

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

El análisis de la interacción genotipo por ambiente se hizo mediante el

repeticiones, de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$X_{IJK} = \mu + G_I + B_J + A_K + (G A)_{IK} + \varepsilon_{IJK}$$

Donde:

X_{IJK} = Valor del carácter estudiado

μ = Media general

G_I = Efecto de genotipo

B_J = Efecto de repetición

A_K = Efecto de ambiente

$(G A)_{IK}$ = 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 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 llamado "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.

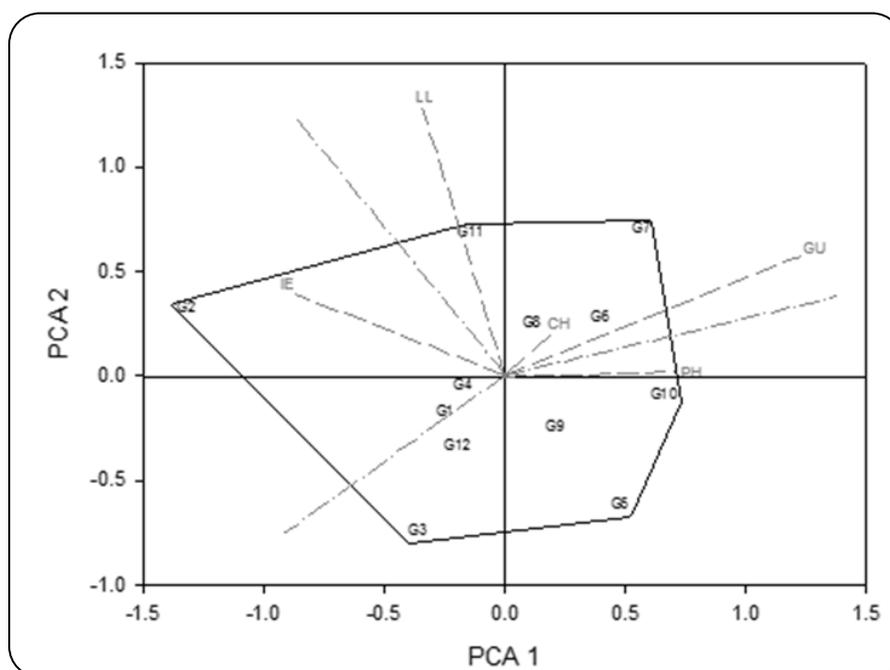


Figura 1. Gráfica Biplot GGE-SReg, para rendimiento de grano de 12 cultivares en cinco ambientes de secano. IDIAP-2007.

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 $t\text{ha}^{-1}$ (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. ($t\text{ha}^{-1}$)	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

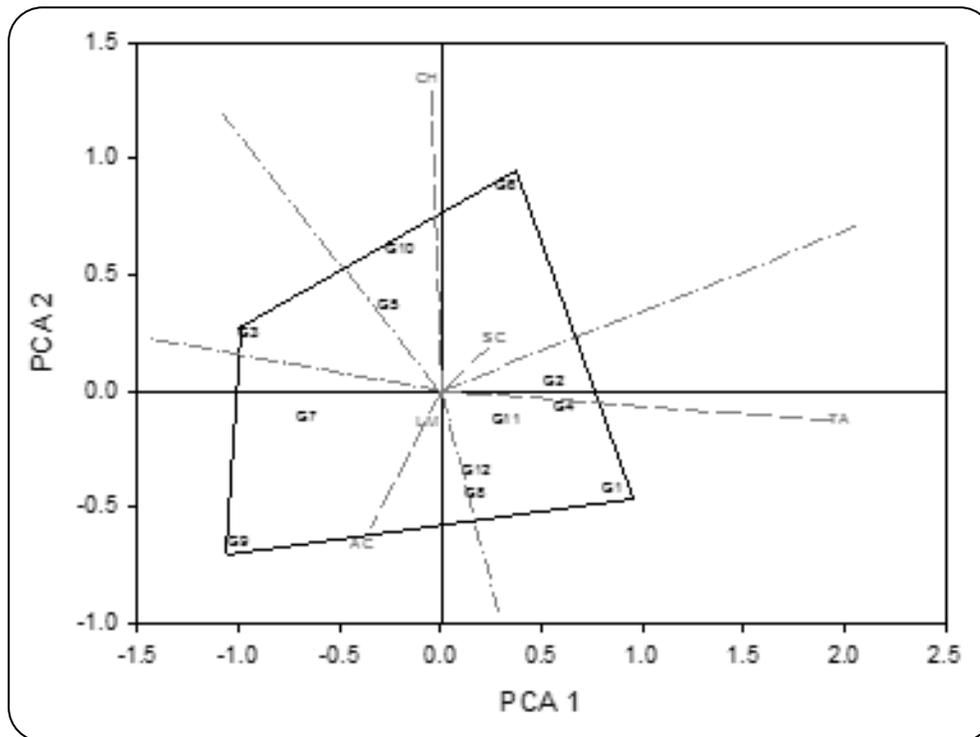


Figura 2. Gráfica Biplot GGE-SReg, para rendimiento de grano de 12 genotipos en cinco ambientes de riego por trasplante. IDIAP-2007.

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 mg/kg 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	P. Arriba	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	16.69	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			12.46	7.79	9.30	9.89	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								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, CS; Binns, MR. 1994. Concepts and methods for analyzing regional trial data for Cultivar and location selection. *Plant Breeding Reviews* 12:271-297.
- Lin, CS; Binns, MR; Lefkovith, LP. 1986. Stability Analysis. Where do we stand? *Crop Sci.* 26:894-900.
- Martínez, C; Borrero, J; Tohme, J. 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; Sison, C. 2009. Protocolos de muestreos en cultivos para análisis de micronutrientes. HarvestPlus. Serie de monografías técnicas 7. 20 p.
- 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.
- Yan, W; Cornelius, P; Crossa, J; Hunt, LA. 2001. Two types of GGE Biplots for analyzing multi - environment trial data. *Crop Sci.* 41:656-663.
- Yan, W; Rajcan, I. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42:11-20.
- Zobel, RW; Wright, MJ; Gauch Jr, HG. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:388-393.