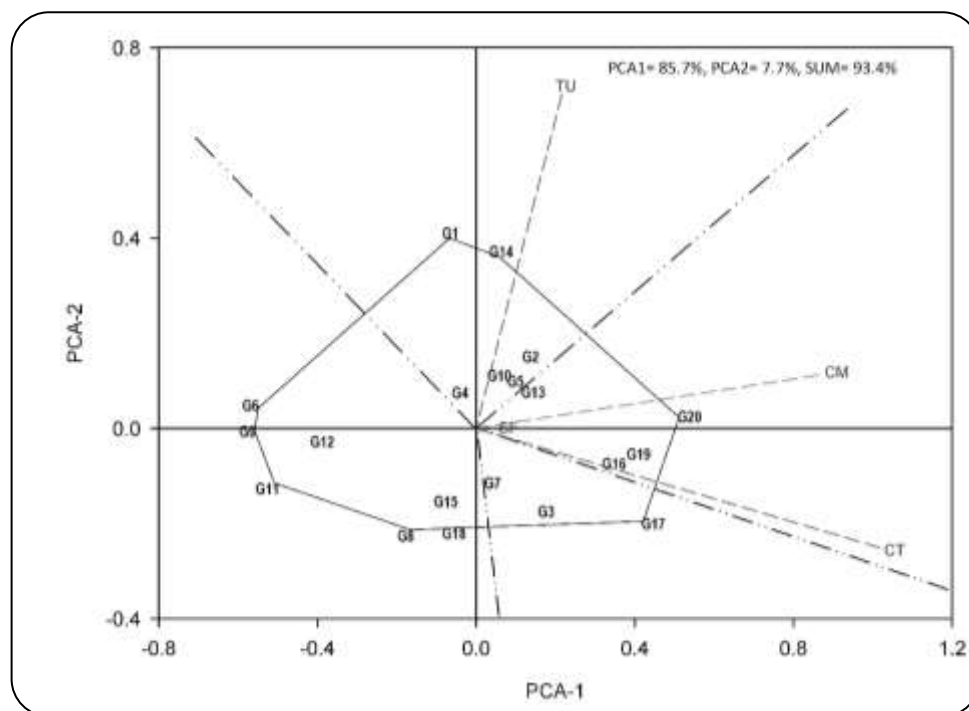


Figura 2. Análisis Biplot GGE-SReg para las localidades y líneas de frijol biofortificado. Panamá, 2010-11.

CUADRO 5. RENDIMIENTO EN kg/ha AL 14% DE HUMEDAD y CONTENIDO DE Fe Y Zn DE LAS LÍNEAS EN EVALUACIÓN. 2010-11.

Línea	Rendimiento (kg/ha)	Contenido de Hierro (ppm)	Contenido de Zinc (ppm)
IDIAP C1	2005	65.7	31.2
NUA 97	1916	65.4	30.0
NUA 45	1896	54.9	23.3
NUA 11	1866	52.7	25.5
NUA 27	1775	87.3	31.1
NUA 43	1755	50.9	38.4
NUA 59	1750	78.7	33.0
NUA 35	1743	77.9	32.7
NUA 100	1743	62.9	27.4
NUA 69	1719	68.1	34.5
NUA 24	1710	93.1	35.7
NUA 79	1676	73.5	32.8
NUA 46	1655	78.2	35.0
NUA 93	1610	59.0	29.8
AFR 612	1604	58.6	32.6
NUA 78	1523	71.3	33.8
NUA 62	1466	66.9	28.2
NUA 56	1373	82.3	32.3
NUA 47	1367	74.1	34.7
NUA 31	1346	72.7	30.5

CONCLUSIONES

- El análisis estadístico utilizado permitió explicar la variación existente entre los genotipos y determinar las localidades que no se ajustaron a este análisis.
- Se explicó un mínimo del 80% de la variación entre las líneas y el restante fue atribuido al error experimental.
- Existen dos grandes ambientes para esta evaluación, el primero formado por la Comarca Ngäbe Buglé y Río Sereno y el segundo formado por las localidades de Santa Fe, San Francisco en la provincia de Veraguas y Las Minas y Los Pozos en la provincia de Herrera.
- Se seleccionaron dos líneas por sus altos rendimientos, NUA 45 y NUA 11 y dos líneas por su alto contenido de hierro y zinc, NUA 24 y NUA 27.

BIBLIOGRAFÍA

- Beebe, S. 1997. Mejoramiento de la calidad culinaria y nutricional del frijol (*Phaseolus vulgaris* L); posibilidades y perspectivas. Taller de mejoramiento de frijol para el siglo XXI. Centro internacional de Agricultura Tropical - CIAT. p. 249-256.
- De Onis, M; Frongillo, A; Blosner, M. 2000. Is malnutrition declining? An analysis of changes in levels of child malnutrition since 1980. Bulletin of the World Health Organization. 78:1222-1223.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2001a. Perfiles nutricionales por países. Colombia. 39 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2001b. Perfiles nutricionales por países. Bolivia. 38 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2000. Perfiles nutricionales por países. Venezuela. 43 p.
- Graham, R; Beebe, S; Iglesias, C; Monasterio, I. 1999. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. Special volume. RM. Welch and RD. Graham. eds. Field Crops Research. 60: 57-80.

- Graham, R; Humphries, J; Kitchen, J. 2000. Nutritionally enhanced cereals: A sustainable foundation for a balanced diet. *Asia Pacific J. Clin. Nutr.* 9 (Suppl). S91-S96.
- Kelly, A. 1992. Medium and long - range forecast prevalence and numbers of malnourished children. *Global regional estimates.* World Health Organization, 78:1222-1233.
- Rodríguez, E. 2008. Biofortificación del frijol común con micronutrientes en Panamá. Proyecto de Investigación. Panamá. 53 p.
- Welch, R; House, W; Beebe, S; Cheng, Z. 2000. Genetic Selection for Enhanced Bioavailable Levels of Iron in Beans (*Phaseolus vulgaris* L). *Seeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48(8): 3576-3580.
- Yan, W; Hunt, LA; Sheng, Q; Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE Biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Zobel RW; Wright, MJ; Gauch Jr, HG. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:388-393.

CLONES DE PAPA TOLERANTES A *Phytophthora infestans* Y ALTAS TEMPERATURAS EN LA COMARCA NGÄBE BUGLÉ¹

Arnulfo Gutiérrez Gutiérrez²; Jorge Muñoz Fuentes³; Javier Pitti Caballero⁴

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar 13 clones de papa con tolerancia a *Phytophthora infestans*, seleccionados bajo condiciones de temperaturas entre 15 y 36 °C (medias de 24 °C), para determinar el nivel de rendimiento en la comarca Ngäbe Buglé, en el período comprendido de mayo a octubre de 2012. El estudio se llevó a cabo en la finca de un productor, donde se aplicó tecnología de bajos insumos externos. El diseño que se utilizó fue de Bloques Completos al Azar con 13 tratamientos y tres repeticiones. La unidad experimental consistió en dos surcos de 5 m de largo, separados a 0.9 m y 0.3 m entre semillas. Previo a la siembra el suelo fue removido con azadón y se construyeron surcos a una profundidad de 15 cm, se aplicó fertilizante 12-24-12 al fondo del surco en dosis de 150 kg·ha⁻¹ y se cubrió con tierra, se colocó la semilla, la cual, también fue cubierta. Cuando las plantas alcanzaron una altura de 15 a 20 cm, se procedió al aporque, junto con la aplicación de 200 kg·ha⁻¹ de gallinaza. No se realizaron aplicaciones de agroquímicos para el control de plagas. A la cosecha se contabilizó el rendimiento comercializable, el cual incluye todos los tubérculos sanos, con un diámetro superior a los 45 mm y se hizo la conversión a toneladas por hectárea (t·ha⁻¹). A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza y separación de medias utilizando el método Tukey. Los clones P-131, P-104, P-105, P-128, P-121 y P-115 mostraron rendimientos potenciales superiores a las 30 t·ha⁻¹.

PALABRAS CLAVES: Cultivares, tecnología de bajos insumos externos, pequeños productores, rendimiento, contenido de sólidos.

¹ Recepción: 24 de septiembre de 2013. Aceptación: 28 de octubre de 2013. Trabajo realizado en el Proyecto: Introducción de los cultivos de papa y camote en las tierras altas de la República de Panamá.

² Ph.D. en Agricultura. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOc).
e-mail: arnulfogutierrezg@yahoo.es

³ Agr. IDIAP. CIAOc. e-mail: j_alberto56@yahoo.es

⁴ Ing. Agr. IDIAP. CIAOc. e-mail: pittjavier28@hotmail.com

POTATO CLONES TOLERANT TO *Phytophthora infestans* AND HIGH TEMPERATURES IN THE NGÄBE BUGLE REGION

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate 13 potato clones with tolerance to *Phytophthora infestans*, selected under conditions of temperatures between 15 and 36 °C (average of 24 °C), in order to determine their performance in the Ngäbe Buglé Region, in the period between May and October of 2012. The study was carried out on the plot of a small farmer applying a low external inputs the technology. It was used A RCB design with 13 treatments and three replicates. The experimental unit consisted of two rows of 5 m long, separated to 0.9 and 0.3 m between seeds. Prior planting the soil was removed with a hoe and furrows were made 15 cm depth, applied fertilizer 12-24-12 at the bottom of the furrow in doses of at least 150 kg·ha⁻¹ and was covered with soil, placed the seed, which was also covered. When the plants reached a height of 15 to 20 cm, we proceeded to hilling, together with the application of 200 kg·ha⁻¹ of chicken manure. There were no applications of chemicals for the control of pests. At harvest marketable yield was recorded, which includes all healthy tubers with a diameter greater than 45 mm and made the conversion to tons per hectare (t·ha⁻¹). The data obtained were submitted to an Analysis of Variance and mean separation using the Tukey method. The clones P-131, P-104, P-105, P-128, P-121 and P-115 showed potential yields higher than the 30.0 t·ha⁻¹.

KEYWORDS: Cultivars, low-input high technology, produces small, performance, solids content.

INTRODUCCIÓN

En el combate a la pobreza rural, principalmente en las comarcas indígenas, es necesario redoblar esfuerzos para aumentar la producción, disponibilidad y accesibilidad de alimentos. Para eso se requiere la incorporación, en este esfuerzo, de la ciencia y la tecnología, con el objetivo de mejorar cuantitativa y cualitativamente la producción agropecuaria.

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) es reconocido por las Naciones Unidas como una solución viable para mitigar el hambre y la pobreza extrema (ONU 2005).

Recientemente se han desarrollado innumerables eventos a nivel mundial, todos con el objetivo de incrementar la producción y el consumo de papa en las naciones en desarrollo; es reconocida la eficiencia de la papa para

convertir los factores agroecológicos, el capital y la mano de obra en un producto de alto valor alimenticio, produciendo un alimento altamente nutritivo en corto tiempo, en climas más difíciles que cualquier otro cultivo importante. Debido a su plasticidad fenotípica, se adapta fácilmente a diversos climas y sistemas de cultivo, por lo cual, su producción mundial va en continuo aumento (Luján 1996).

La papa tiene un alto valor social, por los beneficios económicos y la ocupación de mano de obra en el área rural.

En Panamá, la papa se ha cultivado casi exclusivamente en las tierras altas de la provincia de Chiriquí, donde se desarrolla una agricultura intensiva, con la utilización de muchos insumos externos a la finca como son los fertilizantes y plaguicidas sintéticos. Sin embargo, recientes investigaciones realizadas por el IDIAP han demostrado la factibilidad de la expansión de este cultivo hacia otras áreas del país, específicamente aquellas, que por la altura presentan temperaturas nocturnas inferiores a 18 °C y, donde precisamente presentan problemas de adaptabilidad los principales cereales como el arroz y maíz.

A nivel internacional se realizan investigaciones con el objetivo de expandir el cultivo de papa, a través de la selección convencional, hacia áreas más cálidas (Gastelo et al. 2012, Levy y Veilleux 2007), o mediante la inducción de mutaciones que permitan al cultivo mejorar la tolerancia al calor (Das et al. 2000). Por otro lado, se prevén mermas importantes el rendimiento en los trópicos, debido al calentamiento global (Hijmans 2003).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento de clones de papa de la población LBHT (siglas del inglés: Late Blight plus Heat Tolerance) del Centro Internacional de la Papa (CIP), bajo las condiciones de producción de pequeños productores de la comarca Ngäbe Buglé.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se desarrolló en la finca de un pequeño productor de la comunidad de Llano Tugrí, distrito de Muna, región de Kodridi de la comarca Ngäbe Buglé, en las siguientes coordenadas UTM 17P 0420764 936828, a una altura de 1281 msnm, entre el 31 de mayo y el 30 de septiembre de 2012, correspondientes a la época lluviosa. Las características físico-químicas del suelo de la parcela se presentan en el Cuadro 1.

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO, SEGÚN ANÁLISIS DEL LABORATORIO DE SUELOS – IDIAP.

Característica	Unidad de medida	Cantidad
Arena	%	60.0
Limo		28.0
Arcilla	%	12.0
pH	%	5.1
M.O.		6.2
P	%	15.0
K	mg/l	102.0
Ca	mg/l	11.1
Mg	cmol/kg	2.3
Cu	cmol/kg	1.9
Mn	mg/l	70.4
Fe	mg/l	20.5
Zn	mg/l	1.2
Textura	mg/l	Franco Arenoso
Color		Pardo grisáceo claro

*Fuente: Laboratorio de Suelos-IDIAP, Divisa. Mayo de 2012.

El cultivo se manejó con un enfoque de bajos insumos externos, como es la práctica cotidiana de los productores de esa región; el suelo fue removido con azadón y se construyeron surcos a una profundidad de 15 cm; se utilizó semilla producida mediante el Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH) - siembra en invernadero bajo condiciones controladas y multiplicados en parcela de campo en la Estación Experimental del IDIAP en Cerro Punta; la misma se encontraba en estado de brotación múltiple.

Al momento de la siembra se aplicó fertilizante 12-24-12 al fondo del surco, en dosis de 150 kg·ha⁻¹; luego se cubrió con una capa de tierra, se colocó la semilla, la cual a su vez, fue cubierta, en

su totalidad, de la misma forma. Cuando las plantas alcanzaron una altura de 15 a 20 cm, se procedió al aporque, con la aplicación de 200 kg·ha⁻¹ de gallinaza. No se realizaron aplicaciones de agroquímicos para el control de plagas, dado que no hubo incidencia de las mismas durante el periodo de estudio.

Se evaluaron 13 clones avanzados de papa de la población LBHT con tolerancia a *Phytophthora infestans*, principal enfermedad que ataca este cultivo (Pérez y Forbes 2008), seleccionados bajo condiciones de temperaturas mínimas de 15 °C, máximas de 36 °C y medias de 24 °C, consideradas superiores a las óptimas para el cultivo (Lujan 1996), que fueron introducidos

desde el CIP (Gastelo et al. 2012), en enero de 2011.

Se incluyeron en esta primera evaluación los clones, de los cuales se obtuvo semilla en cantidades suficientes. La cosecha se realizó a los 120 días después de la siembra, con síntomas evidentes de senescencia en toda la plantación, se consideró la variable rendimiento comercial la cual consistió del peso de los tubérculos sanos con diámetro superior a 45 mm. Los datos del rendimiento fueron transformados a toneladas por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$). El resto de la cosecha no se consideró.

Se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de dos surcos de 5 m de largo, separados entre sí a 0.90 m; en cada surco se colocaron 15 tubérculos semilla. Se realizó el análisis de varianza para rendimiento de tubérculos y la comparación de medias según la prueba de Tukey; se hizo una

caracterización física de los tubérculos y se calculó el contenido de sólidos totales en los mismos mediante la metodología descrita por el CIP (2010).

El modelo aditivo lineal para el diseño de Bloques Completos al Azar es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = es la observación del tratamiento ij

μ = la media general

β_i = efecto del bloque (repetición) i

τ_j = efecto del tratamiento (clon) j

ε_{ij} = error experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza para la variable rendimiento mostró que hubo diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre los clones (Cuadro 2), lo que indicó un comportamiento diferenciado de los genotipos en esta localidad.

CUADRO 2. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE LOS CLONES DE LA POBLACIÓN LBHT DE LLANO TUGRÍ. 2012.

F de V	gl	SC	CM	Pr > F
Repeticiones	2	2.863077	1.431538	0.9401
Tratamientos	12	2549.556923	212.463077	<.0001
Error	24	554.836923	23.118205	
CV (%)				15.9%

El clon P-131 presentó el mejor comportamiento, con un rendimiento de $47.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, que está al mismo nivel de las variedades comerciales en el área papera de Panamá (Gutiérrez y Muñoz 2009) y que supera el rendimiento de clones de esta población reportados por Gastelo et al. (2012) en evaluaciones realizadas en campos experimentales del Centro Internacional de la Papa en el Perú. Los clones P-104, P-105 y P-128 presentaron rendimientos al mismo nivel estadístico; siendo un comportamiento muy satisfactorio de estos cultivares de papa, con la ventaja de que se lograron con pocos insumos externos.

Durante el cultivo no hubo incidencia de plagas importantes desde el punto de vista económico, por lo tanto, no se realizaron aplicaciones de plaguicidas lo que era de esperar, dado que estos genotipos han sido seleccionados por su tolerancia al principal patógeno que ataca este cultivo en Panamá y a nivel mundial, el oomiceto *P. infestans*.

Hay que destacar que los agricultores del área se ven obligados a aplicar fungicidas sintéticos para el control de esta plaga en el cultivo de

otras solanáceas, como el tomate y el ají; se requiere, en un futuro, evaluar estos cultivares en presencia de *P. infestans*, en estas áreas.

Se aplicaron muy pocas cantidades de abonos químicos ($100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de fertilizante 12-24-12), lo que debe resultar en un costo de producción menor al usual, en el área papera de la provincia de Chiriquí, donde se realizan aplicaciones semanales de plaguicidas y de más de $2.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de fertilizante químico. La presión de plagas puede ir aumentando en la medida que se incremente el área de cultivo y, consecuentemente, la presencia de inóculos (National Academy of Science 1992). Sólo el genotipo P-111 fue superado estadísticamente por la mayoría de los clones (Cuadro 3). Luján (1994) afirma que la papa es una planta originaria de los Andes suramericanos, cuya producción comercial, en Colombia, se concentra en paisajes y ecosistemas de montaña de clima frío, entre los 2000 y 3500 msnm, sin embargo, en este ensayo se obtuvo resultados prometedores a alturas cercanas a los 1000 msnm, con temperaturas nocturnas apenas inferiores a los $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (PAN 2002).

CUADRO 3. MEDIAS PARA EL RENDIMIENTO DE CLONES DE LA POBLACIÓN LBHT DE LLANO TUGRÍ. 2012.

Clon		Rendimiento (t·ha ⁻¹)	
Código IDIAP	Código CIP		
P-131	398180.612	47.7	a
P-104	398180.289	37.8	ab
P-105	398180.144	35.1	abc
P-128	398193.158	33.4	abcd
P-121	398190.53	32.1	bcd
P-115	398208.62	32.0	bcd
P-126	398208.29	30.7	bcd
P-130	398180.292	30.2	bcd
P-113	393371.58	29.3	bcd
P-127	398208.505	29.0	bcd
P-114	391691.96	22.3	cde
P-138	398192.213	19.9	de
P-111	398098.98	13.6	e

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes entre sí, según la prueba de Tukey.

En cuanto a las características físicas de los tubérculos, la gran mayoría de los clones presentó color de la piel y pulpa crema o amarillo claro y ojos superficiales que son los que comúnmente prefiere el consumidor panameño.

El clon P-104 fue el que presentó un contenido de sólidos superior al 18%, mínimo requerido para el procesamiento industrial (Cuadro 4).

Los materiales evaluados presentados en el Cuadro 4, representan una oportunidad de mejorar la accesibilidad a este alimento, contribuir a la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición en estas áreas, donde los alimentos escasean y la mayoría de los pobladores sobreviven con una escasa y deficiente alimentación, además de brindar una oportunidad de negocio.

CUADRO 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS TUBÉRCULOS DE CLONES DE LA POBLACIÓN LBHT DE LLANO TUGRÍ. 2012.

Clon	Color		Ojos	Forma	Contenido de sólidos (%)
	Piel	Pulpa			
P-131	Rosada	Amarillo pálido	Superficiales	Semialargada	<17.0
P-104	Crema	Amarillo pálido	Superficiales	Semiredonda	18.5
P-105	Crema	Amarillo pálido	Superficiales	Semiredonda	<17.0
P-128	Crema	Crema	Superficiales	Semiredonda	<17.0
P-121	Crema	Crema	Superficiales	Redonda	17.8
P-115	Crema	Crema	Superficiales	Semiredonda	<17.0
P-126	Crema	Crema	Superficiales	Semiredonda	<17.0
P-130	Crema	Crema	Superficiales	Semiredonda	17.8
P-113	Crema	Crema	Superficiales	Semiredonda	<17.0
P-127	Crema	Amarillo pálido	Superficiales	Semiredonda	17.8
P-114	Púrpura	Amarillo pálido	Superficiales	Redonda	<17.0
P-138	Crema	Crema	Superficiales	Semialargada	17.8
P-111	Crema	Crema	Superficiales	Semiredonda	17.8

CONCLUSIONES

- De los clones evaluados 11 presentaron un rendimiento superior a la media nacional que es de 22 t·ha⁻¹.
- El clon P-104 presenta un alto contenido de sólidos que puede ser utilizado para el procesamiento agroindustrial.

RECOMENDACIÓN

Los clones que presentaron un mayor rendimiento y contenido de sólidos deben ser evaluados en diferentes localidades de las tierras altas de la comarca para poder recomendar los más sobresalientes, a los campesinos de esa región.

BIBLIOGRAFÍA

- CIP (Centro Internacional de la Papa). 2010. Procedimientos para pruebas de evaluación estándar de clones avanzados de papa. Guía para colaboradores internacionales. Lima, PE. 151 p.
- Das, A; Gosal, SS; Sidhu, JS; Dhaliwal, HS. 2000. Induction of mutations for heat tolerance in potato by using in vitro culture and radiation. *Euphytica* 114:205-2009.
- Gastelo, M; Landeo, J; Díaz, L; Bonierbale, M. 2012. Nuevos clones elites de papa con resistencia al tizón tardío y

- el CIP para enfrentar al cambio climático: Población LBHT. In XXV Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa ALAP. Memoria. Uberlandia, BR. p. 39.
- Gutiérrez, A; Muñoz, J. 2009. Interacción genotipo por ambiente de siete variedades de papa en la zona papera de Chiriquí, Panamá. Revista Latinoamericana de la Papa 15(1): 12-19.
- Hijmans, RJ. 2003. The effect of climate change on global potato production. American Journal of Potato Research 80:271-280
- Levy, D; Veilleux, R. 2007. Adaptation of potato to High Temperatures and Salinity – A Review. Amer. Journal of Potato Research 84:487-506.
- Lujan, L. 1994. La ecología de la papa. In Revista Papa No. 12. Federación Colombiana de Productores de Papa. Bogotá, D.C. 36 p.
- Luján, L. 1996. Historia de la papa (en línea). Revista Papa, Órgano Informativo de la Federación Colombiana de Productores de Papa, FEDEPAPA. No. 16.
- Consultado 20 mayo 2013. Disponible en <http://www.todopapa.com.ar/pdf/historiadelapapa.pdf>
- National Academy of Science. 1992. Desarrollo y control de las enfermedades de las plantas. Volumen 1: Control de plagas de plantas y animales. Grupo Noriega Editores. Séptima reimpresión. México. Editorial Limusa. 223 p.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2005. Declaración: Año Internacional de la Papa. La Asamblea General (en línea). Consultado 20 mayo 2013. Disponible en <http://www.potato2008.org/es/elaip/onu.html>
- PAN (Proyecto Agroforestal Ngäbe Buglé). 2002. Atlas de la Comarca Ngäbe Buglé. Proyecto agroforestal Ngäbe Buglé. ANAM-GTZ. San Félix, Chiriquí, PA. 34 p.
- Pérez, W; Forbes, G. 2008. El tizón tardío de la papa. Manual técnico. International Potato Center. Lima, PE. 39 p.

VALOR AGRONÓMICO Y CONTENIDO NUTRICIONAL DE ARROCES BIOFORTIFICADOS CON HIERRO Y ZINC¹

*Ismael Camargo Buitrago²; José Bernal³; Gabriel Montero³; Juan Espinosa⁴;
Manuel Barrios⁵; Nicolás Fernández⁵; Carlos Rojas⁵; José Ehrman⁵;
León Franco⁵; Edwin Guevara⁵*

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el valor agronómico y el contenido de micronutrientes en arroces biofortificados (GAB), se estableció un ensayo con 12 genotipos con alto contenido de hierro y zinc, repetido en 10 localidades de Panamá con problemas de pobreza extrema y desnutrición crónica (Granjas del Patronato de Nutrición), cinco en seco y cinco en fangueo. Se utilizó un diseño de Bloques Completo al Azar, con tres repeticiones. El arreglo topológico en seco fue de 40 x 20 cm entre hileras y plantas, colocando de seis a ocho semillas por golpe. En fangueo el trasplante se hizo utilizando una plántula por golpe en un marco de 25 x 25 cm. A las variables estudiadas se le efectuó un análisis de varianza combinado y las medias fueron separadas por medio de la DMS ($P < 0.05$). Para estimar la estabilidad y la adaptabilidad se utilizó el Biplot GGE-SReg. Los resultados mostraron diferencias estadísticas ($P < 0.01$) entre los sistemas (seco = 2.136 y fangueo = 3.526 t ha⁻¹). En seco, los genotipos superiores fueron GAB-7, GAB-11 y GAB-10. El Biplot GGE-SReg identificó al GAB-10 como más estable y a GAB-5, GAB-10, GAB-7 y GAB-11 con mejor adaptabilidad. En fangueo sobresalieron GAB-11, GAB-4 y GAB-6. Los genotipos GAB-2, GAB-4 y GAB-11 fueron los más estables, mientras que los de mejor adaptabilidad fueron GAB-1 y GAB-6. El contenido de hierro y zinc, varió entre los sistemas, localidades y genotipos, sugiriendo que las condiciones climáticas y de suelo pueden influir en su contenido en el grano. Mediante la selección participativa los productores identificaron los genotipos GAB-11, GAB-6, GAB-8 y GAB-2, en ambos sistemas.

PALABRAS CLAVES: Arroz, biofortificación, Biplot GGE-SReg, sistemas productivos, interacción genotipo ambiente.

¹ Recepción: 13 de octubre de 2013. Aceptación: 29 de noviembre de 2013. Investigación financiada por IDIAP-SENACYT (CCP-07-017)-PSNN. PANAMÁ. 2007-2009.

² Ph.D. en Fitomejoramiento. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos (CIARG).
e-mail: ismaelcamargobuitrago@gmail.com

³ Agr. IDIAP. CIARG.

⁴ Ing. Agr. Director Técnico Patronato de Nutrición (Grandes Pasos).

⁵ Ing. Agr. Promotores Técnicos de las Granjas del Patronato de Nutrición.

AGRONOMIC VALUE AND NUTRITIONAL CONTENT OF BIOFORTIFIED RICE WITH IRON AND ZINC

ABSTRACT

In order to evaluate the agronomic value and content of micronutrients of biofortified rice (GAB), a trial was conducted with 12 genotypes with high iron and zinc, repeated in 10 locations with extreme poverty and chronic malnutrition problems in Panama (Board of Nutrition Farms), five rainfed and five in puddling. It was used a Randomized Complete Block with three replications. The topological arrangement for rainfed was 40 x 20 cm between rows and plants, placing six to eight seeds per hill. In puddling transplantation was performed using a seedling per hole in a frame of 25 x 25 cm. The variables were studied under a combined analysis of variance and the means were separated by the DMS ($P < 0.05$). It was used GGE Biplot-SReg analysis to estimate the stability and adaptability. The results showed significant differences ($P < 0.01$) between systems (rainfed = 2.136 and puddling = 3.526 t ha^{-1}). In rainfed, the superior genotypes were GAB-7, GAB-11 and GAB-10. The SReg GGE Biplot identified GAB-10 as the most stable and GAB-5, GAB-10, GAB-7 and GAB-11 with better adaptability. In puddling stood GAB-11, GAB-4 and GAB-6. The genotypes GAB-2, GAB-11 and GAB-4 were the most stable, while GAB-1 and GAB-6 show better adaptability. The iron and zinc content varied between systems, locations and genotypes, suggesting that the climatic and soil conditions can influence its grain content. By participatory selection producers identified the genotypes GAB-11, GAB-6, GAB-8 and GAB-2, in both systems.

KEYWORDS: Rice, biofortification, GGE Biplot-SReg, production systems, genotype environment interaction.

INTRODUCCIÓN

Información y datos científicos indican que el fitomejoramiento constituye una herramienta, eficiente, confiable y de menor costo para el desarrollo de germoplasma con mayor valor nutricional (Martínez et al. 2006).

Mediante el proyecto AgroSalud, se pretende aumentar el contenido de

hierro (Fe) y zinc (Zn) en las variedades de arroz, utilizando métodos de mejoramiento convencionales y la relación o la interacción genotipo por ambiente, ya que datos obtenidos por el International Rice Research Institute (IRRI), indican que las condiciones climáticas y de suelos influyen en la expresión del contenido de Fe y Zn en el grano de arroz (Martínez et al. 2006).

El mejoramiento genético es un proceso dinámico donde los genotipos experimentales y comerciales de granos como el arroz, son evaluados en numerosos sitios y años. En este proceso diferentes características agronómicas e industriales son utilizadas para la selección de los genotipos superiores y, al mismo tiempo, nos ayuda a identificar los mejores sitios para la siembra en las regiones de interés. Sin embargo, cuando realizamos estos trabajos de investigación nos enfrentamos al fenómeno de la interacción genotipo x ambiente (G x A), el cual afecta el comportamiento de los cultivares cuando son evaluados a través de diferentes ambientes.

En el estudio del fenómeno G x A es necesario integrar los conceptos de adaptabilidad y estabilidad, para definir el comportamiento de los genotipos. La adaptabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos de aprovechar ventajosamente los estímulos del ambiente, en cuanto que la estabilidad, se refiere a la capacidad de los genotipos de mostrar un comportamiento previsible en función del estímulo ambiental (Lin et al. 1986, Lin y Binns 1994).

El desarrollo del modelo Efectos principales aditivos e interacción multipli-

cativa (AMMI), que integra análisis de varianza, regresión conjunta y de componentes principales, ha contribuido a un mejor entendimiento de la interacción Genotipo x Ambiente (Zobel et al. 1988, Gauch y Zobel 1988, 1989, Crossa 1990, Crossa et al. 1990, 1991). Posteriormente fue desarrollado el modelo Biplots GGE-SReg, (Yan et al. 2000), metodología que permite analizar gráficamente los datos proveniente de ensayos en diferentes localidades y años. El GGE, se refiere al efecto principal de genotipo (G), más la interacción genotipo por ambiente (GE), las dos fuentes de variación más relevantes en la evaluación de genotipos.

La gráfica Biplot GGE, permite visualizar las similitudes y diferencias entre genotipos y entre las localidades y la respuesta diferencial de los genotipos; la naturaleza (positiva vs. negativa) y magnitud de la interacción entre cualquier genotipo y cualquier localidad, (Yan et al. 2000, 2001, Yan y Rajcan 2002).

Los retos para el futuro en el fitomejoramiento del arroz, están enfocados hacia la obtención de genotipos, que combinen un alto potencial de rendimiento, con alto valor nutricional, resistencia a plagas y enfermedades, y calidad molinera. Además, es importante

que los arroces más nutritivos deban ser accesibles a los consumidores más pobres. Por esa razón, se planteó el presente estudio con el objetivo de evaluar el valor agronómico y el contenido de micronutrientes en el arroz pulido de los cultivares de arroces biofortificados más promisorios para las condiciones agroclimáticas de las zonas marginales con problemas de pobreza extrema y desnutrición crónica de Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento en cinco localidades bajo el sistema de secano a chuzo y cinco bajo riego por fangueo, en regiones con problemas de pobreza y desnutrición de Panamá. Los ensayos se instalaron en parcelas facilitadas por productores asociados en las Granjas de producción auto-sostenibles, bajo la supervisión técnica del Patronato de Nutrición durante el ciclo 2007 (Cuadro 1).

A inicios de 2007, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)/Proyecto AgroSalud, se recibieron 63 líneas experimentales de arroces biofortificados, los 12 cultivares evaluados en este ensayo (Cuadro 2), que presentaron mejor comportamiento en la evaluación preliminar efectuada en el

Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos, ubicado en Río Hato.

La evaluación de los cultivares de arroz biofortificados con hierro y zinc, se efectuaron bajo condiciones de secano en siembras directas a chuzo y en el sistema de riego por trasplante mediante fangueo, las particularidades del arreglo topológico de siembra y tamaño de las parcelas específicas para cada sistema se efectuó de la siguiente manera:

Sistema a chuzo: La unidad experimental fue conformada por una parcela de 6 hileras de 5 m de longitud, (parcela 2.0 m x 5.0 m = 10 m²). El arreglo topológico para la alternativa tecnológica propuesta fue de 40 cm entre hilera y 20 cm entre plantas, para una densidad teórica de 156 000 golpes/ha. Cada parcela constó de 156 golpes. Se utilizó de seis a ocho semillas por golpe a la siembra.

Sistema por fangueo: La unidad experimental fue conformada por una parcela de 10 hileras de 5 m de longitud (2.0 m x 5.0 m = 10 m²). El arreglo topológico fue de 25 cm entre hilera y 25 cm entre plantas, para una densidad teórica de 260 000 golpes/ha. Cada parcela constó de 260 golpes. Fue

CUADRO 1. LOCALIDADES DONDE SE EFECTUARON LAS EVALUACIONES DE LOS CULTIVARES DE ARROCES BIOFORTIFICADO EN LOS SISTEMAS DE SECANO A CHUZO Y RIEGO POR FANGUEO. IDIAP-2007.

SISTEMA SECANO A CHUZO			SISTEMA RIEGO POR FANGUEO		
Granjas	Corregimiento	Distrito-Provincia	Granjas	Corregimiento	Distrito-Provincia
Loma Larga	Cabuya	Antón- Coclé	Santa Cruz	Tulú	Penonomé-Coclé
La Chumicosa	El Copé	Olá-Coclé	Aguas Claras	Tulú	Penonomé-Coclé
Guarumal	Cerro Largo	Ocú-Herrera	Tulú Arriba	Tulú	Penonomé-Coclé
Peñita Hernández	Remance	San Francisco-Veraguas	La Mata	Cerro Plata	Comarca Ngäbe
Ipetí-Emberá	Tortí	Chepo-Panamá	La Chumicosa	El Copé	Olá-Coclé

CUADRO 2. GENOTIPOS DE ARROCES BIOFORTIFICADOS (GAB) EVALUADOS BAJO LAS CONDICIONES SECANO A CHUZO Y RIEGO POR FANGUEO. IDIAP-2007.

Nº Origen CIAT	Nº Código IDIAP	Origen	PEDIGREE
1	GAB-12	IB75B 00623	CT18141-6-4-2-2-2-M
3	GAB-1	HI85B 6567	CT17334-13-7-2-1-2-5-M
4	GAB-4	HI85B 6570	CT17334-13-7-2-1-4-5-M
5	GAB-8	HI85B 6588	CT17334-13-7-1-5-M-1-M
6	GAB-3	HI85B 6591	CT17334-2-1-6-2-5-3-M
26	GAB-11	HI16A 4962	CT16658-4-1-1SR-3-2-1-2-2-1-2
27	GAB-6	HI16A 4964	CT16658-4-1-1SR-3-2-1-2-2-1-4
28	GAB-5	HI16A 4965	CT16658-4-1-1SR-3-2-3-1-2-1-1
29	GAB-10	HI16A 4966	CT16658-4-1-1SR-3-2-3-1-2-1-2
30	GAB-9	HI16A 4967	CT16658-4-1-1SR-3-2-3-1-2-1-3
37	GAB-7	HI16A 4978	CT16658-4-1-1SR-3-2-3-2-5-1-3
45	GAB-2	112	FL03801-1P-1-1P-2P-M

utilizada una plántula por golpes a la siembra. En este sistema la siembra se genotipo en la cama de semillero, manteniéndose una separación prudencial entre la semilla de cada cultivar. El trasplante se efectuó entre 17 y 23 días después de siembra.

En cuanto al manejo agronómico, se realizó la aplicación de 68.0 kg·ha⁻¹ de

hizo a través de trasplante manual. Previo al trasplante se hicieron los semilleros, abono completo e igual cantidad de urea, considerando una tecnología de bajos insumos, típica de estas zonas, por las limitaciones económicas de los pequeños productores. El control de maleza se efectuó utilizando herbicidas, de acuerdo al complejo predominante en las parcelas experimentales.

Para evaluar la tolerancia genética de los cultivares no se efectuó el control de los insectos y enfermedades.

