



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y
SERVICIO EN ZOOTECNIA**

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**INTERACCIÓN GENOTIPO POR CLIMA EN LA EVALUACIÓN
GENÉTICA NACIONAL DE BOVINOS SUIZO EUROPEO DE
REGISTRO EN MÉXICO**

TESIS

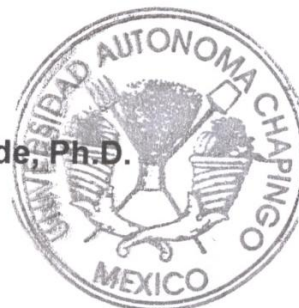
Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

LUIS ANTONIO SAAVEDRA JIMÉNEZ

**Bajo la supervisión de: Rodolfo Ramírez Valverde, Ph.D.
y Rafael Núñez Domínguez, Ph.D.**



DIRECCIÓN GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Junio de 2012

Chapingo, Estado de México

INTERACCIÓN GENOTIPO POR CLIMA EN LA EVALUACIÓN GENÉTICA
NACIONAL DE BOVINOS SUIZO EUROPEO DE REGISTRO EN MÉXICO

Tesis realizada por **LUIS ANTONIO SAAVEDRA JIMÉNEZ**, bajo la supervisión
del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

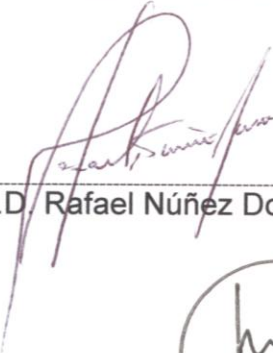
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

CODIRECTOR:



Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde

CODIRECTOR:



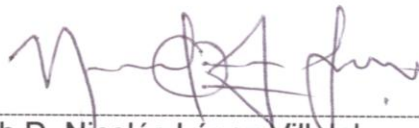
Ph.D. Rafael Núñez Domínguez

ASESOR:



Ph.D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR:



Ph.D. Nicolás López Villalobos

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DATOS BIOGRÁFICOS	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Historia y características de la raza Suizo Europeo	3
2.2 Influencia de factores ambientales	4
2.2.1 Temperatura	4
2.2.2 Humedad relativa	5
2.2.3 Radiación solar	6
2.3 Respuestas de los bovinos a condiciones de estrés climático	6
2.3.1 Cambios hormonales	6
2.3.2 Cambios en los patrones de alimentación	7
2.3.3 Cambios fisiológicos	7
2.3.4 Cambios de comportamiento	7
2.4 Concepto de interacción genotipo por ambiente	8
2.5 Factores que causan la IGA en bovinos	9
2.6 Tipos de interacción	10
2.6.1 Descriptiva	10
2.6.2 Práctica	10
2.6.3 Por su naturaleza	11
2.7 Consecuencias y aplicaciones de la existencia de la IGA	12

2.8	Metodologías estadísticas para el análisis de la IGA.....	13
2.8.1	Modelos bivariados	13
2.8.2	Modelo de reacción normal	15
2.8.3	Análisis de varianza	16
2.8.4	Análisis <i>cluster</i>	17
2.8.5	Correlación de la interacción	19
2.9	Criterios de decisión	20
2.10	Estimación de IGA	20
2.10.1	Comparación entre países	21
2.10.2	Características de crecimiento	23
2.10.3	Características de producción	28
2.10.4	Características reproductivas	30
2.10.5	Características de la canal	33
2.11	Metodologías propuestas para considerar la IGA.....	35
2.11.1	Estrategias ambientales	35
2.11.2	Estrategias de apareamiento.....	36
2.11.3	Marcadores genéticos	36
2.11.4	Modelo genético evaluado.....	37
2.12	Literatura citada.....	38
3.	INTERACCIÓN GENOTIPO POR CLIMA EN LA EVALUACIÓN GENÉTICA PARA CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO EN BOVINOS SUIZO EUROPEO.....	47
3.1	Resumen	47
3.2	Abstract.....	48
3.3	Introducción.....	49
3.4	Materiales y métodos	50
3.4.1	Origen de la información	50
3.4.2	Análisis estadísticos	51
3.4.3	Criterios para evaluar la interacción genotipo por clima	54
3.5	Resultados y discusión.....	55
3.5.1	Correlación genética en los análisis bivariados	55
3.5.2	Correlación entre valores genéticos predichos	63

3.5.3	Coincidencia entre valores genéticos de los mejores sementales .	68
3.6	Conclusiones	69
3.7	Recomendaciones	70
3.8	Literatura citada.....	71

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Valores de correlación genética (r_g) agrupados por pares de países para características de crecimiento en la raza Hereford.	22
Cuadro 2. Correlaciones genéticas (r_g) para características de crecimiento en distintos ambientes.	25
Cuadro 3. Correlaciones genéticas (r_g) para características de producción en distintos ambientes.	29
Cuadro 4. Correlaciones genéticas (r_g) para características reproductivas en distintos ambientes	32
Cuadro 5. Correlaciones genéticas (r_g) para características de calidad de canal en distintos ambientes.....	34
Cuadro 6. Promedios de las principales variables climatológicas obtenidas	51
Cuadro 7. Estadísticos descriptivos de la información considerada para los diferentes climas en las variables estudiadas (P240d y P365d).....	52
Cuadro 8. Estimadores de varianzas para los efectos genéticos directos (σ^2_u), maternos (σ^2_p) y residuales (σ^2_e); covarianza estimada para los efectos genéticos directos ($\sigma_{u1,u2}$) y maternos ($\sigma_{p1, p2}$); heredabilidades directas (h^2_d) y maternas (h^2_m); y correlación genética (r_g), estimados para P240d usando los modelos bivariados.....	56
Cuadro 9. Estimadores de varianzas para los efectos genéticos directos (σ^2_u), y residuales (σ^2_e); covarianza estimada para los efectos genéticos directos ($\sigma_{u1,u2}$), heredabilidades directas (h^2) y correlación genética (r_g) estimados para P365d usando los modelos bivariados.	57
Cuadro 10. Valores de logaritmo de L para los diferentes modelos bivariados evaluados	57

