

ESTABILIDAD DE TRES GRUPOS RACIALES BOVINOS DEL SISTEMA DOBLE PROPÓSITO EN 10 AMBIENTES DE PANAMÁ¹

Pedro Guerra-Martínez²

RESUMEN

Los estudios de mejoramiento genético de bovinos del sistema doble propósito, enfocados a la mayor producción de leche por lactancia y estables en una amplia gama de condiciones ambientales, enfrenta factores ambientales que enmascaran el potencial de los genotipos. La interacción genotipo-ambiente (GxA) puede hacer que esta predicción sea imprecisa. El objetivo de este estudio fue evaluar la estabilidad productiva de tres grupos raciales de bovinos doble propósito en 10 ambientes de Panamá. Los datos se obtuvieron del Proyecto IDIAP-CIID (1991) de 17 fincas (FINCA) en total. Los grupos raciales (GEN) fueron: CEBU, <50%E y >50%E. Los ambientes (ENV) se derivaron del estudio de dos modalidades del sistema doble propósito (Tradicional, T y Mejorado, M) en cinco ecosistemas de Panamá (Los Santos, Gualaca Alto, Gualaca Bajo, Bugaba Bajo y Bugaba Medio). Para obtener las medias ajustadas, los datos se analizaron por un modelo mixto de diseño completamente al azar (desigual número de réplicas) con arreglo de parcelas divididas. ENV fue la parcela principal y GEN la subparcela. GEN fue efecto fijo, FINCA(ENV), ENV y ENV*GEN se consideraron efectos aleatorios. Posteriormente se aplicó el modelo de regresión en los sitios (Biplot GGE-SReg). La variable de estudio fue producción de leche ajustada a 280 días (PTL-280d). Los efectos ENV no fueron significativos ($P>0,05$), pero los efectos GEN y ENV*GEN fueron altamente significativos ($P<0,01$). El GEN más sobresaliente en PTL-280d, pero no muy estable fue >50%E, seguido por ≤50%E y CEBU. La localidad más favorable fue BBSM (Bugaba Bajo Sistema Mejorado) y para estudios de discriminación de GEN fue BBST (Bugaba Bajo Sistema Tradicional). El método Biplot GGE-SReg permitió identificar el mejor GEN y ENV en sistemas bovino doble propósito.

PALABRAS CLAVES: Biplot GGE-SReg, producción láctea, potencial genético, ecosistemas.

¹Recepción: 29 de enero de 2018. Aceptación: 28 de marzo de 2018. Contribución del Proyecto “Difusión y adopción de tecnologías generadas por IDIAP en fincas familiares ganaderas en Chiriquí, Veraguas y Los Santos. IDIAP.

²M.Sc. Mejoramiento Genético Animal. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Chiriquí. Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega”. e-mail: pedroguerram16@gmail.com

STABILITY OF THREE BOVINE BREED GROUPS FROM THE DUAL PURPOSE SYSTEM IN 10 ENVIRONMENTS OF PANAMA¹

ABSTRACT

Studies of animal breeding of bovines of the dual purpose system focus on high milk yield per lactation and stable in a wide range of environmental conditions faces environmental factors that mask the potential of the genotypes. Genotype-environmental interaction (GxE) can make that this prediction not be precise. The objective of this study was to evaluate the stability of three dual purpose bovine racial groups in ten environments of Panama. Data came from IDIAP-IDRC Project (1991) of 17 farms (FINCA) in total. Racial groups (GEN) were: CEBU, $\leq 50\%E$ y $> 50\%E$. Environments (ENV) were derived from two dual purpose system modalities (Traditional, T and Improved, M) in five ecosystems of Panama (Los Santos, Gualaca Alto, Gualaca Bajo, Bugaba Bajo y Bugaba Medio). To obtain adjusted means, data were analyzed by a mixed complete randomized design (unbalanced replications) with a split-plot arrangement. ENV was the main plot and GEN the subplot. GEN was a fixed effect, FINCA(ENV), ENV and ENV*GEN were considered random effects. After that a regression on sites model was applied. (Biplot GGE-SReg). The dependent variable was milk yield adjusted to 280 days (PTL-280d). ENV effects were not significant ($P > 0,05$), but GEN and ENV*GEN effects were highly significant ($P < 0,01$). The most outstanding GEN in PTL-280d, but not stable was $> 50\%E$, followed by $\leq 50\%E$ and CEBU. The site more favorable was BBSM (Bugaba Bajo Improved System) and for discrimination studies of GEN was BBST (Bugaba Bajo Traditional System). Biplot GGE-SReg method allowed identifies the best GEN and ENV in dual purpose systems.

KEYWORDS: Biplot GGE-SReg, milk production, genetic potential, ecosystems.

INTRODUCCIÓN

Debido al cambio climático y sus actuales y futuros efectos en la ganadería bovina hay que insistir en continuar con los estudios en mejoramiento genético para buscar un genotipo adaptable a estos constantes cambios tomando en cuenta las condiciones climáticas, disponibilidad de recursos nutricionales, agua, confort y al mercado interno y externo. De ser así, la

interacción genotipo-ambiente juega un rol importante en los programas e investigaciones en mejoramiento genético bovino. Dickerson (1977) define la interacción genotipo-ambiente como cualquier cambio en el comportamiento entre una serie de genotipos causada por un cambio en el ambiente de producción-mercado. Por otro lado, Weaver *et al.* (1983), indican que un genotipo debe producir bien, tanto en un

área de selección inicial, como también debe mantener un alto nivel de producción en muchos ambientes, dentro de su área entendida de adaptación.

El objetivo general en mejoramiento genético animal es cambiar el genotipo de una población o hatos tan rápidamente como sea posible, de tal forma que mejore su comportamiento productivo bajo las condiciones ambientales, las cuales prevalecen en el presente y en el futuro (Dickerson 1962). Guerra (1995) indicó que las existencias de variaciones ambientales no permiten al mejorador dar recomendaciones de los genotipos sobre la base de los datos obtenidos en un solo ambiente, y en muchos casos son moderadamente controlados. Agrega que es indispensable medir la estabilidad fenotípica de los genotipos bajo un rango de condiciones agro-ambientales. Esto permitiría seleccionar genotipos estables que interactúen menos con los ambientes a donde se les va a recomendar.