El análisis físico-químico de suelo de las 10 localidades (Cuadro 3), mostraron la variabilidad típica de los suelos tropicales y bastante similitud con los suelos arroceros de Panamá, los mismos varían de muy ácidos en Santa Cruz, Aguas Claras y Tulú Arriba (pH 4.8) a poco ácidos (pH 6.8) en Ipetí-Emberá. Con texturas que abarcan casi todas las gamas texturales, con suelos francos en: Santa Cruz; francos-arenosos: en Loma Larga, La Chumicosa (Chuzo), Peñita de Los Hernández, Ipetí-Emberá y Tulú Arriba; se trabajó en suelo franco-arcilloso:

en Guarumal, La Mata y La Chumicosa (fangueo); mientras que, en Aguas Claras tuvimos suelo arcilloso, y finalmente en Santa Cruz fue franco.

Se observó mucha variabilidad en cuanto a la fertilidad de los suelos, en relación al contenido de macro y micronutrientes. La mayoría son bajos en fósforo con excepción de Guarumal cuyo contenido es medio; también son de contenido medio en potasio, a excepción de La Peñita de los Hernández e Ipetí-Emberá con altos contenidos; son de contenidos bajos en Aluminio en la mayoría, sin embargo en Santa Cruz y Aguas Claras observamos alto contenido de Al.

CUADRO 3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO EN LOS AMBIENTES (GRANJAS) DONDE SE EFECTUÓ EL ESTUDIO. IDIAP-2007.

Ref. Laboratorio /Granja	Color suelo	A. L. Arc. %	pH	P mg/l	K	Ca cmol/kg	Mg	Al	MO %	Mn mg/l	Fe	Zn	Cu	Textura suelo
SECANO A CHUZO														
613-Loma Larga	Pardo grisáceo	78-22-0	5.5	3	117	2.2	1.0	0.1	2.81	20	70	3	6	FA
612-Chumicosa	Pardo olivo claro	52-26-22	5.5	TR	90	3.6	6.6	0.1	4.69	20	31	11	4	FA
606-Guarumal	Pardo amarillento	46-30-24	5.4	20	122	3.8	3.0	0.1	4.42	36	82	4	6	FARA
610-P.Hernández	P. amarillo oscuro	58-32-10	5.8	3	216	7.6	1.6	0.1	4.82	29	34	6	13	FA
609-Ip. Emberá	Pardo amarillento	72-14-14	6.8	12	228	5.0	3.8	0.1	6.30	23	11	5	6	FA
RIEGO POR FANGUEO														
607-Santa Cruz	P. amarillo claro	46-30-24	4.8	2	47	1.7	0.6	1.5	4.02	257	219	5	9	F
614-Aguas Claras	Pardo fuerte	46-16-38	4.9	3	78	4.2	1.6	1.7	3.22	28	77	2	6	ARCA
611-Tulú Arriba	Pardo olivo claro	72-18-10	4.9	5	47	1.0	0.2	0.7	8.04	31	19	4	5	FA
608-La Mata	P. amarillo oscuro	56-22-22	5.9	10	59	5.0	0.8	0.1	4.15	28	58	3	8	FARA
636-Chumicosa	Amarillo parduzco	52-24-24	5.6	6	67	18.4	2.3	0.1	1.61	28	113	8	6	FARA

Interpretación de niveles críticos utilizados por el laboratorio de suelos del IDIAP.

pH: muy ácido <5.1; ácido 5.2-5.9; poco ácido 6.0 a 6.9. P: bajo <18; medio 19-54; alto >55. K: bajo <44; medio 45-150; alto >151. Ca: bajo <2.0; medio 2.1-5.0; alto >5.1. Mg: bajo <0.6; medio 0.7-1.5; alto >1.6. Al: bajo <0.05; medio .06-1; alto >1.1. MO: bajo <2.0; medio 2.1-6.0; alto >6.1. Mn: bajo <14; medio 14.1-49; alto >49.1. Fe: bajo < 25.0; medio 25.1-75; alto >75. Zn: bajo <4.0; medio 4.1-14; alto > 14.1. Cu: bajo <2.0; medio 2.1-6.0; alto >6.1.

Por otro lado, verificamos bajo contenido de Ca en Santa Cruz y Tulú Arriba, mientras que en Peñita de los Hernández y la Chumicosa (fangueo) fueron altos en Calcio. El porcentaje de materia orgánica (MO) osciló entre 1.61 y 8.04%; es considerado bajo en la Chumicosa, alto en Ipetí-Emberá y Tulú Arriba, el resto presenta contenido medio de MO.

En relación al contenido de hierro y zinc en los suelos, observamos que solamente en Ipetí-Emberá y Tulú Arriba la presencia de Fe es baja; mientras que para el Zn encontramos bajos contenidos en las localidades de Loma Larga, Guarumal, Aguas Claras, Tulú Arriba y La Mata.

En el ensayo se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar, con tres

repeticiones, de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$X_{ijk} = \mu + G_i + B_j + A_k + (GA)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

X_{ijk} = Valor del carácter estudiado

μ = Media general

G_i = Efecto de genótipo

B_j = Efecto de repetición

A_k = Efecto de ambiente

$(GA)_{ik}$ = Efecto de la interacción G x A

ε_{ijk} = Error Experimental

Se realizó un análisis de varianza por localidad y otro combinado, considerando un modelo mixto (ambiente aleatorio y genotipo fijo).

La comparación de medias se efectuó, a través de la diferencia mínima significativa (DMS), con un nivel de significancia de $P < 0.05$.

El análisis de la interacción genotipo por ambiente se hizo mediante el modelo Biplot GGE SReg; propuesto por Yan et al. (2000), cuyo modelo matemático es:

$$\bar{y}_{ij.} = \mu + \delta_j + \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\varepsilon}_{ij.}$$

Donde:

$\bar{y}_{ij.}$ = Es la media del i-ésimo cultivar en el j-ésimo ambiente; μ = Es la media general;

τ_i = Es el efecto de genotipo; δ_j = Es el efecto de ambiente;

λ_k ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_t$) son valores singulares, que permiten la imposición de restricciones a la ortogonalidad para los vectores simples de cultivares, $\alpha_{ik} = (\alpha_{1k}, \dots, \alpha_{gk})$ y ambientes, $\gamma_{jk} = (\gamma_{1k}, \dots, \gamma_{ek})$, del tal forma que

$\sum_i \alpha_{ik}^2 = \sum_j \gamma_{jk}^2 = 1$ y $\sum_i \alpha_{ik} \alpha_{ik'} = \sum_j \gamma_{jk} \gamma_{jk'} = 0$ para $k \neq k'$; α_{ik} y γ_{jk} para $k=1,2,3,\dots$ estos son llamados "primarios," "secundarios," "terciarios,"... etc. Para los efectos de cultivares y ambientes, respectivamente;

$\bar{\varepsilon}_{ij.}$ Es el error residual asumiendo que NID $(0, \sigma^2/r)$ (donde σ^2 es el error de las variancias, y r es el número de repeticiones.

En cada localidad se calificaron la reacción de los cultivares a enfermedades y algunas características agronómicas de acuerdo al Sistema de Evaluación Estándar para Arroz. IRRI-CIAT. Las características evaluadas fueron: Piricularia al follaje (BI), Piricularia al cuello de la panícula (NBI), Resistencia al acame (Ldg), Altura de planta (Ht), Número de panículas por golpe a la cosecha (PP), manchado de grano (GID), número de golpes cosechados/m² (GM²) y el Rendimiento de grano t ha⁻¹ al 14% de humedad (Rend).

En el laboratorio de calidad de grano ubicado en el Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos (Río Hato), se evaluaron las características de calidad del grano como: Rendimiento total (RT), Granos enteros (GE), Granos quebrados (GQ), Arrocillo (Arr), Centro Blanco (CB), Porcentaje de grano tiza (TZ) y calidad culinaria mediante la Digestión Alcalina (DA); esta evaluación se efectuó de acuerdo a la metodología propuesta por el CIAT (Arregocés y Zamorano 1979).

En el laboratorio de suelos del IDIAP, ubicado en el Centro de Investigación Agropecuaria Central (Divisa), un análisis físico-químico de los

suelos donde se efectuaron los experimentos, con el objetivo de conocer las características de los suelos donde se efectuó la investigación.

Siguiendo el protocolo de Harvest Plus (Stangoulis y Sison 2009), se prepararon muestras de 100 g de arroz en cáscara de cada genotipo, en cada localidad para enviarlas al CIAT (Colombia), con el objetivo de determinar el contenido de Fe y Zn en el grano de arroz pulido, mediante métodos de absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La significancia del análisis combinado de varianza de 12 cultivares de arroz evaluados en siembra directa en el sistema de secano a chuzo (Cuadro 4), observamos que características como el acame (Ldg), piricularia al follaje (BI), piricularia al cuello de la panícula (NBI) y manchado del grano (GID), no mostraron diferencias significativas. Sin embargo, para las otras características incluidas en el análisis tales como: la altura de planta (Ht), número de panículas por golpe (PP), número de golpes/m² (GM²) y rendimiento de grano al 14% de humedad (t ha⁻¹) fueron observadas diferencias significativas (P<0.05) considerando las fuentes de variación: localidades y genotipos.

CUADRO 4. SIGNIFICANCIA DEL ANÁLISIS DE VARIANZA COMBINADO DE 12 GENOTIPOS DE ARROZ BIOFORTIFICADO, EN CINCO AMBIENTES DE SECANO A CHUZO. IDIAP-2007.

F de V	Ldg	BI	NBI	GID	Ht	PP	GM ²	Rend	RT	GE	GQ	Arr	CB
Rep (ambientes)	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	**					
Ambientes	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Genotipos	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	ns	**
Ambientes x genotipos	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	**					

Nivel de significancia: ** = P < 0.01; * = P < 0.05; ns = diferencias no significativas.

La interacción genotipo por ambiente fue significativa (P < 0.05) para las variables altura de planta, plantas/m² y el rendimiento de grano.

En relación al rendimiento de grano la interacción se interpreta como la respuesta diferencial de los cultivares en los diferentes ambiente, en otras palabras, esto significa que los genotipos que tuvieron buen comportamiento en un ambiente no mantuvieron ese comportamiento sobresaliente en los demás ambientes.

Estos resultados demostraron la necesidad de efectuar análisis detallados que presenten las diferencias entre tratamientos, localidades y efectuar una interpretación de la interacción genotipo por ambiente, específica para el carácter cuantitativo rendimiento de grano, el cual es el más influenciado por las condiciones ambientales.

El análisis combinado de medias para las variables (Cuadro 5), mostraron baja incidencia promedio de acame y enfermedades foliares, especialmente piricularia al follaje y al cuello de la panícula, y manchado del grano. Estas evaluaciones mostraron que no hay diferencias significativas de acuerdo a la prueba DMS (P < 0.05), entre los cultivares para las diferentes enfermedades evaluadas.

Es notable, las diferencias significativas (P < 0.05) para las características: altura de plantas (Ht), panículas por golpe (PP), golpes/m² a la cosecha (GM²). En este sentido, la altura observada oscila entre 78 cm, en el genotipo de arroz biofortificado 2 (GAB-2) y 100 cm en el genotipo GAB-11. No hubo diferencias entre la mayoría de los genotipos en relación al número de panículas por golpe (PP), realmente las diferencias estadísticas se dan en los valores extremos 10 PP registrados en el

cultivar GAB-7 y de las 16 PP en el material GAB-2, estos valores difirieron significativamente del resto de los cultivares.

Por otro lado, hubo diferencias ($P < 0.05$), para el número de golpes cosechados por metro cuadrado (GM^2), destacándose el GAB-5 por presentar el menor valor (9), mientras la mitad de los genotipos evaluados (seis) presentaron conteo de 15 GM^2 .

El rendimiento de grano fluctuó entre 2.529 tha^{-1} en el cultivar GAB-7 y 1.596 tha^{-1} en el GAB-3. El grupo superior

estuvo conformado por los genotipos GAB-7, GAB-11, GAB-10, GAB-8, GAB-6, GAB-4, GAB-1, GAB-12, y GAB-9, los cuales no difirieron significativamente entre sí ($P < 0.05$).

Los materiales, en general, presentaron parámetros de calidad de grano, relativamente bajos con porcentaje de rendimiento total (RT) promedio de 66.7%, sobresaliendo la GAB-2 y GAB-3, por presentar los valores más bajos de RT de 63%. Mientras los valores promedios de granos enteros fueron de 44.4%, en este caso el cultivar GAB-7 y GAB-9 presentaron valores de 50% o más.

CUADRO 5. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DE 12 GENOTIPOS DE ARROZ BIOFORTIFICADO, EVALUADOS EN CINCO AMBIENTES BAJO EL SISTEMA DE SECANO A CHUZO. IDIAP-2007.

Genotipos Biofortificados	Ldg (1-9)	BI (1-9)	NBI (1-9)	GID (1-9)	Ht (cm)	PP (Nº)	GM^2 (Nº)	Rend (tha^{-1})	RT (%)	GE (%)	GQ (%)	Arr (%)	CB (1-5)
GAB-7	2.2	1	1	2	97	10	15	2.529	68.7	50.2	14.8	3.7	3.6
GAB-11	2.2	1	1	2	100	12	15	2.516	66.8	40.7	19.6	6.5	3.6
GAB-10	2.2	1	1	2	94	12	13	2.354	67.7	46.1	16.6	5.0	2.7
GAB-8	2.2	1	1	2	100	11	14	2.346	63.6	38.9	18.0	6.7	2.7
GAB-6	2.2	1	1	2	96	12	15	2.280	66.2	44.5	16.7	5.0	3.0
GAB-4	2.2	1	1	2	96	12	15	2.132	67.3	48.0	15.8	4.1	2.8
GAB-1	2.2	1	1	2	98	11	14	2.105	66.7	48.3	14.1	4.3	3.0
GAB-12	2.2	1	1	2	90	12	15	2.088	69.4	39.5	23.8	6.1	3.2
GAB-9	2.2	1	1	2	97	11	14	2.076	68.9	51.3	13.0	4.6	2.6
GAB-2	2.2	1	1	2	78	16	15	1.916	63.3	38.5	19.0	5.8	3.7
GAB-5	2.2	1	1	2	96	11	9	1.709	68.6	47.9	16.1	4.7	3.5
GAB-3	2.2	1	1	2	95	11	13	1.596	63.4	39.2	11.7	4.4	1.6
Promedio	2.2	1.0	1.0	2.0	95	12	14	2.137	66.7	44.4	16.6	5.1	3.0
DMS ($P < 0.05$)					4.0	2.0	2.0	0.488	2.7	6.2	4.0	2.0	0.8
CV (%)					5.9	22.9	16.9	31.5	3.1	10.9	18.6	31.1	18.6

El rendimiento total ideal es de 70%, esto significa que de cada 45.4 kg de arroz que se pilan, 31.8 kg corresponde al arroz pulido y las restantes 13.6 kg a la cascarilla y otros subproductos.

Los resultados obtenidos con las variables evaluadas en las diferentes localidades (Cuadro 6), permitió verificar que en la localidad de Guarumal (Ocú), la cantidad de plantas acamadas fue superior al resto de las localidades; esto se debió posiblemente a dos factores: un fuerte vendaval en el área previo a la cosecha o al potencial de productividad, tal como se observa en el rendimiento que fue superior en esta localidad.

Durante el año 2007, la incidencia de enfermedades foliares fueron prácticamente inexistentes en las parcelas

experimentales, situación que se reflejó en las bajas calificaciones, de manera, que no hubo diferencias estadísticas entre los cinco sitios de evaluación.

Por otro lado, la mayor altura de planta se obtuvo en Peñita de los Hernández con 106 cm y la menor se alcanzó en La Chumicosa 81 cm.

Se verificó que el menor número de panículas por golpe y menor número de golpes/m² se registró en Ipetí-Emberá, seguido de La Chumicosa; obteniendo ambas localidades los menores promedios de rendimiento de grano. Por el contrario, en Guarumal se tuvo el mayor PP, mientras que en Peñita de los Hernández se cuantificó el mayor GM² y presentaron los promedios más altos en rendimiento de grano.

CUADRO 6. EFECTO DE LOS AMBIENTES SOBRE EL RENDIMIENTO PROMEDIO t·ha⁻¹ (14%) Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DE 12 GENOTIPOS DE ARROZ BIOFORTIFICADO, BAJO EL SISTEMA DE SECANO A CHUZO. COMBINADO DE CINCO LOCALIDADES. IDIAP-2007.

Ambientes (y/o Granjas)	Ldg (1-9)	BI (1-9)	NBI (1-9)	GID (1-9)	Ht (cm)	PP (Nº)	GM ² (Nº)	Rend. (t·ha ⁻¹)	RT (%)	GE (%)	GQ (%)	Arr (%)	CB (1-5)
Guarumal	7	1	1	1	102	19	12	3.288	67.0	47.7	14.6	4.7	2.1
Peñita de los Hernández	1	1	1	2	106	11	24	2.569	66.3	51.7	11.2	3.5	3.5
Loma Larga	1	1	1	2	94	9	17	2.312	69.3	42.2	21.5	5.6	2.4
Ipetí-Emberá	1	1	1	2	91	8	7	1.680	66.8	43.0	18.2	5.5	3.0
La Chumicosa	1		1	3	81	11	10	0.837	64.1	38.7	18.6	6.2	4.4
Promedio					95	12	14	2.137	66.7	44.4	16.6	5.1	3.0
DMS (P<0.05)	0	0	0	0	3	1.3	1.1	0.315	2.7	6.2	4.0	2.0	0.8
CV (%)					5.9	22.9	16.9	31.5	3.1	10.9	18.6	31.1	18.6

En relación a la calidad de grano, el RT más alto se obtuvo en Peñita de los Hernández (69.3%) y la menor en La Chumicosa (64.1%); mientras que, el mayor porcentaje de granos enteros lo presentó Peñita de los Hernández (51.7%).

Tal vez, Chumicosa fue el ambiente más adverso, lo cual se reflejó en la menor altura de planta, rendimiento, porcentaje de rendimiento total y de granos enteros.

La calidad de grano depende de factores genéticos y factores ambientales especialmente en el periodo que va desde la floración hasta la cosecha y el manejo postcosecha.

La variabilidad ambiental donde se efectuaron los experimentos explica las diferentes respuestas en calidad de grano.

El análisis de varianza Biplot GGE-SReg (Cuadro 7), muestra la eficiencia del modelo utilizado al explicar el 81.2% de la suma de cuadrado total; mientras que el 18.8% es capturado por el error, indicando la fortaleza estadística del modelo estadístico.

Por otro lado, el 46.7% de la suma de cuadrados total fue atribuible a los efectos ambientales y solamente un 5.3% a los efectos genotípicos, en tanto que, la interacción genotipo por ambiente capturó el 16.7%.

El primer eje del componente principal (PCA1) explica 53.0% la interacción con 14 grados de libertad, mientras que el segundo eje del componente principal (PCA2) explica 29.0% de la interacción con 12 grados de libertad. Ambos ejes explican el 82.0% de la interacción genotipo por ambiente.

CUADRO 7. ANÁLISIS DE VARIANZA TIPO IV BIPLLOT GGE-SREG PARA RENDIMIENTO DE GRANO DE 12 GENOTIPOS DE ARROZ BIOFORTIFICADOS EVALUADOS EN CINCO AMBIENTES BAJO CONDICIONES DE SECAÑO A CHUZO. IDIAP-2007.

F de V	gl	SC	CM	% explicado
Modelo	69	216.1747	3.1329**	81.2
Ambientes (A)	4	124.413	31.103**	46.7
Genotipos (G)	11	14.057	1.278**	5.3
Genotipo x Ambiente	44	44.509	1.012**	16.7
PCA1	14	31.0520	2.2180**	53.0
PCA2	12	16.9151	1.4096**	29.0
Error	110	50.0103	0.4546	18.8
Total	179	266.1850		

Nivel de significancia: ** = $P < 0.01$

De acuerdo a la gráfica Biplot GGE-SReg (Figura 1), los genotipos que se encuentran localizados cerca del centro fueron los que menos respondieron en los diferentes ambientes. Aquellos ubicados en los vértices o esquinas del polígono, responden a los estímulos ambientales, sea esta respuesta positiva o negativa, dependiendo del signo y la magnitud de la puntuación. En este sentido, en la Figura 1 observamos los vértices a los siguientes genotipos: GAB-10, GAB-7, GAB-11, GAB-2, GAB-3 y GAB-5.

El genotipo GAB-10, fue identificado por el modelo como el más estable en su rendimiento, debido específicamente a las altas puntuaciones en el primer eje del componente principal (PCA 1), que está relacionada con altos rendimientos y a los bajos valores del segundo eje del componente principal (PCA 2) cercanos a cero, asociado a buena estabilidad (Yan et al. 2001).

Por otro lado, los cultivares GAB-10, GAB-7 y GAB-11, se presentan como los genotipos con mayor rendimiento, en consecuencia fueron considerados por el modelo como los de mejor respuesta a los estímulos ambientales, concepto de adaptabilidad de, Lin et al. (1986), Lin y Binns (1994).

Los cultivares GAB-5 y GAB-3, fueron las que presentaron un comportamiento más pobre en la mayoría de los ambientes, especialmente por su ubicación bien alejada de los sectores donde se encuentran los vectores de los ambientes. En este caso hay una correlación negativa entre genotipos y ambientes.

Los ambientes fueron agrupados en tres sectores, el primero conformado únicamente por la localidad Peñita de los Hernández. En el segundo sector se ubican las localidades de Guarumal, La Chumicosa, y Loma Larga; Mientras en el tercer sector encontramos a Ipetí-Emberá.

Las localidades de Guarumal en el distrito de Ocú y Loma Larga en Antón mostradas en la Figura 1, la mayor capacidad para discriminar a los cultivares, esta capacidad es indicada por la mayor longitud de los vectores de estas localidades. La localidad de Peñita de los Hernández fue la que menos interaccionó con los genotipos.

La significancia del análisis de varianza combinado de 12 cultivares de arroz, en cinco localidades bajo las condiciones de riego mediante fanguero (Cuadro 8), mostraron que no existen

diferencias significativas ($P < 0.05$), en algunas de las características incluidas en el análisis tales como: acame, piricularia al follaje, al cuello de la panícula y manchado del grano, para las fuentes de variación ambientes, genotipos y la interacción genotipo por ambiente.

La interacción genotipo por ambiente significativa en la variable rendimiento de grano, que los cultivares tuvieron un comportamiento superior en una localidad, no mantuvieron ese patrón en otras localidades. Las variables relacionadas con la calidad del grano se observaron diferencias entre los ambientes y no entre los genotipos, esto

sugiere que el componente ambiental tuvo más peso en la variabilidad de la respuesta que el factor genético.

Los resultados del Cuadro 8, nos mostraron la necesidad de efectuar análisis detallados para las variables: Ht, PP, GM^2 y Rend, para determinar con precisión dónde se presentan las diferencias entre tratamientos, localidades, y efectuar una interpretación profunda de la interacción genotipo por ambiente, específica para el rendimiento de grano (Rend), que es la característica cuantitativa influenciada por las condiciones ambientales.

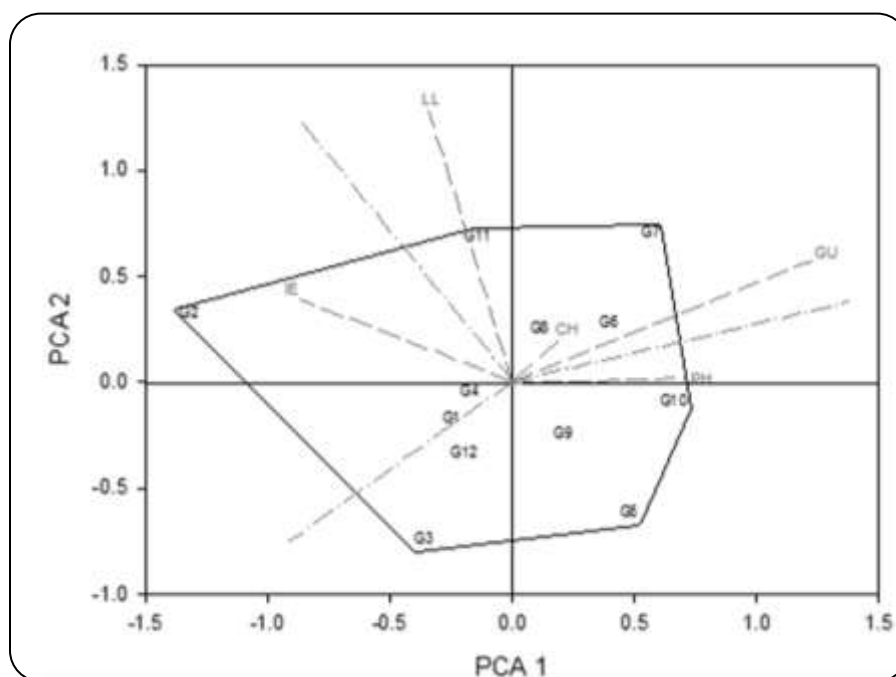


Figura 1. Gráfica Biplot GGE-SReg, para rendimiento de grano de 12 cultivares en cinco ambientes de secano. IDIAP-2007.

CUADRO 8. SIGNIFICANCIA DEL ANÁLISIS DE VARIANZA COMBINADO DE 12 GENOTIPOS DE ARROZ BIOFORTIFICADOS, EN CINCO AMBIENTES DE RIEGO POR FANGUEO. IDIAP-2007.

F de V	Ldg	BI	NBI	GID	Ht	PP	GM ²	Rend.	RT	GE	GQ			
Rep (ambiente)	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	**						
Ambientes	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Genotipos	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ambiente x Genotipo	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**						

Nivel de significancia: ** = P< 0.01; * = P< 0.05; ns = diferencias no significativas

El análisis combinado de medias para algunas de las variables en estudio son presentadas en el Cuadro 9, bajo el sistema de riego se observa una baja incidencia promedio de enfermedades foliares especialmente BI, NBI, GID. Los resultados también mostraron que no hay diferencias significativas de acuerdo al DMS (P<0.05) entre los cultivares para las enfermedades evaluadas. La baja incidencia promedio de enfermedades en las parcelas experimentales, no indica tolerancia absoluta de los genotipos, sino posiblemente que no se dieron las condiciones para que estas se expresaran.

El estadístico DMS (P<0.05), indica que hubo diferencias significativas para altura de planta y el rendimiento de grano, el grupo élite en relación al rendimiento está constituido por ocho genotipos, sobresaliendo los cultivares GAB-11, GAB-4, GAB-12, GAB-6, GAB-1,

GAB-10, GAB-8, GAB-2, las cuales no difieren significativamente entre sí.

Bajo las condiciones de riego los parámetros de calidad de granos, presentaron alto porcentaje de rendimiento total o índice de pilada, fluctuando entre 70.0 y 72.5% en GAB-3 y GAB-12, respectivamente. Mientras que, la proporción de granos enteros (GE) presentó valores que fluctuaron entre 36.7% en GAB-8 hasta 50% en GAB-4 y GAB-2. Se observó una leve mejoría en la calidad del grano cuando lo comparamos con seco (RT= 66.7 vs. 71.2, GE= 44.4 vs. 45.3 y CB 3.0 vs. 1.7); respectivamente para seco y riego.

La incidencia de centro blanco en los granos fluctuó entre 1.3 y 2.0 en la escala de 1 a 5. Los doce cultivares presentaron calificación de centro blanco igual o inferior a 2, los mismos están de acuerdo a los parámetros de selección del proyecto de arroz del IDIAP.

CUADRO 9. RENDIMIENTO PROMEDIO t ha^{-1} (14%) Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DE 12 GENOTIPOS DE ARROZ BIOFORTIFICADO EVALUADOS EN CINCO AMBIENTES BAJO EL SISTEMA DE RIEGO POR FANGUEO. IDIAP-2007.

Genotipos	Ldg (1-9)	BI (1-9)	NBI (1-9)	GID (1-9)	Ht (cm)	PP (Nº)	GM² (Nº)	Rend (t ha^{-1})	RT (%)	GE (%)	GQ (%)	Arr (%)	CB (%)
GAB-11	1.0	1.0	1.0	1.0	102	7.9	23.9	3.838	71.3	39.1	27.3	4.9	1.9
GAB-4	1.0	1.0	1.0	1.0	102	8.0	24.5	3.834	71.6	50.8	17.7	3.1	1.8
GAB-12	1.2	1.0	1.0	1.0	99	8.1	24.7	3.754	72.5	41.9	27.2	3.3	1.6
GAB-6	1.0	1.0	1.0	1.0	104	8.2	24.5	3.646	70.9	47.9	18.9	4.1	1.4
GAB-1	1.0	1.0	1.0	1.0	105	7.4	24.8	3.625	70.6	52.7	14.7	3.1	1.8
GAB-10	1.0	1.0	1.0	1.0	102	7.3	24.5	3.619	72.2	44.1	24.9	3.3	2.0
GAB-8	1.0	1.0	1.0	1.0	105	7.7	24.5	3.593	70.6	36.7	29.0	5.0	1.8
GAB-5	1.1	1.0	1.0	1.0	101	8.0	24.9	3.559	71.7	48.2	19.8	3.6	1.8
GAB-2	1.1	1.0	1.0	1.0	93	8.4	23.9	3.496	70.1	50.4	16.6	3.1	1.6
GAB-3	1.0	1.0	1.0	1.0	107	7.9	25.1	3.184	70.0	45.2	20.5	4.3	1.3
GAB-9	1.0	1.0	1.0	1.0	105	7.5	24.5	3.123	71.0	42.5	23.9	4.5	1.5
GAB-7	1.0	1.0	1.0	1.0	102	6.1	23.9	3.044	71.8	43.5	25.2	4.2	2.0
Promedio	1.0	1.0	1.0	1.0	102	7.7	24.5	3.526	71.2	45.3	22.1	3.9	1.7
DMS (P<0.05)					3.89	1.2	0.9	0.568	1.8	11.9	10.1	2.1	0.5
CV (%)					5.2	20.7	4.9	22.2	2.0	20.6	35.8	42.7	21.1

En relación a las características como el acame, piricularia al follaje y al cuello de la panícula y machado del grano, no hubo diferencias entre las localidades, mostrando una baja incidencia de enfermedades y de acame (Cuadro 10).

Se observó diferencias significativas (P<0.05) para las variables altura, panículas por golpes, golpes/m² y Rendimiento. En relación a la altura de plantas (Ht) la menor altura se observó en La Chumicosa (81 cm) y la mayor altura se registró en Tulú Arriba con 113 cm. Mientras que el número de las panículas por golpe (PP) fluctuó entre cinco en Santa

Cruz y once en La Chumicosa, en este caso el número de panículas representa el número de macollos o hijuelos productivos, debido a que en cada golpe fue colocada una plántula.

En cuanto al número de golpes/m² hubo diferencias estadísticas P<0.05, estos oscilaron entre 17 en La Mata y 32 en La Chumicosa. El mejor rendimiento de grano se registró en Aguas Claras y el menor en La Mata, respectivamente 4.474 y 2.718 t ha^{-1} , la DMS de 0.366 t ha^{-1} , indicó que existen diferencias significativas en la producción obtenida en las diferentes localidades.

CUADRO 10. EFECTO DE LOS AMBIENTES SOBRE EL RENDIMIENTO PROMEDIO t·ha⁻¹ (14%) Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DE 12 CULTIVARES DE ARROZ BIOFORTIFICADO, BAJO EL SISTEMA DE RIEGO POR FANGUEO. COMBINADO DE CINCO LOCALIDADES. IDIAP-2007.

Ambientes (Granjas)	Idg (1-9)	BI (1-9)	NBI (1-9)	GID (1-9)	Ht (cm)	PP (Nº)	GM ² (Nº)	Rend. (t·ha ⁻¹)	RT (%)	GE (%)	GQ (%)	Arr (%)	CB (1-5)
Aguas Claras	1	1	1	1	108	8	24	4.474	73.5	36.2	33.9	3.5	1.6
La Chumicosa	1	1	1	1	81	11	32	4.062	68.3	43.5	19.3	5.5	1.4
Tulú Arriba	1	1	1	1	113	8	25	3.344	72.0	51.2	18.5	2.3	1.6
Santa Cruz	1	1	1	1	109	5	25	3.033	72.9	53.2	17.6	2.5	1.6
La Mata	1	1	1	1	100	7	17	2.718	69.3	42.3	21.5	5.5	2.4
Promedio	1	1	1	1	102	8	24	3.526	71.2	45.3	22.1	3.9	1.7
DMS (P<0.05)					2.51	0.745	0.565	0.366	1.8	11.9	10.1	2.1	0.5
CV (%)	0	0	0	0	5.2	20.7	4.9	22.2	2.0	20.6	35.8	42.7	21.1

El análisis de varianza tipo IV Biplot GGE-SReg, para rendimiento de grano de 12 cultivares de arroz evaluados en cinco ambientes con riego (Cuadro 11), explica el 73.3% de la suma de cuadrado total; mientras que el 26.8% es capturado por el error, indicando la fortaleza estadística del modelo estadístico utilizado. Por otro lado, el 31.0% de la suma de cuadrados total fue atribuible a los efectos ambientales, mientras, los efectos genotípicos capturan solamente un 5.0% y la interacción genotipo-ambiente explica el 28.8% de la suma de cuadrado total.

El mayor valor obtenido con la suma de cuadrados para ambiente indicó que los ambientes o sistemas de manejo del agua fueron diferentes en las localidades, con diferencias entre las medias ambientales y variaciones en el

rendimiento de grano como respuesta de los genotipos. La magnitud de la suma de cuadrados de la interacción G x A, fue 5.8 veces mayor que la de genotipo, indicando que hubo respuestas diferenciales de los genotipos a través de los ambientes, en otras palabras los cultivares con un comportamiento excelente en una localidad posiblemente no repitieron ese comportamiento en los otros ambientes.

Gráficamente, la Figura 2 presenta las puntuaciones del primero y segundo eje del componente principal o valores del Biplot GGE-SReg, de los 12 genotipos y las cinco localidades de riego, para la variable rendimiento de grano, ambos ejes están explicando el 81.0% de la interacción genotipo por ambiente, el PCA-1 explica el 62.0% de la interacción, mientras que el PCA-2 capturó el 19.0%.

De acuerdo a la gráfica Biplot GGE-SReg (Figura 2), los cultivares GAB-11, GAB-6 y GAB-4, fueron identificados por el modelo como los genotipos que mejor respondieron a los estímulos ambientales, de acuerdo al concepto de adaptabilidad de Lin et al. (1986), Lin y Binns (1994). Por otro lado, el modelo determinó que los cultivares GAB-2, GAB-4 y GAB-11 son los materiales con mejor estabilidad, por presentar puntuaciones altas en el PCA1 (rendimientos sobre la media del ensayo), y puntuaciones cercanas a cero en el PCA2, indicativo de su estabilidad para rendimiento de grano.

El modelo Biplot GGE-SReg, agrupó los ambientes en tres sectores (Figura 2), el primero conformado por la localidad de Tulú Arriba (TA), donde los genotipos superiores fueron: GAB-1, GAB-4, GAB-11 y GAB-6. En el segundo sector se ubican, Santa Cruz y La Chumicosa, en estas localidades de acuerdo a la Figura 2, sobresale el genotipo GAB-6. En un tercer sector, se ubicaron las localidades de La Mata y Aguas Claras, donde el genotipo

superior fue el GAB-12. La Figura 2, también sugiere que las localidades de Tulú Arriba y La Chumicosa fueron identificadas por el modelo, como las mejores para seleccionar a este grupo fijo de genotipos, esto se deduce debido a la longitud del vector de estas localidades.

Los resultados de los análisis para determinar el contenido de Fe en el grano pulido (Cuadro 12), bajo las condiciones de fangueo y a chuzo, nos permite indicar que el promedio de los genotipos en riego fue de $3.95 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, mientras en secano fue de $3.68 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; no existiendo diferencias entre ambos los datos ($P < 0.05$) de ambos sistemas. El contenido de hierro en fangueo fluctuó entre $3.48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en GAB-5 y $4.76 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en GAB-3; en relación a las localidades el Fe osciló entre $3.39 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en Tulú arriba y $4.48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en La Mata. En el sistema a chuzo el hierro fluctuó en los genotipos entre $2.99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en GAB-8 y $4.82 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en GAB-2. Mientras que, a nivel de las localidades este micronutriente fue mínima variando de $3.71 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en La Chumicosa a 3.93 en Ipetí-Emberá.

CUADRO 11. ANÁLISIS DE VARIANZA TIPO IV BIPLLOT GGE-SREG PARA RENDIMIENTO DE GRANO DE GENOTIPOS DE ARROZ BIOFORTIFICADOS EVALUADOS BAJO CONDICIONES DE RIEGO POR FANGUEO. IDIAP-2007.