Cuadro 11. Estimadores de correlación producto-momento de Pearson y rango de Spearman (entre paréntesis) entre los valores genéticos predichos con los modelos bivariados, para todos los animales del pedigrí (r_{VGA}), para todos los sementales (r_{VGS}) y para los sementales comunes (r_{VGSC}) en cada par de ambientes.	64
Cuadro 12. Frecuencia de coincidencia (FC) entre sementales comunes dentro de los mejores 25 con valores genéticos superiores, para las diferentes combinaciones.	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico seco y trópico húmedo, obtenidos con análisis bivariados para peso al destete (P240d).....	65
Figura 2. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico seco y templado, obtenidos con análisis bivariados para peso al destete (P240d).	65
Figura 3. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico húmedo y templado, obtenidos con análisis bivariados para peso al destete (P240d).	66
Figura 4. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico seco y trópico húmedo, obtenidos con análisis bivariados para peso a los 365 días (P365d).	66
Figura 5. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico seco y templado, obtenidos con análisis bivariados para peso a los 365 días (P365d).....	67
Figura 6. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico húmedo y templado obtenidos con el modelo bivariado para peso a los 365 días (P365d).....	67

DEDICATORIA

Cada fracaso supone un capítulo más en la historia de nuestra vida y una lección que nos ayuda a crecer. No nos dejemos desanimar por los fracasos. Aprendamos de ellos y sigamos adelante.

Para ustedes Familia Saavedra Jiménez.

A mi padre, mi hermano, mi amigo, esto refleja el fruto de tu trabajo, gracias Martín Saavedra.

A la mujer que me dio vida, mi esperanza, mi madre, Esperanza Jiménez porque nunca me dejaste solo.

A mis hermanos, Pepe e Itzel, lo mejor que tengo en la vida, por haber soportado mi ausencia por tantos años.

Especialmente a Bárbara, Jennifer y Mariano, por recibirme y apoyarme en el otro lado del mundo.

Gracias porque tengo Mar y sol junto a mí todos los días. Espero nunca me falte.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal, por la oportunidad que me brindaron para tener una formación profesional y personal de alta calidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico otorgado como parte del programa de Tesis de Posgrado, en la convocatoria 2011.

A la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Suizo de Registro, por permitirme el acceso a la información usada en la presente investigación.

Mi más sincero agradecimiento al Doctor Rodolfo Ramírez Valverde, por la acertada dirección de este trabajo de investigación, sus consejos, sugerencias y apoyo incondicional.

A los Ph.D. Rafael Núñez Domínguez, José Guadalupe García Muñiz y Nicolás López Villalobos por las valiosas aportaciones para el desarrollo y finalización satisfactoria de esta investigación, y por las enseñanzas brindadas durante mis estudios de Maestría y Licenciatura.

Un especial agradecimiento al Ph.D Nicolás López Villalobos, por las oportunidades y apoyo brindado para realizar estancia académica en Massey University, New Zealand.

A Massey University, por darme la oportunidad de formar parte de su grupo de trabajo y por el apoyo brindado para mi enriquecimiento profesional.

Al M.C. Raymundo Gallegos Ramírez, por compartir conmigo los secretos para realizar las evaluaciones genéticas y a Lizeth Martínez, por apoyarme en la edición de datos para el presente trabajo.

Al equipo de soporte técnico de ASReml, en especial a Natasha Walker, por apoyarme con la licencia de uso del software ASReml.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Luis Antonio Saavedra Jiménez
Fecha de nacimiento	15 de octubre de 1986
Lugar de nacimiento	Zamora, Michoacán
Matrícula cartilla militar	C-7562071
CURP	SAJL861015HMNVMS09
Profesión	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Cédula profesional	6393261

Desarrollo académico

Preparatoria (2001-2004)	Preparatoria Emiliano Zapata Zacapu, Michoacán
Licenciatura (2004–2009)	Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo
Maestría (2010 – 2011)	Posgrado en Producción Animal, Depto. de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo

1. INTRODUCCIÓN

La interacción genotipo por ambiente (IGA) se manifiesta cuando las diferencias en el comportamiento productivo de dos o más genotipos cambian según los ambientes donde se desarrollan. Existen resultados contradictorios sobre la existencia de dicha interacción. Para el caso de México, la mayoría de los resultados indican la presencia de IGA significativa; así, Cienfuegos-Rivas *et al.* (1999) determinaron esta interacción entre valores genéticos predichos para producción de leche en bovinos Holstein en diferentes ambientes de producción, y Valencia *et al.* (2008) sugirieron la existencia de IGA para sementales Holstein a través de varias regiones de México. En ganado Nelore, Medina-Zaldívar *et al.* (2005) obtuvieron estimadores de correlación que indicaron la existencia de IGA entre genotipo y sistema de alimentación. Ramírez-Valverde *et al.* (2010) evaluaron la IGA para producción de leche en bovinos Jersey y observaron que la magnitud de los cambios en la jerarquización de sementales entre sistemas de alimentación no justifica la realización de evaluaciones genéticas independientes.

En el Capítulo 2 de esta tesis se presenta una revisión de literatura donde se comentan los principales factores ambientales que afectan el comportamiento de los bovinos y las respuestas de éstos, así mismo, se discuten conceptos básicos de IGA, factores que la causan, metodologías para su estimación, formas de reducir su impacto y evidencias de su existencia.