Esta temática ha despertado interés en muchos investigadores a presentar nuevas herramientas metodológicas para entender la naturaleza de las interacciones. La estratificación de ambientes fue

propuesta por Sprague y Federer (1951), luego Finlay y Wilkinson (1963) propusieron el uso de los coeficientes de regresión de los genotipos (variedades de cebada) sobre los ambientes. Adicional a esta propuesta, Eberhart y Russell (1966) añadieron a este concepto otros dos parámetros, como el promedio de la característica y la desviación de la regresión de los genotipos sobre los ambientes. A estas propuestas surgieron objeciones estadísticas relacionadas con la medida del medio ambiente (Perkins y Jinks 1966, Freeman y Perkins 1971, Amézquita y Franco 1990). Sin embargo, Fripp y Catlen (1971) señalaron que usar la regresión con índices dependientes versus independientes, ambos métodos dan similares respuestas. De allí que autores como Córdova (1981) ha propuesto una metodología para estudiar la estabilidad genética basada en Eberhart y Russell (1966).

Guerra (1995) aplicó la metodología de Eberhart y Russell (1966) para estudiar la estabilidad de tres grupos raciales bovinos del sistema doble propósito. En las últimas décadas se han desarrollado técnicas multivariadas para estudiar la interacción genotipo-ambiente. Se han utilizado análisis de componentes principales (ACP), análisis de coordenadas principales y análisis de

conglomerados (Crossa 1990, Zobel *et al.* 1988). El análisis convencional AMMI propuesto por Zobel *et al.* (1988) fue modificado por Yan *et al.* (2000) denominado GGE-Biplot (Genotipo e Interacción Genotipo por Ambiente).

El análisis GGE agrupa efectos de genotipo, el cual es el efecto aditivo en el análisis AMMI, con la interacción Genotipo x Ambiente (GE), el cual es un efecto multiplicativo, y somete estos efectos a un modelo multiplicativo por regresión local o sitio (SReg-Site Regression). Hay que resaltar que el desarrollo del modelo AMMI-Biplot (Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa), que integra análisis de varianza y de componentes principales (Zobel *et al.* 1988, Vargas y Crossa 2000, Crossa *et al.* 1990), han mostrado su eficiencia para explicar una proporción de la suma de cuadrados de la interacción superior a la obtenida con el análisis de varianza y regresión conjunta (Zobel *et al.* 1988, Crossa 1990, Crossa y Cornelius 1997, 2000, Crossa *et al.* 1990, 1991). Ante tal situación investigadores del IDIAP han utilizado estas herramientas para realizar evaluaciones de estabilidad de variedades de granos en diferentes ambientes como es el caso del arroz (Camargo *et al.* 2013), del maíz (Gordón *et al.* 2004ab, Gordón *et al.* 2013) y de los

frijoles (Rodríguez-Quiel *et al.* 2013). Estas herramientas no se han utilizado en los proyectos de mejoramiento genético de bovinos en Panamá, por lo que en este trabajo se propuso evaluar la estabilidad de tres grupos raciales bovinos del sistema doble propósito en 10 ambientes de Panamá por los métodos Biplot GGE-SReg.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fuente de datos

Los datos utilizados en este estudio provienen del Proyecto IDIAP-CIID sobre el estudio del mejoramiento del sistema doble propósito en Chiriquí y Los Santos (IDIAP-CIID 1991). La metodología es detallada en el Informe Final del Proyecto IDIAP-CIID (1991), De Gracia (1991), Guerra (1991), Guerra M y De Gracia (1992). Este estudio se realizó en 17 fincas doble propósito (dos en Gualaca Alto, cuatro en Gualaca Bajo, tres en Bugaba Medio, dos en Bugaba Bajo y seis en Los Santos).

Características agroecológicas

El estudio se realizó en cinco ecosistemas descritos en el Cuadro 1 por De Gracia (1991), Guerra (1991), Guerra y De Gracia (1992) e IDIAP-CIID (1991). La diferenciación de estos cinco ecosistemas se basó en lo reportado por Quirós *et al.* (1988, 1989).

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS AGROECOLÓGICAS DE LOS CINCO ECOSISTEMAS DEL PROYECTO IDIAP-CIID.

Características	Ecosistemas				
	Gualaca		Bugaba		Los Santos
	Alto (GA) (2)	Bajo (GB) (4)	Medio (BM) (3)	Bajo (BB) (2)	(LS) (6)
Altitud, msnm	500-1000	0-250	300-700	0-270	0-20
Precipitación, mm	2800	5600	4280	2560	1100
Temperatura, °C	23	25	23	25	28
Meses de sequía	4	4	3	3	6
Topografía	Quebrada	Ondulada	Quebrada	Ondulada	Plana
Pasto predominante	<i>Cynidosp.</i> <i>Axonopussp.</i>	<i>H. rufa</i> <i>Axonopussp.</i>	<i>Axonopussp.</i>	<i>P. maximum</i>	<i>H. rufa</i> <i>B. pertusa</i>
Suelo:					
-pH	5,4	5,4	5,4	5,3	5,3
-Mat. Orgánica, %	9,3	7,6	14,0	16,0	3,0
-Fósforo (ppm)	5,9	2,5	4,7	3,4	8,0

Fuente: Quirós *et al.* 1989, De Gracia 1991, Guerra 1991, Guerra y De Gracia 1992.

() = número de fincas

Etapas del proyecto IDIAP-CIID

La metodología de investigación consistió en tres etapas: selección de áreas y fincas (Etapa I); actividades a nivel de fincas o estudio de dos niveles tecnológicos, que comprende el estudio del sistema tradicional o sub-etapa 1 (EST), considerando todos sus componentes tal cual los administraba el productor, y el estudio del sistema mejorado o sub-etapa 2 (ESM), teniendo en cuenta todos sus componentes con la introducción de mejoras tecnológicas (Etapa II); y transferencia y capacitación

(Etapa III). Las alternativas tecnológicas fueron descritas por De Gracia (1991).