F de V	gl	SC	CM	% explicado
Modelo	69	178.1182	2.5842	73.0
Ambientes (A)	4	75.3534	18.8384**	31.0
Genotipos (G)	11	12.1187	1.1018**	5.0
Genotipo x ambiente	44	70.0502	1.5921**	29.0
PCA1	14	51.4623	3.6759**	62.0
PCA2	12	16.0517	1.3376**	19.0
Error	110	65.1035	0.5919	27.0
Total	179	243.2217		

Prueba F: ** nivel de significancia de 0.01

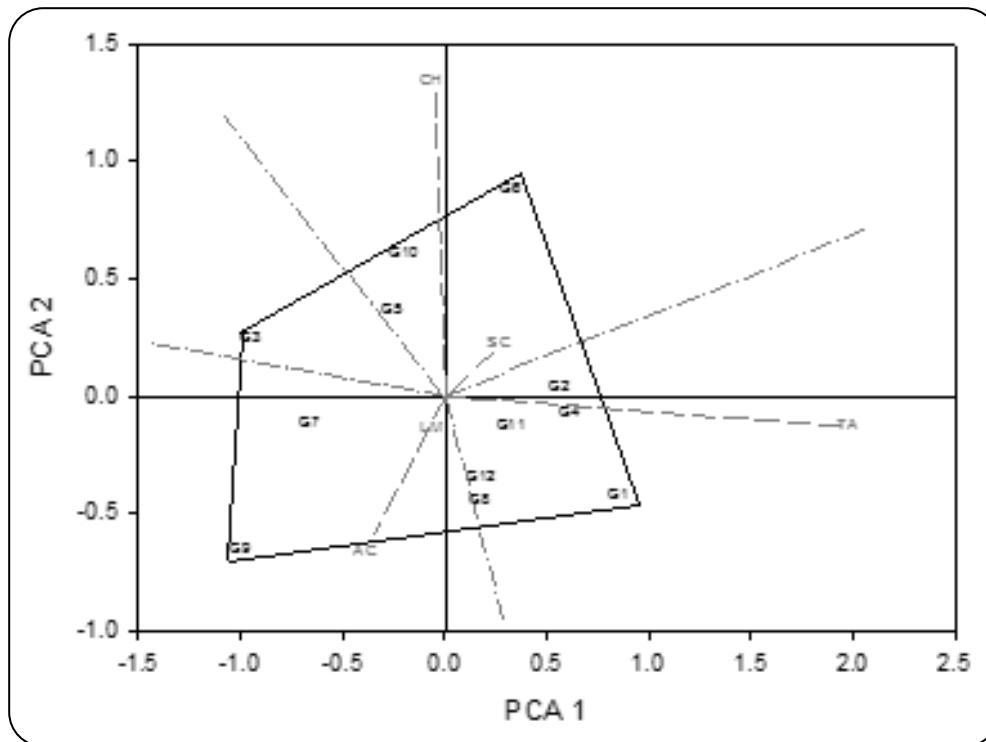


Figura 2. Gráfica Biplot GGE-SReg, para rendimiento de grano de 12 genotipos en cinco ambientes de riego por trasplante. IDIAP-2007.

CUADRO 12. CONTENIDO DE HIERRO (mg/kg) EN EL GRANO PULIDO, DE 12 GENOTIPOS DE ARROCES BIOFORTIFICADOS EN CONDICIONES DE CINCO LOCALIDADES DE RIEGO POR FANGUEO Y CINCO DE SECANO A CHUZO, 2007.

Genotipos	Contenido de Fe (mg/kg) Sistema de Riego por Fangueo										Contenido de Fe (mg/kg) Sistema de Secano a Chuzo																													
	Sta Aguas Claras					Tulú					La Arriba					La Mata					Chumicosa					Prom					DE					cv				
	Cruz	3.51	3.52	3.79	4.22	4.63	3.79	3.79	4.11	4.53	4.74	4.74	4.59	4.74	4.74	4.32	4.40	4.74	4.32	4.11	4.06	14.9	3.90	0.6	14.9	2.90	3.86	4.91	4.14	4.82	4.13	0.8	19.8							
GAB2	3.47	3.51	3.52	3.79	4.22	4.63	3.79	4.11	4.53	4.74	4.74	4.59	4.74	4.74	4.32	4.40	4.74	4.32	4.11	4.06	14.9	3.90	0.6	14.9	2.90	3.86	4.91	4.14	4.82	4.13	0.8	19.8								
GAB3	5.73	4.68	3.79	4.63	4.96	4.76	0.7	14.7	4.76	4.76	0.7	14.7	4.76	4.76	0.7	14.7	4.76	4.76	0.7	14.7	4.76	4.76	0.7	14.7	3.76	4.48	4.24	4.24	4.79	4.30	0.4	8.8								
GAB4	3.48	3.69	3.37	4.72	3.99	3.85	0.5	14.1	3.85	0.5	14.1	3.85	0.5	14.1	3.85	0.5	14.1	3.85	0.5	14.1	3.85	0.5	14.1	2.68	4.01	3.40	5.03	4.04	3.83	0.9	22.7									
GAB5	2.85	3.09	2.72	4.40	4.35	3.48	0.8	23.8	3.48	0.8	23.8	3.48	0.8	23.8	3.48	0.8	23.8	3.48	0.8	23.8	3.48	0.8	23.8	2.85	3.77	3.18	3.13	4.24	3.43	0.6	16.3									
GAB6	4.08	3.68	3.42	4.74	4.17	4.02	0.5	12.5	4.02	0.5	12.5	4.02	0.5	12.5	4.02	0.5	12.5	4.02	0.5	12.5	4.02	0.5	12.5	2.96	3.90	3.86	3.10	3.96	3.55	0.5	13.6									
GAB7	3.37	3.79	3.79	4.11	4.53	3.92	0.4	11.0	3.92	0.4	11.0	3.92	0.4	11.0	3.92	0.4	11.0	3.92	0.4	11.0	3.92	0.4	11.0	2.96	3.83	3.94	3.54	4.71	3.80	0.6	16.8									
GAB8	3.51	3.13	2.62	4.74	4.59	3.72	0.9	24.8	3.72	0.9	24.8	3.72	0.9	24.8	3.72	0.9	24.8	3.72	0.9	24.8	3.72	0.9	24.8	3.54	3.47	3.14	4.24	2.99	3.48	0.5	14.0									
GAB9	3.17	3.90	4.40	4.74	4.32	4.11	0.6	14.6	4.11	0.6	14.6	4.11	0.6	14.6	4.11	0.6	14.6	4.11	0.6	14.6	4.11	0.6	14.6	3.60	3.54	4.38	3.25	3.77	3.71	0.4	11.3									
GAB10	2.88	4.74	3.28	4.93	5.15	4.20	1.0	24.8	4.20	1.0	24.8	4.20	1.0	24.8	4.20	1.0	24.8	4.20	1.0	24.8	4.20	1.0	24.8	2.87	2.70	3.43	2.48	2.56	2.81	0.4	13.5									
GAB11	2.99	3.66	3.21	4.29	4.48	3.73	0.7	17.5	3.73	0.7	17.5	3.73	0.7	17.5	3.73	0.7	17.5	3.73	0.7	17.5	3.73	0.7	17.5	3.47	3.68	3.36	4.73	3.93	3.83	0.5	14.2									
GAB12	4.20	3.27	3.13	3.71	4.53	3.77	0.6	15.8	3.77	0.6	15.8	3.77	0.6	15.8	3.77	0.6	15.8	3.77	0.6	15.8	3.77	0.6	15.8	4.33	3.62	3.29	3.18	3.40	3.56	0.5	12.9									
Promedio	3.61	3.74	3.39	4.48	4.53	3.95	0.5	13.2	3.95	0.5	13.2	3.95	0.5	13.2	3.95	0.5	13.2	3.95	0.5	13.2	3.95	0.5	13.2	3.26	3.71	3.74	3.73	3.93	3.68	0.2	6.7									
DE	0.83	0.54	0.50	0.36	0.34	0.51	0.43	0.73	0.51	0.43	0.73	0.51	0.43	0.73	0.51	0.43	0.73	0.51	0.43	0.73	0.51	0.43	0.73	0.51	0.43	0.58	0.79	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73								
cv	22.91	14.57	14.83	8.11	7.46	15.57	11.61	15.39	15.57	11.61	15.39	15.57	11.61	15.39	15.57	11.61	15.39	15.57	11.61	15.39	15.57	11.61	15.39	15.57	11.61	15.39	15.57	11.61	15.39	15.57	11.61	15.39	15.57							

El contenido de Zn en el grano pulido en condiciones de fangueo y a chuzo (Cuadro 13), fluctuando el contenido entre $15.04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en fangueo y $14.27 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a chuzo.

En condiciones de fangueo el Zn en los genotipos fluctuó entre $13.78 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en GAB-2 y $16.31 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en GAB-3; a nivel de las localidades el promedio menor se obtuvo en Aguas Claras (13.54) y el mayor en Tulú Arriba con $17.02 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. En el sistema a chuzo el Zn osciló entre $13.06 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en GAB-10 y $15.47 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en GAB-2. En tanto, en las localidades el Zn varió entre $13.61 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en La Chumicosa y $15.83 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en Guarumal.

Es importante destacar que las variedades convencionales sometidas a este análisis presentaron en promedio $2.47 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Fe, variando entre $1.65 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $3.73 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; mientras que para el contenido de Zn este fluctuó de $10.10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a $13.32 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, con un promedio de $11.79 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Los resultados obtenidos con la determinación de los micronutrientes Fe y Zn en el grano pulido, sugieren que las condiciones ambientales influyen sobre el contenido de los mismos, resultados similares relata Martínez et al. 2006.

El Cuadro 14, recoge los resultados del ejercicio participativo de selección efectuado por los productores colaboradores previo a la cosecha de las parcelas experimentales. Observamos que de los 12 genotipos evaluados, siete de ellos fueron seleccionados, siendo los de mayor frecuencia de selección: GAB-2, GAB-6, GAB-8 y GAB-11. No obstante, con la producción obtenida se efectuará un ensayo informal, para determinar algunas características importantes para las amas de casa rurales tales como: el grado de dificultad al hacer la escarificación manual mediante el pilón, bien como, las características organolépticas durante la cocción y al momento de su consumo.

CUADRO 13. CONTENIDO DE ZINC (mg/kg) EN EL GRANO PULIDO DE 12 GENOTIPOS DE ARROCES BIOFORTIFICADOS EN CONDICIONES DE CINCO LOCALIDADES DE RIEGO POR FANGUEO Y CINCO DE SECANO A CHUZO. IDIAP-2007.

Genotipos	Contenido de Zn (mg/kg). Sistema de Riego por Fangueo					Contenido de Zn (mg/kg). Sistema de Secano a Chuzo											
	Sta Cruz	Aguas Claras	Tulu Arriba	La Mata	cv	P. Cruz	Chumucosa	Prom	DE	cv	Loma Larga	Chumucosa	Guarumal	P. Hernández	Ipeti-Emberá	Prom	DE
GAB-2	16.00	14.57	17.18	15.05	13.78	15.32	1.3	8.6	12.94	15.88	16.96	16.40	15.14	15.47	1.6	10.1	
GAB-3	16.93	15.90	18.67	15.87	14.15	16.31	1.7	10.2	15.61	14.36	16.32	15.59	15.07	15.39	0.7	4.7	
GAB-4	14.86	13.56	16.97	14.26	14.15	14.76	1.3	8.9	17.93	14.11	15.01	15.47	13.20	15.14	1.8	11.8	
GAB-5	14.39	12.83	16.16	13.07	15.62	14.41	1.5	10.3	13.80	12.37	14.59	12.46	13.59	13.36	0.9	7.0	
GAB-6	14.41	13.61	16.44	14.35	16.49	15.06	1.3	8.8	13.00	13.71	14.44	13.99	12.55	13.54	0.8	5.6	
GAB-7	14.93	14.25	17.39	13.16	16.89	15.28	1.7	11.4	13.08	13.62	19.56	13.23	13.71	14.64	2.8	18.9	
GAB-8	15.23	13.24	17.61	13.63	15.16	14.97	1.7	11.5	12.30	13.64	16.05	16.08	13.05	14.22	1.7	12.3	
GAB-9	14.85	12.64	17.92	15.91	14.64	15.19	1.9	12.7	14.74	12.95	15.44	13.38	13.98	14.10	1.0	7.2	
GAB-10	14.65	14.41	16.95	13.32	16.95	15.26	1.6	10.7	13.49	12.19	14.55	12.79	12.28	13.06	1.0	7.5	
GAB-11	13.12	11.29	15.16	13.35	16.72	13.92	2.1	14.9	11.84	12.66	15.35	13.81	12.15	13.16	1.4	10.9	
GAB-12	16.08	12.67	16.78	13.96	15.25	14.95	1.7	11.0	14.92	14.23	15.87	15.74	13.76	14.90	0.9	6.2	
Promedio	15.04	13.54	17.02	14.17	15.42	15.04	1.3	8.8	13.97	13.61	15.83	14.45	13.50	14.27	0.9	6.6	
DE	1.02	1.23	0.93	1.04	1.16	1.74			1.74	1.06	1.47	1.43	1.00				
cv	6.77	9.09	5.47	7.30	7.51	12.46			7.79	9.89	9.30	7.42					

CUADRO 14. GENOTIPOS SELECCIONADOS POR LOS PRODUCTORES COLABORADORES EN LAS DIFERENTES LOCALIDADES Y SISTEMAS DE SIEMBRA. IDIAP-2007.

Genotipos	Frec Sel.	Sistema secano a chuzo					Sistema de riego por fangueo							
		Loma Larga	Chumucosa	Guarumal	Peñita Hernández	Ipeti-Emberá	Santa Cruz	Aguas Claras	Tulu Arriba	La Mata	Chumucosa			
GAB1	2	X					X							
GAB2	4	X					X							X
GAB3	1													X
GAB4	1			X										
GAB5	0													
GAB6	3		X											X
GAB7	1													X
GAB8	4	X								X				
GAB9	0													
GAB10	0													
GAB11	4		X							X				
GAB12	3			X										X

CONCLUSIONES

- El cultivar con mejor adaptabilidad a las condiciones de riego y seco fue GAB-11.
- Bajo las condiciones del sistema de seco a chuzo los cultivares con mejor adaptabilidad fueron: GAB-10, GAB-7 y GAB-11.
- Bajo las condiciones del sistema de riego por fanguero los cultivares con mejor adaptabilidad fueron: GAB-2, GAB-4 y GAB-11.
- La calidad molinera fue mejor en riego que en seco para RT, GE y CB.
- La baja incidencia de enfermedades foliares no debe interpretarse únicamente en función de la tolerancia genética de los genotipos.
- El contenido de hierro y zinc, varió entre los sistemas, localidades y genotipos.
- En ambos sistemas los productores colaboradores seleccionaron los cultivares GAB-2, GAB-8 y GAB-11.

RECOMENDACIÓN

Iniciar el incremento de semilla de los cultivares GAB-11, GAB-2 y GAB-8 para continuar los trabajos de validación y escuelas de campo programadas para la tercera etapa.

BIBLIOGRAFÍA

- Arregocés, O; De Zamorano, A. 1979. Evaluación de la calidad del arroz. Autotutorial CIAT. 24 p.
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multi location trials. *Advances in agronomy*. 44: 55-85.
- Crossa, J; Gauch Junior, HG; Zobel, RW. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop. Sci.* 30:493-500.
- Crossa, J; Fox, PN; Pfeiffer, WH; Rajaram, S; Gauch Junior, HG. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theor Appl. Genet.* 81:27-37.
- Gauch, HG; Zobel, RW. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76:1-10.

- Gauch, HG; Zobel, RW. 1989. Accuracy and selection success in yield trial analyses. *Theor Appl. Genet.* 77:443-481.
- Lin C.S., M.R. Binns. 1994 Concepts and methods for analyzing regional trial data for Cultivar and location selection. *Plant Breeding Reviews* 12:271-297.
- Lin, C.S., M.R. Binns, L.P. Lefkovich. 1986. Stability Analysis. Where do we stand? *Crop Sci.* 26:894-900.
- Martínez, C.; J. Borrero; J. Tohme. 2006. Variedades de arroz con alto valor nutricional para combatir la desnutrición en América Latina. En segundo congreso arrocero CONARROZ. Junio 29-30. San José, Costa Rica. 11 p.
- Stangoulis J.; C. Sison. 2009. Protocolos de muestreos en cultivos para análisis de micronutrientes. HarvestPlus. Serie de monografías técnicas 7. 20 p.
- Yan, W, L:A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar Evaluation and Mega Environment Investigation based on the GGE Biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Yan, W., P. Cornelius., J. Crossa., L.A. Hunt. 2001. Two types of GGE Biplots for analyzing multi - environment trial data. *Crop Sci.* 41:656-663.
- Yan, W., I., Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42:11-20.
- Zobel R.W., M.J. Wright Y H.G. Gauch, Jr. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:388-393.

ZONIFICACIÓN DE SUELOS DE PANAMÁ EN BASE A NIVELES DE NUTRIENTES¹

José E. Villarreal²; Benjamín Name³; Rubiela García³

RESUMEN

En Panamá es necesario contar con mapas digitales sobre el estado de fertilidad de los suelos. El objetivo de este trabajo fue elaborar mapas de fertilidad de suelos de la República de Panamá, tomando como base los análisis de suelos realizados en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Se elaboró una base de datos utilizando el ACCES 2000[®]. Debido a que los sitios de procedencia de las muestras no se encontraban georeferenciados, se utilizó la base de datos cartográfica de la Contraloría General de la República de Panamá para ubicar la posición geográfica en coordenadas UTM. Para localizar las muestras, se tomó como base los nombres de 1767 localidades. Dado que algunos puntos se superponían, se estableció un dato representativo, de acuerdo a su frecuencia. La base de datos con los resultados de los análisis de fertilidad fue incluida en el programa ARC/VIEW[®] en formato de puntos. Se generaron 15 mapas digitales resultado de la interpolación de datos de variables de suelo como aluminio, materia orgánica, cobre, hierro, saturación de aluminio, pH, fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, zinc, contenido de bases cambiables, contenido de microelementos y textura. La clasificación de la leyenda para cada mapa está en función de los niveles críticos utilizados por el laboratorio. En general, los suelos presentan deficiencia en fósforo, zinc, calcio y materia orgánica; elevada acidez y alta saturación de aluminio.

PALABRAS CLAVES: Mapas de fertilidad de suelos, mapas digitales, análisis de suelo, variables de suelo, niveles críticos de nutrimentos.

¹ Recepción: 25 de febrero de 2013. Aceptación: 23 de septiembre de 2013. Trabajo realizado en el Proyecto: Viabilidad del agronegocio (VIAGRO)

² Dr. en Ciencias del Suelo. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).
e-mail: jevilla38@gmail.com

³ M.Sc. en Edafología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).
e-mail: bname63@gmail.com

³ M.Sc. en Sistema de Información Geográfica. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA).
e-mail: rubiela.garcia@gmail.com

PANAMA SOILS ZONING BASED ON NUTRIENT LEVELS

ABSTRACT

In Panama, it is necessary to have digital maps on the status of soil fertility. The objective of this work was to develop soil fertility maps of the Republic of Panama, based on soil tests done in the Soil Laboratory of the Agricultural Research Institute of Panama (IDIAP). A database was prepared with the results of analysis of samples from 1985 to 2003, using the ACCES 2000[®]. Since the sites of origin of the samples were not georeferenced, we used the map database of the General Contraloria of the Republic of Panama to locate the geographical position in UTM coordinates. To locate the samples, the names of 1767 locations were taken as a basis. Since some points overlapped many samples, a representative sample point was established according to its frequency. The database with the results of the fertility analysis was included in the ARC/VIEW[®] under point format. Fifteen digital maps were generated from interpolation result of soil variables aluminum, organic matter, copper, iron, aluminum saturation, pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, manganese, zinc, changeable base content, content of microelements and texture. The classification of the legend for each map is a function of the critical levels used by the laboratory. Generally, the soils are deficient in phosphorus, zinc, calcium and organic matter, with high acidity and high aluminum saturation.

KEYWORDS: Soil fertility maps, digital maps, soil analysis, soil variables, critical nutrient levels.

INTRODUCCIÓN

El suelo constituye uno de los factores clave en la producción agropecuaria, sirviendo como la fuente de nutrimentos, oxígeno, agua y sostén de los cultivos. La distribución espacial de los nutrimentos y las condiciones en las que se encuentran, están influenciadas por los factores formadores de suelo y el manejo dado al mismo. Estos definen su disponibilidad y consecuentemente, el manejo de la fertilidad a través del uso de los abonos,

fertilizantes y enmiendas. De esta forma, los mapas de fertilidad de suelos, constituyen una herramienta base que permitirá una mejor toma de decisiones en el sector agrario.

Para optimizar el rendimiento de los cultivos en Panamá es necesario conocer la variación espacial de la fertilidad de suelos, a través de mapas digitalizados y georeferenciados con información detallada de los diferentes sitios poblados de todo el país.

Anteriormente, esta información se tenía en base de datos sin georeferenciar y poco actualizada. Países de Sur América, India, algunos Estados de Norteamérica y varios países de Europa y Asia, han elaborado mapas de fertilidad que han servido como punto de partida para practicar la agricultura de precisión (Fitts y Nelson 2004).

En Brasil, el IAPAR (2003) realizó la zonificación de cultivos de todo el Estado de Paraná, tomando como base mapas de estudios de suelos realizados con anterioridad en dicho Estado brasileño, que han servido para ordenar el uso del suelo en la región.

Los mapas de fertilidad de suelos son una herramienta básica para una futura zonificación de cultivos en el país, lo que permitirá seleccionar zonas que presentan suelos con características adecuadas para un determinado cultivo, además de otros datos que deben apoyar esta información como: clima, precipitación pluvial, topografía, uso actual del suelo, rendimiento, entre otros.

El objetivo de este trabajo fue elaborar mapas de fertilidad de suelos de la República de Panamá, en base a

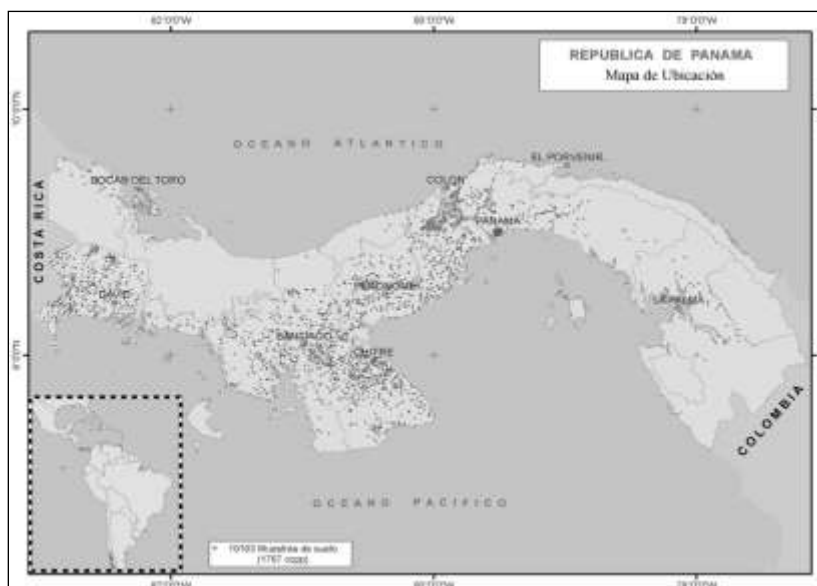
los análisis de suelos realizados por el Laboratorio de Suelos del IDIAP.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron Cartas Fotográficas de Panamá a la escala de 1:100 000; elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.

Los datos de los análisis de suelo de todo Panamá fueron suministrados por el Laboratorio de Suelos del IDIAP, ubicados en el Centro de Investigación Agropecuaria Central en Divisa. Esta información comprendía los registros desde el año 1986 hasta el 2004. Del total de 100 000 muestras contenidas en los archivos del laboratorio se utilizaron unas 19 000; ya que el resto no contaba con toda la información necesaria para poder ubicarlas físicamente en el mapa geopolítico de Panamá.

Los análisis de suelos se realizaron en el periodo señalado, siguiendo los procedimientos normalizados en el laboratorio de suelos (Villarreal y Name 1996). Además, se utilizó el mapa base Físico Político digital con la Cartografía de Panamá que contiene los datos georeferenciados (metros norte y este) de 1767 sitios poblados del país (Figura 1) (CGRP 2000).



Fuente: CGRP 2000.

Figura 1. Ubicación de 1767 sitios poblados de Panamá.

Manejo de la base de datos:

Las muestras de suelos fueron almacenadas en una base de datos digital que contenía 19 193 registros. Las características o propiedades del suelo se ubicaron en 15 variables por registro, según se indica en el Cuadro 1.

Adicionalmente, la estructura de datos contenía un campo de identificación (ID) para cada registro, nombre del poblado y su respectiva localización geográfica en el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM).

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DETERMINADAS PARA CADA MUESTRA.

REGISTRO	VARIABLE	REGISTRO	VARIABLE
1	Arena	9	pH
2	Limo	10	Fósforo (P)
3	Arcilla	11	Potasio (K)
4	Aluminio (Al)	12	Calcio (Ca)
5	Cobre (Cu)	13	Magnesio (Mg)
6	Zinc (Zn)	14	Materia orgánica (MO)
7	Hierro (Fe)	15	Saturación de aluminio (Sat. de Al)
8	Manganeso (Mn)		

Debido a que las 19 193 muestras, originalmente sólo presentaban nombres de poblados y no contenían coordenadas, éstas fueron georeferenciadas con la ubicación geográfica de 1767 centros poblados de todo el País, tomando como criterio la cercanía de las muestras a un poblado específico (Figura 1).

Localización de las muestras de suelos en 1767 poblados de Panamá:

En la mayoría de los casos hubo superposición de datos, puesto que más de un registro contenía el mismo valor de coordenadas, causando algunos problemas en las primeras pruebas de interpolación (Cuadro 2).

CUADRO 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS POBLADOS CON SUS RESPECTIVAS COORDENADAS EN LA BASE DE DATOS.

Reg	ID	Metros norte	Metros este	Nombre	pH	Fósforo
1	4	1 041 771.08	355 093.04	Boca de Drago	5.4	0.56		
2	5	1 032 825.46	363 243.89	Bocas del Toro	7.8	4.00		
3	5	1 032 825.46	363 243.89	Bocas del Toro	4.8	0.35		
4	5	1 032 825.46	363 243.89	Bocas del Toro	5.2	9.10		
5	5	1 032 825.46	363 243.89	Bocas del Toro	5.4	2.90		
6	19	1 033 439.18	366 956.99	Bastimentos	5.0	1.50		
7	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	4.7	1.70		
8	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	5.1	0.56		
9	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	5.9	12.30		
10	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	4.7	2.30		
11	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	5.4	3.40		
12	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	6.5	16.30		
...				
1997				1767 poblados				

Para optimizar la selección de datos previo a la interpolación, se tomó como base los niveles críticos utilizados en la interpretación de los análisis de suelos (Name y Cordero 1987), a partir del cual se procedió a clasificar la base de datos por variable, de acuerdo a los rangos del documento y se estableció una clase o valor a cada intervalo. Posteriormente, se determinó usar el valor o clase más frecuente de cada

variable (MODA) por centro poblado. Luego, se tomaron los valores medios de cada intervalo para la interpolación (Cuadro 3).

Finalmente, se obtuvo una nueva base de datos con 1727 registros conteniendo las clases de mayor frecuencia por variable y por centro poblado (Cuadro 4).

CUADRO 3. VALORES PROMEDIOS DE CADA CLASE UTILIZADOS PARA LA INTERPOLACIÓN.

pH	Clase	Valores para interpolación
0.0 - 3.9	1 Extremadamente ácido	1.95
4.0 - 5.2	2 Muy ácido	4.60
5.3 - 5.5	3 Ácido	5.40
5.6 - 5.9	4 Levemente ácido	5.75
6.0 - 6.9	5 Poco ácido	6.45
7.0	6 Neutro	7.00
7.1 ó más	7 Alcalino	7.10

CUADRO 4. BASE DE DATOS DE SUELOS POR SITIO POBLADO, VARIABLES, CLASE Y VALOR INTERPOLADO.

Reg	ID	Metros norte	Metros este	Nombre	pH	pH clase	pH interpolación
1	4	1 041 771.08	355 093.04	Boca de Drago	5.4	3	5.4
2	5	1 032 825.46	363 243.89	Bocas del Toro	4.8	2	4.6
3	19	1 033 439.18	366 956.99	Bastimentos	5.0	2	4.6
4	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	4.7	2	4.6
...			
1767				1767 poblados			

Proceso de interpolación y generación de mapas:

El proceso de interpolación estima valores intermedios entre valores conocidos, en tal sentido, es importante manejar un distanciamiento o resolución adecuada entre los puntos a interpolar, esto permite obtener un mayor detalle en la visualización de los resultados.

Mediante el uso de coordenadas de la nueva base de datos, se obtuvo un archivo vectorial tipo PUNTO denominado *Shape File* (Arcview 3.2®), el cual muestra la distribución espacial de los 1767 poblados a nivel de todo el país. El *Shape File* permitió obtener las

distancias mínimas entre los poblados (puntos cercanos), proporcionando así una resolución adecuada para la interpolación (200 m²).

Las variables de suelos fueron interpoladas individualmente, generando archivos de formato raster tipo GRID (ESRI-GIS®, ARCIINFO NT 9.0®) con tamaño de píxel de 200 m² para todo Panamá. En el caso de la textura, se separaron los componentes arena, arcilla y limo, y con cada uno se procedió a la interpolación de los datos con los puntos adyacentes.

El mapa de textura se obtuvo de la combinación de los grids arena, limo y arcilla, usando el comando COMBINE (ESRI-Arcinfo NT/grid) y utilizando un programa que emula al triángulo textural (United States Department of Agriculture, 1992); se generaron los polígonos con la distribución espacial, considerando los límites sobre la base cartográfica digital del Instituto de Investigaciones de Ciencias Ambientales - Sistemas de Información Geográfica (ESRI-GIS), resultando en mapas para cada atributo.

El método de interpolación utilizado fue el de Interpolación Inversa a la Distancia (IDW), el cual estima los puntos del modelo, realizando una asignación de pesos a los datos del entorno en función inversa a la distancia que los separa del punto en cuestión. De esta forma, se acepta que los puntos más próximos al centroide "z" intervengan de manera más relevante en la construcción del valor definitivo para ese punto. De aquí, se deduce que la elección del exponente de ponderación (en este caso 0.5) es determinante en la contribución de los puntos circundantes al punto problema: entre mayor sea el exponente, más contribuyen los puntos próximos.

La fórmula general para la interpolación es la siguiente:

$$z_j = \frac{\sum z_i / d_{ij}^\beta}{\sum 1 / d_{ij}^\beta}$$

Donde:

z_j = Punto problema;

z_i = Punto del entorno;

β = Exponente de ponderación;

d_{ij} = Distancia entre los puntos.

Las herramientas de sistema de información geográfica (SIG) utilizadas para la manipulación, procesamiento, análisis y visualización de los datos fueron ARCVIEW 3.2, módulo SPATIAL ANALYST 1.0 y ARCINFO NT 9.0 (ESRI-GIS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se generaron 15 mapas digitales, 12 contienen resultados de la interpolación de datos de variables de suelo (Al, MO, Cu, Fe, Sat. de Al, pH, P, K, Ca, Mg, Mn y Zn), uno de textura y dos con la combinación de las bases cambiables y los microelementos.

La clasificación de la leyenda para cada mapa, está basada en los niveles críticos utilizados por el Laboratorio de Suelos del IDIAP, para interpretar los resultados obtenidos en los análisis de suelos (Cuadro 5).

CUADRO 5. NIVELES CRÍTICOS UTILIZADOS POR EL LABORATORIO DE SUELOS DEL IDIAP PARA LA INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS.

SATURACIÓN DE ALUMINIO (%)					
	0.0 - 30.0			BAJO	
	30.1 - 70.0			MEDIO	
	70.1 - 100.0			ALTO	
Elemento	Valores	Interpretación	Elemento	Valores	Interpretación
P	0 - 18	Bajo	Fe	0 - 25.0	Bajo
	19 - 54	Medio		25.1 - 75.0	Medio
	> 55	Alto		> 75.0	Alto
K	0 - 44	Bajo	Mn	0 - 14.0	Bajo
	45 - 150	Medio		14.1 - 49.0	Medio
	> 151	Alto		> 49.1	Alto
Ca	0 - 2.0	Bajo	Zn	0 - 4.0	Bajo
	2.1 - 5.0	Medio		4.1 - 14.0	Medio
	> 5.1	Alto		> 14.1	Alto
Mg	0 - 0.6	Bajo	pH	0.0 - 3.9	Extremadamente ácido
	0.7 - 1.5	Medio		4.0 - 5.1	Muy ácido
	> 1.6	Alto		5.3 - 5.5	Ácido
		5.6 - 5.9		Levemente ácido	
		6.0 - 6.9		Poco ácido	
Al	0 - 0.5	Bajo		7.0	Neutro
	0.6 - 1.0	Medio		> 7.1	Alcalino
	1.0 - 3.0	Alto			
Cu	0 - 2.0	Bajo	MO	0 - 2.0	Bajo
	2.1 - 6.0	Medio		2.1 - 6.0	Medio
	> 6.1	Alto		> 6.1	Alto

La textura de los suelos se presenta muy variable en todo el país. En las provincias centrales predominan los suelos del tipo franco arcilloso y franco arenoso hacia la región occidental (Figura 2).

La disponibilidad de nutrientes en el suelo está en función al pH; a niveles de pH ácidos existe una mayor disponibilidad de aluminio, cobre, hierro, manganeso y zinc, sucediendo lo

contrario con el fósforo, calcio, magnesio y potasio (Name y Villarreal 2004).

Los suelos en Panamá son predominantemente ácidos y se presentan en las zonas con mayores volúmenes de precipitación (3500 mm o más) (ETESA 2008). Los suelos muy ácidos cubren la mayor proporción de la superficie panameña, seguido de los ácidos, los levemente ácidos y los poco ácidos (Figura 3).

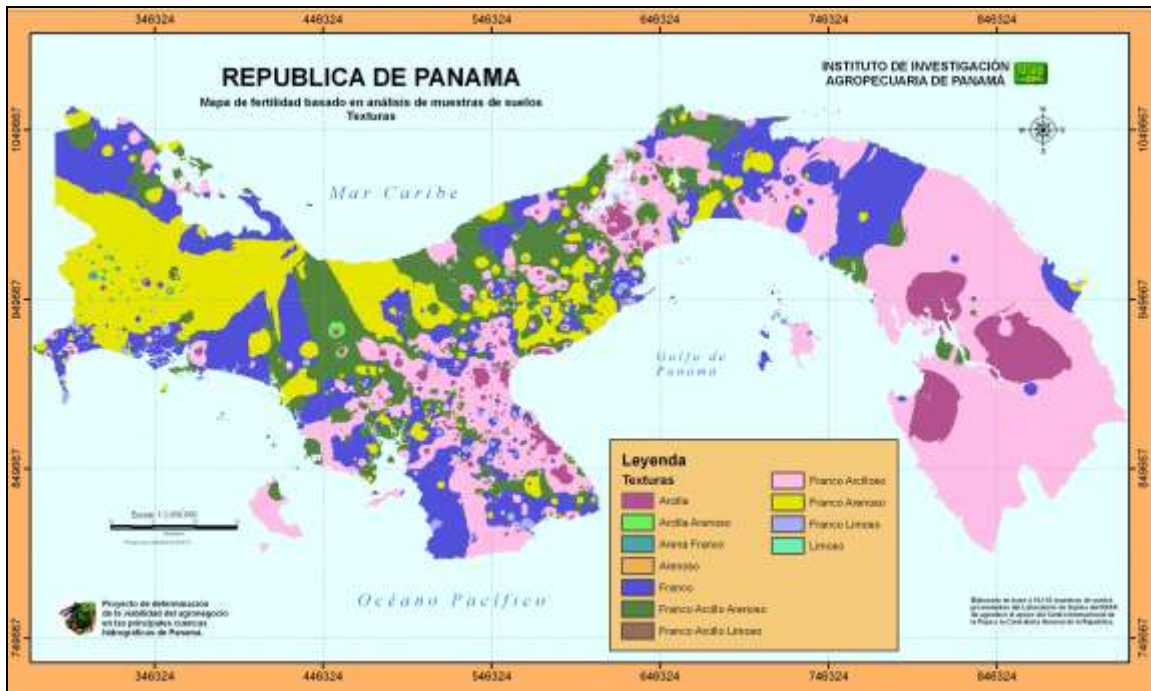


Figura 2. Mapa de textura de los suelos de Panamá.



Figura 3. pH de los suelos de Panamá.

En la parte central de Panamá, se tiene una gran cantidad de óxido de hierro y aluminio, los cuales son altamente fijadores de fósforo. Se tienen niveles de acidez superiores al 30% de saturación de aluminio y están incluidos en las categorías de nivel medio y en menor proporción a niveles altos de saturación (Figuras 4 y 5).

El tipo de arcilla predominante, es la caolinita; la misma tiene una alta capacidad de fijación del P, por lo que el nivel predominante, generalmente, es bajo (0-18 mg·kg⁻¹ de suelo) y en menor proporción los niveles medios (18-54 mg·kg⁻¹ de suelo) (Figura 6).

En la comarca Ngäbe Buglé, donde la precipitación es superior a los 3500 mm, el nivel medio de materia orgánica combinada con el alto contenido de aluminio y un nivel medio - alto de Sat. de Al, confieren a los suelos niveles de acidez muy altos; así mismo, se tiene niveles bajos de Ca y Mg; elementos que son lixiviados fácilmente. También se presentan valores altos de Fe y Mn.