Existen dos importantes aspectos en la evaluación genética de bovinos en donde el conocimiento de la IGA puede tener implicaciones prácticas. El primero es si los valores genéticos predichos para las características de producción de los sementales serán jerarquizados en el mismo orden en un amplio rango de condiciones ambientales y, el segundo aspecto, es si la

diferencia entre estos valores genéticos predichos para las características de producción es la misma en todos los niveles de producción (Lopez-Villalobos, 1994). El primer aspecto se puede evaluar con la correlación entre valores genéticos estimados en diferentes ambientes y el segundo por pruebas estadísticas de desviación de los valores genéticos.

En México se han realizado evaluaciones genéticas de bovinos Suizo Europeo a nivel nacional desde el año 2003 (Núñez *et al.*, 2003), haciendo uso de registros de comportamiento de los animales en hatos distribuidos en toda la República Mexicana, por lo que varían en términos de clima, manejo y niveles de producción. Los valores genéticos predichos suponen que los mejores sementales que resultan de la evaluación genética, son los mejores indistintamente del ambiente en que se utilicen dentro del país. Sin embargo, dada la diversidad en condiciones agroecológicas donde se localizan los animales surge la incertidumbre acerca de la presencia de la IGA en esta población y su implicación práctica. En este contexto, el estudio de la IGA es importante para investigar si debería ser considerada en las evaluaciones genéticas para una selección más eficaz de reproductores.

En el Capítulo 3 de este documento se presenta un trabajo de investigación, que tuvo por objetivo determinar la magnitud de la interacción genotipo por clima en la evaluación genética de bovinos Suizo Europeo en México para características de crecimiento (pesos al destete y al año), considerando tres climas (trópico seco, trópico húmedo y templado), agrupados de acuerdo con variables climatológicas, reportadas en el Sistema Meteorológico Nacional.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Historia y características de la raza Suizo Europeo

La población de bovinos Suizo Europeo se desarrolló originalmente en Suiza. Después de la primera importación a los Estados Unidos de América de ganado originario de Europa en 1869, la población fue seleccionada con el objetivo de mejorar características lecheras, con lo que se desarrolló la raza Suizo Americano (Yoder y Lush, 1937). A partir de 1970, el ganado Suizo Americano fue apareado con la población de Suizo Europeo, resultando en la creación de la población actual de ganado Suizo Europeo (Maxa *et al.*, 2010). En México el ganado Suizo Europeo se distribuye principalmente en el trópico, en la región del Golfo y del Sureste (AMCGSR, 2012).

Entre las características de la raza Suizo Europeo están: talla mediana, con capa de un solo color “café-gris” con variación en los tonos, aunque son preferibles las sombras oscuras; con áreas de color más claro localizadas en los ojos, el hocico, orejas y en la parte baja de las patas; el pelo es corto, fino y suave; piel pigmentada con color negro en la partes expuestas como el hocico; los cuernos son blancos con puntas negras, medianos o pequeños, dirigidos hacia afuera y arriba, encorvándose en las puntas; la cabeza es ancha y moderadamente larga; la espalda es amplia y la línea dorsal recta; buenas patas, cortas, y pezuñas negras; y la ubre está bien conformada, bien adherida y con buenos pezones (AMCGSR, 2012).

Con respecto a las características funcionales de los bovinos Suizo Europeo, los animales son fuertes y de buen peso, llegando a alcanzar 700 kg en las hembras y los machos hasta 1,000 kg; el promedio de producción lechera en sistemas de doble propósito es entre 1,500 y 2,000 kg por lactancia, aunque en

regiones tropicales se reportan promedios de 3,200 a 4,000 kg (AMCGSR, 2012).

2.2 Influencia de factores ambientales

Las condiciones climáticas en los trópicos y zonas templadas son muy variables, y diferentes de las zonas europeas de donde muchas de las razas de bovinos son originarias. En condiciones tropicales los bovinos pueden sufrir de estrés climático, como resultado del efecto de factores climáticos actuando solos o en combinación (Gaztambide *et al.*, 1952).

Los factores físico-ambientales que afectan al ganado fueron definidos por Hahn *et al.* (2003) y corresponden a una compleja interacción de la temperatura del aire, humedad relativa, radiación, velocidad del viento, precipitación, presión atmosférica, luz ultravioleta y polvo. Se ha reconocido que la combinación de estos efectos es probablemente más importante y pueden tener un papel importante en los cambios fisiológicos que experimenta el ganado.

2.2.1 Temperatura

La variable probablemente más investigada y la más utilizada como indicador de estrés es la temperatura. El concepto de zona termoneutral es el resultado de investigaciones realizadas a comienzos de la década de los setenta. La zona termoneutral refleja el rango de temperatura ambiente efectiva de confort para el ganado y para la cual no existe una metodología clara que permita su estimación en bovinos para carne en condiciones prácticas de producción (NRC, 1981). Khalifa (2003) definió la temperatura ambiente efectiva de confort para el ganado como el estado constante de temperatura corporal, la cual puede ser mantenida sin necesidad de ajuste fisiológico o de comportamiento. Por esta razón el promedio de temperatura ambiente es generalmente considerado como la principal medida técnica utilizada para estimar confort animal (NRC, 1981). Existen además evidencias de que durante el verano la temperatura ambiental tiene efecto directo en el consumo de agua del animal, existiendo una relación positiva entre ambas variables. Además, se ha

reportado, bajo condiciones de estrés por calor, una relación inversa entre consumo de agua y consumo de materia seca (Arias *et al.*, 2008). Fox y Tylukti (1998) determinaron que a temperaturas sobre 30 °C asociadas a humedades relativas de 80% y en ausencia de noches frescas, los bovinos disminuyeron la producción de leche. Estos cambios en desempeño productivo y de comportamiento en los animales han sido explicados por el intercambio de calor y el balance energético del animal, los que a su vez son fuertemente influenciados por la temperatura ambiental (Khalifa, 2003).