Definición de los ambientes

Tomando el estudio de Guerra (1991) se definió la presencia de dos ambientes (tradicional o EST y mejorado o ESM). Debido a que en los cinco ecosistemas se implementaron las alternativas tecnológicas, diez ambientes (ENV) fueron definidos así: en Los Santos (LST y LSM), en Gualaca Alto (GAT y GAM), en Gualaca Bajo (GBT y GBM), en Bugaba Bajo (BBT y BBM) y Bugaba Medio (BMT y BMM).

Grupos raciales o genotipos

Los animales se dividieron en tres grupos raciales o genotipos (GEN) de acuerdo a su apariencia fenotípica e información del productor. Los grupos raciales fueron los siguientes: Cebuínos (animales Cebú y/o Brahman y sus cruces); $\leq 50\%E$ (animales con igual o menor al 50% de sangre europea) y $>50\%E$ (animales con mayor al 50% de sangre europea). Las razas europeas lecheras predominantes en los cruzamientos fueron: Holstein y Pardo Suizo (Guerra 1991).

Variable de estudio

Se tomó la producción de leche vendible³ por lactancia corregida a 280 días (PTL-280d) como la variable de estudio. Se ajustó a 280 días porque era el promedio de la duración de la lactancia de los animales doble propósito (Guerra 1991).

Análisis de varianza mediante un modelo lineal mixto con los datos completos

Se contó con un total de 102 observaciones de PTL-280d, por finca, ambiente y grupo racial. Para ajustar las medias, estos datos se analizaron mediante un modelo lineal mixto con un

³Es la leche que se vende a las plantas procesadoras y no incluye la leche consumida por el ternero y en la casa.

diseño completamente al azar en un arreglo de parcela dividida con procedimiento de Littell *et al.* (2006), en donde el efecto del factor ENV es aleatorio, el efecto del factor GEN es fijo, el efecto de FINCA(ENV) es aleatorio, el efecto de la interacción ENV*GEN es aleatoria y el Residual fue considerado como efecto aleatorio.

Este procedimiento está basado en determinaciones probabilísticas máximas o restringidas de modelos lineales estadísticos que contemplan términos fijos y aleatorios. También se consideró ajustar por los “grados de libertad efectivos” con la técnica de Satterthwaite (1946) al considerar que las muestras son independientes pero desigual varianza muestral. Los errores estándar (EE) fueron derivados del diseño experimental, fuentes de variación asumidas y sus componentes de varianza (Littell *et al.* 2006). El modelo mixto fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + ENV_i + FCA_j(ENV_i) + GEN_k + ENV_i*GEN_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = es la producción de leche por lactancia ajustada a 280 días (PTL-280d) en el k-ésimo grupo racial, en la j-ésima finca dentro del i-ésimo ambiente.

μ = media general

ENV_i = es el efecto del i -ésimo ambiente.

Es un efecto aleatorio. $i = 1, 2, \dots, e$.

$FCA_j(ENV_i)$ = es el efecto de la j -ésima finca anidada en la i -ésimo ambiente. Es un efecto aleatorio y uno de los términos de error para la prueba F de ENV_i . $j = 1, 2, \dots, p$.

GEN_k = es el efecto del k -ésimo grupo racial. Es un efecto fijo. $k = 1, 2, \dots, g$.

$ENV_i * GEN_k$ = es el efecto de la interacción del i -ésimo ambiente con el k -ésimo grupo racial. Es un efecto aleatorio y el otro componente del término del error para la prueba de F de ENV_i y el término de error para la prueba de F de GEN_k .

ε_{ijk} = es el error aleatorio.

Las medias ajustadas por el modelo fueron comparadas entre sí por pruebas de t con la hipótesis nula de $\mu_i = \mu_j$. El número de réplicas se estimó de acuerdo a la siguiente fórmula para modelos con desbalanceado número de réplicas (Steel y Torrie 1980):

$$ro = \left(\sum ri - \frac{\sum ri^2}{\sum ri} \right) 1/(gr - 1)$$

Donde:

ro = número de réplicas ajustado,

ri = número de réplicas en cada finca y ambiente. $i = 1, 2, \dots, r$

gr = número de grupos raciales.

En este procedimiento para modelos mixtos, se utilizó la opción de Máxima Verosimilitud Restringida (REML), lo que calcula correctamente los componentes de varianza de los efectos fijos y aleatorios con datos desbalanceados.

Análisis de estabilidad

Para el análisis de estabilidad se utilizó el modelo Biplot GGE-SReg. Para este análisis se utilizó el procedimiento descrito por Salas *et al.* (2009), Yan *et al.* (2000), Yan *et al.* (2001), Yan y Hunt 2001, 2002. De acuerdo a Crossa y Cornelius (1997), Gordón y Franco (2013), estos modelos Lineal-Bilineal son instrumentos útiles para analizar los ensayos en múltiples ambientes y estudiar e interpretar la interacción del ambiente con los grupos raciales. Entre estos modelos se cuenta con el de Efectos Principales e Interacción Multiplicativa (AMMI-Biplot).

Inicialmente se utilizaba el modelo AMMI-Biplot que integra el Análisis de Varianza y el Análisis de Componentes Principales (PCA) para determinar la interacción de los grupos raciales en los distintos ambientes (Zobel *et al.* 1988, Yan *et al.* 2000, Gauch 2006, Glaz y Kang 2008).

Modelo de regresión en los sitios (SReg)

El análisis de la interacción genotipo por ambiente se hizo mediante el modelo Biplot GGE-SReg y ha sido utilizado para explorar la respuesta de los grupos raciales a ambientes específicos. Es prácticamente similar al modelo AMMI, sólo que los efectos principales de los grupos raciales, que en el modelo AMMI se estiman como efectos aditivos, en el Biplot GGE-SReg se envían al residual para modelarlo de forma multivariada mediante el PCA (Análisis de Componentes Principales) junto con la interacción (Yan *et al.* 2000, Yan *et al.* 2001, Salas *et al.* 2009).