En las zonas con menor precipitación (1000 - 1300 mm/año), como la costa del Pacífico, (Herrera, Los Santos, Coclé y en algunas áreas de las provincias

de Chiriquí y Veraguas), donde se concentra la mayor superficie de producción agropecuaria, se tienen suelos con poca acidez, con un nivel bajo de saturación de aluminio y una menor cantidad de nutrientes lixiviados (calcio, magnesio y potasio). Las zonas donde se tiene una mayor intensidad de uso de la tierra, con cultivos de agro-exportación, se les ha aplicado dosis altas de fertilizantes, como por ejemplo las áreas bananeras, donde se observó que tienen niveles medios de fósforo.

El potasio no constituye un factor limitante en los suelos de Panamá (Figura 7), pues están bien provistos, predominando los niveles medios (44-151 mg·kg⁻¹ de suelo). Esto se ha visto reflejado igualmente en los ensayos realizados por el IDIAP en suelos a nivel nacional (Name y Villarreal 2004).

A diferencia del Mg que se presenta con niveles medios de concentración en todo el país, el calcio es mayormente deficitario y se observó con valores aumentados en regiones como el Arco Seco, Tonosí, Chepo, entre otras. Es notable la coincidencia entre las áreas con bajos niveles de Ca y Mg (Figuras 8, 9 y 15) y los niveles altos de Sat. de Al, contenido de Al y niveles de pH bajos.

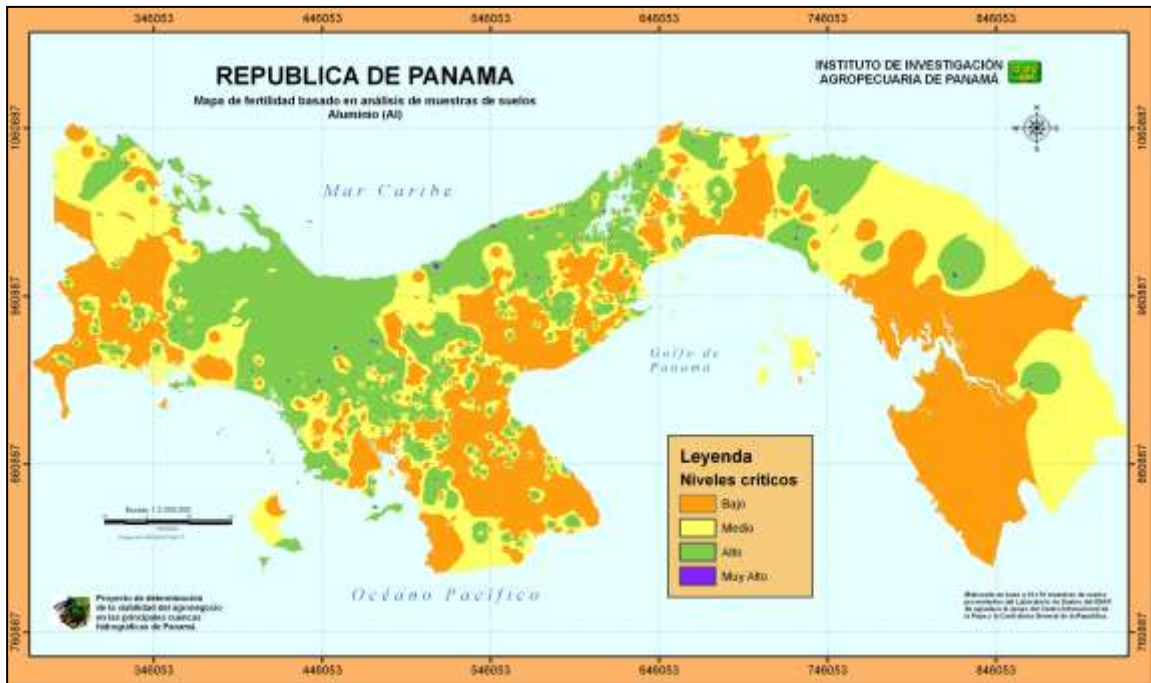


Figura 4. Contenido de aluminio en suelos de Panamá.

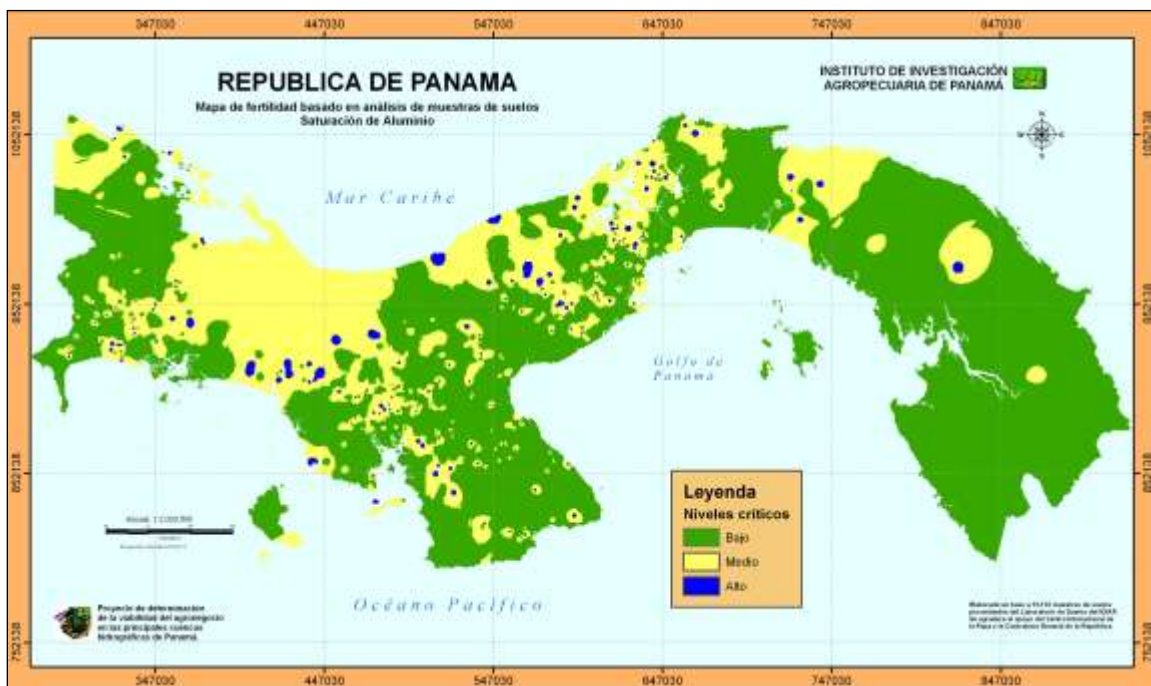


Figura 5. Saturación de aluminio en suelos de Panamá.

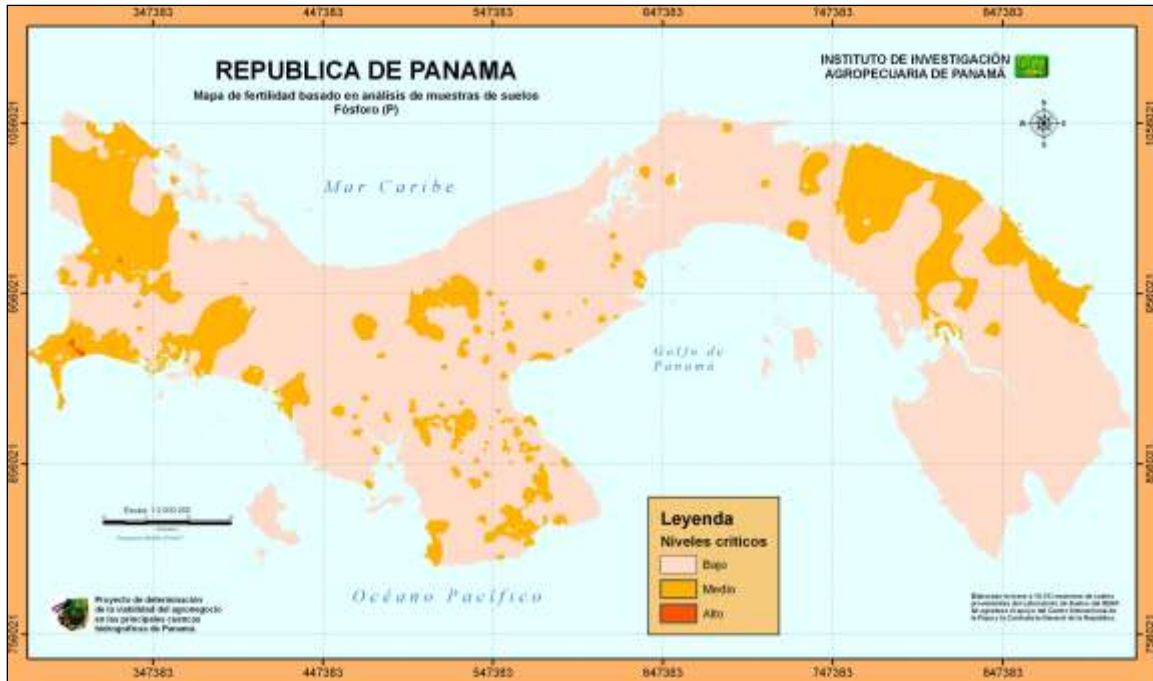


Figura 6. Contenido de fósforo en suelos de Panamá.



Figura 7. Contenido de potasio en suelos de Panamá.

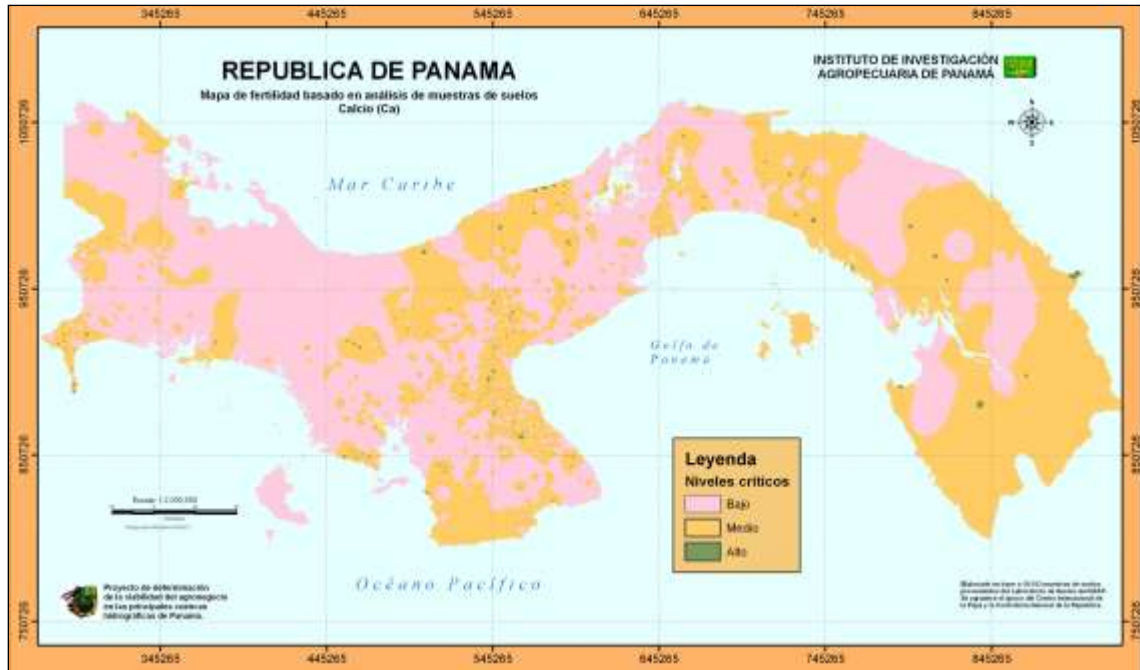


Figura 8. Contenido de calcio en suelos de Panamá.

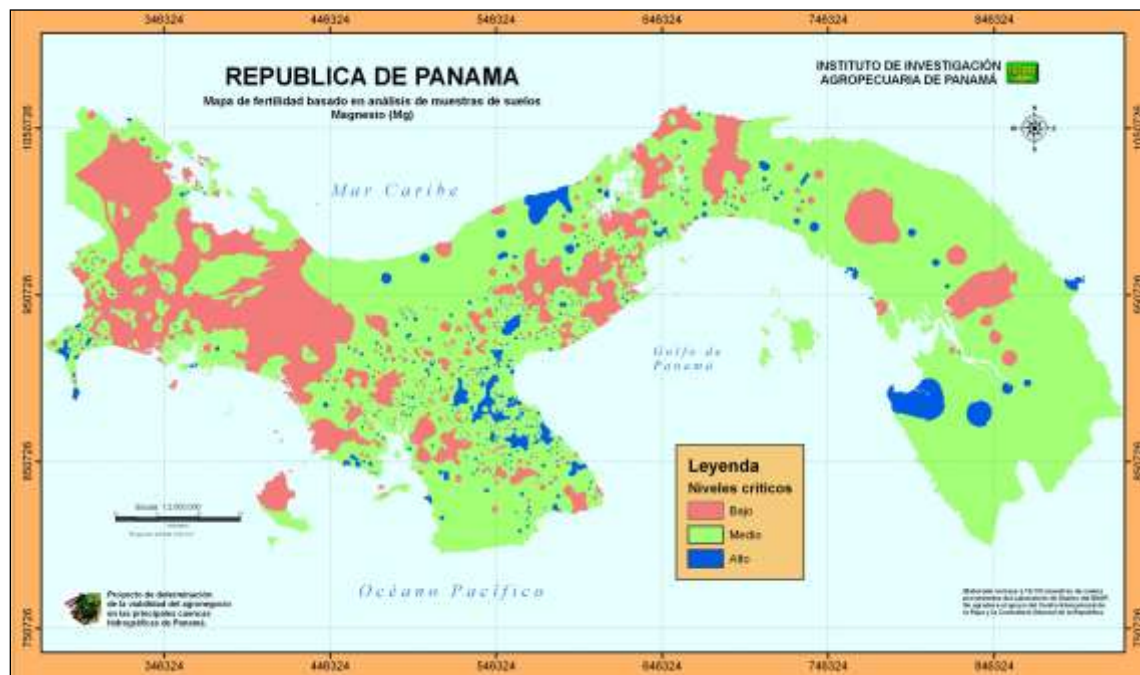


Figura 9. Contenido de magnesio en suelos de Panamá.

El mapa de materia orgánica refleja, claramente, el estado de deterioro actual en que se encuentran la mayor parte de los suelos del país (Figura 10). Como se aprecia en el mismo, el área de mayor uso agrícola es la costa del Pacífico, se encuentra con niveles bajos de materia orgánica, lo que constituye un indicador de producción poco sostenible y malas prácticas agrícolas de manejo del suelo.

En la zona del Darién, área geológicamente diferente del resto del país, se tienen suelos de mejor fertilidad; sin embargo, se cuenta con pocas muestras de suelos, por lo que cualquier recomendación sobre la base de los mapas elaborados, debe tomarse de modo referencial. Se requiere de un muestreo de suelos intensivos, a fin de poder obtener una cartografía más representativa de la zona.

Los mapas de los nutrientes hierro y manganeso (Figuras 11 y 12), corroboran la información presentada en los mapas de pH y saturación de aluminio. En el país hay vastas zonas con niveles medios de hierro y manganeso, siendo éstos muy abundantes en los suelos tropicales. Cabe destacar que mediante el encalado

(aplicación de carbonato de calcio al suelo), realizado en forma sistemática y de acuerdo a los niveles de aluminio encontrados en el suelo, también se puede controlar el contenido excesivo de estos dos elementos.

El microelemento zinc es deficitario en más del 90% del territorio panameño con niveles bajos ($0-4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo). Del mismo modo, el cobre tiene el mismo comportamiento con niveles bajos ($0-2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo). Este fenómeno se presenta a pesar de que en el país predominan los suelos con pH ácido que favorece su disponibilidad, de allí el cuidado que se debe tener con la nutrición a base de estos dos micronutrientes (Figuras 13, 14 y 16).

Este trabajo, se convertirá en una importante herramienta, para la toma de decisiones y planificación del uso de los suelos, de acuerdo a sus capacidades; igualmente para el establecimiento de programas y proyectos en áreas, de acuerdo a sus condiciones de fertilidad, lo que permitirá una adecuada y eficiente orientación de la inversión para el desarrollo de zonas estratégicas en el sector agropecuario.

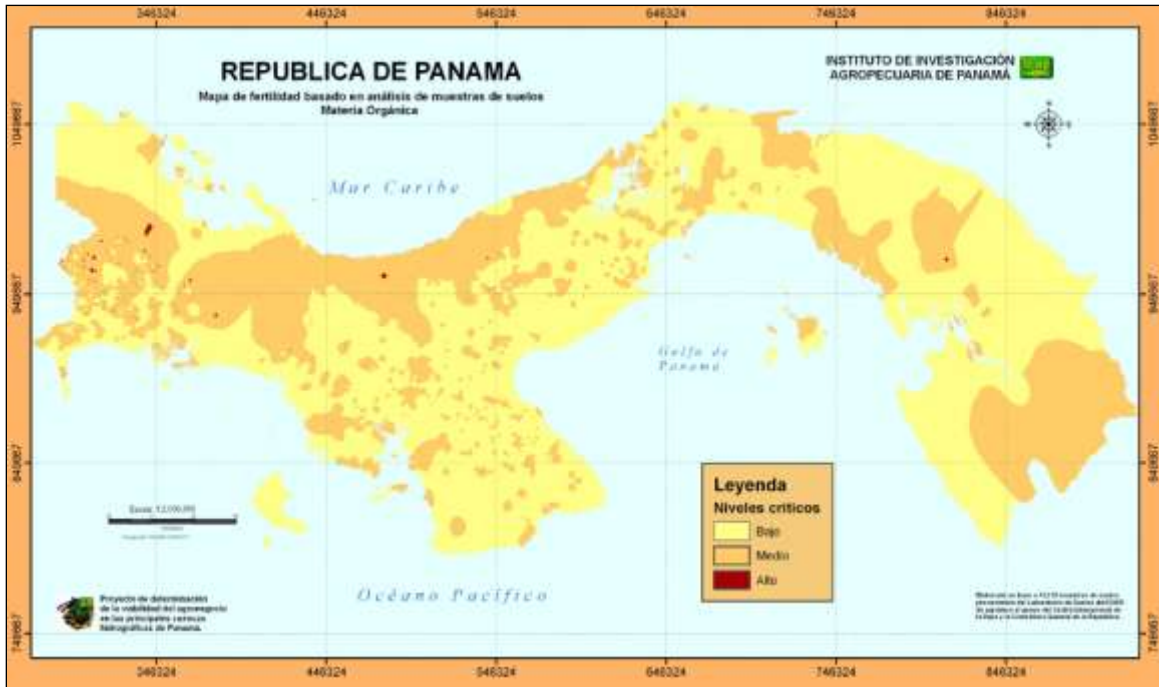


Figura 10. Contenido de materia orgánica en suelos de Panamá.

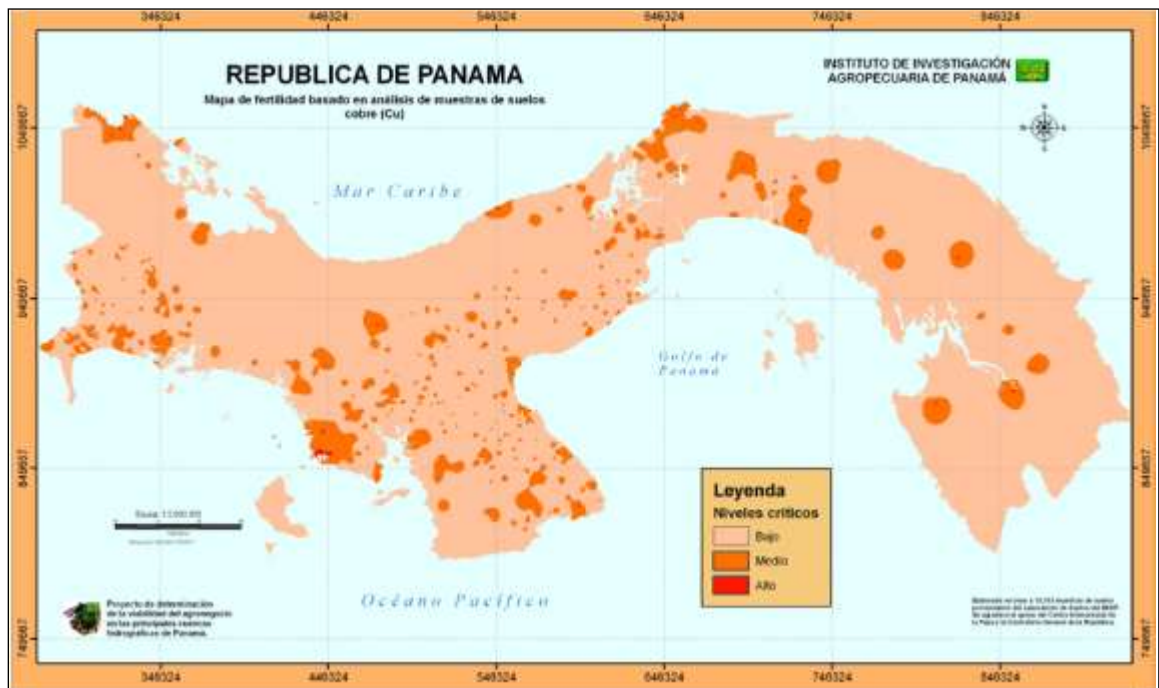


Figura 11. Contenido de cobre en suelos de Panamá.

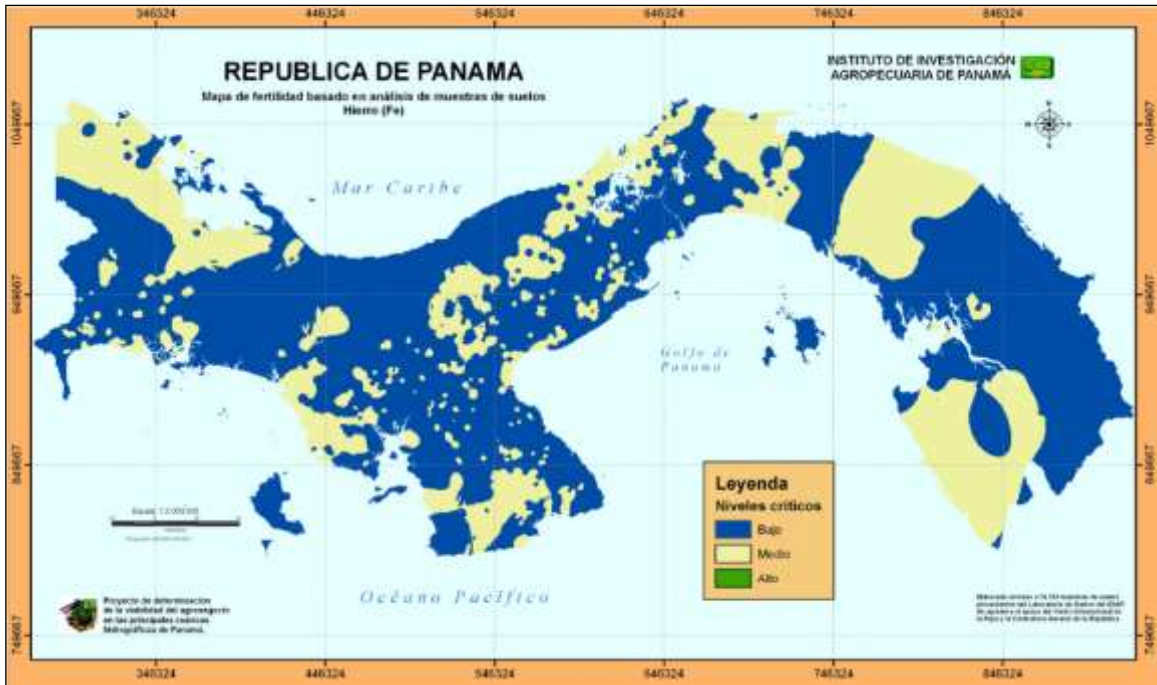


Figura 12. Contenido de hierro en suelos de Panamá.

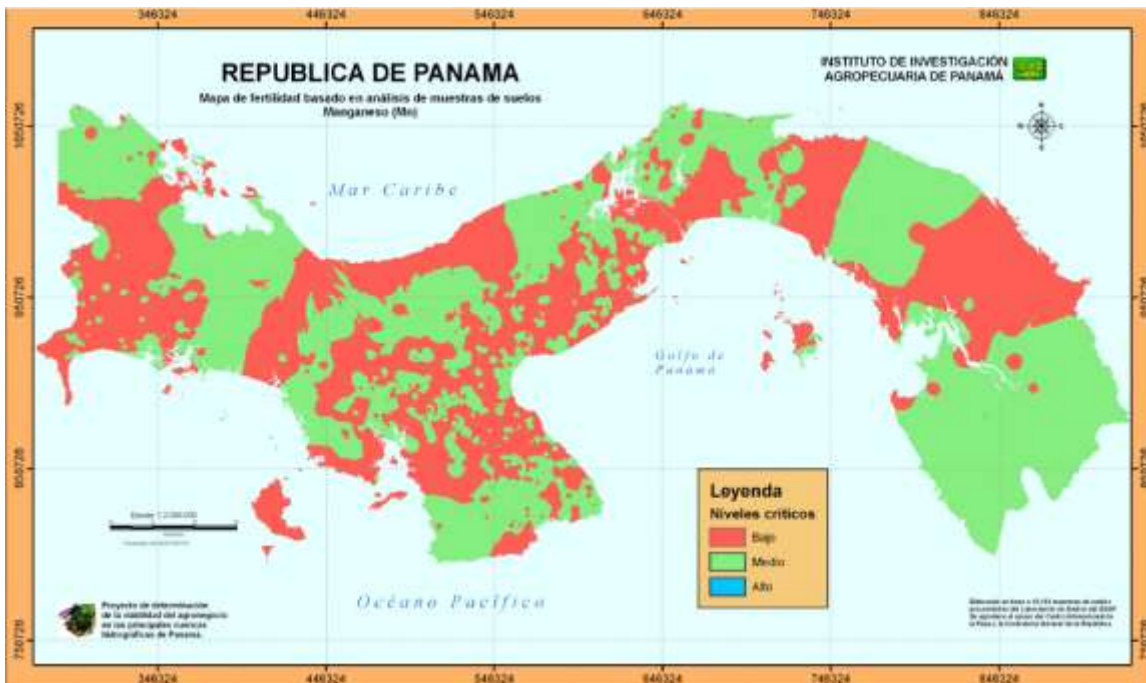


Figura 13. Contenido de manganeso en suelos de Panamá.

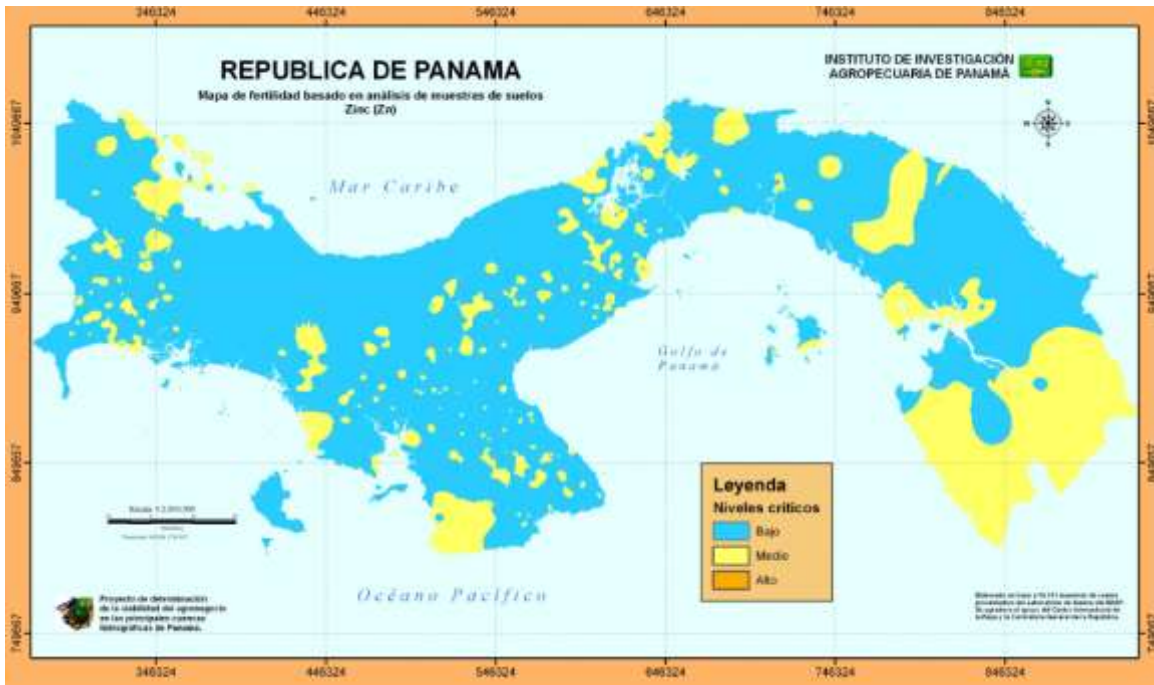


Figura 14. Contenido de zinc en suelos de Panamá.

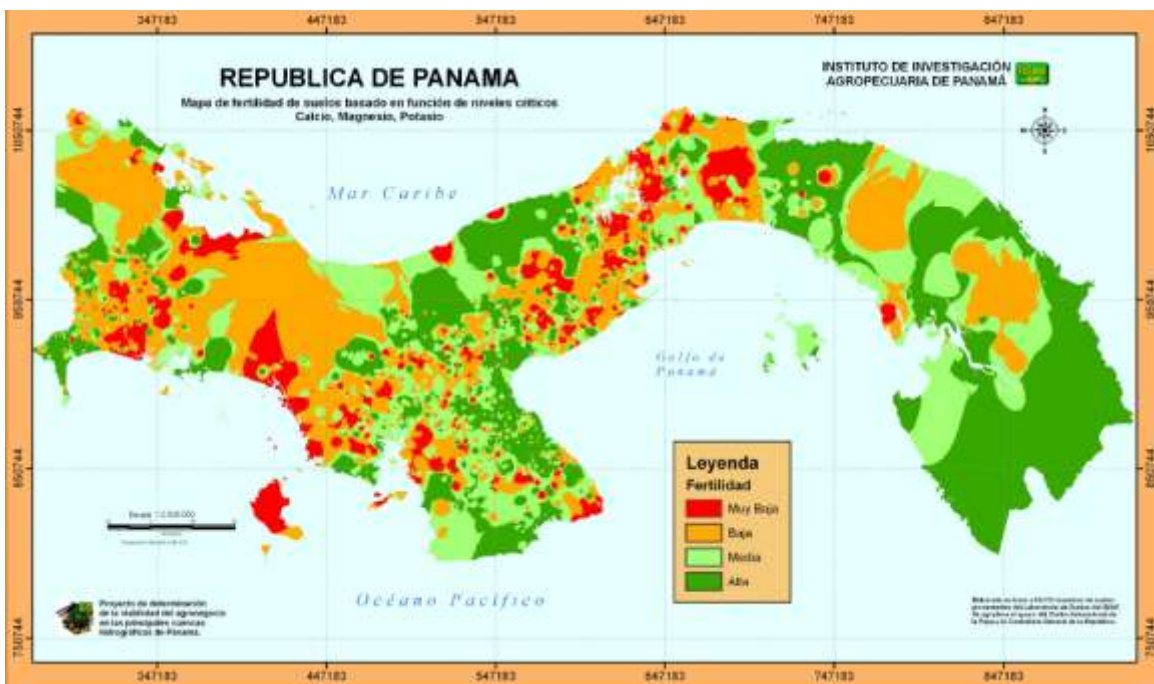


Figura 15. Bases intercambiables en suelos de Panamá.

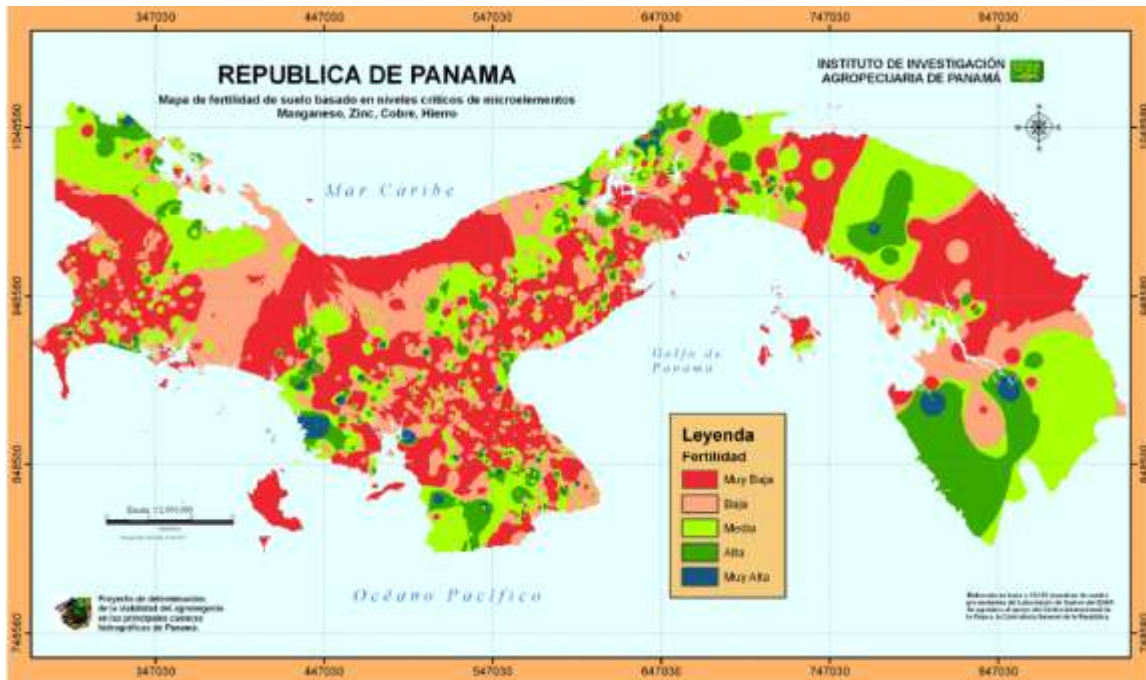


Figura 16. Disponibilidad de micronutrientes en suelos de Panamá.

CONCLUSIONES

- En Panamá existen amplias zonas vulnerables al manejo que recibe el suelo y al cambio climático, predominando terrenos con bajo contenido de materia orgánica, pH ácido y bajo contenido de bases (K, Ca, Mg).
- Se cuenta con una herramienta útil que sirve de apoyo para la planificación y la toma de decisiones, asimismo, permite establecer el riesgo de la producción agropecuaria a una escala operativa a nivel nacional y regional.

- Los mapas muestran las características de fertilidad como aptas para cultivos de agroexportación y también áreas donde no es recomendable la actividad agropecuaria.

RECOMENDACIONES

- Se requiere ampliar la toma de muestras georeferenciadas en zonas con producción agropecuaria económicamente importantes para obtener mapas a escalas más detalladas que permitan la toma de decisiones con mayor precisión.
- Incorporar estos datos a un sistema de información geográfica con datos

biofísicos, ambientales y econométricos de la producción que faciliten el diagnóstico y la toma de decisiones buscando alcanzar la competitividad y sostenibilidad del agronegocio.

BIBLIOGRAFÍA

CGRP (Contraloría General de la República de Panamá). 2000. Mapa físico de sitios poblados de Panamá. Contraloría General de la República.

ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica). 2008. Datos climáticos de la red nacional de estaciones meteorológicas (en línea). Panamá. Consultado 7 may 2010. Disponible en <http://www.etsa.gob.pa>.

Fitts, JW; Nelson, WL. 2004. Soil characteristics through chemical test and digital maps. *Advances in Agronomy*. 106:234-267.

IAPAR (Instituto Agronómico do Paraná). 2003. Zoneamento agrícola do estado do Paraná. Paulo Caramori, et al. (eds.) Londrina, IAPAR. 76 p.

Name, B; Cordero, A. 1987. Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá. In *Compendio de Resultados de Investigación* presentados en la Jornada Científica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Región Central. 23 p.

Name, B; Villarreal, J. 2004. Compendio de resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP. Estudios de suelos Ultisoles y Alfisoles realizados en las estaciones experimentales de Calabacito, Guarumal y Río Hato. IDIAP. 229 p.

United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service. 1992. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Laboratory Staff. Soil Survey Investigations N°42. Version 2.0. 400 p.

Villarreal, JE; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del Laboratorio de Suelos del IDIAP. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Región Central. Divisa. 110 p.