En general se considera que los bovinos para carne se adaptan bien a condiciones frías; de hecho, casi dos tercios de la producción bovina en los Estados Unidos de América se concentra en zonas con inviernos cuyas temperaturas medias son inferiores a 0 °C (Arias *et al.*, 2008). Sin embargo, cuando las temperaturas mínimas son extremas, los bovinos reducen ganancias de peso, se alarga el periodo de engorda, la conversión alimenticia disminuye y se reduce la cantidad de leche producida (Birkelo y Johnson, 1993). La menor productividad durante el invierno está asociada a la mayor demanda de energía para mantenimiento y a la menor digestibilidad del alimento (Arias *et al.*, 2008). Si bien la temperatura ambiental es reconocida como uno de los factores más importantes en la producción del ganado, también se ha reconocido que ésta es alterada por la acción del viento, humedad, precipitación y radiación, entre otros factores (NRC, 1981).

2.2.2 Humedad relativa

La humedad relativa es considerada como un factor de potencial estrés en el ganado, ya que acentúa las condiciones adversas de las altas temperaturas. Los principales efectos de la humedad relativa están asociados con una reducción de la efectividad en la disipación de calor por sudoración y respiración (Renaudeau, 2005), características que están negativamente asociadas con el consumo de agua (Meyer *et al.*, 2004). Así, altos valores de humedad relativa reducen el potencial de disipación de calor, tanto de la piel como del aparato respiratorio (Gomes, 2006), afectando a los animales,

especialmente en ambientes en los que la disipación de calor por evaporación es crucial para mantener la condición homeotérmica (NRC, 1981).

2.2.3 Radiación solar

La radiación solar directa se considera como uno de los factores más importantes que afectan el balance térmico en el ganado (NRC, 1981). La radiación de onda corta y onda larga impactan fuertemente la carga total de calor, y el estrés por calor en los animales (Keren y Olson, 2006). También se ha demostrado que la radiación solar tiene un impacto directo en la temperatura rectal y la tasa de respiración (Collier *et al.*, 2006). Existen antecedentes que indican que la radiación solar tiene efecto en algunas concentraciones enzimáticas y minerales en el plasma (Sevi *et al.*, 2001.) Sin embargo, la cantidad de calor radiante absorbida por un animal depende no sólo de la temperatura del animal, sino también de su color y textura. Superficies oscuras irradian y absorben más calor que superficies claras, a una misma condición ambiental (Kadzere *et al.*, 2002).

2.3 Respuestas de los bovinos a condiciones de estrés climático

El efecto de la temperatura ha sido el más ampliamente estudiado, mientras que la información del efecto de otros factores es limitada.

2.3.1 Cambios hormonales

Diversas investigaciones sugieren que las altas temperaturas decrecen la actividad de la glándula tiroides, mientras que condiciones frías incrementan su actividad (NRC, 1981). Estas modificaciones en la actividad de la glándula tiroides son consistentes con la menor tasa metabólica, menor consumo de alimento, menor crecimiento y menor producción de leche en condiciones de estrés por calor (Beede y Collier, 1986). También se ha publicado que la secreción de cortisol es una de las principales respuestas del animal a condiciones de estrés, respuesta que es más rápida que la de las hormonas secretadas por la glándula tiroides.

2.3.2 Cambios en los patrones de alimentación

Las condiciones ambientales afectan directamente la demanda de energía para mantenimiento, así como también para la activación de algunas funciones fisiológicas y de comportamiento animal necesarias para hacer frente a las condiciones adversas del clima (NRC, 1981). El efecto del ambiente en el consumo voluntario de alimento ha sido bien documentado (Mader, 2003), destacando una relación inversa entre temperatura ambiental y consumo voluntario de alimento.

2.3.3 Cambios fisiológicos

Entre los principales cambios fisiológicos observados está el aumento en la tasa de respiración, pulso, sudoración y vasodilatación. El aumento en la tasa de respiración tiene por objeto aumentar la pérdida de calor por las vías respiratorias y es una de las más importantes para mantener el balance térmico (NRC, 1981). Otras respuestas observadas indican el desarrollo y retención de un pelaje largo y grueso como mecanismo de aislamiento térmico durante el invierno (Young *et al.*, 1989), mientras que durante el verano se reduce la cantidad y grosor del pelaje.

2.3.4 Cambios de comportamiento

Para evitar los efectos del exceso de calor, los animales también modifican su comportamiento habitual. Brown-Brandl *et al.* (2006) encontraron que en condiciones de estrés por calor, los animales disminuyeron el tiempo dedicado a consumir alimento y a permanecer echados; se reduce la agresividad del ganado; aumenta el tiempo dedicado a beber agua y los animales permanecen de pie cerca de los bebederos; y es posible observar cambios en la distribución del ganado dentro de los corrales, permaneciendo más tiempo en los lugares con mejor ventilación. Young (1985) observó que durante el invierno es posible observar la agrupación de los animales, así como también cambios posturales para tratar de reducir la exposición de la superficie corporal y con esto la pérdida de calor.