El modelo de Yan *et al.* (2000) es el siguiente:

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

Donde:

\bar{Y}_{ij} es la media del i -ésimo grupo racial en el j -ésimo ambiente;

μ es la media general;

τ_i es el efecto del i -ésimo genotipo;

δ_j es el efecto del j -ésimo ambiente;

λ_k ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_t$) son valores sin singulares que permiten la imposición de restricciones a la ortogonalidad para los vectores simples de grupos raciales;

$\alpha_{ik} = (\alpha_{1k}, \dots, \alpha_{gk})$ y ambientes

$\gamma_{jk} = (\gamma_{1k}, \dots, \gamma_{ek})$ de 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 α_{jk} para $k = 1, 2, 3, \dots$ estos son llamados “primarios,” “secundarios,” “terciarios,” . . . etc. Para los efectos de grupos raciales y ambientes, respectivamente;

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

Representación gráfica

Se utilizó el método gráfico Biplot GGE-SReg. De acuerdo a Yan *et al.* (2000), Yan y Hunt (2002), la gráfica Biplot GGE-SReg permite determinar el genotipo con mejor comportamiento en un ambiente específico; identificar el ambiente más apropiado para un genotipo específico; comparar cualquier par de genotipos en un ambiente; determinar el mejor genotipo para cada ambiente y diferenciación de mega-ambientes. Además, Yan y Hunt (2001) señalaron que el gráfico permite identificar al genotipo ideal como aquel con altas puntuaciones en el PCA1 (asociado a medias de rendimientos altos) y las puntuaciones en el PCA2 cercanas a cero. Esto último indica la estabilidad del genotipo a través de los ambientes contrastantes. Se agregan que también se aplica para determinar el ambiente ideal.

Además, en el Biplot GGE-SReg, los genotipos que se encuentran ubicados hacia el centro de la gráfica son menos responsivos a estímulos ambientales que aquellos localizados en las esquinas o vértices del polígono, los cuales se consideran más responsivos (positiva o negativamente) (Camargo *et al.* 2004). Los genotipos ubicados en las esquinas o sectores donde no hay localidades son considerados deficientes en cuanto al comportamiento en la mayoría de las localidades evaluadas (Yan *et al.* 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza a través del modelo mixto y para un modelo lineal generalizado o MLG (Littell *et al.* 2006, 1991) se detallan en el Cuadro 2. Ambos procedimientos dieron iguales resultados. Los parámetros estimados de covarianza fueron 54448,00 y 460,97 para FINCA(ENV) y el Residual del análisis, respectivamente. Esta covarianza del Residual es igual al Cuadrado Medio del Error con el procedimiento MLG y de FINCA(ENV) es tres veces menor que el Cuadrado Medio de esta fuente de variación con respecto al MLG. Con estos valores se calcularon los errores estándares presentados en el Cuadro 2.

También muestra los grados de libertad del numerador (Numgl) de las tres fuentes de variación, ENV, FINCA(ENV) y GEN y los respectivos grados de libertad del denominador, de sus fuentes de error (Den gl) para la prueba F, ajustado por Satterthwaite (1946).

El análisis de varianza no se detectaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en el efecto promedio del ambiente (ENV), usando el término de error los componentes aleatorios (FINCA(ENV) + FINCA*ENV) debido a la alta variación entre fincas anidadas en ENV y al aporte de la interacción de ENV*GEN. Por otro lado, el efecto promedio del grupo racial (GEN) y la interacción entre ENV*GEN resultaron ser altamente significativos ($P < 0,01$). El efecto promedio ENV representa el 27,87% de la variación total, el GEN el 3,53% y la interacción ENV*GEN el 0,36%. La mayor contribución fue por FINCA(ENV) con 66,96% (Cuadro 2).

Los sistemas mejorados (SM) influyeron positivamente en el aumento de la PTL-280d en los cinco ecosistemas y los tres grupos raciales (Cuadro 3). Las mayores producciones de leche (PTL-280d) se registraron en Bugaba Bajo en el Sistema Mejorado (BBSM) con promedios de 1237,3; 1359,6 y 1194,4 kg

en animales $\leq 50\%E$, $>50\%E$ y CEBU, respectivamente, mientras que en el Sistema Tradicional las producciones fueron 969,5; 1138,0 y 997,5 kg ($P < 0,01$), respectivamente. Por otra parte, las menores producciones en ambos sistemas tecnológicos se encontraron en Gualaca Alto (GAST y GASM). Las producciones fueron 754,5, 801,3 y 691,5 kg para el $\leq 50\%E$, $>50\%E$ y CEBU, respectivamente. Mientras que en GASM las PTL-280d fueron 803,9, 871,3 y 746,9 kg ($P < 0,01$) para los mismos grupos raciales, respectivamente.

Las PTL-280d de animales $\leq 50\%E$ reportadas en BBSM (1237,3 kg) fueron 64,0% superior a la reportada en el GAST con el mismo grupo racial (Cuadro 3). Además, comparando ambos ecosistemas se encontraron superioridades en $>50\%E$ y CEBU de 69,7% y 72,7%, respectivamente. Similar tendencia fue reportada en Venezuela por López y Vaccaro (2002) cuando animales cruzados 50% Pardo Suizos y 50% Holstein en promedio produjeron 701,0 kg de leche en Guánico1, 850,5 kg en Guánico2 y 2551,5 kg en Falcón.

CUADRO 2. ANÁLISIS DE VARIANZA CON LOS PROCEDIMIENTOS PARA MODELOS MIXTOS^a Y MODELOS LIENALES GENERALIZADOS^b PARA PRODUCCIÓN DE LECHE AJUSTADA A 280 DÍAS (PTL-280d).