BIOPRODUCTOS PARA EL MANEJO DE LA SIGATOKA NEGRA EN PLANTACIONES DE PLÁTANO, VAR. CURARÉ ENANO¹

Rodrigo A. Morales A.²; Domingo Ríos³; Jorge Muñoz³; Roger Concepción⁴

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar bioproductos para el control de la sigatoka negra en plátano, se implementó un ensayo en la localidad de Divalá, Alanje, provincia de Chiriquí, Panamá, durante el periodo comprendido de enero a diciembre de 2006. Se utilizó el diseño experimental de parcelas divididas, dispuesto en campo en Bloques Completos al Azar, con tres repeticiones. La parcela principal la constituyó los tipos de semillas, cormos y vitroplántulas, más la protección de las raíces con los hongos endofíticos *Trichoderma atroviride* 1, *T. atroviride* 2 y sin protección radical. Las sub parcelas fueron las aplicaciones foliares de los extractos botánicos *Momordica charantia* (B1) y *Senna reticulata* (B2), aplicaciones de fungicidas y el testigo sin aplicaciones. No se detectaron diferencias significativas en la interacción de las fuentes de variación. Se evidenció la alta presión de inóculo del fitopatógeno *Mycosphaerella fijiensis* y la susceptibilidad de la variedad Curaré Enano. Las plantas provenientes de cormos, registraron un mejor comportamiento que las vitroplántulas en las variables área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), total de hojas a la cosecha y periodo de siembra a la cosecha. Las aplicaciones foliares de fungicidas superaron estadísticamente a los demás tratamientos en las variables ABCPE, total de hojas a la floración, hoja más joven a la cosecha e índice de enfermedad a la cosecha pero fueron similares a las aplicaciones semanales de los extractos vegetales en las variables de producción THC, longitud del dedo central de la segunda mano y grosor del dedo central de la segunda mano, con calidad de exportación.

PALABRAS CLAVES: Biocontrol, *Mycosphaerella fijiensis*, hongo endofítico, extractos botánicos, tipos de semillas.

¹ Recepción: enero de 2012. Aceptación: 25 de octubre de 2013. Trabajo del IDIAP financiado por el proyecto de Plátano FONTAGRO.

² M.Sc. en Fitopatología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOc).
e-mail: fmoralco@cwpanama.net

³ Agrónomos asistentes de investigación. IDIAP. CIAOc.

⁴ Ing. Agrícola. IDIAP. CIAOc.

BIOPRODUCTS TO CONTROL BLACK SIGATOKA IN PLANTAIN PLANTATIONS, VAR. CURARE ENANO

ABSTRACT

In order to evaluate bioproducts to control black sigatoka in plantain, an experiment was carried out in the locality of Divalá, Alanje, province of Chiriquí, Panama, from January to December 2006. A split-plot design arranged on a Randomized Complete Block design (RCB) was used, with three replicates per treatment. Main plots were constituted by the types of seed, corms and *in vitro* seedlings, plus radical protection with the endophytic fungi *Trichoderma atroviride* 1, *T. atroviride* 2, and without radical protection. The sub plots were the foliar applications of botanic extracts from *Momordica charantia* (B1) and *Senna reticulata* (B2), fungicide applications, and a control without applications. No significant differences were found from the interaction among the sources of variation. High inoculum pressure of the plant pathogen *Mycosphaerella fijiensis* was evident under trial conditions and also susceptibility of the Curare Enano variety. Plants from corms registered a better than those from *in vitro* seedlings for Area Under Disease Progress Curve (AUDPC), total leaves at harvest (TLH) and planting-to-harvest period (PHP). Applications of foliar fungicides were statistically superior to the other treatments in relation to AUDPC, total leaves at flowering (TLF), YLH (youngest leaf at harvest (YLH) and disease-at-harvest index (DHI) but were similar to the weekly applications of vegetables extracts in relation to the production variables TLH, length of central finger of the second hand (LCF2H) and thickness of central finger of the second hand (TCF2H), with export quality.

KEYWORDS: Biocontrol, *Mycosphaerella fijiensis*, endophytic fungi, botanical extract, seed types.

INTRODUCCIÓN

El plátano es parte integral de la canasta básica familiar del panameño, constituyéndose en la segunda fuente de suministro de carbohidratos, superado por el arroz.

En el 2004, el Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá (MICI 2004), reportó que en el ámbito nacional

se cultivan aproximadamente 13 200 hectáreas de plátano, distribuyéndose principalmente entre las provincias de Chiriquí y Darién (en la zona costera del Pacífico) y Bocas del Toro (en la zona costera del Atlántico).

En Panamá, la sigatoka negra es la enfermedad más destructiva de las musáceas, ya que produce un rápido

deterioro del área foliar, afectando el crecimiento y productividad de las plantas al disminuir la capacidad de fotosíntesis; también reduce la calidad de la fruta, al favorecer la maduración de los racimos, lo cual es la principal causa de pérdidas (Douglas y Ronald 1992). La pérdida en rendimiento está estimada entre 50% y 100%, afectando de manera notoria la economía del productor de plátano y banano.

Los sistemas de producción existentes en Latinoamérica y el Caribe, están basados en el uso casi exclusivo de productos sintéticos, como la única alternativa económica para el control de esta limitante biótica en plátano, resultando en posibles cambios en la capacidad de virulencia y agresividad de este fitopatógeno, sin tomar en cuenta los daños al ambiente, a la salud humana y las repercusiones sociales (Marcelino et al. 2004).

En la última década surge, en los cultivos de banano y plátano, el uso de bioproductos como una alternativa con gran potencial biológico para el control de la sigatoka negra. Entre los bioproductos existentes se destacan los productos vegetales naturales, sistemas vivos y

parásitos (Riveros y Arciniegas 2003). Basado en esto, se estableció un ensayo para evaluar el efecto biocontrolador de dos cepas del hongo endofítico *Trichoderma atroviride* y dos extractos botánicos sobre la epidemia de la sigatoka negra en plantaciones de plátano, variedad Curaré Enano, utilizando como material de semilla los cormos y vitroplántulas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica:

El ensayo se desarrolló durante el periodo comprendido de enero a diciembre de 2006, en la localidad de Divalá, distrito de Alanje, provincia de Chiriquí, a una altitud de 27 msnm.

En el análisis de las características físico-químicas e hidrofísicas del suelo donde se desarrolló el estudio, se destaca el alto contenido del nutrimento fósforo y medios de calcio, potasio, materia orgánica y magnesio, así como bajas cantidades de aluminio. Además, los valores registrados para la densidad aparente, los porcentajes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, fueron la base para el cálculo del uso consuntivo de agua.

Descripción de la parcela experimental:

La unidad experimental constó de 64 plantas de plátano dispuestas a 2.5 m entre surcos y 2.0 m entre plantas, con un área de 245.0 m² (14.0 x 17.5 m), cuya parcela efectiva fue de 36 plantas con un área efectiva de 125.0 m², descartándose la hilera de plantas alrededor de la parcela experimental.

Se utilizó la variedad Curaré Enano (AAB), la cual es susceptible a la sigatoka negra. La densidad de siembra fue de 2000 plantas/ha.

Diseño experimental:

Se utilizó el diseño experimental de parcelas divididas, dispuesto en el campo en Bloques Completos al Azar, con tres repeticiones. La parcela principal la constituyó la combinación de los tipos de semilla, cormos y vitroplántulas, más la protección radical con los hongos endofíticos *Trichoderma atroviride* 1 (proveniente de suelos supresivos de Guatemala), *T. atroviride* 2 (proveniente de suelos supresivos de Sixaola, Costa Rica) y sin protección radical.

Las subparcelas fueron las aplicaciones foliares semanales (16 aplicaciones) de los extractos botánicos *Momordica charantia* (B1) y *Senna*

reticulata (B2), las aplicaciones alternadas programáticas de fungicidas de acción sistémica y protectante (se utilizó el parámetro de 30% de infección foliar) y el testigo sin aplicaciones foliares. Cada aplicación foliar para el control de la sigatoka negra se realizó a cuatro plantas por parcela dividida, o sea, se utilizaron 16 plantas por unidad experimental.

Preparación del material de siembra y protección con los hongos endofíticos:

Para el manejo de los cormos y vitroplántulas, se implementó la metodología descrita por Rosales (2004).

Preparación de extractos botánicos:

La metodología utilizada para la obtención del extracto hidroalcohólico crudo y la estimación de los sólidos totales de las plantas *M. charantia* y *S. reticulata*, fue descrita por Osorio (2006). Los extractos fueron preparados en las instalaciones del CATIE en Turrialba, Costa Rica y las aplicaciones semanales se iniciaron en época lluviosa.

El manejo agronómico implementado en la plantación de plátano fue el recomendado por el IDIAP para el cultivo de plátano tecnificado, según Marcelino et al. 2004. El

suministro de agua fue por el sistema de riego de microaspersión, cuya cantidad y frecuencia se estimó de acuerdo al análisis consuntivo de agua para el cultivo de plátano.

Evaluación de la sigatoka negra:

La evaluación de la sigatoka negra fue una de las labores más importantes y probablemente más difícil de realizar. Los registros resultantes se constituyeron en la base para los análisis estadísticos e interpretación de las posibles interacciones. Es por ello, que se utilizó la metodología descrita por Douglas y Ronald (1992) para evaluar el estado de infección de esta importante enfermedad.

A cada planta de plátano por tratamiento de aplicaciones foliares se le realizaron diversas lecturas para estimar el comportamiento de la intensidad de infecciones foliares por sigatoka negra (en términos de incidencia y severidad), debido a las aplicaciones foliares.

Para el estudio semanal de la detección temprana de los síntomas en las tres hojas más jóvenes de cada planta seleccionada (hojas II, III y IV de arriba hacia abajo, sin considerar la hoja

candela) se utilizó la escala de Fouré (1994).

Se estimó la severidad de la enfermedad del total de hojas por planta (excepto la hoja candela), donde la hoja más cercana a la hoja candela se consideró la hoja número 1, contando hacia abajo. Para ello, se realizaron lecturas quincenales basadas en la escala de Stover modificada por Gauhl (1994).

El cálculo del promedio ponderado de infección (PPI), sugiere la obtención de valores de severidad más precisos, los cuales se realizaron quincenalmente a partir del periodo de incubación de la sigatoka negra; a saber 138, 153, 168, 183, 198 y 213 días después de la siembra del cultivo. Estos valores se utilizaron para el cálculo del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE).

En las etapas fenológicas de floración y cosecha (50% de plantas verificado el evento respectivo), se registró la severidad de sigatoka negra, el número total de hojas a la floración (THF) y a la cosecha (THC), la hoja más joven enferma a floración (HMJE) y a la cosecha (HMJC). Además, se registraron

las siguientes variables agronómicas y de producción; i) periodo de siembra a cosecha (días), ii) número de dedos por racimo y iii) longitud y grosor del dedo central de la segunda mano (cm). Todas las variables descritas fueron sometidas al análisis de varianza y para la diferenciación de medias estadísticas se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) (Steel y Torrie 1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico del comportamiento de las variables fenológicas, de la epidemia de la sigatoka negra y los valores de producción en parcelas con aplicaciones foliares de bioproductos comparados con productos sintéticos para el control de la sigatoka negra, se presenta en el Cuadro 1.

La protección radical no influyó significativamente en el comportamiento de la enfermedad sigatoka negra y no se detectó diferencias estadísticas en ninguna interacción, reflejo de la independencia de los componentes evaluados. En este sentido, se analizaron los resultados obtenidos en los componentes principales. Además, es importante destacar que al existir diferencias estadísticas en la fuente de variación bloques, se reflejó la eficacia

del diseño estadístico y su distribución en campo.

Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE):

Es la integración de la intensidad de la enfermedad entre dos tiempos. Este valor se calculó ya que los modelos de desarrollo existentes no permitían explicar satisfactoriamente el comportamiento epidemiológico de la enfermedad sigatoka negra (Figura 1).

Con el uso de cormos se registraron los menores valores promedios de ABCPE con 1908.45, superando estadísticamente el valor promedio calculado de 2010 en las plantas provenientes de material *in vitro* ($P < 0.001$).

Con relación a los resultados promedios del ABCPE, resultantes de la aplicación de fungicidas, se registraron los menores valores promedio de ABCPE con 930.0, superando significativamente a los demás tratamientos. Le siguieron los valores promedio respectivos similares entre sí, calculados en las plantas con aplicaciones foliares de B2 y B1 con 1120.0 y 1300.0. Los mayores valores se obtuvieron en las plantas sin

aplicaciones foliares con promedio de ABCPE de 1500.0; presentando diferencia estadística con respecto al resto de los tratamientos.

Es oportuno señalar que entre menor es el valor del ABCPE calculado,

menor es la severidad de la sigatoka negra debido a la efectividad de las aplicaciones de los diversos tratamientos evaluados, para suprimir el desarrollo de epidemias de esta importante enfermedad en el cultivo de plátano.

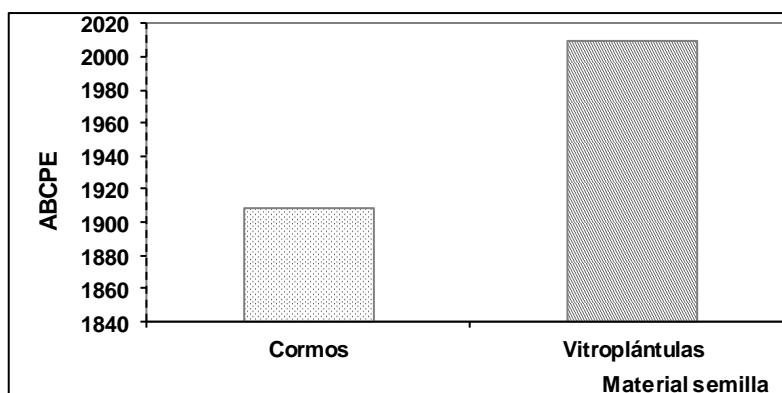


Figura 1. Valores promedio del ABCPE, resultantes por material de semilla y aplicaciones foliares para el control de la sigatoka negra.

CUADRO 1. CUADRADOS MEDIOS Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LOS BIOPRODUCTOS PARA EL MANEJO DE LA SIGATOKA NEGRA. VAR. CURARÉ ENANO¹.

F de V	Variables fenológicas, evolución de la sigatoka negra y de producción ²								
	HMJE	THF	THC	HMJEC	INDC	PSC	ND	LD2M	GD2M
Material semilla	2.557**	4.261**	26.042**	0.666 ^{n.s.}	33.50 ^{n.s.}	4154.684**	310.19**	8.694**	3.212**
Semilla x aplicación radicular	0.344 ^{n.s.}	0.289 ^{n.s.}	4.625 ^{n.s.}	1.611 ^{n.s.}	31.933 ^{n.s.}	257.161 ^{n.s.}	32.682 ^{n.s.}	5.571 ^{n.s.}	0.468 ^{n.s.}
Tratamiento foliar	0.073 ^{n.s.}	6.721**	63.181**	70.181**	5502.167**	462.101 ^{n.s.}	8.662 ^{n.s.}	9.801**	4.279**
Semilla x tratamiento foliar	0.192 ^{n.s.}	0.029 ^{n.s.}	0.069 ^{n.s.}	0.639 ^{n.s.}	18.613 ^{n.s.}	96.899 ^{n.s.}	4.189 ^{n.s.}	0.119 ^{n.s.}	0.156 ^{n.s.}
Tratamiento radicular x tratamiento foliar	0.174 ^{n.s.}	0.313 ^{n.s.}	2.523 ^{n.s.}	0.181 ^{n.s.}	9.871 ^{n.s.}	221.977 ^{n.s.}	12.248 ^{n.s.}	2.148 ^{n.s.}	0.199 ^{n.s.}
Semilla x tratamiento radicular x tratamiento foliar	0.119 ^{n.s.}	0.322 ^{n.s.}	1.801 ^{n.s.}	0.472 ^{n.s.}	23.55 ^{n.s.}	126.196 ^{n.s.}	8.739 ^{n.s.}	1.104 ^{n.s.}	0.108 ^{n.s.}
Error	0.138	0.274	2.299	0.306	12.772	193.009	13.009	1.146	0.223
CV (%)	4.81	4.71	18.24	15.70	6.86	4.26	8.32	3.21	2.96

^{1/} ** y n.s.; se refieren a diferencias estadísticas altamente significativas y no significativas, respectivamente (prueba de diferenciación de medias DMS). ^{2/} HMJE: Hoja más joven enferma, THF: Total de hojas a la floración, THC: Total de hojas a cosecha, HMJEC: Hoja más joven enferma a cosecha, INDC: Índice de enfermedad a cosecha, PSC: periodo de siembra a cosecha, ND: Número de dedos por racimo, LD2M: Longitud del dedo de la 2^{da} mano y GD2M: Grosor del dedo de la 2^{da} mano.

Hoja más joven enferma (HMJE) y HMJE cosecha (HMJEC):

Estas variables consisten en el promedio de las hojas más jóvenes con síntomas de la enfermedad sigatoka negra por etapa fenológica. Para la variable HMJE las vitroplántulas registraron un promedio de 8.5 HMJE, estadísticamente superior al promedio de 7.0 HMJE obtenido por los cormos ($P < 0.001$). Este resultado reflejó que la sigatoka negra atacó con mayor intensidad las plantas provenientes de cormos.

Los mejores promedios de la HMJEC se registraron en las plantas con aplicaciones de fungicidas con 4.8 HMJEC, superando estadísticamente al resto de los tratamientos, seguido por las aplicaciones de los bioproductos B1 y B2, con un promedio similar de HMJEC 4.2 y 4.0, respectivamente ($P < 0.001$). El menor valor promedio se obtuvo en las plantas de plátano sin aplicaciones foliares con 1.0 HMJEC, presentando diferencia estadística con respecto a los tratamientos foliares.

Es evidente que las plantas de plátano con aplicaciones de fungicidas protege mejor a las HMJEC, seguidas

por las plantas tratadas con los extractos botánicos B1 y B2. En contraste, las plantas sin aplicaciones foliares mostraron una infección progresiva hasta la 1.0 HMJEC, en detrimento de la actividad fotosintética que ocurre en estas hojas.

Esta variable biológica refleja el progreso de la enfermedad en el tiempo, ya que entre más joven es la hoja con síntomas, mayor es la intensidad de la infección foliar y por consiguiente refleja la eficacia del biocontrol de las diversas alternativas sometidas a evaluación en plantaciones comerciales de plátano.

Total de hojas a la floración (THF):

El registro del THF es de gran importancia fisiológica, ya que es en esta etapa donde se suspende la emisión de hojas y se expresa en su totalidad el genotipo para este carácter relacionado a la próxima fase de cosecha. Al someter los resultados de esta variable al análisis estadístico respectivo, se detectaron diferencias altamente significativas para las fuentes de variación tipo de semillas y aplicaciones foliares ($P < 0.001$). En las plantas provenientes de cormos se reflejó la superioridad sobre las vitroplántulas (Figura 2).

En lo que respecta a la respuesta de las aplicaciones foliares para el manejo de la sigatoka negra, las plantas sometidas a las aplicaciones de fungicidas superaron estadísticamente a los demás tratamientos con un promedio de 12 THF. Las plantas con aplicaciones de los extractos vegetales B2, B1 y el testigo sin aplicaciones presentaron un comportamiento similar entre sí.

Total de hojas a la cosecha (THC):

El material de semilla cormos registró un promedio superior estadístico de nueve hojas a la cosecha, comparado a siete THC obtenido en plantas provenientes de vitroplántulas ($P<0.001$) (Figura 2).

El promedio de THC estimado luego de las aplicaciones foliares, indicó que con las aplicaciones de fungicidas se registró el mayor número de hojas a la cosecha, similar estadísticamente con las plantas que recibieron aplicaciones semanales del extracto B2, con promedios respectivos entre 10.0 y 9.0 THC; sin embargo, el último no mostró diferencia con respecto a las aplicaciones de B1 con un promedio de 8.7. Las plantas sin aplicaciones foliares registró el promedio de 6.0 THC,

estadísticamente inferior al resto de las plantas ($P<0.001$).

Se constata que bajo las condiciones en que se realizó este estudio, los fungicidas y los extractos vegetales lograron mantener un promedio de THC adecuado, según las exigencias de los mercados de exportación de plátano, donde el mínimo exigido es de siete hojas, ya que no favorece la maduración prematura del fruto, que a su vez es la principal causa de pérdidas.

Índice de infección a la cosecha (INDC):

Las aplicaciones de fungicidas o tratamientos foliares lograron suprimir la epidemia de la sigatoka negra, superando estadísticamente a los demás tratamientos con un promedio en el INDC de 40.30% ($P<0.001$), seguido por las aplicaciones de B1 y B2, similares entre sí con un promedio de 46.82 a 47.07%, respectivamente. Las plantas sin aplicaciones foliares o testigo registraron un alto porcentaje de infección, estadísticamente superior al resto de los tratamientos foliares con un promedio de 74.35%.

En esta variable biológica se mantiene el comportamiento similar de

eficacia de las aplicaciones de fungicidas y los extractos vegetales, destacándose su importancia en esta etapa fenológica, donde se requiere mantener valores bajos de severidad de la enfermedad sigatoka negra o, en su defecto, mayor área foliar fotosintéticamente activa a la cosecha.

Periodo de siembra a la cosecha (PSC):

Con la utilización de cormos el PSC promedio registrado fue de 320 días, superando estadísticamente a las vitroplántulas, con un promedio de 333 días ($P < 0.001$).

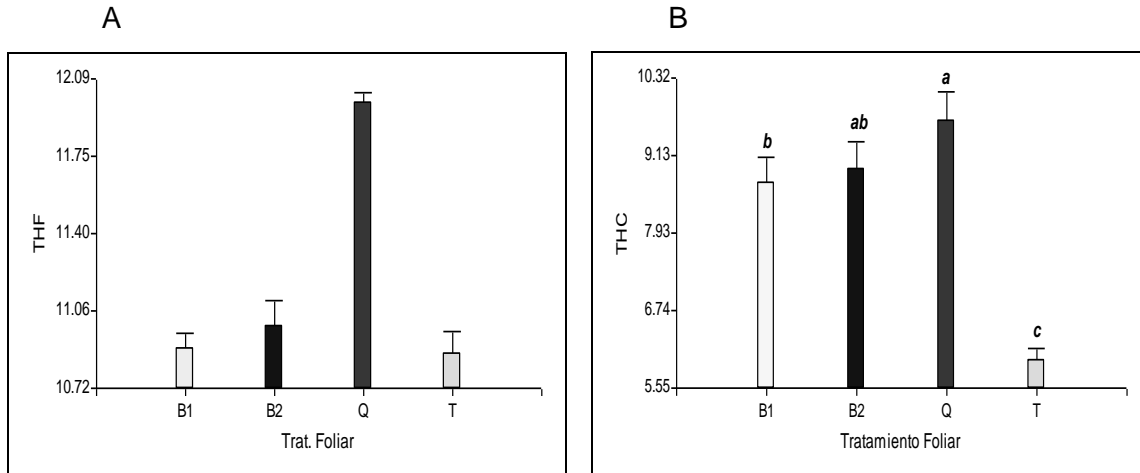
Se deduce que el material semilla conocido como cormo, que fue obtenido de plantaciones comerciales de plátano establecidas previamente, posee mayor capacidad de adaptación y desarrollo que las vitroplántulas provenientes de ambientes completamente artificiales (*in vitro*) y asépticos. Es importante señalar que entre más corto el PSC, más rápido se inicia la obtención de ingresos o beneficios económicos de la plantación de plátano.

Número de dedos por racimo (ND):

En esta variable de producción, se detectó diferencias estadísticas únicamente para el efecto del material de semilla utilizado ($P < 0.001$). Se destaca una vez más que los cormos tienden a registrar resultados promisorios, superiores estadísticamente a las vitroplántulas. El promedio respectivo de ND registrado en las plantas provenientes de cormos y vitroplántulas fue 46 y 42. Como comparador local, el ND promedio registrado en las plantaciones de plátano en Panamá es de 26.

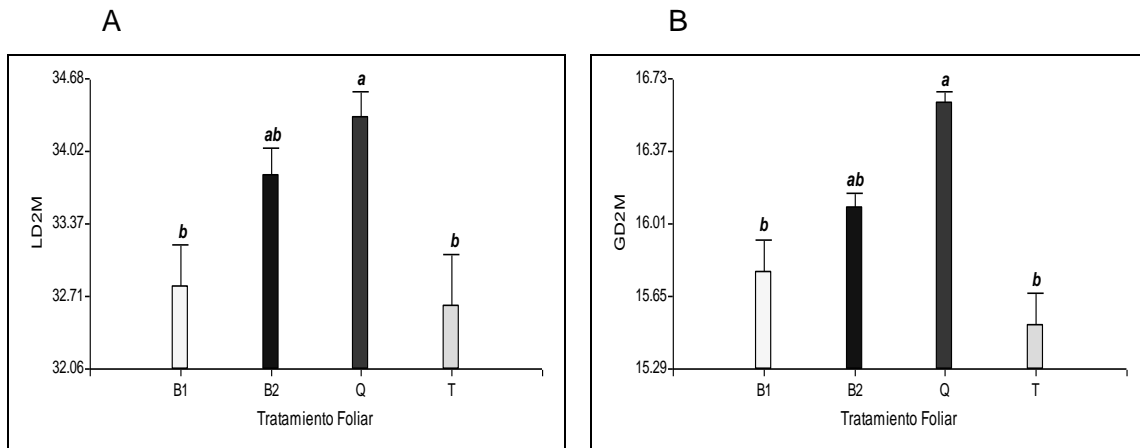
Longitud y grosor del dedo central de la segunda mano (LD2M y GD2M):

Estos caracteres están relacionados con la calidad de los frutos cosechados. Con el material de siembra cormos, se registró el mayor promedio de LD2M con 34 cm, superior estadísticamente a los obtenidos en las plantas provenientes de vitroplántulas, con un promedio de 30 cm ($P < 0.001$). El valor promedio nacional de LD2M es de 25 cm (Figura 3).



Medias con la misma letra no presentan diferencias estadísticas entre sí, ($P < 0.001$), según la prueba DMS.

Figura 2. A. Promedio del total de hojas a floración (THF) y B. Promedio del total de hojas a cosecha (THC), resultantes de las aplicaciones foliares para el control de la sigatoka negra en plátano.



Medias seguidas de las mismas letras no presentan diferencia estadística entre sí ($P < 0.001$), según Prueba DMS.

Figura 3. A. Promedio de la longitud (LD2M) y B. Promedio del grosor del dedo de la segunda mano (GD2M), en plantas de plátano con aplicaciones foliares, var. Curaré Enano.

Por otro lado, con las aplicaciones de fungicidas se cuantificó el mayor promedio de LD2M con 34.50 cm con un comportamiento similar con las aplicaciones del extracto vegetal B2. El promedio de LD2M registrado con las aplicaciones de B2, B1 y sin aplicaciones foliares fueron similares entre sí, pero este último presentó diferencia estadística con respecto a las aplicaciones de fungicidas.

La variable GD2M, es concomitante con las anteriores variables de producción con calidad para el consumo nacional y la exportación, que a su vez eleva los niveles de competitividad a este agronegocio. Con el uso de los materiales de siembra y las aplicaciones foliares se detectaron diferencias altamente significativas ($P < 0.001$). Las plantas procedentes de cormos evidenciaron el mayor valor promedio de GD2M con 16.14 cm, significativamente superior al promedio de 14.80 cm registrado con el uso de vitroplántulas.

El comportamiento del promedio de GD2M registrado por las aplicaciones foliares fue similar a los valores obtenidos en la variable LD2M, donde las plantas con aplicaciones de

fungicidas registraron el mayor promedio de GD2M, con 16.50 cm, mostrando diferencia estadística con respecto a los valores promedio de 15.40 cm registrados en las plantas sin aplicaciones foliares.

Es notable que en todas las variables de respuesta estudiadas, luego de realizado el análisis de varianza, los coeficientes de variación fuesen bajos, los cuales le confieren alta confiabilidad a los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

- Los valores promedio de severidad registrados y de ABCPE calculados durante el ciclo del cultivo de plátano, evidencian la alta presión de inóculo del fitopatógeno *M. fijiensis* y la consecuente susceptibilidad de la variedad Curaré Enano.
- En las variables biológicas y fenológicas ABCPE, THC y PSC, las plantas provenientes del material de semilla cormos registraron un mejor comportamiento que las vitroplántulas. Asimismo, en las variables de producción ND, LD2M y GD2M, se evidenció la superioridad estadística de las plantas provenientes de cormos sobre las vitroplántulas.

- Las aplicaciones foliares de fungicidas superaron estadísticamente en las variables ABCPE, THF, HMJC e INDC. Sin embargo, se evidenció un comportamiento similar con las aplicaciones semanales de los extractos vegetales, en las variables fenológicas y de producción THC, LD2M y GD2M, con calidad de exportación e inocuos a la salud humana y ambiental.
- La protección radical de los materiales utilizados como semilla, cormos y vitroplántulas, con las dos cepas de *T. atroviride*, no influyó en el comportamiento de la enfermedad sigatoka negra.

RECOMENDACIÓN

Se sugiere realizar estudios de evaluación de dosis y frecuencias de aplicación de los extractos vegetales, incluyéndolos en un programa de manejo integral del cultivo de plátano, contemplando la realización de sendos análisis económicos.

BIBLIOGRAFÍA

Douglas, M; Ronald, RC. 1992. El combate de la sigatoka negra. Boletín No 4. Departamento de investigaciones. CORBANA. 22 p.

Fouré, E. 1994. Leaf spot disease of banana and plantain cause by *Mycosphaerella fijiensis* and *Mycosphaerella musicola*. In Jones, D. ed. The improvement and testing of musa: A global partnership. Proceedings of the first Global Conference of The International Testing *Musa*. Program held at FHIA, Honduras. INIBAP. p. 37-49.

Gauhl, F. 1994. Epidemiology and ecology of black sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) on plantain and banana in Costa Rica, Central America, PhD, thesis originally presented in German. INIBAP, Montpellier, Francia. 120 p.

Marcelino, L; González, V; Ríos, D. 2004. El cultivo de plátano en Panamá. Manual de recomendaciones técnicas para el cultivo tecnificado de plátano (*Musa paradisiaca* L.). IDIAP. 63 p.

MICI (Ministerio de Comercio e Industrias). 2004. Situación socioeconómica de la producción bananera en Panamá. Panamá. 10 p.

- Osorio, GP. 2006. Evaluación de hongos endofíticos y extractos botánicos para el control de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en banano. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 90 p.
- Riveros, AS; Arciniegas, AM. 2003. Productos naturales como biofungicidas e inductores de resistencia para el manejo de la sigatoka negra. In Rivas, G. y Rosales, F. eds. Actas del Taller Manejo convencional y alternativo de la sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de musáceas en los trópicos. Guayaquil, Ecuador: 11-13 de agosto, 2003. INIBAP – MUSALAC. p. 31-32.
- Rosales, FE. 2004. Guía para el establecimiento y evaluación de experimentos con bioproductos para el control de nemátodos y sigatoka negra de banano y plátano. FONTAGRO, INIBAP y CATIE, Turrialba, CR. 42 p.
- Steel, RG; Torrie, JH. 1980. Principles and procedures of statistic. A biometrical approach. Second Edition. Printed in the United States of America. p. 185-186.

GENES DE RESISTENCIA A BEGOMOVIRUS EN GERMOPLASMA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) COLECTADO EN PANAMÁ¹

Carmen Bieberach Forero²; Zanya Aguilar Reyes³; Rita González Herrera⁴

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue identificar genes de resistencia a begomovirus en 78 cultivares criollos y 11 variedades mejoradas de tomate, mediante marcadores moleculares. Los cultivares estudiados fueron colectados como parte del proyecto FTG-7086/07/2007. La amplificación de los genes Ty-1, Ty-2 y Ty-3 se realizó por PCR utilizando los iniciadores específicos JB-1, T0302 y P6-25, respectivamente. En 40 cultivares criollos y seis variedades se identificó la banda del marcador JB-1 de 400 pb (ty-1/ty-1). En 60 cultivares criollos y 10 variedades se identificó la banda del marcador T0302 de 800 pb (ty-2/ty-2). No hubo cultivares portadores de los alelos dominantes Ty-1 y Ty-2. Cincuenta y ocho cultivares criollos presentaron solo una banda del marcador P6-25 de 320 pb (ty-3/ty-3). El gen de resistencia Ty-3 fue identificado en los cultivares criollos 24, 65, 67, 70, 71, así como en las variedades Anabella F₁ e IDIAP T9m; estos tienen las bandas P6-25 630 y 320 pb (Ty-3a/ty-3). La variedad Se 122 mostró tres bandas de 320, 450 y 630 pb (Ty-3/Ty-3a). El análisis de las secuencias nucleotídicas de los cultivares criollos 65, 67, 70 y 71, así como de las variedades Anabella F₁ e IDIAP T9m confirman la identidad del alelo Ty-3a.

PALABRAS CLAVES: Cultivares criollos, variedades mejoradas, marcadores moleculares, genes Ty-1, Ty-2 y Ty-3.

¹Recepción: 30 de septiembre de 2013. Aceptación: 15 de noviembre de 2013. Investigación financiada por IDIAP y FONTAGRO a través del Proyecto FTG-7086/07/2007-*Identificación y selección de cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), tolerantes al complejo de virosis transmitidos por *Bemisia tabaci* Genn (Aleyrodidae), en América Central.*

²M.Sc. en Cultivos Tropicales. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC) "Ing. Carlos Vernon Wynter". e-mail: cybieberach@gmail.com

³M.Sc. en Agricultura Ecológica. IDIAP. CIAC. e-mail: reyesaguilarzi@gmail.com

⁴Lic. en Biotecnología. IDIAP. CIAC. e-mail: ritacarolinagonzalez@gmail.com

BEGOMOVIRUS RESISTANCE GENES IN TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) GERMPLASM COLLECTED IN PANAMA

ABSTRACT

The aim of this study was to identify begomovirus resistance genes in 78 wild cultivars and 11 improved varieties of tomato, using molecular markers. The studied cultivars were collected as part of the project FTG-7086/07/2007. The amplification of the genes Ty-1, Ty-2 and Ty-3 was performed by PCR using specific primers JB-1, T0302 and P6-25, respectively. The JB-1 marker band of 400 bp (ty-1/ty-1) was identified in 40 wild cultivars and six varieties and the T0302 marker band of 800 bp (ty-2/ty-2) was identified in 60 wild cultivars and 10 varieties. No cultivars carrying the dominant alleles Ty-1 and Ty-2 were found. Fifty-eight wild cultivars had only one P6-25 marker band 320 bp (ty-3/ty-3). Resistance gene Ty-3 was identified in wild cultivars 24, 65, 67, 70, 71; as well as in the varieties Anabella F₁ and IDIAP T9m, carrying the bands P6-25 630 and 320 bp (Ty-3a/ty-3). The variety Se 122 showed three bands of 320, 450 and 630 bp (Ty-3/Ty-3a). The analysis of the nucleotide sequences of the wild cultivars 65, 67, 70 and 71, as well as the varieties Anabella F₁ and IDIAP T9m confirmed the identity of the allele Ty-3a.

KEYWORDS: Wild cultivars, improved varieties, molecular markers, genes Ty-1, Ty-2 and Ty-3.

INTRODUCCIÓN

En América Latina, el cultivo de tomate es afectado por geminivirus pertenecientes al género Begomovirus (Zúñiga-Vega y Ramírez 2002).

Los begomovirus del tomate en Centroamérica se reportaron entre 1983 y 1989 (Polston y Anderson 1997). Mediante la secuenciación de productos de PCR, fueron identificados ocho begomovirus en tomate en Guatemala, Honduras, Nicaragua y Costa Rica, éstos son: el virus del enrollamiento severo de

la hoja del tomate (*Tomato severe leaf curl virus*, ToSLCV), el virus del moteado amarillo del tomate (*Tomato golden mottle virus*, ToGMoV), el virus del moteado leve del tomate (*Tomato mild mottle virus*, ToMiMoV), el virus del moteado amarillo del tomate (*Tomato yellow mottle virus*, ToYMoV), el virus del mosaico dorado del chile (*Pepper golden mosaic virus*, PepGMV), el virus del mosaico Havana del tomate (*Tomato mosaic Havana virus*, ToMHV), el virus del enrollamiento de la hoja de tomate de Sinaloa (*Tomato leaf curl Sinaloa virus*,

ToLCSinV) y el virus huasteco del amarillamiento de las venas del chile (*Pepper huasteco yellow vein virus*, PHYVV) (Nakhla et al. 2005). Ponciano y Morales (2012a), confirmaron la presencia de siete de estos virus en Guatemala; el virus del moteado amarillo del tomate (ToYMoV), no fue detectado.

En Centroamérica no se ha reportado la presencia del virus del rizado amarillo del tomate (*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV), begomovirus monopartito, que ocasiona grandes pérdidas en la producción de tomate en otras regiones.

En Panamá, en 1983 se observaron síntomas de virosis asociados a la mosca blanca *Bemisia tabaci* Genn., en parcelas de tomate en Azuero. Los síntomas observados fueron: encrespamiento de las hojas, clorosis, moteado amarillo, achaparramiento, reducción de la producción y maduración irregular de frutos. El virus fue identificado inicialmente como geminivirus (Fernández 1990, Fernández 2001). En Divisa, fue identificado un geminivirus bipartito, que fue denominado ToLCV-Pan (Engel et al. 1998). Herrera Vásquez (2013), identificó el PYMPV (*Potato Yellow Mosaic Panama Virus*), afectando

plantas de tomate en las provincias centrales de Panamá.