2.4 Concepto de interacción genotipo por ambiente

Un primer acercamiento al concepto de IGA fue hecho por Falconer (1952), quien definió que ésta ocurre cuando el comportamiento de diferentes genotipos no es igualmente afectado por diferentes ambientes. Bowman (1972) definió esta interacción como el cambio en el comportamiento relativo de un carácter de dos o más genotipos medidos en dos o más ambientes, y comenta que puede involucrar cambios en jerarquía de genotipos entre ambientes, y cambios en las varianzas genéticas, ambientales y fenotípicas entre ambientes.

El ganado bovino es criado en diferentes climas y en una amplia gama de condiciones de manejo; si la IGA afecta características importantes en los bovinos, entonces la precisión para la predicción de los valores genéticos de los sementales en todos los ambientes se dificulta. Lo anterior puede afectar, la habilidad para identificar con precisión aquellos animales genéticamente superiores, lo que es esencial para maximizar el mejoramiento genético mediante selección (Tess *et al.*, 1979).

Según Mattos *et al.* (2000), el examen de las diferencias en la jerarquía de los mismos machos en ambientes diferentes forma la base para el estudio de la IGA. Hammami *et al.* (2008) comentan que la categorización de la IGA es para distinguir entre efectos de escala y jerarquía. Sin embargo, Nunn *et al.* (1978) afirman que este tipo de estudios puede también producir interacciones “temporales” debido a que los animales pueden requerir tiempo para ajustarse a nuevos ambientes cuando físicamente son movidos de una localidad a otra, por otra parte, el método usado puede ser poco sensitivo para detectar el efecto de la IGA.

Generalmente la IGA no es tomada en cuenta en las evaluaciones genéticas y por tanto puede tener consecuencias negativas en los resultados; la existencia de esta interacción puede afectar la selección de material genético para los ganaderos de diferentes sistemas de producción (Nauta *et al.*, 2006). El conocimiento de la IGA es importante para que los criadores de animales

seleccionen el semental o raza apropiada dentro de una zona específica. Por tanto, se necesitan investigaciones para determinar la importancia de la IGA para una variedad de características que difieren intensamente con las condiciones climáticas o de manejo. Además, se requieren estudios para investigar la importancia de esta interacción en características pre y pos-destete, y de la canal, con el fin de proveer información de los tipos de modelos a utilizar en las evaluaciones genéticas.

2.5 Factores que causan la IGA en bovinos

En bovinos para carne se ha planteado evaluar la IGA mediante la correlación genética de la misma característica controlada en varios países como equivalente del ambiente (Buchanan y Nielsen, 1979).

No existe una forma simple de clasificar el ambiente debido a que existen muchos factores: año, generación, sexo del animal, largo e intensidad del régimen luminoso, cantidad y calidad de la ración, localidad, alojamiento, temperatura, humedad, régimen de lluvias, fotoperiodo, prácticas de manejo o combinación de estos factores (Lin y Togashi, 2002), lo que hace prácticamente imposible estudiar todos los posibles tipos de IGA.

Mark *et al.* (2007) hicieron una clasificación de variables ambientales, en bovinos lecheros, agrupándolas en tres grandes grupos como se indica a continuación:

- 1) Variables climáticas: pueden tomarse de los institutos meteorológicos y son medidas como promedios mensuales de: temperatura, rangos en temperatura, temperaturas máximas y mínimas, régimen de lluvias, rango en el régimen de lluvias, humedad, rango de humedad, y promedio de velocidad del viento.
- 2) Indicadores de sistemas de producción: incluyen producción promedio de leche (kg), contenido de grasa y proteína (%) tomados de los registros nacionales.

- 3) Descriptores de evaluaciones genéticas nacionales: heredabilidad, número de pariciones, si los registros de día de prueba considerados y si las características fueron analizadas simultáneamente como biológicamente diferentes.

Así, otro de los factores que puede causar IGA, son las diferencias en alimentación y sistemas de manejo, en particular entre hatos que practican pastoreo rotacional en los meses calurosos, contra hatos donde el ganado está confinado todo el año (Boettcher *et al.*, 2003).

El conocimiento de los factores de la IGA que afecta el crecimiento del ganado bovino es de gran utilidad para proyectar sistemas de producción y permitir la identificación de los mejores animales para un determinado ambiente.

2.6 Tipos de interacción

2.6.1 Descriptiva

MacBride (1958) clasificó la IGA en función de si el ambiente fue macro o micro ambiente, y si los genotipos fueron de naturaleza inter o intra poblacionales. Dunlop (1962) hizo una clasificación similar, dependiendo de si las diferencias entre genotipos y ambientes fueron grandes o pequeñas, estas clasificaciones son esencialmente descriptivas. Por ejemplo, pequeñas diferencias ocurriendo dentro de poblaciones pueden ser incrementadas seleccionando líneas diferentes en dos ambientes separados, y con el tiempo las diferencias entre líneas podrían ser grandes.

2.6.2 Práctica

James (2006) dividió este tipo de interacción dentro del tipo “escala” y “jerarquía”. Las interacciones de tipo “escala” son aquellas en que las diferencias entre genotipos cambian en magnitud, pero no en signo, con cambios en el ambiente; o diferencias equivalentes entre ambientes cambian en magnitud pero no en signo, con cambios en genotipos. En un sentido estricto, una interacción de tipo “escala” puede ser removida por la transformación de la

escala de medida. Por otra parte, las interacciones del tipo “jerarquía” son aquellas en que el genotipo “A” puede ser superior al genotipo “B” en el ambiente 1, pero al contrario en el ambiente 2. La importancia de esta distinción es obvia, cuando un genotipo seleccionado con interacción tipo “escala” ha sido seleccionado como mejor en un ambiente, puede ser el mejor en el otro ambiente considerado, sólo que la magnitud de la superioridad se verá reducida; mientras que en la interacción tipo “jerarquía”, el mejor genotipo seleccionado en un ambiente puede tener pobre comportamiento en otro. La distinción entre estos tipos de interacción tiene importantes implicaciones para el diseño de programas de apareamiento.