Estimados de Parámetros de Covarianza (Modelo Mixto)				
Parámetros	Estimados			
FINCA(ENV)	54448,00			
Residual	460,97			
Efectos ^a Num gl ^c	Den gl ^d	Valor-F		
Ambiente (ENV)	9	24		1,15 ^{ns}
G.Racial (GEN)	2	48		224,62 ^{**}
ENV*GEN	18	48		2,52 ^{**}
Fuente de variación ^b gl	S. Cuadrados	C. Medios	%Explicado	
Ambiente (ENV)	9	1689029,408	187669,934 ^{ns}	28,77
FINCA(ENV)	24	3931323,668	163805,153 ^{**}	66,96
G. Racial (GEN)	2	207085,491	103542,745 ^{**}	3,53
ENV*GEN	18	20925,795	1162,544 ^{**}	0,36
Residual	48	22126,733	460,974	0,38
Total	101	5870491,085		

CV = 2,4%
 $R^2 = 99,6\%$
^{**} $P < 0,01$
^{ns} = no significativo ($P > 0,05$)

^a Procedimiento de modelo mixto

^b Procedimiento de modelo lineal generalizado

^c Grados de libertad del numerador.

^d Grados de libertad del denominador.

Guánico1 es una zona más adversa para los sistemas doble propósito, Guánico2 es moderada y Falcón es mucho más favorable. Por otra parte, animales 62,5% Pardo Suizos y 62,5% Holstein produjeron en promedio 769,5 kg en Guánico1, 806,5 kg en Guánico2 y 2695,5 kg en Falcón. En promedio, en Guánico1 se reportaron producciones de leche por lactancia de 736,3 kg, en Guánico2 de 828,5 kg y en Falcón de 2623,5 kg.

En los ambientes mejorados y ecosistemas más favorables como en Falcón (Venezuela), Vaccaro (2000) reportó producciones por lactancia de 2669, 2731 y 2717 kg de leche en grupos raciales 50%E, 62,5%E y 75%E, respectivamente.

Los errores estándares (EE) con el modelo mixto son mayores por el ajuste de acuerdo a Satterthwaite (1946) al asumir que las varianzas de las muestras (observaciones por grupo racial y ecosistema) no son homogéneas y por el ajuste de los grados de libertad (Cuadro 3). Estos errores estándares con el procedimiento del modelo mixto son casi 20 veces más grandes que los errores estándares con el procedimiento

del modelo lineal generalizado. Sin embargo, de acuerdo a Gil (2001), el procedimiento del modelo mixto proporciona errores estándares adecuados a cada nivel de análisis, realizando las comparaciones de media en forma correcta, por lo que se recomienda su utilización ampliamente en sustitución del procedimiento de modelos lineales generalizados para el análisis de parcelas divididas.

En un análisis de varianza cuando una interacción resulta significativa se le da más relevancia a esta fuente de variación que a los efectos simples, sin embargo, a manera de información se presentan las medias ajustadas de los efectos de los ambientes y grupos raciales.

El nivel tecnológico mejorado se relacionó con el aumento en la producción de leche (PTL-280d). Las mayores producciones de leche (PTL-280d) se encontraron en BBSM con 1263,75 kg, superando a BBST, BMSM, LSSM y GBSM en 22,1%, 22,3%, 33,2 y 34,0%, respectivamente, sin embargo, estas diferencias no fueron significativas ($P>0,05$) (Cuadro 4).

CUADRO 3. MEDIAS AJUSTADAS POR MÍNIMOS CUADRADOS PARA PTL-280d (kg) POR AMBIENTE Y GRUPO RACIAL PARA AMBOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS¹.

Ambiente	Grupo Racial	PTL-280d, kg	±EE ²	±EE ³
BBSM	≤50E	1237,3 ^b	15,2	165,7
BBSM	>50E	1359,6 ^a	15,2	165,7
BBSM	CEBU	1194,4 ^c	15,2	165,7
BBST	≤50E	969,5 ^b	15,2	165,7
BBST	>50E	1138,0 ^a	15,2	165,7
BBST	CEBU	997,5 ^b	15,2	165,7
BMSM	≤50E	1020,9 ^b	12,4	135,3
BMSM	>50E	1104,9 ^a	12,4	135,3
BMSM	CEBU	972,7 ^c	12,4	135,3
BMST	≤50E	838,4 ^b	12,4	135,3
BMST	>50E	897,0 ^a	12,4	135,3
BMST	CEBU	788,4 ^c	12,4	135,3
GASM	≤50E	803,9 ^b	15,2	165,7
GASM	>50E	871,3 ^a	15,2	165,7
GASM	CEBU	746,9 ^c	15,2	165,7
GAST	≤50E	754,5 ^b	15,2	165,7
GAST	>50E	801,3 ^a	15,2	165,7
GAST	CEBU	691,5 ^c	15,2	165,7
GBSM	≤50E	947,3 ^b	10,7	117,2
GBSM	>50E	990,7 ^a	10,7	117,2
GBSM	CEBU	890,8 ^c	10,7	117,2
GBST	≤50E	798,2 ^b	10,7	117,2
GBST	>50E	846,7 ^a	10,7	117,2
GBST	CEBU	728,9 ^c	10,7	117,2
LSSM	≤50E	936,6 ^b	8,8	95,7
LSSM	>50E	1005,6 ^a	8,8	95,7
LSSM	CEBU	904,8 ^c	8,8	95,7
LSST	≤50E	767,8 ^b	8,8	95,7
LSST	>50E	841,7 ^a	8,8	95,7
LSST	CEBU	752,6 ^c	8,8	95,7

EE = error estándar de la media.

¹Medias ajustadas con diferente letra dentro de ecosistemas y entre grupos raciales difieren entre sí al 1% de probabilidad.

²Procedimiento de modelo lineal generalizado.

³Procedimiento de modelo mixto con REML y ajuste por Satterthwaite (1946).

La menor PTL-280d se reportó en GBST con 791,27 kg y LSST con 794,03 kg y fueron 59,7% y 59,2% menores en producción que BBSM (Cuadro 4). Estas diferencias resultaron ser significativas ($P < 0,05$).