Zamir et al. (1994), comprobaron que las especies silvestres *Solanum pimpinellifolium*, *S. peruvianum* y *S.habrochaites* mostraron tolerancia parcial al virus del rizado amarillo del tomate (*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV), mientras que *S. chilense* (accesión LA1969) presentó resistencia total. Estudios posteriores llevaron a la identificación de cinco genes de resistencia al begomovirus TYLCV: Ty-1 y Ty-3, mapeados en el cromosoma 6 de tomate (Zamir et al. 1994, Agrama y Scott 2006), Ty-2 mapeado en el cromosoma 11 (Hanson et al. 2000); Ty-4, mapeado en el cromosoma 3 (Ji et al. 2009) y Ty-5, cuyo QTL mayor se localiza en el cromosoma 4 (Anbinder et al. 2009). Otras investigaciones han aportado evidencia experimental sobre la tolerancia a begomovirus bipartitos, relacionada con la presencia de estos genes en híbridos interespecíficos.

El gen Ty-3, además de conferir resistencia a TYLCV, está asociado a la resistencia al virus del moteado del tomate (*Tomato mottle virus*, ToMoV) (Agrama y Scott 2006). En Brasil, se observó una respuesta de tolerancia a los

begomovirus: virus del mosaico rugoso del tomate (*Tomato rugose mosaic virus*, ToRMV) y virus del estriado amarillo de las venas del tomate (*Tomato yellow vein streak virus*, ToYVSV), en híbridos de tomate portadores del gen Ty-1 (Boiteux et al. 2007). Híbridos portadores de los genes Ty-2, Ty-3 y Ty-4 mostraron resistencia a los begomovirus bipartitos en evaluaciones de campo en Guatemala y Cuba (García et al. 2007, Ji et al. 2009, Mejía et al. 2009 y 2010, Dueñas-Hurtado 2012).

Los genes de resistencia han sido secuenciados y se diseñaron marcadores moleculares denominados Secuencia polimórfica amplificada y cortada (Cleaved amplified polymorphic sequences, CAPS), tales como JB-1 y C2_At4g17300, que amplifican Ty-1 y Ty-4; y marcadores moleculares denominados Regiones amplificadas caracterizadas y secuenciadas (Sequence characterized amplified region, SCAR), como T0302, P6-25 y SINAC1, que permiten la identificación de Ty-2, Ty-3 y Ty-5 en cultivares silvestres y variedades de tomate. El uso de los marcadores moleculares facilita la selección de progenitores y de líneas avanzadas.

Con la finalidad de identificar fuentes de resistencia a begomovirus, que puedan ser utilizados para generar variedades resistentes, los institutos de investigación agropecuaria de América Central, desarrollaron el proyecto "Identificación y selección de cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) tolerantes al complejo de virosis transmitidos por *Bemisia tabaci* Genn (Aleyrodidae) en América Central". El tercer componente del proyecto incluyó la identificación y caracterización por medio de marcadores moleculares de los genes de tolerancia a begomovirus. Dentro de este componente, se desarrollaron dos actividades de investigación: la primera en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) de Guatemala, en la cual se analizaron 142 cultivares (Ponciano y Morales 2012b) y la segunda en el IDIAP, en la cual se analizaron 78 cultivares criollos y 11 variedades comerciales, cuyos resultados se describen en este artículo.

El objetivo de este trabajo fue identificar genes de resistencia a begomovirus en cultivares criollos y variedades mejoradas de tomate de Panamá, mediante marcadores moleculares.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el Laboratorio Agrobiotecnología, del Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC), del IDIAP, ubicado en el corregimiento de Los Canelos, distrito de Santa María, provincia de Herrera, Panamá; entre junio de 2012 y mayo de 2013. Se analizaron 78 cultivares criollos colectados en Panamá y 11 variedades comerciales, dos de Guatemala (Anabella F₁ y Se 122) y nueve de Panamá (Dina Mejorado, Entero Grande, IDIAP T7, IDIAP T8, IDIAP T9m, IDIAP T9p, L4A, L4A x Multichiltilc, L5). Los cultivares criollos fueron identificados con números arábigos del 1 al 80. Los cultivares criollos designados con los números 4 y 35 no estuvieron disponibles para este estudio.

Extracción de ácido

desoxirribonucleico (ADN):

Se utilizaron para extraer el ADN, cinco plántulas de cada cultivar y variedad de tomate, 20 días después de la germinación, siguiendo el protocolo de mini preparaciones con CTAB (Harris 1996), que comprende: maceración de las hojas con nitrógeno líquido, incubación de las hojas maceradas en búfer CTAB 2X a 65 °C por 30 minutos, centrifugación, recuperación de la fase

acuosa, precipitación con cloroformo - alcohol isoamílico (24:1) y precipitación del ADN con isopropanol. Se eliminaron las proteínas remanentes y ARN, con 40 µl de Proteinasa K y Ribonucleasa A (200 µg/µl) y se suspendió el ADN en TE pH 7.5 (Tris 10mM, EDTA 1 mM). La concentración del ADN se calculó tomando la lectura de espectrofotómetro 260/280 nm. Se prepararon diluciones de cada muestra de ADN de 20 ng/µl.

Reacción en cadena de la polimerasa

(PCR):

Para la identificación de los genes de resistencia se usaron los iniciadores específicos JB-1 (CAPS), T0302 y P6-25 (SCAR), en concentración final de 0.5 µM para JB-1 y T0302 y 1 µM para P6-25. Los otros componentes de la reacción fueron similares para los tres marcadores: 100 ng de ADN plantilla, 1 unidad de Taq polimerasa, 3 mM de MgCl₂, 1X búfer de Taq, 400 µM de cada desoxinucleótido. El volumen de reacción fue de 25 µl.

Las reacciones de PCR se corrieron en un termociclador marca Qcycler, de acuerdo a la metodología generada por el proyecto "Identificación y selección de cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.), tolerantes al complejo de virosis

transmitidos por *Bemisia tabaci* Genn (Aleroydidae), en América Central”, a través de la Unidad de Virología del CIAT

(CIAT-FONTAGRO 2011). Las secuencias de los iniciadores y el programa de amplificación se describen en el Cuadro 1.

CUADRO 1. SECUENCIA DE LOS INICIADORES Y PROGRAMA DE PCR PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS GENES Ty-1, Ty-2 y Ty-3.

Gen	Secuencia de los iniciadores	Programa de amplificación	Producto pb
Ty-1	JB-1F AACCATTATCCGGTTCACTC	30 ciclos (94 °C x 10 s; 53 °C x 30 s; 72 °C x 70 s); extensión final 72 °C x 10 min.	400
	JB-1R TTTCCATTCTTGTCTTCTCTG		
	Enzima de restricción Taq I	Restricción: 2 horas, 65 °C.	500
Ty-2	T0302F	94 °C x 5 min; 35 ciclos	800
	TGGCTCATCCTGAAGCTGATAGCGC	(94 °C x 30 s; 55 °C x 1 min;	900
	T0302R AGTGTACATCCTTGCCATTGACT	72 °C x 2 min); extensión final 72 °C x 5 min	
Ty-3	P6-25F2	94 °C x 3 min; 35 ciclos	320
	GGTAGTGAAATGATGCTGCTC	(94 °C x 30 s; 53 °C x 1 min;	450
	P6-25R5	72 °C x 1 min); extensión final	630
	GCTCTGCCTATTGTCCCATATATAACC	72 °C x 10 min	660

Las reacciones de PCR se repitieron tres veces, para cada iniciador y cultivar. Los controles de referencia fueron: Ty52, H24 y CA2, para los genes Ty-1, Ty-2 y Ty-3, respectivamente, y la semilla fue provista por la Unidad de Virología del CIAT.

Restricción de los amplicones de JB-1:

Después de la amplificación, los productos de PCR obtenidos con el iniciador JB-1, fueron digeridos con la enzima de restricción Taq I, durante dos horas, a 65 °C. Cada reacción contenía 10 µl de amplicón y 5 unidades de Taq I, en un volumen total de 25 µl.

Electroforesis:

Los productos de PCR de T0302 y P6-25 y los productos de PCR con JB-1, cortados con Taq I, se separaron en geles de agarosa al 2.5%. La electroforesis se corrió en búfer TBE 0.5 X, a 100 voltios constantes, durante 3:45 h, a 4 °C. El marcador de peso molecular de referencia de 100 pb, contiene las siguientes bandas: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1500 pb. Los geles se tiñeron con SYBR Safe® 10 000 X (1:10 000) y se fotografiaron en un transiluminador. Las corridas de electroforesis se repitieron tres veces, para cada iniciador y cultivar.

Análisis e interpretación de los resultados:

Se registró la presencia y peso molecular de las bandas obtenidas en cada cultivar, para cada marcador. Los cultivares que presentaron solo una banda se consideraron homocigotos, mientras que los que presentaron dos bandas de diferente peso molecular se consideraron heterocigotos para el gen analizado.

Las bandas de JB-1 de 400 pb, T0302 de 800 pb y P6-25 de 320 pb corresponden a los alelos recesivos ty-1, ty-2 y ty-3, respectivamente. Las bandas de JB-1 500 pb, T0302 900 pb y P6-25 450 pb y 630 pb corresponden a los alelos dominantes Ty-1, Ty-2 y Ty-3, respectivamente y los cultivares que poseen estas bandas en estado homocigoto o heterocigoto, se consideran resistentes a begomovirus.

Secuenciación y alineamiento:

Los productos de PCR de 630 pb del marcador P6-25 se purificaron con *ExoSap It*, y se secuenciaron con *BigDye Terminator* v3.1, en un analizador genético. Al final de las corridas, se editaron y alinearon las secuencias con *Sequencher* 5.0 (*GeneCodes*), en el

Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, en Panamá. Las secuencias resultantes se compararon con secuencias del gen Ty-3a, a través de la herramienta de búsqueda de alineamientos locales (Basic Local Alignment Search Tool, BLAST), del Centro Nacional para la Información Biotecnológica (National Center for Biotechnology Information, NCBI); <http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los cultivares criollos utilizados (68), al menos produjeron una banda, de alguno de los tres marcadores estudiados. Los alelos recesivos ty-1, ty-2 y ty-3, fueron los más frecuentes en los cultivares. No se detectaron marcadores moleculares asociados a los genes de resistencia Ty-1 y Ty-2.

El gen de resistencia Ty-3 se encontró tanto en cultivares criollos, como en variedades (Cuadro 2). Los controles de referencia para Ty-2 y Ty-3 presentaron únicamente la banda característica del alelo recesivo.

CUADRO 2. NÚMERO DE CULTIVARES CON PRESENCIA DE BANDAS DE LOS MARCADORES JB-1, T0302 y P6-25.

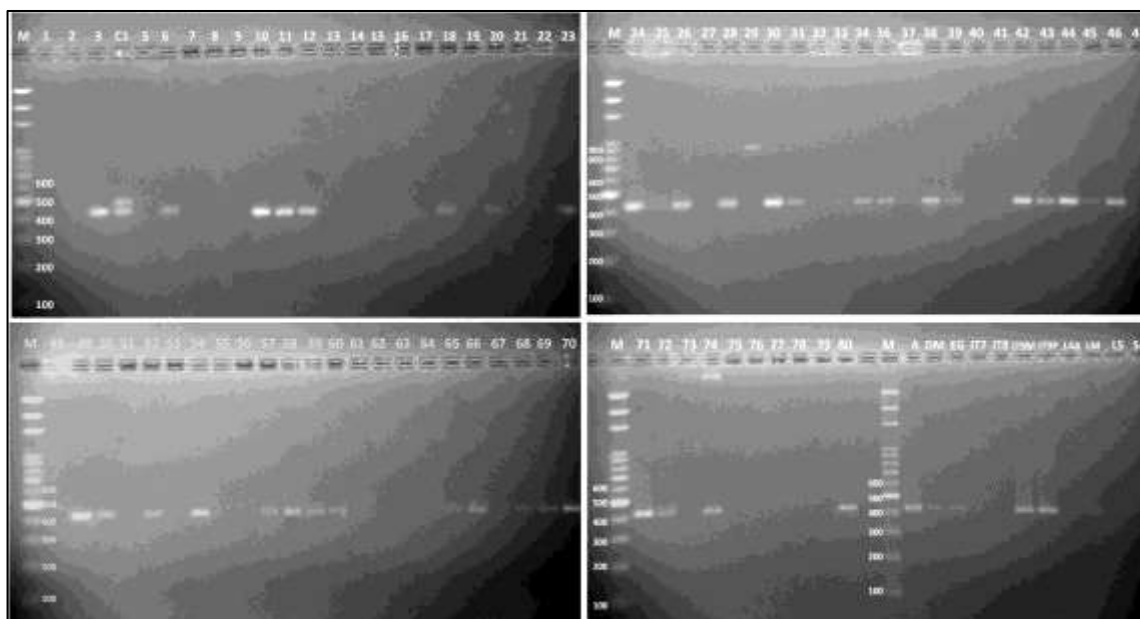
Marcador molecular	JB 1		T0302		P6-25		
Tamaño (pb)	400	500	800	900	320	450	630
Alelo	ty-1	Ty1	ty-2	Ty-2	ty-3	Ty-3	Ty-3a
Tomate criollo	40	0	60	0	58	0	5
Variedades	6	0	10	0	7	2	3
Control de referencia	1	1	1	0	1	0	0

Marcador JB-1:

La variedad Ty52, control de referencia para Ty-1, tuvo las bandas de 400 y 500 pb, de acuerdo a lo esperado. La banda de 400 pb estuvo presente en 40 cultivares criollos y en seis variedades. Ni los cultivares criollos, ni las variedades presentaron la banda de 500 pb (Figura 1).

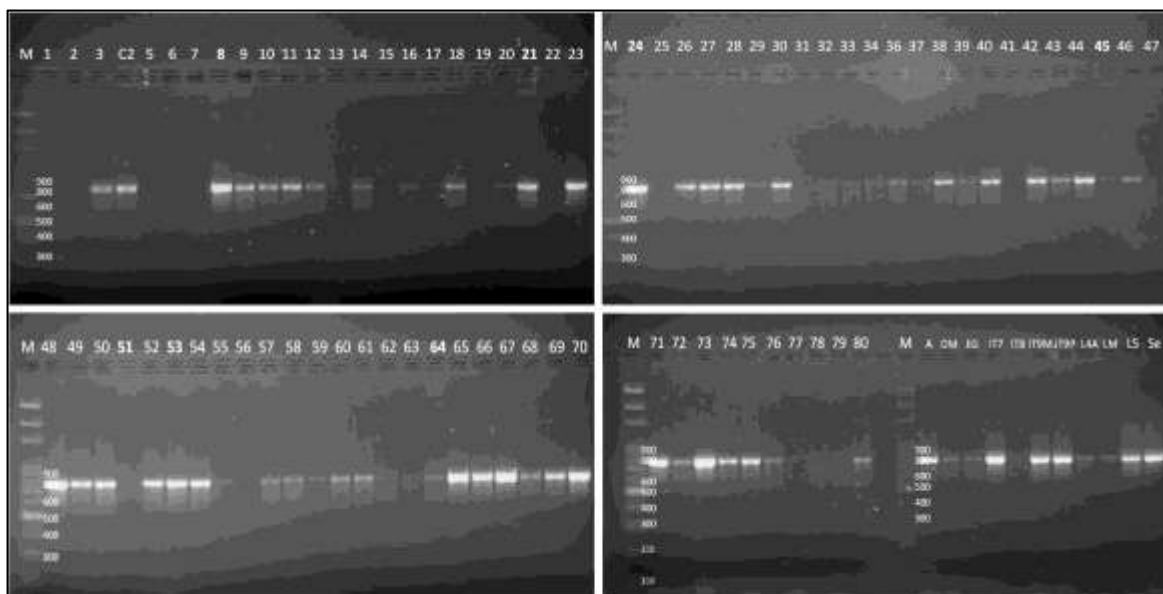
Marcador T0302:

La variedad H24, control de referencia para el gen Ty-2, presentó solo la banda de 800 pb, al igual que 60 cultivares criollos y 10 variedades de tomate. No se detectó el alelo Ty-2 de 900 pb en ninguno de los materiales analizados. El genotipo ty-2/ty-2, homocigoto recesivo para el gen Ty-2, fue el más abundante en la población estudiada (Figura 2).



Clave de las variedades: Dina Mejorada (DM), Entero Grande (EG), IDIAP T7 (IT7), IDIAP T8 (IT8), IDIAP T9m (IT9m), IDIAP T9p (IT9p), L4A, L4A x Multichiltylc (LM), L5, Anabella F₁ (A), Se 122 (Se).

Figura 1. Bandas del marcador JB-1 en cultivares criollos y variedades de tomate.



Clave de las variedades: Dina Mejorado (DM), Entero Grande (EG), IDIAP T7 (IT7), IDIAP T8 (IT8), IDIAP T9m (IT9m), IDIAP T9p (IT9p), L4A, L4A x Multichiltylc (LM), L5, Anabella F₁ (A), Se 122 (Se).

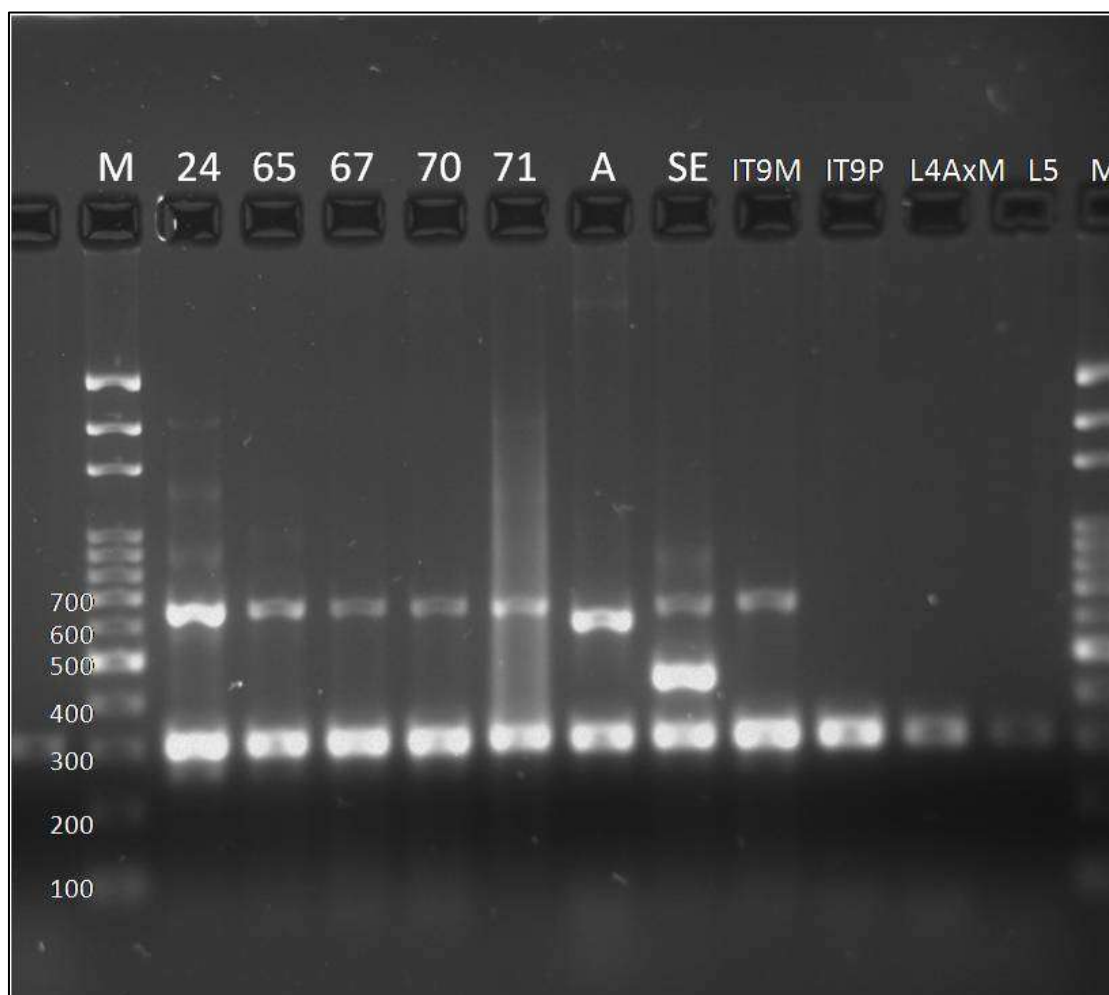
Figura 2. Bandas del marcador T0302 en cultivares criollos y variedades de tomate.

Marcador P6-25:

Los cultivares criollos identificados como 24, 65, 67, 70 y 71 y las variedades Anabella F₁ e IDIAP T9m mostraron bandas de 320 y 630 pb; estos cultivares tienen un genotipo Ty-3a/ty-3. La variedad Se 122 exhibió bandas de 320, 450 y 630 pb y su genotipo es Ty-3/Ty-3a. Las líneas avanzadas L5 y L4A x Multichiltylc solo presentaron la banda de 320 pb. El resultado del análisis con el marcador P6-25 se muestra en la Figura 3.

De acuerdo a Ji et al. (2007), la banda de 320 pb es característica de

los cultivares de *S. lycopersicum* L., y los genes de resistencia Ty-3 se obtienen, por introgresión, de la especie *S. chilense* (Dunal) Reiche: la banda de 450 pb proviene de la accesión de *S. chilense* LA2779 y la banda de 630 pb de la accesión de *S. chilense* LA1932. Estos autores aseguran que el iniciador P6-25 puede identificar un tercer alelo de resistencia, que procede de *S. chilense* LA1969, el cual se ha denominado Ty-3b, cuyo tamaño es 660 pb. En los geles analizados en este trabajo, no fue posible establecer diferencias en el tamaño de las bandas superiores a 600 pb.



Clave de las variedades: Anabella F₁ (A), Se 122 (Se), IDIAP T9m (IT9m), IDIAP T9p (IT9p), L4aXMultichiltylc (LM), L5.

Figura 3. Bandas del marcador P6-25 en cultivares criollos y variedades de tomate.

Ty-3 es un locus mayor que explica un alto grado de variación fenotípica en las dos accesiones de *S. chilense* que aportan este gen de resistencia. Mientras que los genes Ty-1 y Ty-2 expresan dominancia completa, Ty-3 es un gen de herencia aditiva (Ji et al. 2009).

En evaluaciones de campo llevadas a cabo en Sanarate, Guatemala, Mejía et al. (2010), demostraron que la introgresión de los alelos Ty-3 y Ty-3a en híbridos experimentales, confirió un alto nivel de resistencia, similar al de las líneas parentales resistentes, frente al complejo de begomovirus bipartitos presentes en el área. También, la introgresión de

Ty-3a en condición heterocigoto, otorgó resistencia moderada.

Los cultivares criollos 24, 65, 67, 70 y 71, que tienen el alelo Ty-3a de 630 pb, deben ser evaluados para verificar si éste aporta resistencia a los begomovirus encontrados en las zonas de producción de Panamá y América Central, y si es posible su utilización por los proyectos de mejora genética, para el desarrollo de nuevas variedades de tomate.

La variedad IDIAP T9m (fruto redondo), muestra un producto de amplificación con el iniciador P6-25 de 630 pb, que está ausente en la variedad IDIAP T9p (fruto de tipo pera), generada del mismo cruzamiento y proyecto de mejoramiento y que es la variedad que sustenta actualmente la producción de tomate industrial en Panamá, por su alta productividad y tolerancia a marchitez bacteriana. Es recomendable ampliar el estudio de los tomates criollos y variedades con iniciadores específicos para identificación de otros genes de resistencia a begomovirus, tales como Ty-4 y Ty-5.

Secuenciación:

La secuenciación de los productos amplificados P6-25 de 630 pb produjo seis secuencias parciales, de los cultivares criollos 65, 67, 70, 71 y las variedades Anabella F₁ e IDIAP T9m. Las seis secuencias tienen 100% de identidad con la secuencia genómica del clon 56B23 del cromosoma 6 de *S. lycopersicum*, accesión gb|AY678298.1. El alineamiento con la secuencia publicada en NCBI del gen Ty-3a (454 pb) accesión gb|JQ929641.1, reveló identidad de 87%. También, el alineamiento de las secuencias obtenidas en este trabajo, con la secuencia del gen Ty-3a (623 pb) de la línea Gc 171 resistente a begomovirus (Ji et al. 2007), indicó una identidad de 91%. Estos resultados confirman que los cultivares criollos 65, 67, 70 y 71 y las variedades IDIAP T9m y Anabella F₁ poseen el alelo Ty-3a.

CONCLUSIONES

- Mediante técnicas de PCR y secuenciación se identificaron cultivares criollos y variedades de tomate de Panamá, portadoras del gen de resistencia Ty-3, en estado heterocigoto.

- La secuenciación de los fragmentos de 630 pb del marcador molecular P6-25 confirmó la identidad del alelo Ty-3a.
- Los cultivares criollos y variedades estudiados no mostraron fragmentos relacionados con los genes de resistencia Ty-1 y Ty-2.

Horticultura Brasileira (Brasil) 25: 20-23.

CIAT-FONTAGRO (Centro Internacional de Agricultura Tropical - Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria). 2011. Capacitación: Identificación de virus transmitidos por mosca blanca y uso de marcadores moleculares para el control genético de begomovirus en tomate. Unidad de Virología, CIAT. Palmira, CO. Marzo 14 -18 de 2011. 27 p.

BIBLIOGRAFÍA

Agrama, HA; Scott, JW. 2006. Quantitative trait loci for tomato yellow leaf curl virus and tomato mottle virus resistance in tomato. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 131: 267-272.

Anbinder, I; Reuveni, M; Azari, R; Paran, I; Nahon, S; Shlomo, H; Chen, L; Lapidot, M; Levin, I. 2009. Molecular dissection of *Tomato leaf curl virus* resistance in tomato line TY172 derived from *Solanum peruvianum*. *Theoretical and Applied Genetics* 119(3): 519-530.

Boiteux, LS; Oliveira, VR; Silva, CH; Makishima, N; Inoue-Nagata, AK; Fonseca, MEN; Giordano, LB. 2007. Reaction of tomato hybrids carrying the Ty-1 locus to Brazilian bipartite Begomovirus species.

Dueñas-Hurtado, F. 2012. Identificación y aprovechamiento de fuentes de resistencia en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), frente a begomovirus que afectan el cultivo (en línea). Tesis Ph.D. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Departamento de Genética y Mejoramiento de las Plantas. 100 p. Consultado 2 nov. 2013. Disponible en <http://mst.ama.cu/535/1/TDE1205.pdf>.

Engel, M; Fernández, O; Jeske, H; Frischmuth, T. 1998. Molecular characterization of a new whitefly-transmissible bipartite geminivirus infecting tomato in Panama.

- Journal of General Virology 79: 2313-317.
- Fernández, O. 1990. Enfermedades virales en el tomate. Los Santos, 1987. Resultados de las investigaciones realizadas en 1987. Hortalizas, Raíces y Tubérculos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. p. 61-62.
- Fernández, O. 2001. Evaluación de progenitores y de líneas de tomate para resistencia a geminivirus. Informes Técnicos Agrícolas 1994-1995. Hortalizas. Volumen 4. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá. p. 457-460.
- García, BE; Graham, E; Jensen, KS; Hanson, P; Mejía, L; Maxwell, DP. 2007. Co-dominant SCAR marker for detection of the begomovirus-resistance Ty-2 locus derived from *Solanum habrochaites* in tomato germplasm. Tomato Genetic Cooperative Report 57: 21-24.
- Harris, SA. 1996. Molecular analysis of forest tree biodiversity: a selection of practical protocols. Oxford, G.B. 47 p.
- Hanson, P; Bernacchi, D; Green, S; Tanksley, S; Muniyappa, V; Padmaja, AS; Chen, H M; Kuo, G; Fang, D; Chen, JT. 2000. Mapping a Wild Tomato Introgression Associated with Tomato Yellow Leaf Curl Virus Resistance in a Cultivated Tomato Line. Journal of the American Society of Horticultural Science 125(1):15–20.
- Herrera Vásquez, JA. 2013. Detección de *Begomovirus* mediante PCR en cultivos de tomate de Panamá. In Reunión Anual del PCCMCA 58 (2013, La Ceiba, HN). Memoria. Tegucigalpa, HN. SAG – DICTA. p. 38.
- Ji, Y; Van Betteray, B; Smeets, J; Jensen, KS; Mejía, L; Scott, JW; Havey, MJ; Maxwell, DP. 2007. Co-dominant SCAR Marker, P6-25, for Detection of *Ty-3*, *Ty-3a*, and *Ty3b* introgressions from three *Solanum chilense* accessions at 25 cM of Chromosome 6 of Begomovirus- Resistant Tomatoes (en línea). Consultado 3 jul. 2012. Disponible en: <http://www.plantpath.wisc.edu/GeminivirusResistantTomatoes/Markers/MAS-Protocols/P6-25-locus.pdf>.

- Ji, Y; Scott, JW; Schuster, DJ. 2009. Molecular Mapping of Ty-4, a New Tomato Yellow Leaf Curl Virus Resistance Locus on Chromosome 3 of Tomato. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 134(2):281–288.
- Mejía, L; Garcia, BE; Fulladolsa, AC; Sánchez-Pérez, A; Havey, MJ; Teni, R; Maxwell, DP. 2009. Effectiveness of the Ty-3 introgression for conferring resistance in recombinant inbred lines of tomato to bipartite begomoviruses in Guatemala. *Tomato Genetics Cooperative Report* 59:42-47.
- Mejía, L; Teni, RE; García, BE; Fulladolsa, AC; Méndez, L; Melgar, S; Maxwell, DP. 2010. Preliminary Observations on the Effectiveness of five Introgressions for Resistance to Begomoviruses in Tomatoes. *Tomato Genetics Cooperative Report* 60:41-53.
- Nakhla, MK; Sorenson, A; Mejía, L; Ramírez, P; Karkashian, JP; Maxwell, DP. 2005. Molecular Characterization of Tomato-Infecting Begomoviruses in Central America and Development of DNA-Based Detection Methods (en línea). Consultado 1 abr. 2013. Disponible en: <http://www.plantpath.wisc.edu/InVirLab/docs/Beg-CA-Final.htm>.
- Polston, JE; Anderson, PK. 1997. The emergence of whitefly-transmitted geminiviruses in tomato in the western hemisphere. *Plant Disease* 81(12): 1358-1369.
- Ponciano Samayoa, K; Morales Montoya, MA. 2012a. Diagnóstico de Begomovirus por medio de marcadores moleculares en cultivares infectados. In LVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA) (2012, Panamá). Memoria. Panamá, PA. p. 214.
- Ponciano Samayoa, K; Morales Montoya, MA. 2012b. Selección asistida por marcadores moleculares de cultivares de tomate con resistencia a begomovirus. In LVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el

Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA) (2012, Panamá). Memoria. Panamá, PA. p. 213.

Zúñiga-Vega, C; Ramírez, P. 2002. Los geminivirus, patógenos de importancia mundial. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) 64: 25-33.

Zamir, D; Michelson, I; Zakay, Y; Navot, N; Zeidan, N; Sarfatti, M; Eshed, Y; Harel, E; Pleban, T; Van-Oss, H; Kedar, N; Rabinowitch, HD; Czosnek, H. 1994. Mapping and introgression of a tomato yellow leaf curl virus tolerance gene, Ty-1. Theoretical and Applied Genetics 88:141-146.

***Steneotarsonemus spinki* (Smiley, 1967) EN CULTIVARES DE ARROZ Y SU EFECTO EN LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO¹**

Evelyn Itzel Quirós-McIntire²; Ismael Camargo-Buitrago³

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la presencia del ácaro *Steneotarsonemus spinki* en cultivares de arroz y su afectación en los componentes del rendimiento. El experimento se realizó en la localidad El Coco de Penonomé, provincia de Coclé, República de Panamá, entre abril y agosto de 2004. Se utilizaron 13 variedades y dos líneas experimentales. La evaluación de la presencia de poblaciones de *S. spinki* se basó en la metodología descrita por Almaguel y Botta. El rendimiento agrícola se determinó en kg·ha⁻¹, se clasificaron los granos y se estimó el rendimiento de molinería. Se utilizó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con 15 tratamientos y tres réplicas. Se realizaron ANOVAS, prueba de comparación de rangos múltiples de Duncan y comparación de medias por la prueba de Tukey al 5%. Las poblaciones de *S. spinki* variaron mucho entre primordio y floración, detectándose variación en la tendencia de la población por cultivar. Esto permitió agrupar los cultivares en dos grupos. Algunos cultivares, que presentaron mayor población de *S. spinki*, tuvieron rendimientos aceptables, mientras que otros cultivares mostraron menor población con rendimientos de intermedios a bajos. Este resultado constituye la primera evaluación de la presencia de poblaciones de *S. spinki* en cultivares comerciales y líneas avanzadas en el programa de mejoramiento genético del IDIAP.

PALABRAS CLAVES: Población de ácaro, primordio, floración, clasificación de grano, rendimiento de molinería.

¹ Recepción: 1 de junio de 2013. Aceptación: 17 de octubre de 2013. Investigación financiada por el IDIAP- FONTAGRO y desarrollada dentro del marco del Proyecto de Investigación e Innovación para el Desarrollo de Germoplasma Mejorado de Arroz para Sistemas Mecanizados y Agricultura Familiar.

² Ph.D. en Ciencias Agrícolas. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos (CIARG). e-mail: evelynitzel26@gmail.com

³ Ph.D. en Fitomejoramiento. IDIAP. CIARG. e-mail: camargo.ismael@gmail.com.

***Steneotarsonemus spinki* IN RICE VARIETIES AND ITS EFFECT ON PERFORMANCE COMPONENTS**

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the presence of the mite *Steneotarsonemus spinki* in rice cultivars and their impact on yield components. The study was located at El Coco, Penonome, from April to August, 2004. Thirteen rice varieties and two experimental lines were evaluated. The evaluation of *S. spinki* was based on the methodology described by Almaguel and Botta. Crop yield was estimated in kg ha⁻¹, grain was classified and milling performance was estimated. A randomized complete block experimental design was applied with 15 treatments and 3 replicates. ANOVA, as well as Duncan's and Tukey's mean comparison tests were realized. *S. spinki* populations varied a lot from floral primordia to flowering, finding variation in population tendency per cultivar. This allowed grouping the cultivars in two groups. Some cultivars, which showed high populations of *S. spinki*, had acceptable yields, while other cultivars with less population had intermediate to low yields. This result provides the first assessment of the presence of populations of *S. spinki* in commercial cultivars and advanced lines from IDIAP rice breeding program.

KEY WORDS: Mite population, primordium, flowering, grain classification of grain, milling industry performance.

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es una de las fuentes principales de consumo de calorías para más de la mitad de la población mundial, un punto de apoyo para las poblaciones rurales y un pilar de la seguridad alimentaria en muchos países de bajos ingresos (FAO 2004).

El cultivo de arroz es atacado por diversas plagas; sin embargo, en los últimos 15 años, los ácaros han alcanzado un lugar importante debido a la aparición de *Steneotarsonemus spinki*

(Smiley) (Acari: Tarsonemidae) en Cuba y otros países de la región (Ramos y Rodríguez 1998, Almaguel y Botta 2005, Herrera 2005, Castro et al. 2006, Aguilar y Murillo 2008).

En el mes de octubre de 2003 se observaron daños por vaneamiento y manchado del grano en campos de arroz de productores del Caño y Chepo, República de Panamá. Además, en este año las condiciones agroclimáticas se consideraron anormales en cuanto a las precipitaciones, la temperatura y la

humedad relativa (Camargo et al. 2006). Debido a los daños descritos se inició el monitoreo sistemático de los campos de arroz encontrándose *Steneotarsonemus spinki* (Smiley) (Acari: Tarsonemidae) (Almaguel et al. 2004), como nueva plaga del cultivo.

La presencia de *S. spinki* impactó negativamente los rendimientos del cultivo, la superficie cultivada y el número de productores dedicado al mismo. Antes de la aparición del ácaro los rendimientos del país eran de 4.3 tha⁻¹ (ciclos productivos 2000-2001 y 2001-2002), los cuales disminuyeron en 1.0 tha⁻¹ como promedio, en el ciclo productivo 2003-2004, momento en el que se detectó la nueva plaga. Ello significó una reducción de los rendimientos del 25.6%, con respecto a los años anteriores (Camargo et al. 2006). Además, estas afectaciones provocaron la necesidad de importar arroz para cubrir el déficit del producto en el país, situación que persiste en la actualidad (IICA-MIDA 2009).

El ácaro se ubica en la parte interna de las vainas de las hojas del arroz y alcanza altas poblaciones en la fase de máximo ahijamiento e inicio del cambio de primordio y la emergencia de las panículas (Almaguel et al. 2000).

Estas características provocan que el control químico tenga una eficacia limitada (Cabrera et al. 1998).

Si se considera la importancia del cultivo del arroz en Panamá, la significación de *S. spinki* como plaga para el cultivo y lo difícil que resulta su control químico, es imprescindible desarrollar una estrategia de manejo que se fundamente en el uso de cultivares tolerantes. Esto hace necesario conocer las poblaciones que se presentan en los cultivares utilizados en el sistema de producción de Panamá y evaluar la presencia de *S. spinki* y su efecto en los componentes del rendimiento de arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento constituye la primera evaluación de los cultivares de arroz en presencia del ácaro *Steneotarsonemus spinki* en la República de Panamá. Se realizó en la localidad de El Coco de Penonomé, entre abril y agosto de 2004. Se utilizaron los cultivares: Idiap 22, Idiap 2503, Idiap L7, Idiap 38, Idiap 3003, Panamá 1048, Panamá 3621, Oryzica 1, Fedearroz 2000, Fedearroz 50, Coprosem 1, Coprosem 2, Colombia XXI, que presentaron afectaciones en los rendimientos en presencia de la nueva plaga del arroz. Además, se incluyeron

en este experimento los cultivares experimentales Flar 144 y Flar 145.