2.6.3 Por su naturaleza

James (2006) propone una tercera clasificación concerniente a la pregunta de si los genotipos y ambientes pueden ser clasificados como efectos fijos o aleatorios. Los efectos genéticos como razas, líneas o *loci* de características cuantitativas específicas que son, clases genéticas identificables y fácilmente controlables y repetibles, pueden ser considerados como efectos fijos. Los efectos genéticos aleatorios son aquellos como las diferencias genéticas entre individuos o sementales dentro de una raza o línea.

Los ambientes fijos incluyen factores como localidad, niveles de alimentación, presencia o ausencia de enfermedades específicas, mientras que el ambiente aleatorio incluye factores como años y prácticas de manejo similares en sistemas de cría de ganado.

Las diferentes clasificaciones refieren a si la IGA ocurre para características específicas en un ambiente de producción particular, o si esto refiere al total de la eficiencia económica en un sistema de producción-mercado. Mientras existan diferencias reales, es suficiente notar que las consecuencias para programas de apareamientos serán esencialmente las mismas (James, 2006).

2.7 Consecuencias y aplicaciones de la existencia de la IGA

Los efectos de la IGA recaen en la eficiencia de los programas de selección, mediante la reducción de la respuesta de las características productivas, causando así una reducción en el comportamiento productivo (Montaldo, 2001). Según Mulder y Bijma (2005), los efectos de la IGA se reflejan en la precisión de selección y la intensidad de selección, y concluyen que la menor ganancia genética es básicamente por pérdida en la precisión de selección afectada por la correlación genética (como una medida de la IGA), la heredabilidad, el tipo de información y el número de registros de cierto tipo.

La IGA puede cambiar la jerarquía de los genotipos en cada ambiente, sugiriendo la posible necesidad de diseñar una raza básica, en pequeña escala, esta estrategia puede involucrar costos y afectar la expresión económica de la característica deseada en el ambiente deseado (Montaldo, 2001). Ponzoni *et al.* (2008) observaron que el beneficio económico y la relación beneficio-costo disminuyó (entre 8 y 50%) con la magnitud de la correlación genética entre características similares en los ambientes de selección y producción.

La interacción que resulta en el cambio de jerarquía o en cambios de escala tienen diferentes impactos en el beneficio económico y la relación costo-beneficio (Ponzoni *et al.*, 2008). Las conclusiones de Ponzoni *et al.* (2008), indicaron que los efectos de escala, sólo provocaron pequeños cambios en el beneficio económico y la relación costo-beneficio, aun cuando existió una reducción de 40% en la heredabilidad de las características en el ambiente de producción; en tanto que los cambios debido a efectos de jerarquía tuvieron un impacto mayor en la eficiencia de los programas de apareamiento en comparación con los efectos de escala.

Aunque la IGA involucra cambios en la clasificación genética o cambios en la magnitud de las varianzas genética y ambiental (Cerón-Muñoz *et al.*, 2004), una posibilidad del uso de la información, puede ser mejorar la precisión en la evaluación genética del comportamiento de un semental para el

comportamiento de sus hijas en otro país con diferentes niveles de producción. Por tanto, la IGA sirve para predecir qué sementales de países desarrollados pueden comportarse bien en países en desarrollo con condiciones ambientales difíciles (Hayes *et al*, 2003). Sin embargo, Mulder *et al*. (2004) comentan que una desventaja de considerar esta interacción al llevar a cabo evaluaciones genéticas para varios ambientes es el incremento en el número de valores genéticos estimados, por lo que no la recomiendan.

2.8 Metodologías estadísticas para el análisis de la IGA

Existen varias metodologías propuestas para evaluar la IGA, pero el uso de modelos bivariados (considerando pares de ambientes como diferentes características) ha sido lo más usado. Otra forma para estimar la IGA es haciendo uso del modelo de reacción normal, el cual ha sido de reciente introducción. Así mismo, el análisis de varianza permite identificar la significancia de dicha interacción.

2.8.1 Modelos bivariados

Falconer (1952) sugirió que la expresión de la misma característica en dos ambientes puede ser considerada como dos características diferentes, y la correlación genética entre éstas puede estimarse en la misma forma que cualesquiera dos características correlacionadas. El modelo puede ser descrito en notación matricial como:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

donde, y_1 y y_2 son los vectores de fenotipos en los ambientes 1 y 2; β_1 y β_2 son los vectores de efectos fijos y covariables en los ambientes 1 y 2; a_1 y a_2 son los vectores de efectos genéticos aditivos aleatorios en el ambiente 1 y 2; e_1 y e_2 son los vectores de efectos residuales aleatorios para el ambiente 1 y 2; X_1 y X_2 son las matrices de incidencia conocidas, relativas a las observaciones para los respectivos efectos fijos en el ambiente 1 y 2; y Z_1 y Z_2 son matrices que

relacionan las medidas fenotípicas con los efectos genéticos aditivos aleatorios en los dos ambientes. Las estructuras de varianza y covarianza para los componentes aleatorios pueden ser descritas como:

$$\text{var} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_{a1}^2 & A\sigma_{a12} & 0 & 0 \\ A\sigma_{a21} & A\sigma_{a2}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_{e1}^2 & I\sigma_{e12} \\ 0 & 0 & I\sigma_{e12} & I\sigma_{e2}^2 \end{bmatrix}$$

donde, A es la matriz de relaciones genéticas aditivas entre los animales; I es la matriz identidad; σ_{a1}^2 y σ_{a2}^2 son las varianzas genéticas aditivas para los ambientes 1 y 2; σ_{e1}^2 y σ_{e2}^2 son las varianzas ambientales para los ambientes 1 y 2; y σ_{a12} y σ_{e12} son las covarianzas genéticas aditivas y ambientales entre los ambientes 1 y 2.