López y Vaccaro (2002) reportaron que el ambiente, potencial genético de los animales, disponibilidad y manejo de los recursos influyen significativamente en el nivel de producción de leche. En tres zonas de Venezuela (Guánico1, Guánico2 y Falcón) en hatos con cruces Holstein-Cebú y Pardo Suizo-Cebú y con encastes de 50%E a 62,5%E, las producciones por lactancia promedios de todos los grupos raciales fueron 735,2; 828,8 y 2623,5 kg de leche para Guánico1, Guaníco2 y Falcón, respectivamente.

El grupo racial (GEN) con mayor PTL-280d fue el >50%E con 985,68 kg, superando a ≤ 50 %E y CEBU en 8,4% y 13,7%, respectivamente (Cuadro 5). Además, el grupo racial <50%E fue 4,9% superior al CEBU. Destacándose que estas diferencias entre las tres medias resultaron estadísticamente significativas ($P < 0,05$). Esta tendencia la corrobora Guerra (1991) al reportar la producción total de leche por lactancia no ajustada

(PTLNA) de los grupos raciales CEBU, ≤ 50 E y >50E de 701,1, 816,0 y 963,0 kg, respectivamente. López y Vaccaro (2002) reportan una producción promedio por lactancia de animales 50%E de 1367,5 kg y animales 62,5%E de 1423,5 kg. Otras experiencias de Venezuela, Vaccaro (2000) reportó producciones de leche por lactancia para un nivel tecnológico bajo de producción de 761,0, 852,3 y 821,9 kg para animales CEBU, ≤ 50 %E y >50%E, respectivamente.

Se utilizaron los promedios de PTL-280d por grupo racial y por ambiente; así como los valores DM1 (CPA1) y DM2 (CPA2) para la construcción de la Gráfica Biplot GGE-SReg (Figura 1).

Ninguno de los tres grupos raciales estuvo cerca del origen, por lo tanto, fueron los que más respondieron a los diferentes ambientes (Figura 1). Además, los tres estuvieron ubicados en los vértices del polígono triangular, por lo tanto, respondieron a los estímulos ambientales, ya sea positiva o negativamente, dependiendo del signo y la magnitud de la puntuación. El CPA 1 y CPA2, en conjunto, explican el 100% de la interacción grupo racial x ambiente.

CUADRO 4. MEDIAS AJUSTADAS POR MÍNIMOS CUADRADOS PARA PTL-280d (kg) POR AMBIENTE¹.

Ambiente	PTL-280d, kg	±EE ²	±EE ³
BBSM	1263,75 ^a	8,76	165,23
BBST	1034,97 ^{ab}	8,76	165,23
BMSM	1032,83 ^{ab}	7,16	134,91
BMST	841,27 ^b	7,16	134,91
GASM	807,40 ^b	8,76	165,23
GAST	749,10 ^b	8,76	165,23
GBSM	942,95 ^{ab}	6,20	116,84
GBST	791,27 ^b	6,20	116,84
LSSM	949,01 ^{ab}	5,06	95,39
LSST	794,03 ^b	5,06	95,39

EE = error estándar de la media.

¹Medias con la misma letra no difieren entre sí al 5% de probabilidad.

²Procedimiento de modelo lineal generalizado

³Procedimiento de modelo mixto con REML y ajuste por Satterthwaite (1946)

CUADRO 5. MEDIAS AJUSTADAS POR MÍNIMOS CUADRADOS PARA PTL-280d POR GRUPO RACIAL¹.

Grupo Racial	PTL-280d, kg	±EE ²	±EE ³
≤50E	909,45 ^a	4,02	43,84
>50E	985,68 ^b	4,02	43,84
CEBU	866,85 ^c	4,02	43,84

EE = error estándar de la media

¹Medias con la misma letra no difieren entre sí al 5% de probabilidad.

²Procedimiento de modelo lineal generalizado

³Procedimiento de modelo mixto con REML y ajuste por Satterthwaite (1946).

El CPA1 explica el 93,4% de la interacción, mientras que el CPA2 explica el 6,6%.

El grupo racial >50%E, de acuerdo al modelo, fue el más estable en su rendimiento debido a sus altas puntuaciones en el primer eje del componente principal (CPA1), que se relaciona con altas PTL-280d, pero en el

CPA2 sus puntuaciones no estuvieron cercanos a cero, por lo tanto, no mostró buena estabilidad (Yan y Hunt 2001, 2002).

El grupo racial CEBU fue el que presentó más pobre comportamiento en PTL-280d por su ubicación alejada de los sectores donde se encuentran los vectores de los ambientes. Como señala

Camargo *et al.* (2013), se pudiera observar una correlación negativa entre genotipos y ambientes (Figura 1).

El grupo racial $\leq 50\%E$ fue identificado por el modelo como el grupo racial que peor respondió a los estímulos ambientales, ya presenta un comportamiento por debajo de la media en relación al CPA1, pero su puntuación tampoco es cerca a cero, por lo tanto, muestra alta inestabilidad (Figura 1).

Los ambientes fueron agrupados en dos sectores, como se observa en la Figura 1. El primero conformado únicamente por el ambiente de Bugaba Medio Sistema Tradicional (BBST) y el otro grupo por el resto de los ambientes. Además, se aprecia que el ambiente BBST tiene la mayor capacidad para discriminar a los grupos raciales del sistema doble propósito, la cual está indicada por la mayor longitud del vector en este ambiente (Camargo *et al.* 2013).