Se utilizó semilla de categoría básica de los cultivares comerciales y semilla genética de los cultivares experimentales. Las parcelas experimentales se establecieron bajo el sistema de riego, donde la lámina de agua se mantuvo durante el crecimiento de las plantas, eliminándola al momento de cosecha. Se utilizó una tasa de siembra de 3 g de semilla pre-germinada por metro lineal ($150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). La fertilización se fraccionó en cinco aplicaciones, la primera en la nivelación del terreno con $180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de fórmula completa (12-24-12, NPK), las siguientes fueron fertilizaciones nitrogenadas (Urea al 46% a razón de $180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a los 10, 20, 30 y 55-60 días después de la germinación (ddg) o cuando se observaron los primordios florales de las plantas.

El control de las malezas se efectuó antes de la siembra con el herbicida pre-emergente, pendimentalina 33%, a una dosis de $1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y antes que las plantas tuvieran 30 ddg con profoxydin 20%, a una dosis de $875 \text{ ml}\cdot\text{ha}^{-1}$). Las malezas acuáticas se controlaron con un concentrado soluble con 400 g/l de bentazona (sal sódica)+ 60 g/l de MCPA (sal amina) en dosis de

1.5 a $2.5 \text{ lt}\cdot\text{ha}^{-1}$ y 40 g bispiribac-sodium/lt a una dosis de $100 \text{ lt}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Para las enfermedades no se realizaron tratamientos, para conocer la incidencia de ellas en presencia de *S. spinki* y el control de plagas estuvo sujeto a los umbrales económicos. Se monitoreó la presencia de la chinche del grano (*Oebalus insularis* Stal. (Hemiptera: Pentatomidae) y para evitar el manchado del grano se realizó una aplicación de protección con Deltrametrin a razón de $1 \text{ lt}\cdot\text{ha}^{-1}$, después de extraídas las muestras de *S. spinki* en la etapa de floración, específicamente.

Las parcelas experimentales estuvieron constituidas por 10 hileras de plantas arroz de 5 m de longitud, separadas a 0.20 m con un área total de 10 m^2 y la parcela efectiva para el muestreo, toma de datos y cosecha fue de 4.8 m^2 . Esta parcela efectiva se conformó con las seis hileras centrales, a las cuales se les eliminó el borde de aproximadamente 0.50 m en cada extremo.

La evaluación de la incidencia de las poblaciones de *S. spinki* en los cultivares de arroz estuvo basada en la metodología descrita por Almaguel et al. (1998) y Botta et al. (2003). Se realizó el

conteo directo de la población del tarsonémido en toda la vaina de las hojas efectivas dos, tres y cuatro, en dos momentos del ciclo de cada cultivar: inicio del primordio floral (55-60 ddg) y la paniculación (50% de floración) hacia la formación del grano lechoso.

Las muestras fueron extraídas del campo en horas de la mañana (8:00-8:30 a.m.). Una vez cortados los tallos principales o primarios de las plantas, se colocaron en una bolsa de plástico con una lámina de agua de 1 cm y se trasladaron al Laboratorio del Campo Experimental Pacífico Marciaga, localizado a 20 m de distancia de las parcelas experimentales. Las muestras se revisaron el día en que fueron tomadas. Para realizar el conteo de la población de *S. spinki* se utilizó un estereomicroscopio trinocular y un contador manual.

El rendimiento agrícola se determinó en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, se clasificaron los granos basados en la muestra tomada y se estimó el rendimiento de molinería, según se describe a continuación:

Evaluación del rendimiento agrícola:

El rendimiento agrícola se estimó a partir de la cosecha del área efectiva de muestreo (4.80 m^2) en el momento de

madurez fisiológica de las plantas o al 24% de humedad. La cosecha se trilló manualmente y se secó al sol. Se esperó hasta obtener un porcentaje de humedad entre el 12 y 14%, posteriormente se determinó la masa de los granos en una balanza técnica y se calculó el rendimiento en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ al 14% de humedad.

Clasificación de granos: Se estimó a partir de una muestra cosechada dentro de un marco de 0.50 m^2 antes de ser cosechada el área efectiva de muestreo. Fue clasificada y contada en granos llenos limpios, llenos manchados, vanos limpios, vanos manchados, tiza limpios, tiza manchados, deformes limpios y deformes manchados y verdes.

Rendimiento de molinería: El análisis del rendimiento de molinería se realizó en el Laboratorio de Calidad de Grano del Centro de Investigación de Recursos Genéticos (CIARG) perteneciente al IDIAP. Este rendimiento se estimó a partir de una muestra de 250 g de semillas cosechadas en cada tratamiento. Se registraron los porcentajes de grano entero, grano quebrado y el arrocillo.

La parcela experimental comprendió un área de 10 m^2 y en cada

momento se observaron 10 tallos principales por tratamiento. Se consideraron como tratamientos los cultivares de arroz incluidos en el estudio. Se utilizó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con 15 tratamientos y tres réplicas, de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor del carácter estudiado

μ = Efecto medio o media general

T_i = Efecto del genotipo

β_j = Efecto del bloque

ε_{ij} = Error experimental

Para conocer la preferencia de *S. spinki* por las fases fenológicas evaluadas, en cada cultivar, se realizó un análisis de varianza simple seguido de la prueba de comparación de medias de rangos múltiples de Duncan. Los cultivares se agruparon de acuerdo a la

población promedio de ácaros presentes en cada fase fenológica mediante un análisis de Cluster, según el método de Ward y la distancia euclidiana. Las diferencias entre cultivares, en cuanto a los componentes del rendimiento y la clasificación de granos, se establecieron mediante un análisis de varianza simple y para la comparación de las medias se utilizó la prueba de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta primera evaluación de la incidencia de *S. spinki* en diferentes cultivares de arroz, mostró que al comparar la densidad promedio de *S. spinki* por tallo en las fases de cambio de primordio y floración, la población promedio de ácaros presentó diferencia significativa en el cultivar Flar 144 siendo mayor la población en la etapa de primordio (Cuadro 1). Aunque no se presentaron diferencias estadísticas, en los cultivares Idiap L7, Flar 145, Idiap 3003, Panamá 1048, Fedearroz 50, Fedearroz 2000 y Colombia XXI, se observó una tendencia similar.

CUADRO 1. POBLACIÓN PROMEDIO POR TALLO DE *Steneotarsonemus spinki* EN LAS FASES FENOLÓGICAS DE CAMBIO DE PRIMORDIO Y FLORACIÓN.

Cultivar	Primordio*	Floración*	Media de las dos fases.	F	P
Idiap 38	26.90 ± 7.38 a	50.00 ± 14.37 a	40.76	1.53	0.2215
Fedearroz 50	35.40 ± 14.30 a	18.03 ± 6.75 a	26.72	1.21	0.2766
Idiap 3003	42.89 ± 10.35 a	39.23 ± 11.57 a	41.00	0.05	0.8155
Idiap 22	18.50 ± 4.91 a	51.53 ± 16.97 a	38.32	2.42	0.1264
Panamá 3621	12.70 ± 5.23 a	24.63 ± 9.67 a	18.67	1.18	0.2824
Panamá1048	34.20 ± 9.11 a	19.3 ± 5.6 a	25.26	2.17	0.1470
Oryzica 1	25.50 ± 5.04 a	32.37 ± 7.45 a	29.62	0.47	0.4970
Idiap L7	41.37 ± 11.84 a	35.30 ± 10.79 a	38.33	0.14	0.7064
Idiap 2503	54.07 ± 12.92 a	79.23 ± 21.9 a	66.65	0.98	0.3265
Flar 144	33.89 ± 9.65 b	14.9 ± 3.87 a	22.02	4.49	0.0395
Flar 145	13.95 ± 5.44 a	15.4 ± 4.48 a	14.84	0.04	0.8388
Colombia XXI	40.23 ± 10.50 a	33.9 ± 13.26 a	37.00	0.14	0.7094
Fedearroz 2000	19.75 ± 7.30 a	16.2 ± 3.89 a	17.62	0.22	0.6432
Coprosem 1	17.96 ± 4.63 a	23.7 ± 5.53 a	20.93	0.62	0.4330
Coprosem 2	28.05 ± 14.11 a	25.1 ± 7.67 a	26.28	0.04	0.8432

Media seguidas de la misma letra, en la misma fila, no difieren entre sí estadísticamente, según la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

*Se expresa el valor promedio ± desviación estándar.

En el caso de los cultivares I diap 38, I diap 22, Panamá 3621, Oryzica 1, I diap 2503 y Coprosem 1, se presentó una tendencia contraria, es decir, la densidad de la población obtuvo valores superiores en la fase de floración, lo que puede dar un indicio de respuestas diferentes de los cultivares ante la presencia de *S. spinki*.

El aumento de la densidad de *S. spinki* por tallo hacia la fase de floración fue encontrado en otros cultivares por Miranda et al. (2003) quienes señalaron que en las primeras fases fenológicas del

cultivo no se presentan las condiciones adecuadas para la aparición del ácaro.

Se conoce que *S. spinki* alcanza su mayor incremento poblacional en las fases de cambio de primordio y apertura de la panícula, ya que existe una relación directa entre el crecimiento poblacional de la plaga con las fases fenológicas del cultivo (Ramos y Rodríguez 2001, Miranda et al. 2003, Hernández-Macías 2005). Almaguel et al. (2000), encontraron que en general la población del ácaro fue mayor en las evaluaciones más próximas a la cosecha.

El análisis de agrupamiento de los cultivares realizado a partir de la densidad promedio de ácaros por tallo presentes en la fase de cambio de primordio, permitió conformar dos grupos. El primer grupo (Grupo 1) quedó conformado por Oryzica 1, Idiap 38, Flar 144, Panamá 1048, Coprosem 2, Flar 145, Idiap 22, Panamá 3621, Fedearroz 2000 y Coprosem 1, que obtuvieron densidades bajas a intermedia de *S. spinki* por tallo y el segundo grupo (Grupo 2), por los cultivares Idiap 2503, Idiap 3003, Fedearroz 50, Idiap L7 y Colombia XXI, que presentaron mayor densidad de ácaros por tallo (Figura 1).

En el agrupamiento de los cultivares de acuerdo a la densidad de *S. spinki* por tallo en la fase de floración, se obtuvo dos grupos, el primer grupo (Grupo 1), quedó conformado por los cultivares que presentaron densidades de ácaros más bajas Coprosem 1, Coprosem 2, Fedearroz 2000, Flar 145, Fedearroz 50, Flar 144, Panamá 3621 y Panamá 1048. El segundo grupo (Grupo 2) se estableció con los cultivares que presentaron mayor densidad para esta fase: Idiap 38, Colombia XXI, Idiap L7, Oryzica 1, Idiap 3003, Idiap 22 e Idiap 2503 (Figura 2).

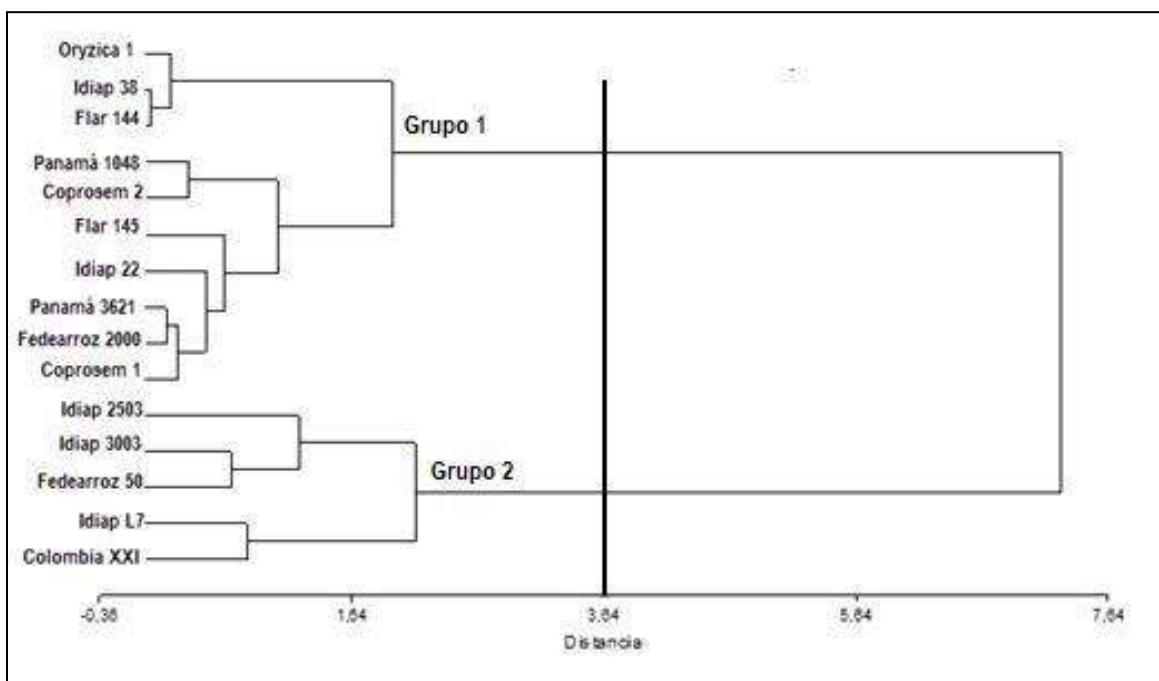


Figura 1. Dendrograma de agrupamiento de los cultivares con respecto a la población promedio de *Steneotarsonemus spinki* en la fase de cambio de primordio.

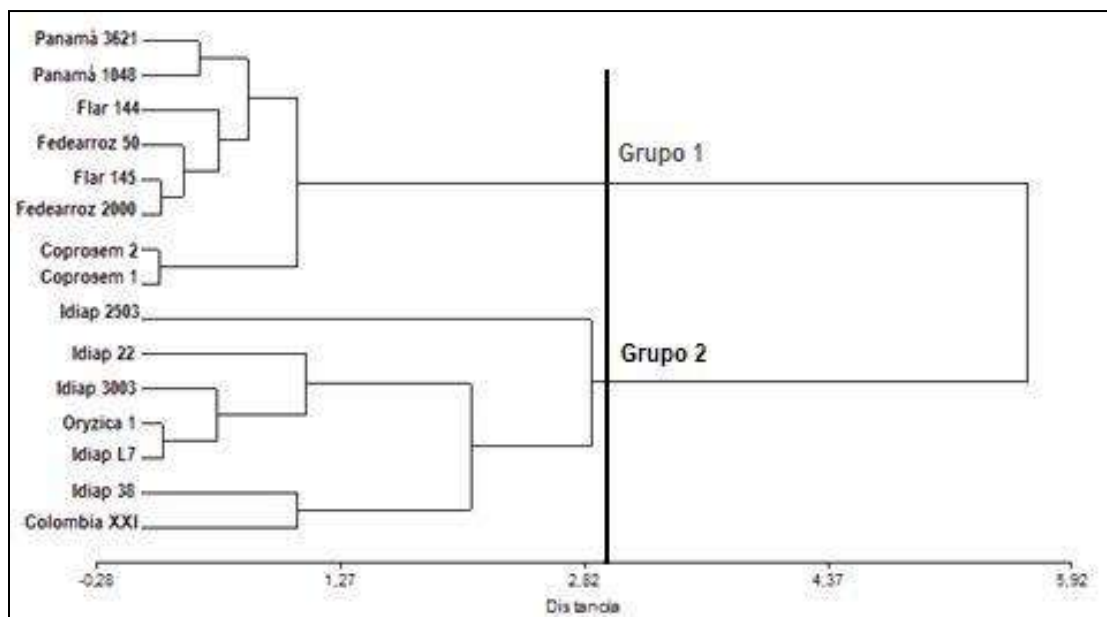


Figura 2. Dendrograma de agrupamiento de los cultivares con respecto a la población total de *Stenotarsus pinki* en la fase de floración.

Es importante señalar que los cultivares Idiap 2503, Idiap 3003, Idiap L7 y Colombia XXI pertenecieron a la agrupación de mayor incidencia de *S. pinki* en las fases fenológicas evaluadas, mientras que los cultivares Flar 144, Flar 145, Panamá 1048, Panamá 3621, Fedearroz 2000, Coprosem 1 y Coprosem 2, se mantuvieron con baja incidencia en ambas fases. Los cultivares Idiap 38, Idiap 22 y Oryzica 1, presentaron baja incidencia de *S. pinki* en la fase de cambio de primordio y alta incidencia en la fase de floración. Caso contrario, el cultivar Fedearroz 50, que se traslada de la agrupación de altas poblaciones en la fase de cambio de primordio, a bajas poblaciones en floración.

El cultivar Flar 145 presentó la menor densidad de ácaros y el cultivar Idiap 2503 la mayor, con respecto a los demás cultivares que presentaron niveles intermedios. Es importante mencionar que los cultivares Flar 145 e Idiap 2503 son de ciclo precoz, por lo que es probable que el denominado escape que pueden presentar ciertas plantas ante una plaga en función de su ciclo vegetativo no ocurra en esta interacción. Este resultado coincide con lo informado por Botta et al. (2003), quienes no pudieron relacionar de forma consistente las poblaciones de *S. pinki* con el ciclo de los cultivares de arroz utilizados en su investigación.

Componentes del rendimiento:

Los rendimientos agrícolas de los cultivares presentaron promedios similares, la no diferencia estadística puede estar fundamentada en la variabilidad de los datos obtenidos en la muestra de la cosecha en este experimento (Cuadro 2). Por el interés que reviste esta primera evaluación de la incidencia de *S. spinki* en los componentes de rendimientos es

importante resaltar que el cultivar Idiap 2503, presentó alta población del tarsonémido, y reflejó bajos rendimientos, mientras que el cultivar Flar 145, presentó la población más baja, y el mejor rendimiento agrícola. Es probable que las altas poblaciones registradas en los dos momentos de conteo hayan afectado el rendimiento agrícola del cultivar Idiap 2503.

CUADRO 2. RENDIMIENTO AGRÍCOLA ALCANZADO POR LOS CULTIVARES DE ARROZ EVALUADOS.

Cultivar	Rendimiento (kg·ha ⁻¹)
Idiap 2503	2004.54 ± 543.23
Coprosem 2	1946.29 ± 780.7
Idiap 22	2143.25 ± 416.53
Idiap L7	2907.68 ± 51.01
Coprosem 1	2777.81 ± 219.64
Flar 144	2793.70 ± 248.3
Fedearroz 50	2870.99 ± 641.48
Fedearroz 2000	3040.82 ± 1079.56
Panamá 1048	3093.20 ± 571.46
Idiap 38	3264.14 ± 1268.03
Oryzica 1	3281.83 ± 1753.03
Panamá 3621	3300.95 ± 596.85
Idiap 3003	3343.36 ± 636.54
Colombia XXI	3448.80 ± 1114.21
Flar 145	3613.63 ± 1859.78
F	0.500
gl	10
P	0.9087

*Se expresa el valor promedio ± Error estándar

Se determinó que el número promedio de plantas y de espigas en un marco de 0.50 m² no presentaron diferencias significativas entre cultivares, cuantificándose entre 11 y 13 plantas y de 70 a 80 espigas (F=0.41, P<0.8296 y F=0.50, P<0.7724, respectivamente). Este resultado garantiza que la variación en los rendimientos se deba a factores no atribuibles a estos indicadores.

El número de granos de acuerdo a su clasificación no presentó diferencias estadísticas significativas (Cuadro 3). Aunque los cultivares presentaron diferentes cantidades de ácaros y fueron agrupados por presentar más ácaros o menos ácaros en los momentos evaluados, el número de granos, según la clasificación utilizada, no guardó correspondencia con la población de ácaros encontrada en los cultivares.

El Idiap 2503 presentó la mayor población de *S. spinki* y la menor cantidad de granos vanos manchados que el cultivar Flar 145, cuando este último registró la menor población del ácaro. De forma general, los cultivares no mostraron diferencias en sus medias de granos vanos, hecho de interés cuando se ha considerado por muchos autores que una de las afectaciones de *S. spinki* es el aumento del porcentaje de

granos vanos y manchados (Almaguel et al. 1998, Hernández-Concepción 2004, Hernández-Macías 2005, Hummel et al. 2009).

En cuanto al rendimiento de molinería, se observó diferencias estadísticas significativas entre cultivares en el rendimiento total y el porcentaje de arrocillo (Cuadro 4), mientras que en los porcentajes de granos enteros y granos quebrados no se presentaron diferencias estadísticas.

Los mejores rendimientos de molinería los presentaron Colombia XXI, Idiap L7, Idiap 22, Fedearroz 2000 y Coprosem 1, en comparación con el cultivar Oryzica 1 que se utiliza como testigo de molinería en los experimentos de evaluación de calidad de grano en Panamá (Quirós 2003).

Es interesante resaltar que los cultivares Idiap 22 e Idiap L7 presentaron los mejores rendimientos de grano enteros, superando incluso que Oryzica 1, que presenta rendimientos superiores al 50% (Cano 2005). Estos rendimientos corresponden con las características históricas de calidad de grano, que han presentado desde su selección como cultivares comerciales (Camargo et al. 2004), por lo que no se puede señalar

que su calidad haya sido afectada por la incidencia de la población de *S. spinki*.

De forma similar, no parece encontrarse correspondencia entre las bajas poblaciones del tarsonémido y el rendimiento de molinería del cultivar

Flar 145, que aunque su rendimiento es bueno, de acuerdo a los estándares establecidos (IRRI 1996), presentó el menor rendimiento molinero, con respecto a cultivares como Idiap 22, Idiap 38 e Idiap L7 y el testigo Oryzica 1.

CUADRO 3. NÚMERO DE GRANOS LLENOS, TIZA, VANOS Y DEFORMES EN CADA CULTIVAR, DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN REALIZADA.

Cultivar	Clasificación de granos							
	Granos llenos		Granos tiza		Granos vanos		Granos deformes	
	Limpios	Manchados	Limpios	Manchados	Limpios	Manchados	Limpios	Manchados
Idiap 38	4158.3±644.58	623.7±79.8	1033.3±154.4	437.0±81.9	112.0±13.6	148.3±40.92	65.3±30.4	37.6±13.3
Fedearroz 50	2711.33±803.97	435.67±119.39	1124.33±222.1	760±288.31	176±44.47	352.33±176.85	99.67±41.73	518.33±449.38
Idiap 3003	3038.6±493.7	620.0±92.81	1526.0±162.8	1055.3±123.0	321.0±190.2	486.3±63.6	201.3±89.4	121.67±44.8
Idiap 22	1992.3±790.9	555.0±89.4	1473.3±579.3	546.3±96.6	169.67±51.3	248.3±58.1	93.0±47.9	84.6±31.2
Panamá 3621	3989±348.43	546.67±169.64	3980.33±3049.16	560±76.86	179.33±45.78	269.67±83.35	130.67±48.69	84±19.08
Panamá 1048	1855.33±479.9	555.67±137.56	1422.67±453.19	825.67±307.5	199.33±14.33	233±64.21	110±19.16	164.67±31.47
Oryzica 1	3907.5±1874.5	449±220	1043.5±457.5	623.5±301.5	124.5±13.5	222.5±10.5	40±1	22.5±0.5
Idiap L7	3445.3±937.1	482.3±73.69	1060.6±193.7	714.0±226.3	80.0±11.85	209.6±55.9	64.0±43.3	52.0±20.4
Idiap 2503	2150.3±355.4	732.3±265.6	1587.7±630.6	827.3±382.6	178.6±53.7	189.3±111.8	190.3±128.3	121.6±63.6
Flar 144	3265.5±987.5	435±32	1187±123	613±178	205±56	350±46	171±107	113±41
Flar 145	2323.5±628.0	536.5±193	1006.0±91.0	577.0±68.0	164.0±12.0	284.0±34.0	176.0±3.0	119.8±17.5
Colombia XXI	4903.5±1527.5	499.5±23.5	694±33	549.5±12.5	66.5±12.5	254.5±98.5	115±38	120.5±99.5
Fedearroz 2000	4260±1140.39	527±234.56	801.67±354.85	442.33±95.47	146.67±75.34	254.33±64.12	172.33±78.15	84±27.62
Coprosem 1	2949.5±296.5	444±68	1411±639	1072±458	183.5±39.5	264.5±89.5	473.5±206.5	214.5±60.5
Coprosem 2	2836±1253.87	212±76.66	731.67±56.76	764±160.45	98.67±39.2	111±18.34	116±71.01	54.33±19.55
F	1.07	0.65	0.7	0.75	0.8	1.24	1.5	0.79
gl	11	11	11	11	11	11	11	11
P	0.4274	0.7957	0.7551	0.7075	0.6606	0.3061	0.1838	0.6734

*Se expresa el valor promedio ± Error estándar.

CUADRO 4. RENDIMIENTO DE MOLINERÍA EN PORCENTAJE Y SUS COMPONENTES EN DIFERENTES CULTIVARES DE ARROZ.

Cultivar	Granos (%)			
	Rendimiento total	Entero	Quebrado	Arrocillo
Idiap 38	65.88 ± 0.51 ab	58.31 ± 0.76	6.32 ± 0.24	1.25 ± 0.07 a
Fedearroz 50	61.39 ± 0.84 ab	49.75 ± 1.11	9.44 ± 0.41	2.20 ± 0.06 a
Idiap 3003	64.19 ± 0.74 ab	52.36 ± 1.96	9.73 ± 1.28	2.09 ± 0.27 ab
Idiap 22	67.16 ± 0.8 ab	59.73 ± 1.17	6.16 ± 0.36	1.27 ± 0.10 ab
Panamá 3621	59.17 ± 2.44 a	45.72 ± 0.72	10.61 ± 2.55	2.84 ± 0.34 ab
Panamá 1048	63.47 ± 0.71 ab	52.15 ± 1.60	9.23 ± 0.89	2.09 ± 0.15 ab
Oryzica 1	66.90 ± 0.02 ab	57.76 ± 2.12	7.38 ± 1.54	1.76 ± 0.56 ab
Idiap L7	68.23 ± 1.40 b	59.98 ± 2.83	6.73 ± 1.22	1.52 ± 0.28 ab
Idiap 2503	61.84 ± 1.51 ab	50.32 ± 4.03	9.40 ± 1.86	2.12 ± 0.68 ab
Flar 144	64.28 ± 0.96 ab	54.82 ± 1.62	7.30 ± 0.50	2.16 ± 0.16 ab
Flar 145	61.18 ± 3.82 ab	51.52 ± 4.96	7.68 ± 0.68	1.98 ± 0.46 ab
Colombia XXI	68.34 ± 0.02 b	56.82 ± 0.86	10.00 ± 0.68	1.52 ± 0.16 ab
Fedearroz 2000	66.79 ± 1.01 ab	57.55 ± 3.16	7.40 ± 1.97	1.85 ± 0.62 ab
Coprosem 1	66.76 ± 1.09 ab	54.40 ± 1.93	9.79 ± 0.79	2.57 ± 0.27 ab
Coprosem 2	63.05 ± 3.08 ab	47.80 ± 5.47	11.51 ± 1.87	3.65 ± 0.78 b
F	3.21	2.76	1.47	2.43
gl	11	11	11	11
P	0.00049	0.0623	0.1935	0.0243

Media seguidas de la misma letra, en la misma columna, no difieren entre sí estadísticamente, según la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

*Se expresa el valor promedio ± Error estándar.

Los indicadores de calidad del arroz como porcentaje de impurezas, granos quebrados, granos cristalinos y yesosos, dependen principalmente de la variedad (Poehlman 1965, Zambrano et al. 1980, Rojas et al. 1992). Específicamente, el cultivar Idiap L7 fue seleccionado por su calidad de grano, con rendimientos consistentes de molinería entre 69 y 73%, con un 60 a 65% de granos enteros (Cano 2005).

La agrupación de los cultivares en base a los niveles de la población de *S. spinki* y los componentes del rendimiento no mostraron tener correspondencia, ya que algunos cultivares, que presentaron mayor incidencia de *S. spinki*, tuvieron rendimientos aceptables, mientras otros cultivares que mostraron menor incidencia de *S. spinki*, presentaron rendimientos de intermedio a bajo. Una respuesta similar a ésta fue informada

por Almaguel et al. (2000) y Botta et al. (2003), quienes no encontraron diferencias en el rendimiento de los cultivares evaluados, ni relación entre estos y la densidad de *S. spinki* por hoja.

CONCLUSIONES

- Este estudio constituye la primera evaluación de la incidencia de las poblaciones de *S. spinki* en cultivares comerciales y líneas avanzadas del programa de mejoramiento genético del IDIAP, después de su aparición en octubre de 2003.
- Se pudo determinar que el cultivar Idiap 38 y la línea experimental Flar 145, presentaron menores afectaciones por la presencia de la nueva plaga en sus rendimientos, dentro del germoplasma manejado por el IDIAP.
- En cuanto a los cultivares introducidos, Colombia XXI registró bajas poblaciones del ácaro y buenos rendimientos. A partir de estos resultados se pudo sugerir una estrategia varietal para mitigar el impacto negativo de *S. spinki*, en la producción arrocera de Panamá, limitando el uso de variedades como Idiap 2603, Idiap 22 e Idiap L7.

- Es importante destacar, además, que este estudio contribuyó a la preparación del personal del IDIAP en la evaluación de *S. spinki*, conocimiento que sirvió de base para la realización de otras investigaciones relacionadas con las alternativas de manejo de la plaga.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, H; Murillo, P. 2008. Nuevos hospederos y registros de ácaros fitófagos para Costa Rica: Periodo 2002-2008. Agron. Costarricense 32(2):7-28.
- Almaguel, L; Rivero, LE; Ramos, M. 1998. Comportamiento y pruebas preliminares de control del ácaro del vaneo del arroz *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en Cuba. In I Encuentro Internacional de Arroz. Memoria. (La Habana, CU). Memoria. La Habana, CU. p. 183.
- Almaguel, L; Hernández, JJ; de la Torre, PE; Santos, A; Cabrera, RI; García, A; Rivero, LE; Báez, L; Cáceres, I; Ginarte, A. 2000. Evaluación del comportamiento del ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) en los estudios de regionalización

- desarrollados en Cuba. Fitosanidad 4(1-2):15-19.
- Almaguel, L; de la Torre, PE; Cáceres, I. 2004. Suma de temperaturas efectivas y potencial de multiplicación del ácaro del vaneado del arroz (*Steneotarsonemus spinki*, Smiley) en Cuba. Fitosanidad 8(1):37-40.
- Almaguel, L; Botta, E. 2005. Manejo integrado de *Steneotarsonemus spinki* Smiley. Resultados de Cuba y transferencia para la región de Latinoamérica y el Caribe. INISAV. Cuba. 44 p.
- Botta, E; Almaguel, L; González, T; Arteaga, I; Hernández, JJ. 2003. Evaluación del comportamiento de *Steneotarsonemus spinki* Smiley en diferentes variedades de arroz durante los años 2000-2001. Fitosanidad 7(2):25-29.
- Camargo, I; Batista, E; Rivera, E; Him, P; Quirós, E; Name, B; Samaniego, R; Muñoz, L; Quirós Mc, E; Sánchez, B; Montero, G. 2004. Evaluación del rendimiento y otras características en líneas promisorias y variedades comerciales de arroz de ciclo precoz bajo condiciones de secano y riego. IDIAP. Panamá. 2002-2003. In Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Animal (PCCMCA). Memoria. El Salvador. 203 p.
- Camargo, I; Quirós, EI; von Chong, K; Zachrisson, B; González, F. 2006. Guía técnica para el manejo integrado del complejo ácaro-hongo-bacteria en el cultivo de arroz. IDIAP, Panamá. 38 p.
- Cano A, EF. 2005. Determinación de la pérdida de la calidad del grano de arroz en función del manejo de post-cosecha. Tesis Ing. en Ciencias Agrícolas. David, PA, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá. 60 p.
- Cabrera, RI; García, A; Almaguel, L; Ginarte, A. 1998. Microorganismos patógenos del ácaro tarsonémido del arroz *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae). In I Encuentro Internacional de Arroz. (1998, La Habana, CU). Libro de Resúmenes. p. 185.
- Castro, BA; Ochoa, R; Cuevas, FE. 2006. The threat of the panicle

- rice mite, *Steneotarsonmus spinki* Smiley, to rice production in the United States. In Proceeding of the Thirty First Rice Technical Working Group. Febrero 26 al 1 de marzo. The Woodlands, Texas. p. 97-98.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2004. Liberación del arroz: presunciones acerca de sus efectos en el comercio y en los precios. Informes FAO sobre las políticas comerciales relativas a cuestiones relacionadas con las negociaciones de la OMC sobre la agricultura (en línea). Consultado 15 abr. 2011. Disponible en <http://ftp.fao.org/doerep/fao/008/;5931s01.pdf>.
- Hernández-Concepción, LJ. 2004. Mejoramiento para resistencia a plagas con énfasis en *Tagosodes orizicolus*, *Piricularia grisea* y *Steneotarsonemus spinki*. In Curso FAO. Instituto de Investigaciones del Arroz. Cuba. 30 p.
- Hernández-Macías, JJ. 2005. Evaluación de cinco variedades de arroz frente al ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley, la pudrición de la vaina (*Sarocladium oryzae* Sawada) y el manchado del grano, en condiciones de producción en el CAI Arroceros Los Palacios. In III Encuentro Internacional del Arroz (2005, La Habana, CU) Libro de Resúmenes. p. 18-25.
- Herrera, LAR. 2005. Ácaro del vaneamiento del arroz-*Steneotarsonemus spinki* Smiley (Prostigmata: Tarsonemidae). Cienc. Tecnol. (Plegable informativa). (en línea). Consultado 3 mayo 2011. Disponible en <http://www.flar.org/pdf/foro-agosto-pdf05/acaro.pdf>.
- Hummel, NA; Castro, BA; McDonald, EM; Pellerano, MA; Ochoa, R. 2009. The Panicle Rice Mite, *Steneotarsonemus spinki* Smiley, a re-discovered pest of rice in the United States. Crop Protection. 30:1-14.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) – MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). 2009. Plan de acción para la competitividad de la cadena de arroz de Panamá: hacia un mecanismo de reconocimiento de la calidad. Panamá. 79 p.

- IRRI (International Rice Research Institute). 1996. Sistema de evaluación estándar de arroz. INGER. Genetic Resources Center. 20 p.
- Miranda, I; Ramos, M; Fernández, M. 2003. Factores que influyen en la abundancia de *Steneotarsonemus spinki* en arroz, en Cuba. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). 69:34-37.
- Poehlman, JM. 1965. Mejoramiento genético de las cosechas. Centro Regional de Ayuda Técnica. México. p. 197-212.
- Quirós, EI. 2003. Evaluación morfológica y molecular de líneas avanzadas de mejoramiento genético de arroz (*Oryza sativa*) del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 136 p.
- Ramos, M; Rodríguez, H. 2001. Aspectos biológicos y ecológicos de *Steneotarsonemus spinki* en arroz, en Cuba. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). 60: 48-52.
- Ramos, M; Rodríguez, H. 1998. *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae): nuevo informe para Cuba. Rev. Protección Veg. 13(1):25-28.
- Rojas, WC; Belmar, NC; Grau, BP. 1992. Diagnóstico de deficiencias nutritivas en suelos bajo monocultivo de arroz. II Efecto sobre rendimiento de grano y algunas variables agronómicas. Agricultura Técnica 52(2):181-186.
- Zambrano, MJ; Chavarro, CF; González, JA. 1980. Efecto de la época de aplicación del fósforo y el potasio en el rendimiento, calidad molinera y culinaria del arroz (*Oryza sativa* L.). Acta Agronómica 30(1/4):71-77.

EFFECTOS FIJOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DIARIA DE LECHE EN UN SISTEMA DOBLE PROPÓSITO¹

Axel Villalobos-Cortés²; Benigno Guerrero³;

Jessica Hassán⁴; Domiciano Herrera⁵

RESUMEN

Se evaluaron los registros de un hato de vacas Pardo Suizo (S) x Cebú (C), para determinar el efecto de algunos factores fijos sobre la producción diaria de leche (PPD, n=6522). El estudio se llevó a cabo en la unidad de producción de leche de la Estación Experimental El Ejido desde el año 1996 al 2004. Los factores fijos estudiados fueron grupo racial (GR), año de parto (AP), número de parto (NP) y época de parto (EP). Los grupos raciales estudiados fueron $\frac{1}{2}$ S X $\frac{1}{2}$ C y $\frac{3}{4}$ S X $\frac{1}{4}$ C. La media general de PPD fue de 8.10 ± 0.03 kg. Se observaron diferencias significativas para todas las fuentes de variación estudiadas a excepción de EP. Se concluye que la producción lechera está influenciada por los efectos fijos estudiados. Del mismo modo, se evidencia una tendencia a la erradicación de la estacionalidad de la producción láctea. Se recomienda evaluar la curva de lactancia mediante modelos no lineales para una mejor comprensión del comportamiento de estos efectos en la región de Azuero.