Estos modelos permiten estimar la IGA, al considerar los fenotipos medidos en diferentes ambientes como diferentes características y pueden incluirse en las evaluaciones genéticas datos de animales cruzados (Wolf y Wolfová, 1998). Los análisis bivariados se usan para obtener estimadores de las correlaciones genéticas y fenotípicas entre características (Meyer, 1991) y la manera de cuantificar la IGA es mediante la correlación genética entre características (ambientes) y el cálculo de correlaciones entre valores genéticos de una variable obtenida para los mismo individuos en dos ambiente diferentes (Vargas y Gamboa, 2008).

La estimación de la correlación genética a través de modelos bivariados tiene varios obstáculos; primero, la demanda computacional para estimar los componentes de (co)varianza en un modelo multivariado; segundo, pobre conectividad a través de ambientes (Jorjani *et al.*, 2005). Estos obstáculos pueden ser superados con el uso sistemático del mismo genotipo en diferentes ambientes que provea información que puede ser usada para estimar varianzas y parámetros de la IGA (Maniatics y Pollot, 2002). Ibi *et al.* (2005) reconocieron un tercer problema al estimar esta correlación, las observaciones de un

genotipo en diferentes ambientes son tomadas de diferentes individuos, lo que limita aún más la conectividad entre los diferentes grupos.

2.8.2 Modelo de reacción normal

El modelo de reacción normal ha sido recientemente introducido para predecir valores genéticos en bovinos lecheros (Calus *et al.*, 2002; Kolmodin *et al.*, 2002; Strandberg *et al.*, 2009), bovinos para carne (Braganca *et al.*, 2009; Pegolo *et al.*, 2009), ovejas (Pollott y Greeff, 2004), y cerdos (Knap y Su, 2008). Según Fikse *et al.*, (2003), el modelo de reacción normal describe el fenotipo expresado como una función del ambiente.

La función de la reacción normal puede usarse para predecir valores genéticos para una característica dado un cierto ambiente. Los parámetros genéticos pueden ser estimados por reacción normal si se dispone de los valores fenotípicos de un gran número de crías (Kolmodin *et al.*, 2002); el modelo de reacción normal también permite identificar genotipos que son más o menos sensibles a cambios en el ambiente. Estos valores genéticos pueden después ser usados para monitorear la sensibilidad ambiental de una característica en la población, o para seleccionar sensibilidades ambientales altas o bajas, en paralelo al mejoramiento genético del nivel medio de una característica (Kolmodin *et al.*, 2003).

Según James (2006) la reacción normal puede ser de forma arbitraria y la IGA es indicada por la falta de paralelismo de la reacción normal. Cada reacción normal puede ser representada en la forma:

$$E[\bar{Y}_{ij}] = \mu + G_i + f_i(E_j)$$

donde la media esperada es particionada dentro de una media general, un efecto promedio del genotipo y el término dependiente del nivel del factor ambiental, este término crea la posible diferencia para cada genotipo. Estrictamente, sólo el último término es requerido; los dos primeros son usados para enfatizar que la interacción depende, en la reacción normal del factor

ambiental (James, 2006). La ausencia de la interacción podría significar que el último término fue el mismo para cada genotipo, entonces:

$$E[\bar{Y}_{ij}] = \mu + G_i + f(E_j)$$

y las líneas para los diferentes genotipos pueden ser elevadas y paralelas sobre el eje determinadas por los valores de G_i . De forma más general, se puede clasificar el valor fenotípico de un genotipo en un ambiente particular como una función general de las variables que caracterizan el ambiente. Si se denotan los valores de las variables en el j -ésimo ambiente como $\theta_{1j}, \theta_{2j}, \dots, \theta_{nj}$, el comportamiento del i -ésimo genotipo en el j -ésimo ambiente puede ser representado como una función general $f_i(\theta_{1j}, \theta_{2j}, \dots, \theta_{nj})$. Esta forma es tanto general como de poco uso, puede referirse a un individuo en un simple momento de su existencia, con otras variables ambientales surgiendo de momento a momento, y el comportamiento puede ser un gran conjunto de valores característicos ordenados en un vector (James, 2006). Entonces el modelo podría ser:

$$E[\bar{Y}_{ij}] = \mu + G_i + f_i(\theta_{1j}, \theta_{2j}, \dots, \theta_{mj})$$

donde, m son las variables ambientales identificadas. En la práctica esto podría ser hecho tratando con regresiones lineales en un primer paso, con términos cuadráticos adicionados si los términos lineales son inadecuados. Sin embargo, excepto en conjuntos de datos mucho más grandes que aquellos disponibles en animales de granja, una exploración detallada de cada función puede no ser factible. Esto puede ser clasificado como una aplicación de los métodos de regresión aleatoria.

2.8.3 Análisis de varianza

El caso más simple, donde se tiene un solo factor ambiental, una aproximación estándar al análisis de la IGA es por análisis de varianza (ANOVA), según James (2006) el modelo para el análisis de datos es:

$$E[\bar{Y}_{ij}] = \mu + G_i + E_j + GE_{ij}$$

donde, μ es la media general, G_i es el efecto medio sobre todos los ambientes del i -ésimo genotipo, E_j es el efecto medio sobre todos los genotipos del j -ésimo ambiente y GE_{ij} mide la extensión de la media del genotipo i en el ambiente j partiendo de los efectos aditivos de éstos.