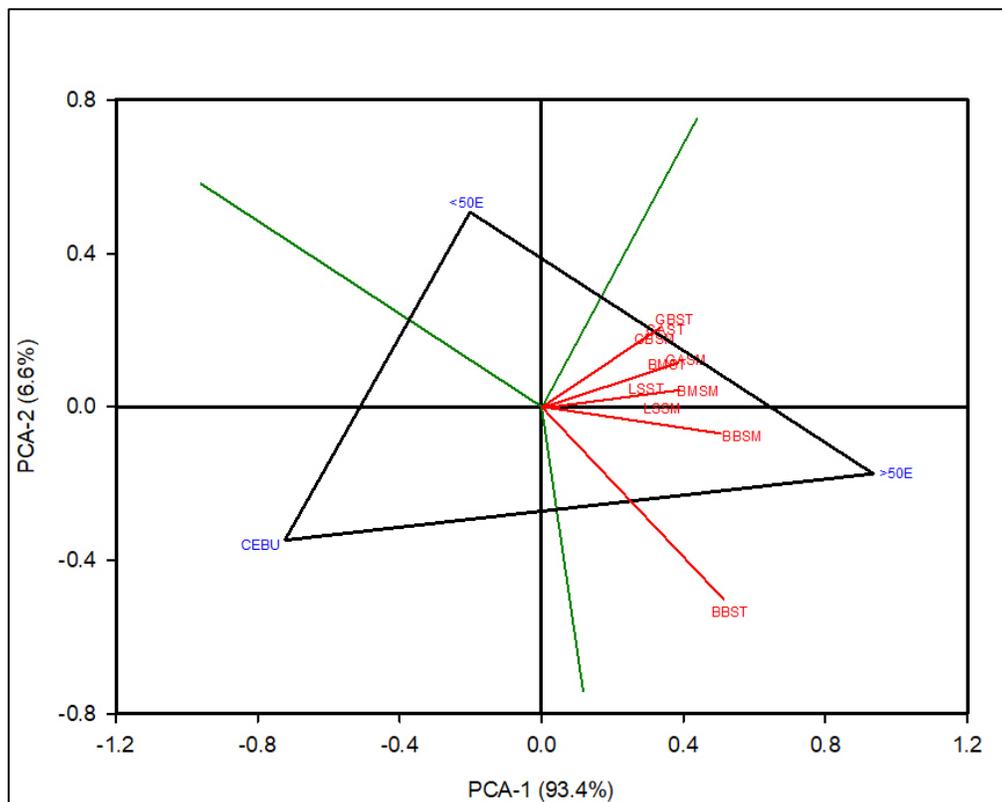


Figura 1. Gráfico “Biplot” de los dos primeros componentes del modelo SREG de los datos de PTL-280d de tres grupos raciales y 10 ambientes.

CONCLUSIONES

- El análisis de varianza de un diseño completamente al azar con desigual número de réplicas con arreglo de parcela dividida permitió detectar diferencias estadísticas reales en la interacción genotipo por ambiente y entre los grupos raciales estudiados.
- El modelo Biplot GGE-SReg permitió estudiar detenidamente la interacción Genotipo por Ambiente y la contribución de los dos primeros CP.
- El grupo racial >50%E es el de mejor comportamiento en los 10 ambientes y el grupo racial CEBU mostro buena estabilidad.
- El ambiente BBST es el mejor indicado para estudios discriminantes de grupos raciales bovinos para sistemas doble propósito de Panamá.

RECOMENDACIONES

- Retomar los estudios de adaptabilidad de genotipos bovinos a más ambientes de producción en Panamá, involucrando al sistema de producción bovino Vaca-Ternero.

BIBLIOGRAFÍA

- Amézquita, MC; Franco, MA. 1990. Utilización de información de ensayos multilocacionales de evaluación de germoplasma. Organización de base de datos. *In*Puignau, JP (ed). Diálogo XXVIII. Introducción, Conservación y Evaluación de Germoplasma Forrajero en el Cono Sur. Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Cono Sur. PROCISUR. IICA. Montevideo, UY. p. 337-354.
- Camargo, I; Gordón, R; González, A; Franco, J. 2004. Interpretación de la interacción genotipo-ambiente y confiabilidad de la respuesta de cinco híbridos de maíz en 30 ambientes de Azuero, Panamá. 2001-2003. *Ciencia Agropecuaria* no. 16:1-16.
- Camargo-Buitrago, I; Bernal, J; Montero, G; Espinoza, J; Barrios, M; Fernández, N; Rojas, C; Ehrman, J; Franco, L; Guevara, E. 2013. Valor agronómico y contenido nutricional de arroces biofortificados con hierro y zinc. *Ciencia Agropecuaria* no. 21:47-70.

- Córdova, HS. 1981. Metodología de análisis de experimentos en serie. *In* Guía Técnica para la Investigación Agrícola. Capítulo V. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA). Sector Público. Guatemala, Guatemala, CA. p.1-19.
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multi location trials. *Advances in Agronomy* 44:55-85.
- Crossa, J; Cornelius, PL. 1997. Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variances. *Crop Science* 37:405-415.
- Crossa, J; Cornelius, PL. 2000. Modelos lineales bilineales para el análisis de ensayos de genotipos en ambientes múltiples. *In* Simposium Interacción Genotipo x Ambiente. Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. 15-20 de octubre de 2000. Irapuato, MX. p. 61-68.
- Crossa, J; Fox, PN; Pfeiffer, WH; Rajaram, S; Gauch Jr, HG. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theoretical and Applied Genetics* 81: 27-37.
- Crossa, J; Gauch Jr, HG; Zobel, RW. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science* 30:493-500.
- De Gracia, M. 1991. Sistema de producción bovina de doble propósito en Panamá. *Turrialba* 41(1):108-120.
- Dickerson, GE. 1962. Implications of genetic-environmental interaction in animal breeding. *Animal Production* 4:47-63.
- Dickerson, GE. 1977. Genetic-environmental interaction. Background information. *In* Proceeding Joint Annual Meeting of NC-1, S-10 and WRCC-1 Beef Cattle Breeding Technical Committees. Technical Report. Texas A&M University, College Station, Texas. USA. 2 p.
- Eberhart, SA; Russell, HG. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6:36-40.