PALABRAS CLAVES: Grupo racial, lechería tropical, genotipos, sistema de producción, productividad.

¹Recepción: 13 de septiembre de 2013. Aceptación: 18 de noviembre de 2013. 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. Conservación y Mejora Animal. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).
e-mail: villalobos.axel@gmail.com

³M.Sc. Gestión Agroempresarial y Ambiental. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA).

⁴M.Sc. Agroforestería Tropical. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA).

⁵M.Sc. Nutrición Animal. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA).

FIXED EFFECTS ON MILK DAILY PRODUCTION IN A DUAL PURPOSE SYSTEM

ABSTRACT

It was evaluated the records of a herd of Brown Swiss cows (S) x Cebu (C), to determine the effect of some fixed factors on the daily production of milk (PDP, n= 6522). This study was conducted in the milk production unit at the Experimental Farm El Ejido since 1996 to 2004. The studied fixed factors were racial group (GR), year of calving (AP), parity number (NP) and calving season (EP). The studied racial groups were $\frac{1}{2}$ S X C and $\frac{3}{4}$ S X C. The overall average PPD was 8.10 ± 0.03 kg. Significant differences were observed for all studied sources of variation excepting EP. It is concluded that milk production is influenced by the studied fixed effects. In the same way, it reveals a tendency for the eradication of the seasonality of milk production. It is recommended to evaluate the lactation curve through nonlinear models for a better understanding of the behavior of these effects in the Azuero region.

KEY WORDS: Racial group, dairy tropical genotype, production system, productivity.

INTRODUCCIÓN

La región de Azuero (Herrera y Los Santos) presenta un clima tropical subhúmedo con condiciones severas de baja precipitación y deficiente manejo de tecnologías de la alimentación durante la época seca.

La producción de leche bajo la modalidad de doble propósito, presenta una baja adopción de tecnologías y la población animal se compone de cruces de las especies *Bos indicus* y *Bos taurus*. Aunque la mayoría carece de un encaste definido, debido a la falta de implementación de registros tanto

productivos como reproductivos y un sistema de identificación individual.

Las instalaciones son en su gran mayoría rústicas, algunas tienen el corral y piso de tierra o con galeras y piso de concreto, que no es lo común.

El becerro permanece junto a la madre durante el ordeño, para que exista una mayor producción de leche, hasta el mediodía, cuando son separados de la madre que es la forma tradicional. También existen otras modalidades como el amamantamiento restringido, destete precoz, entre otros.

En comparación con los sistemas especializados, la ganadería doble propósito es menos eficiente en producir leche por día, de manera que el ternero se aprovecha para compensar esta deficiencia. Este sistema utiliza tecnologías de bajo insumo con un mínimo manejo sanitario y reproductivo (Tewolde 1998, Villalobos et al. 2003).

El genotipo predominante en el área de Azuero es el cruce menor al 50% de sangre *Bos taurus*, lo que representa un inconveniente para aquellos productores que deseen dar un salto a un sistema mejorado de producción (Medina et al. 2003).

Según datos de la Contraloría General de La República de Panamá (2011), existen 8 268 explotaciones proveedoras de leche o queso, de las cuales 2881 se encuentran en la región de Azuero, representado el 35% de las explotaciones a nivel nacional, por lo que es innegable su importancia en la producción ganadera, por otro lado, el nivel de intensificación es bajo; menos del 3% de las fincas de esta región, utilizan ordeño mecánico y son lecherías grado A, el resto, son fincas que se ubican en el modelo de lechería doble propósito, cuyo destino es leche grado C o industrial.

Las ventas de leche en la región de Azuero, en su conjunto, son menores al 20% de la producción nacional y con la modalidad de doble propósito, se presenta el reto para los ganaderos de elevar la producción de leche, dado que es un ingreso fijo diario y, generalmente, la solución de las necesidades básicas diarias. Con una producción de leche muy baja (4 kg/animal/día) e interanual muy inestable.

Se ha logrado poco avance genético debido a la falta de esquemas de selección propios y sin objetivos de selección. Las estrategias son simples, establecer objetivos y esquemas de selección acordes a nuestra realidad y adoptar las tecnologías que le permitan mejorar la productividad de los ganaderos sin comprometer sus ingresos. El objetivo de este trabajo es evaluar la producción diaria de leche en un sistema doble propósito durante un periodo de 9 años, en la región de Azuero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo durante los años 1996 al 2004, en la Unidad Productiva de Leche de la Estación Experimental El Ejido del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, en la provincia de

Los Santos. La misma, se encuentra 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 pasto *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Cynodon nlemfuensis* y *Digitaria swazilandensis*, el manejo es pastoreo rotacional y suplementos, utilizando concentrados y mezclas líquidas (melaza, urea, maíz, soya) y una premezcla de sales minerales.

Durante el época seca (enero a mayo) los animales se mantienen bajo estabulación, se alimentan con ensilaje de maíz y el suplemento.

La Unidad Productiva de Leche posee una galera de ordeño mecanizado en tándem con capacidad para cuatro animales y dos ordeños simultáneos. Se practica el doble ordeño sin ternero y se cuenta con tanque de enfriamiento, sala de espera, depósito de medicinas y alimentos.

En cuanto al manejo sanitario y reproductivo se da seguimiento a un calendario de exámenes y tratamientos diseñados sobre el programa VAMPP®.

Se ha utilizado como base de información, 6522 registros de producción diaria de leche entre los años 1996 y 2004, del núcleo de Control de la Estación Experimental El Ejido.

Se ha considerado que desde el año 1996 al 2000 se operaba el sistema de un ordeño diario con ternero al pie de la vaca, los terneros se llevaban hasta el destete a edades de 8 a 10 meses y se manejaba una rotación de potreros con cuadras de 2500 m².

Desde el año 2000 se modificó el sistema mediante la inclusión de una máquina de ordeño aumentando los mismos a dos diarios y eliminando el apoyo del ternero, además el periodo de destete se limitó a cuatro meses y se añadió a la dieta, una suplementación adicional, para compensar esta reducción en el tiempo. Se estableció la técnica de cercas eléctricas para optimizar el uso de los pastos.

Se hizo un análisis descriptivo de la producción diaria de leche. Para ello, se aplicó un Modelo de Efectos Fijos; fueron calculadas las medias, para producción por día (PPD), como efecto del genotipo ($\frac{1}{2}$ Pardo Suizo (S) x $\frac{1}{2}$ Cebú (C) y $\frac{3}{4}$ S X $\frac{1}{4}$ C), del año de parto (1996-2004), época de parto

(lluviosa y seca) y el número de parto (de una a siete lactaciones). Cuando el número de parto fue superior a siete, se agrupó en esta categoría. También, fueron calculadas las medias de mínimos cuadrados para la producción diaria de leche, para los efectos del genotipo, año de parto, época de parto, número de lactación. Los datos fueron ajustados tres desviaciones estándar por encima y debajo de la media y se utilizaron como covariables, los días en lactación y la edad de la vaca al momento del parto.

El análisis de la influencia de los efectos considerados sobre la producción de leche por día se realizó según el siguiente modelo:

$$Y_{ijklmo} = \mu + G_i + AP_j + NP_k + EP_l + \beta_1 (X_i - X)_m + \beta_2 (X_i - X)_o + \varepsilon_{ijklmo}$$

Donde:

Y_{ijklmo} = Variable dependiente (kg de leche por día); μ = Media general; G_i = Efecto fijo del genotipo ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$); AP_j = Efecto fijo año de parto (1996-2004); NP_k = Efecto fijo de la número de parto de (1, 2, ..., 7); EP_l = efecto fijo de época de parto (Seca y lluviosa); $\beta_1 (X_i - X)_m$ = Covariable días en lactación; $\beta_2 (X_i - X)_o$ = Covariable edad de la vaca; ε_{ijkl} = Error aleatorio asociado a las observaciones.

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción diaria de leche, mostró una media general y error estándar de 8.10 ± 0.03 kg ($P=0.0001$). Los datos reportados son similares a Guerra et al. (1998) en Chiriquí - Panamá, con 8.06 kg, mayores a los que encontraron Parra y Bracamonte (2005) en Yucatán - México, quienes reportan una producción diaria de leche de 5.8 ± 0.1 kg, Sheen y Riesco (2002) en Perú, reportan una producción de 5.2 kg de leche y menores a los reportados por Morillo et al. (1997) en Venezuela con una producción de 9.4 kg.

Todos los efectos estudiados resultaron significativos ($P < 0.001$) en su influencia sobre la producción diaria de leche, a excepción de la época de parto.

Es importante recalcar que la producción de leche obtenida en este sistema es mediante el uso de tecnologías de bajo insumo y generadas localmente, para evitar que haya carencia de alimentos durante las fechas críticas, particularmente durante la época seca, cuando el recurso pasto disminuye

drásticamente y, en consecuencia, la producción de leche disminuye, reflejando menores ingresos para el productor.

En este trabajo, se observó que no hay diferencia significativa ($P > 0.05$) al evaluar la época de parto. Datos similares, encontraron Parra-Bracamonte (2005) al evaluar la producción diaria de leche, siendo similar en las épocas evaluadas. Se encontraron diferencias significativas al evaluar el genotipo ($P < 0.001$), siendo el $\frac{3}{4}$ S X $\frac{1}{4}$ C el que mejor comportamiento presentó con 7.75 ± 0.067 kg sobre los animales media sangre 7.28 ± 0.060 kg (ver Figura).

Estos resultados difieren a los obtenidos por Aluja et al. (1998) reportando que los genotipos F_1 presentaron mejores comportamientos en la producción por día sobre animales $\frac{3}{4}$ Europeo x $\frac{1}{4}$ Cebú; similares resultados encontraron Teodoro y Madalena (2005) quienes mencionan que a medida que el encaste aumenta, se espera una aparente disminución de la producción, por el efecto ambiental, manejo y alimentación (McDowell 1985). Se espera que ante estas variaciones del ambiente sobre los grupos raciales evaluados, el genotipo F_1 , presente mejores propiedades productivas (Teodoro 2004).

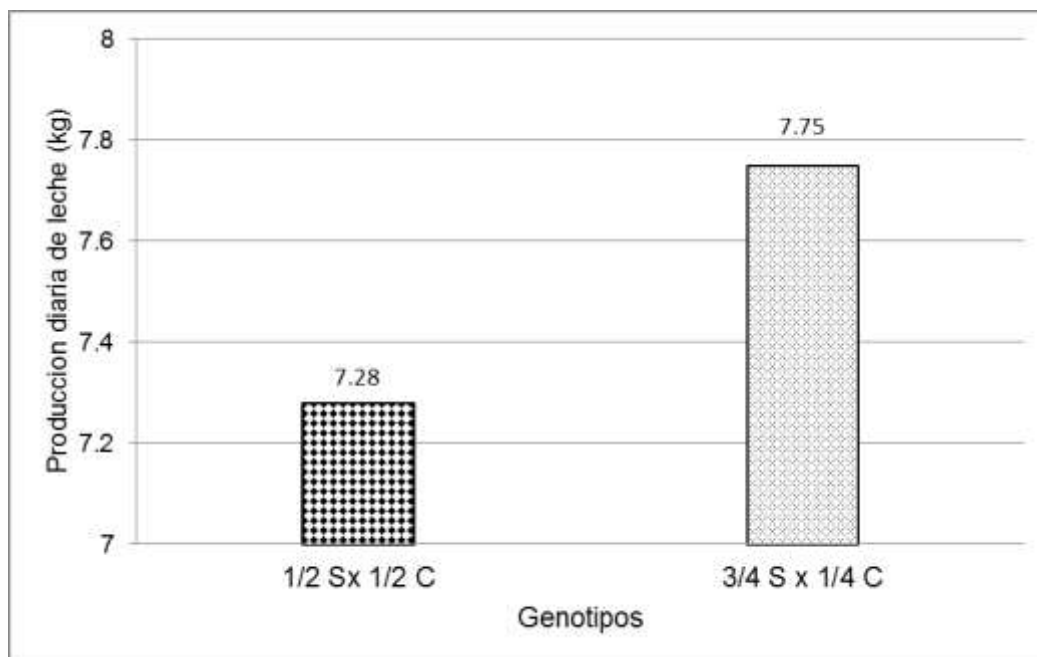


Figura. Comparación de la producción diaria de leche por genotipos $\frac{1}{2}$ S x $\frac{1}{2}$ C $\frac{3}{4}$ S x $\frac{1}{4}$ C.

La alta producción obtenida por los genotipos $\frac{3}{4}$ S X $\frac{1}{4}$ C mostró el buen manejo de la alimentación, sobre todo en la época seca donde las vacas son alimentadas en confinamiento y ensilaje de maíz, lo que mantiene a los animales en su zona de confort, evitando pérdidas de energía sobre todo en la búsqueda de forraje, que como es de esperarse, aumenta debido a la falta del mismo en dicha época.

Es importante observar la variación interanual dado que, con los efectos ambientales atribuidos al cambio climático, podrían existir diferencias entre años, así como las variaciones en el manejo y tipo de alimentación.

En este sentido, se destaca en el Cuadro 1, el año 2000, en el cual se introdujo el sistema de ordeño mecánico sin ternero al pie de la vaca, como la mayor producción por día de la leche vendible, con una diferencia estadísticamente significativa respecto a los años 1996, 1997, 1998 y 1999, formándose dos grupos o niveles de intensificación, entre los años 1996 al 1999 y 2000 al 2004. El promedio obtenido entre ordeño manual y mecánico fue de 6.59 ± 0.14 y 8.25 ± 0.08 respectivamente con una diferencia de 25% de la producción de leche para la venta.

CUADRO 1. VARIACIÓN INTERANUAL DE LA PRODUCCIÓN POR DÍA.

Año de Parto	Producción diaria (kg)	ee
1996	6.02 ^a	0.19
1997	6.64b	0.14
1998	6.42b	0.13
1999	7.27c	0.10
<i>Promedio</i>	<i>6.59</i>	<i>0.14</i>
2000	8.66d	0.08
2001	8.23e	0.07
2002	8.33e	0.07
2003	8.03e	0.08
2004	8.01e	0.09
<i>Promedio</i>	<i>8.25</i>	<i>0.08</i>

ee = Error estándar. Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí ($P > 0.05$).

El número de parto ha ejercido una influencia notable sobre la producción de leche por día. En este sentido, las producciones diarias fueron mayores en vacas de 3ª lactación con 7.66 ± 0.062 kg como puede apreciarse en el Cuadro 2, sin embargo no hubo diferencia estadística entre el 2ª, 3ª, 4ª y

5ª parto atribuido a que las vacas posterior a la 2ª lactancia están alcanzando su madurez fisiológica y su máximo potencial de producción, por lo tanto, se requieren por lo menos dos partos para alcanzar los máximos niveles de producción de leche (Chirino-Enoel et al. 2012).

CUADRO 2. PRODUCCIÓN DIARIA DE LECHE POR NÚMERO DE LACTANCIA.

NL	kg	ee
1	7.16a	0.09
2	7.84b	0.07
3	7.87b	0.06
4	7.75b	0.08
5	7.63b	0.11
6	7.30a	0.13
7	7.03a	0.17

ee = Error estándar.

Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí ($P>0.05$).

CONCLUSIÓN

– De los nueve años de control lechero en los genotipos Pardo Suizo x Cebú en la Estación Experimental El Ejido, se observó que la producción lechera está influenciada de forma significativa por los efectos fijos estudiados (genotipo, año, y número de parto). Se evidencio una elevada longevidad productiva de los animales, así como una tendencia a la erradicación de la estacionalidad de la producción láctea, hecho que puede relacionarse con la correcta gestión de la información que genera

el uso de controles lecheros y el manejo de la alimentación en las fechas de menor disponibilidad de pastos.

BIBLIOGRAFÍA

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. (1998, Villa Hermosa, Tabasco). Memoria. Tabasco, MX. p. 85-87.

- Contraloría General de la República de Panamá. 2011. Séptimo censo nacional agropecuario, 22 al 29 de abril de 2001, Resultados Finales. (en línea). Panamá, PA. Consultado 26 jul. 2013. Disponible en http://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Default.aspx?ID_CATEGORIA=15&ID_SUBCATEGORIA=60
- Chirino-Enoel, A; Véliz-Deras, F; Meza-Herrera, C.; Ángel-García, O; Sepúlveda-González, E; Mellado-Bosque, M. 2012. Factors Affecting Milk Yield of Holstein Cows Hormonally Induced to Lactation. *Agraria* 9(3):103-112.
- Guerra, P; González, M; Morales, 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.
- McDowell, R. 1985. Crossbreeding in tropical areas with emphasis on milk, health and fitness. *Journal of Dairy Science*. 68:2418-2435.
- Medina, M; Villalobos, A; Herrera, D. 2003. Identificación de los factores condicionantes de la adopción de agrotecnologías en Fincas de Doble Propósito en la Región de Azuero.
- Morillo, D; Mármol, J; Rivera, A. 1997. Producción de leche y cambio de peso vivo de vacas mestizas con subsitución parcial de alimento concentrado por harina de Leucaena. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 5(Supl. 1):132-134.
- 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. *Genetics and Molecular Research* 4 (3): 482-490 (2005).
- Sheen, R; Riesco, A. 2002. Factores que afectan la producción de leche en vacas doble propósito en trópico húmedo. (Pucallapa) *Rev Inv Vet Perú* 13(1):25-31.
- Teodoro, R; Madalena, F. 2005. Evaluation of crosses of Holstein, Jersey or Brown Swiss sires x

- Holstein-Friesian/Gyr dams. 3. Lifetime performance and economic evaluation. Genet. Mol. Res. 4(1):84-93.
- Teodoro, R. 2004. Estrategias de cruzamientos para bovinos doble propósito en el trópico. Producción y Reproducción en Doble Propósito. In II Seminario Internacional de PROMEGA. (2004, Panamá). Memoria. Panamá, PA. p. 145-158.
- Tewolde, A. 1998. Los sistemas de producción bovina de doble propósito y los recursos genéticos. IV Foro de Análisis de los Recursos Genéticos: Ganadería de doble propósito. (1998, Villa Hermosa, Tabasco). Memoria. Tabasco, MX. p. 29-43.
- 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 M.Sc. Tamaulipas, MX. Universidad Autónoma De Tamaulipas. 106 p.

CULTIVARES DE CAMOTE EN LA PRODUCCIÓN DE ETANOL¹

SWEET POTATOES CULTIVARS IN ETHANOL PRODUCTION

*Rodolfo Morales Muñoz*²

INTRODUCCIÓN

El modelo de desarrollo occidental se ha basado en un alto consumo de energía. Gran parte de la energía que se consume proviene de los combustibles fósiles derivados del petróleo. El petróleo es un recurso finito, se estima que la producción mundial pasó por un máximo entre los años 2000 y 2010 (Ivanhoe 1996). A partir de ese momento la producción disminuirá hasta que se agote este recurso.

Los biocombustible (biogás, etanol y biodiesel) son una alternativa para paliar la carencia de combustibles fósiles. Entre las principales materias primas para la producción de etanol están aquellas que producen jugos ricos en azúcares fermentables como la caña de azúcar, el sorgo dulce y la remolacha azucarera. Las que son ricas en almidones como: maíz, yuca, papa y el camote. Por último, están los materiales lignocelulósicos como el aserrín de madera, bagazo de caña, paja, cáscara de arroz, entre otros.

Los esfuerzos por contrarrestar los altos precios de los combustibles fósiles con biocombustible comenzaron en Brasil en 1975 con el programa PROALCOOL (Dos Santos 2011). Desde entonces este país ha desarrollado la producción de etanol usando principalmente la caña de azúcar como materia prima. Sin embargo, todas las tierras no son aptas para este cultivo, ya sea por latitud, fertilidad, disponibilidad de riego y mecanización.

Es conocido que las grandes extensiones de monocultivos tienen un impacto ecológico, así como riesgos de que se puedan desarrollar con más facilidad plagas y enfermedades.

¹ Recepción: 4 de septiembre de 2013. Aceptación: 12 de noviembre de 2013. Resultados del Proyecto: Evaluación de almidones y materiales lignocelulósicos en la producción de biocombustibles e intermediarios químicos. Financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT).

² M.Sc. en Industrias Agrícolas y Alimentarias. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central "Carlos Wynter" (CIAC). e-mail: rodolfommz@yahoo.com

El almidón de camote (*Ipomea batata*, L.) ha sido estudiado para la producción de etanol, tanto por hidrólisis ácida (Kim y Handy 1985) como por hidrólisis enzimática, en un proceso de sacarificación y fermentación simultánea (Purohit y Mishra 2012).

En la hidrólisis ácida, la velocidad de la reacción y la concentración del inhibidor hidroximetilfurfural es función de la concentración del ácido, la temperatura y el tiempo. Los azúcares reductores se forman rápidamente pero también se destruyen de manera rápida, mientras que en la hidrólisis enzimática, las condiciones son más moderadas y los rendimientos en azúcares reductores son mayores.

La producción de etanol por fermentación alcohólica está fuertemente influenciada por la concentración de los azúcares, la población de levaduras en el inóculo, el pH, la temperatura, la agitación y la presencia de inhibidores. Los inhibidores pueden ser ácidos orgánicos (acético, fórmico y levulínico), derivados furanos (furfural y 5-hidroximetilfurfural) y compuestos fenólicos (Chandel et al. 2011).

Normalmente, la industria productora de etanol utiliza un mosto con 180 g/lit de azúcares fermentables, así se evita la inhibición de la fermentación por una alta concentración de azúcares o de etanol. Para disminuir los costos de energía durante la destilación de los vinos, se ha investigado tanto en la sacarificación y fermentación simultánea como en la fermentación extractiva. En ambos tipos de fermentación, se busca utilizar mostos con una mayor concentración de azúcar.

La fermentación extractiva permite disminuir la inhibición por extracción del etanol y otros inhibidores con la ayuda de un solvente. Como solvente de extracción se ha usado ácido oleico, hexadecano, butil laurato y aceite de soja (González y Díaz 2009).

En Panamá, a partir de abril de 2013 se ha previsto que la gasolina que se venda en las surtidoras deberá tener un 2% de etanol según la Ley 42 de abril de 2011, publicado en Gaceta Oficial Digital # 26770 (Asamblea Nacional de Panamá 2011). La industria nacional, utiliza como materia prima la caña de azúcar. Sin embargo, el cultivo de camote puede ser usado y mecanizado así en su totalidad para la producción de etanol.

En el Banco de Germoplasma *in vitro* de IDIAP, en Divisa, se cuenta con 43 accesiones de camote. De estos materiales se han evaluado cuatro que tienen una producción aproximada de treinta toneladas de biomasa por cada ciclo del cultivo.

Con el propósito de establecer el tipo de cultivar de camote que sería adecuado para la producción de etanol a partir de su almidón nativo, se compararon cuatro cultivares de camote, uno importado y tres nacionales, en dos sistemas de fermentación, usando como control almidón de papa Sigma S-4501.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se condujo en el Laboratorio de Agroindustria de IDIAP, en Divisa. El diseño fue Completamente al Azar con arreglo factorial 5x2 con tres repeticiones. En total se obtuvo 10 tratamientos y 30 observaciones. Los factores fueron el tipo de almidón y el tipo de fermentación. Las variables de respuesta fueron: los azúcares reductores totales consumidos (ARTCONS), el recuento de células de levadura y la concentración de etanol en el fermento.

El almidón nativo de los tubérculos fue extraído artesanalmente (Wheatley et al. 1997). Muestras de 125 g de cada almidón, se mezclaron con 750 ml de H_2SO_4 0.25 M. Se hidrolizaron en autoclave a 121 °C durante 30 minutos.

El hidrolizado se neutralizó por adición de $CaCO_3$ hasta pH 4.5. Se filtró el precipitado de $CaSO_4$ con papel filtro Whatman # 1. Al filtrado con pH 4.5, se le determinó el contenido de azúcares reductores totales (ART) usando el método del ácido 3,5 - dinitrosalicílico (DNS) y luego, se ajustó a 250 g/l con glucosa. Se adicionó fósforo a razón de 0.016 g de P/g de ART y nitrógeno a razón de 0.008 g de N/g ART.

El inóculo se preparó por triplicado usando 60 ml de hidrolizado en un Erlenmeyer de 250 ml, al cual se le añadió el crecimiento de *S. cerevisiae* var. *ellipsoideus* de tres platos Petri conteniendo el medio de cultivo, agar extracto de malta. Cada inóculo se fermentó a 32 °C, 100 rpm durante 24 horas.

Después de controlada la calidad de cada inóculo, se hizo una mezcla de las réplicas de inóculo para cada almidón y de ésta se tomó 10 ml para inocular

40 ml de cada réplica de hidrolizado respectivo. Los recuento de los inóculos estuvieron entre 50.75 y 92.50 x 10⁶ Ufc/ml.

Para la fermentación extractiva a cada réplica se le añadió 50 ml de aceite de soya refinado estéril. Los matraces de la fermentación no extractiva solo contenían el hidrolizado más el inóculo.

Todas las muestras, después de inoculadas, fueron colocadas en un baño María con agitación recíproca a 100 rpm y 32 °C durante 24 horas. Después de la fermentación, a cada muestra se le determinó el contenido de azúcares reductores totales, el número de células de levaduras por ml usando una cámara de Neubauer y el contenido de alcohol etílico utilizando la cromatografía de gases.

Para la cromatografía de gases, se usó el cromatógrafo *Agilent 7890 A*, equipado con el programa *Agilent ChemStation* y una columna capilar DB WAX de 29 m x 0.25 mm x 0.25 µm. El flujo del gas acarreador, nitrógeno, fue de 3.0 ml/ min. Se inyectó una muestra de 0.2 µl en el inyector “*Cool On Column*” en modo sin división. El horno comenzó con una temperatura inicial de

30 °C durante un minuto, luego la primera rampa de 6.5 °C/minuto hasta alcanzar 80 °C. Una segunda rampa de 30 °C/minuto hasta alcanzar 200 °C manteniéndose a esta temperatura por un minuto. La temperatura del inyector fue de 33 °C y la del detector de 200 °C.

Para calcular la concentración de etanol en los hidrolizados fermentados, se utilizó la metodología empleada por Wang (Wang et al. 2003). Se preparó una solución estándar de etanol (99.6% puro) al 1% p/v y una solución de estándar interno de acetonitrilo (99.9% puro) al 1% p/v. Para obtener el factor de respuesta relativa, la solución de etanol se mezcló con la solución de acetonitrilo en las siguientes proporciones de volumen por volumen de etanol: acetonitrilo; 15:1, 10:1, 5:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:5, 1:10 y 1:15.

Se corrió un cromatograma para cada mezcla y, luego, se construyó una curva de regresión lineal de la relación de área bajo la curva (ABC) del pico de etanol al pico de acetonitrilo (eje Y) contra la relación de concentración de etanol a acetonitrilo (eje X). El factor de respuesta relativa (FRR) es la pendiente de la línea de regresión en la ecuación 1: $FRR = (A_m/P_m) \div (A_{EI}/P_{EI})$; en donde $A_m =$

ABC del pico de etanol, A_{EI} = ABC del pico de acetonitrilo, P_m = peso de etanol (mg), P_{EI} = peso de acetonitrilo (mg).

Para la determinación de etanol en los fermentos, se tomó 1.5 ml del fermento, se centrifugó a 14 000 rpm durante 10 minutos, del sobrenadante se hizo una dilución 1/10 en agua destilada. De esta dilución 1/10 se tomó 1 ml y se mezcló con 1 ml de solución patrón de acetonitrilo al 1% p/v, se agitó en vórtex y se inyectó 0.2 μ l en el cromatógrafo de gases.

El contenido de etanol en cada fermento, se calculó usando la ecuación 2: Etanol (mg/ml) = $(A_m/A_{EI}) \times (P_{EI}/FRR) \times 1/V$; donde V=volumen de la muestra (ml). El análisis estadístico de los resultados se hizo con el programa InfoStat (Balzarini et al. 2008, Di Rienzo et al. 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza para las variables: ARTCONS, el recuento de células de levadura y la concentración de etanol, en los almidones hidrolizados y fermentados muestra que hay diferencias altamente significativas entre los tratamientos $F=5.44$ ($P>0.0008$). El

tipo de almidón tiene un efecto altamente significativo para las tres variables de respuesta con valores de F de 10.7, 11.53, 10.58 y ($P>0.0001$), respectivamente. El factor tipo de fermentación tiene un efecto altamente significativo sobre la variable de respuesta concentración de etanol $F=24.19$ ($P>0.0001$). La interacción almidón * fermentación tiene efecto significativo para la variable de respuesta recuento de células de levadura $F=3.25$ ($P>0.0331$).

El R^2 para las variables ARTCONS, recuento de células de levadura y concentración de etanol son: 0.71, 0.76, y 0.78, respectivamente. Los coeficientes de variación en el mismo orden son: 7.7, 31.55 y 10.91, respectivamente (Cuadro 1). La medición de las variables ARTCONS y concentración de etanol tienen una precisión aceptable, mientras que la medición del recuento de células de levaduras es poco precisa y se debe tomar en cuenta como una medida descriptiva. La falta de precisión se interpreta como una consecuencia de la variabilidad en la población de células en los inóculos.

CUADRO 1. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ARTCONS (g/lit), RECUENTO DE CÉLULAS DE LEVADURA (Ufc/ml) Y ETANOL (g/lit) EN LA COMPARACIÓN DE CUATRO CULTIVARES DE CAMOTE.

F de V	gl	CUADRADOS MEDIOS		
		ARTCONS (g/lit)	(Ufc/ml) x10 ⁶	ETANOL (g/lit)
Tratamiento	9	435.78**	14.70**	154.35**
Almidón	4	857.72**	11.53**	209.43**
Fermentación	1	12.69	3.95	478.56**
Almidón x Fermentación	4	119.62	3.25*	18.21
Error	20	80.15	2.10	19.79
CV (%)		7.70	31.55	10.91

ARTCONS = Azúcares reductores totales consumidos. Ufc = Unidades formadoras de colonias.

La prueba de comparación de media de Duncan (Cuadro 2) muestra cinco grupos de almidón para la variable ARTCONS, cuatro grupos para la

variable recuento de células de levadura y dos grupos para la variable concentración de etanol.

CUADRO 2. PRUEBA DE DUNCAN PARA ARTCONS (g/lit); RECUENTO DE CÉLULAS DE LEVADURA (Ufc/ml) Y ETANOL (g/lit) EN LA COMPARACIÓN DE CUATRO CULTIVARES DE CAMOTE.

Hidrolizado de almidón fermentado	Promedio ARTCONS (g/lit)	(Ufc/ml) x10 ⁶	Etanol (g/lit)
440067	116.96 ^{bc}	4.14 ^{ab}	34.57 ^a
DLP 3858	127.17 ^{cd}	7.72 ^c	43.27 ^b
DLP 3869	102.14 ^a	5.18 ^b	44.28 ^b
DLP 3890	106.39 ^{ab}	3.43 ^{ab}	47.33 ^b
SIGMA S-4501	128.74 ^d	2.48 ^a	34.48 ^a

ARTCONS = Azúcares reductores totales consumidos. Ufc = Unidades formadoras de colonias.

El coeficiente de correlación de Pearson (Cuadro 3) entre la variable concentración de etanol y tipo de fermentación es de 0.52. Es una

correlación positiva que confirma el efecto positivo de la fermentación extractiva en la producción de etanol.

El coeficiente de correlación de Pearson entre las variables concentración de etanol y ARTCONS es de -0.49, esto significa que a medida que los ARTCONS aumentan, la producción de etanol disminuye. Se esperaba que la correlación fuera positiva si al aumentar los ARTCONS estos se convirtieran solamente en etanol. Pero sucede lo contrario, entonces se interpreta que los ARTCONS aumentan porque se

convierten en inhibidores, que a su vez disminuyen la producción de etanol.

El recuento de células de levadura disminuye con la fermentación extractiva y con el tipo de almidón. Sus coeficientes de correlación de Pearson son -0.22 y -0.45, respectivamente. Estos resultados requieren más estudio para poder ser explicados.

CUADRO 3. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON.

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
MILLCEPRML	ARTCONS	30	0.12	0.5148
ETANOL	ARTCONS	30	-0.49	0.0063
ETANOL	MILLCEPRML	30	0.16	0.4025
ALMIDÓN	ARTCONS	30	0.03	0.8797
ALMIDÓN	MILLCEPRML	30	-0.45	0.0133
ALMIDÓN	ETANOL	30	0.07	0.7087
FERMENTACIÓN	ARTCONS	30	-0.05	0.8015
FERMENTACIÓN	MILLCEPRML	30	-0.22	0.2473
FERMENTACIÓN	ETANOL	30	0.52	0.0034
FERMENTACIÓN	ALMIDÓN	30	0.00	>0.9999

CONCLUSIONES

– Los cultivares de camote con mayor potencial para la producción de etanol fueron los nacionales: DLP 3858, DLP3869, DLP3890 cuyos almidones hidrolizados y fermentados tuvieron una concentración de etanol de 43.27, 44.28 y 47.33 g/lit, respectivamente.

– Se confirma que la fermentación extractiva tiene un efecto positivo en la producción de etanol.

– Se puede utilizar cualquiera de los almidones nativos de los cultivares de camotes nacionales DLP 3858, DLP3869, DLP3890, para evaluar la producción de etanol por fermentación extractiva usando otros solventes.

RECOMENDACIONES

- Para evaluar la concentración del etanol, así como los inhibidores en la fase orgánica (solvente) se podría recurrir al uso de la espectrometría de infra rojo cercano.
- Se debería ensayar la fermentación con extracciones sucesivas por más de 24 horas hasta agotar los azúcares de la fase acuosa y explicar con más detalles el efecto de los inhibidores sobre la fermentación de hidrolizados de almidón, monitoreando su concentración con la ayuda de la cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC).

BIBLIOGRAFÍA

- Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Casanoves, F; Di Rienzo, JA; Robledo, CW. 2008. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina, 336 p.
- Chandel, AK; Da Silva, SS; Singh, OV. 2011. Detoxification of Lignocellulosic Hydrolysates for Improved Bioethanol Production in Biofuel Production – Recent Developments and Prospects. InTech, Croatia, 684 p.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- González, CP; Díaz, M. 2009. Fermentación alcohólica del lacto suero por *Kluyveromyces marxianus* y solventes orgánicos como extractantes. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología 29(2): 110-116.
- Ivanhoe, LF. 1996. Updated Hubbert curves analyze world oil supply. World Oil 9: 91-94.
- Kim, K; Handy, MK. 1985. Acid hydrolysis of sweet potato for ethanol production. Biotechnology and Bioengineering 27(3): 316-20.
- Asamblea Nacional de Panamá. 2011. Ley Nº 42 de 20 de abril de 2011, Que establece lineamientos para la política nacional sobre bio-combustibles y energía eléctrica a partir de biomasa en el territorio nacional (en línea). Gaceta Oficial 26770. Consultado el 8 jul. 2013. Disponible

- en:<http://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/26770/32564.pdf>.
- Purohit, SR; Mishra, BK. 2012. Simultaneous Saccharification and Fermentation of Overnight Soaked Sweet Potato for Ethyl Alcohol Fermentation. *Advance Journal of Food Science and Technology* 4(2): 56-59.
- Dos Santos, MA. 2011. Biofuel Production – Recent Developments and Prospects. In *Tech. Croatia*. 684 p.
- Wang, ML; Choong, YM; Su, NW; Lee, MH. 2003. A Rapid Method for Determination of Ethanol in Alcoholic Beverages Using Capillary Gas Chromatography. *Journal of Food and Drug Analysis*. 11(2): 133-140.
- Wheatley, C; Liping, L; Bofu, S. 1997. Enhancing the role of small-scale sweet potato starch enterprises in Sichuan, China. *International Potato Center Program Report 1995-1996*. p. 270-275.

Publicación anual del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)

Costo de la revista 15.00 dólares de E.E.U.U. por unidad. Para pedidos fuera de Panamá, agregar el costo de envío en dólares E.E.U.U.: 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 que pertenecen al IDIAP e Instituciones asociadas, será sin costo alguno. Otros artículos tendrán un costo de \$ 20.00 por página.

Todos los trabajos que ingresan a la revista se evalúa que cumplan con el formato establecido. Una vez revisado y ajustado al formato de la revista, son enviados a especialistas que revisan el fondo del trabajo 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.

Los artículos que mencionen productos químicos, deberán hacerlo por el nombre del ingrediente activo.

Correspondencia relativa a la suscripción y canje debe dirigirse a:
CIENCIA AGROPECUARIA - Revista Científica
Centro de Información Documental Agropecuaria (CIDAGRO)
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC)
Tel. (507) 976-1265 ó 976-1168 fax. 976-1349
e-mail: cidagro.idiap@idiap.gob.pa

Correspondencia relacionada con el contenido editorial deben enviarse al
Departamento de Edición y Publicaciones
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
Tel. (507) 500-0519/0520/0521/0522
e-mail: cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa
Web: idiap.gob.pa
Edificio: 161
Clayton – Ciudad del Saber
IDIAP. 2013. Derechos reservados

Impresión
200 ejemplares
Digitalización
200 unidades

Esta publicación fue financiada con fondos del IDIAP
bajo la administración del Dr. Paulo E. Ducasa C. – Director General