- Finlay, KW; Wilkinson, GN. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. Australian Journal of Agricultural Research 14:742-754.
- Freeman, GH; Perkins, JM. 1971. Environmental and genotype environmental components of variability. VIII. Relation between genotypes grown in different environments and measure of these environments. Heredity 27:15-23.
- Fripp, JJ; Catlen, GE. 1971. Genotype-environmental interactions in *Schizophyllum commune*. 1. Analysis and character. Heredity 27:393-407.
- Gauch, HG. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. Crop Science 46:1488-1500.
- Gil, JL. 2001. Comparación de procedimientos GLM y MIXED del SAS® para analizar diseños de parcelas divididas con bloques al azar. Zootecnia Tropical 19(1):43-58.
- Glaz, B; Kang, MS. 2008. Location contribution determined via GGE Biplot analysis of multienvironment sugarcane genotype-performance trials. Crop Science 48:941-950.
- Gollob, HE. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. Psychometrika 33:75-115.
- Gordón, R; Camargo, I; Franco, J; González, A. 2004a. Determinación de la adaptabilidad y estabilidad de 18 híbridos de maíz de grano blanco, a través de ambientes contrastantes. Azuero, Panamá, 2002. Ciencia Agropecuaria no. 16:63-80.
- Gordón, R; Camargo, I; Franco, J; González, A. 2004b. Evaluación de la estabilidad de 15 híbridos de maíz en 10 ambientes de la región de Azuero, Panamá. 2003. Ciencia Agropecuaria no. 16:45-62.
- Gordón-Mendoza, R; Franco-Barrera, J. 2013. Manejo de la fertilización suplementaria y efecto de dos mejoradores de suelo en maíz. Ciencia Agropecuaria no. 21:1-24.
- Guerra M, P. 1995. Parámetros de estabilidad de grupos raciales en

- sistemas doble propósito en Chiriquí y Los Santos, Panamá. Ciencia Agropecuaria no. 8:15-32.
- Guerra M, P; De Gracia G, M. 1992. Comportamiento reproductivo de tres grupos raciales en sistemas doble propósito en Panamá. Turrialba 42(1):23-31.
- Guerra, P. 1991. Producción de leche de animales cruzados en sistemas de doble propósito en Panamá. Turrialba 41(1):96-107.
- IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá) – CIID (Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo). 1991. Proyecto Estudio de sistemas de producción doble propósito (leche y carne) en pequeñas y medianas fincas de Panamá. Informe Final. IDIAP. Gualaca, Chiriquí. PA. 145 p.
- Littell, RC; Freud, RJ; Spector, PC. 1991. SAS system for linear models. 3rd Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Littell, RC; Milliken, GA; Stroup, WW; Wolfinger, RD; Schabenberger, O. 2006. SAS® for mixed models. 2nd Edition. SAS Institute Inc, Cary, NC, USA. 834 p.
- López, J; Vaccaro, L. 2002. Comportamiento productivo de cruces Holstein Friesian-Cebú comparadas con Pardo Suizo-Cebú en sistemas doble propósito en tres zonas de Venezuela. Zootecnia Tropical 20(3):21-33.
- Perkins, JM; Jinks, JL. 1966. Environmental and genotype components of variability. III. Multiplelines and crosses. Heredity 23:339-356.
- Quirós, R; Amézquita, MC; Guerra, P; Quiel, J. 1988. Utilización de la información generada a través de la investigación en sistemas de producción animal. *In* Informe de la VIII Reunión General. IICA, RISPAL, CATIE, CIID, INIAA. Guatemala, GT. 17 al 21 de octubre de 1988. p. 347-360.
- Quirós, R; Amézquita, MC; Guerra, P; Quiel, J. 1989. Utilización de la información generada a través de la investigación en sistemas de producción animal. *In* Gastal, E; Puigan, JP; Tonina, T. (eds). Transferencia de Tecnología

- Agropecuaria. Enfoque de hoy y perspectiva para el futuro. Diálogo XXVII PROCISUR-IICA. Programa Cooperativo para el Desarrollo Agropecuario del Cono Sur. Colonia, UY. p. 103-113.
- Rodríguez-Quiel, E; Gordón-Mendoza, R; González-Guevara, F; Quiróz-Rodríguez, E; Hernández-Rojas, R; Palacios-Rodríguez, E; Melgar-Moreno, A. 2013. Líneas de frijol con alto contenido de hierro y zinc. *Ciencia Agropecuaria* no. 21:25-37.
- Salas, E; Juárez, H; Giraldo, D; Amorós, W; Simon; R; Bonierbale, M. 2009. Modelos de análisis de estabilidad y definición de ambientes basados en GIS. Centro Internacional de la Papa (CIP). Red LATINPAPA. Lima, PE. 63 p.
- Satterthwaite, FE. 1946. An approximate distribution of estimates of variance components. *Biometrics Bulletin* 2:110-114.
- Sprague, GF; Federer, WT. 1951. A comparison of variance components in corn yield trials. II. Error, year x variety, location x variety, and variety components. *Agronomy Journal* 4:503-507.
- Steel, RGD; Torrie, JH. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2nd Edition. McGraw-Hill, Inc. New York. USA. 633 p.
- Vaccaro, L. 2000. Cruzamiento para la producción de leche en América tropical: Evidencia de Venezuela. *In* III Simpósio Internacional de Melhoramento Animal. SBMA. Belo Horizonte, BR. p. 38-46.
- Vargas H, M; Crossa, J. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del Biplot en SAS. CIMMYT, INT. México, DF. MX.42 p.
- Weaver, DB; Thurlow, DL; Patterson, RM. 1983. Stability parameters of soybean cultivars in maturity groups VI, VII and VIII. *Crop Science* 23:569-571.
- Yan, W; Hunt, LA; Sheng, Q; Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation base on the GGE-Biplot. *Crop Science* 40:597-605.
- Yan, W; Hunt, LA. 2001. Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science* 41: 19-25.

Yan, W; Cornelius, PL; Crossa, J; Hunt, LA. 2001. Two types of GGE-Biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Science*. 41:656-663.

Yan, W; Hunt, LA. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Science* 2:21-30.

Zobel, RW; Wright, MJ; Gauch Jr, HG. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal* 80:388-393.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento al Dr. Ismael Camargo Buitrago por facilitar la fuente metodológica para el análisis de los datos y revisión del manuscrito. También agradezco al Ing. Román Gordón Mendoza por su valiosa ayuda en el análisis de los datos. Finalmente, agradezco a los que fueron colaboradores del Proyecto IDIAP-CIID (1979-1991) por la recolección y facilitación de la información durante la ejecución de este significativo proyecto pecuario.