El término de interacción, puede reflejar efectos de escala, que pueden ser removidos por transformación, u otros efectos como cambios en la jerarquía de los genotipos de un ambiente a otro (James, 2006). El ANOVA convencional provee una base para probar si la IGA es significativa (Lin y Lin, 1994), pero no dice qué nivel de los factores es significativamente diferente o cómo interactúan, limitándose a concluir si la interacción fue o no detectada.

2.8.4 Análisis *cluster*

El propósito del análisis *cluster* es poner “objetos” dentro de grupos sugeridos por los datos, no definidos *a priori*, de tal manera que los objetos en un *cluster* dado son similares en algún sentido, y objetos en diferentes *cluster* tienden a ser diferentes. También puede ser utilizado para resumir datos, este uso del agrupamiento algunas veces es llamado *disección* (Everitt, 1980).

Cualquier generalización acerca del análisis *cluster* puede ser vaga, debido al vasto número de métodos de agrupación que han sido desarrollados, con diferentes definiciones de *cluster* y semejanzas a través de objetos. Esta variedad de técnicas de agrupamiento es reflejada por la variedad de términos usados para el análisis: morfometría, nosología, taxonomía numérica, partición, análisis Q, tipología, reconocimiento de patrones no supervisados.

Algunos tipos de *cluster* posibles:

- Grupos separados, cada objeto en y sólo en un grupo.
- Conglomerados jerárquicos organizados para que un grupo pueda estar totalmente contenido dentro de otro.

- Grupos superpuestos restringidos al mismo número de objetos que pertenecen simultáneamente a dos grupos, o pueden ser sin restricciones, permitiendo cualquier grado de solapamiento en los miembros del *cluster*.
- Grupos difusos definidos como una probabilidad del grado de relación de cada objeto en cada *cluster*. Pueden ser separados, jerárquicos o solapados.

En el manual de SAS (2008) se comenta que la representación de datos también puede ser agrupada tomando muchas formas. Las más comunes son:

- Cuadrado de distancias o matriz de similaridad, en que filas y columnas corresponden a los objetos a ser agrupados. Una matriz de correlación es un ejemplo de una matriz de similaridad.
- Matriz coordinada, en que las filas son observaciones y las columnas son variables. Las observaciones, variables o ambas pueden ser agrupadas.

No existe un método completamente satisfactorio que pueda ser usado para determinar el tamaño de la población en el grupo para ningún tipo de análisis *cluster*.

Aunque la función primaria de la metodología es analizar la estructura de la IGA, puede ser usada como una herramienta para seleccionar el nivel de un factor sin alterar la estructura de IGA. Este procedimiento de investigar la IGA es esencialmente útil cuando muchos genotipos y ambientes están involucrados.

Esta metodología ha sido aplicada por Lin y Lin (1994), Weigel y Rekaya, (2000), Fikse *et al.* (2001), y Zwald *et al.* (2003) para investigar la IGA. Estas investigaciones fueron mayormente hechas en bovinos lecheros. En bovinos para carne, esta metodología ha sido aplicada por Naser *et al.* (2008).

2.8.5 Correlación de la interacción

Togashi *et al.* (1999) dividieron los efectos del semental en una parte constante (α) y una parte de interacción (β) en la presencia de la IGA. En la base de su procedimiento de partición, el efecto de un semental en un “ambiente” j ($j = A, B$ o C) puede ser escrito como $S_j = \alpha + \beta$. Sin embargo, la varianza del efecto de semental en el ambiente j ($\sigma_{S(j)}^2$) es la suma de la varianza constante (σ_α^2) y la varianza de la interacción ($\sigma_{\beta(j)}^2$). Las partes constantes y de la interacción se supone que son independientes.

La medición de la IGA hecha por Falconer y Mackay (1996) se calcula con base en la suma de los efectos genéticos constantes e interacciones. Debido a que el efecto genético constante dentro de la interacción no tiene nada que hacer, la inclusión de dicho efecto puede afectar la intensidad de la interacción.

Togashi *et al.* (2001) proponen una nueva forma de estimar la IGA, basado en la correlación de la interacción (Y_I) y expresada como:

$$Y_{I(A,B)} = \frac{\sigma_{\beta(A,B)}}{\sqrt{\sigma_{\beta(A)}^2 \sigma_{\beta(B)}^2}}$$

donde, $\sigma_{\beta(A,B)}$ es la covarianza de interacción del efecto semental en los ambientes A y B; $\sigma_{\beta(A)}^2$ es la varianza de interacción del efecto semental en el ambiente A; y $\sigma_{\beta(B)}^2$ es la varianza de interacción del efecto semental en el ambiente B.

Como se define, la correlación de la interacción es estimada con base solamente en la varianza y covarianza responsable de la interacción. La medición convencional de la IGA (correlación genética) se basa en el cómputo de la suma de los efectos constantes e interactuantes, aunque el efecto genético no es afectado por el ambiente y no juega un rol en la IGA. En contraste, la medida propuesta (correlación de la interacción), excluye el efecto constante y considera sólo el efecto interactuante que es responsable de la

generación de la IGA. Sin embargo, la correlación genética provee de una medida de la IGA desde una perspectiva de todos los genes que afectan una característica, pero la correlación de la interacción provee una medida de la IGA sobre la base de la comprensión de los genes responsables del fenómeno y esto es un verdadero indicador de la intensidad de la IGA. Desde un punto de vista práctico, la correlación de la interacción y la correlación genética son complementarias.

2.9 Criterios de decisión

En la genética de variación continua, el coeficiente de correlación entre cualesquiera dos características juega un papel importante en la discusión de la respuesta correlacionada a la selección, y de la combinación de diferentes medidas para asegurar el máximo mejoramiento. Situaciones involucrando una IGA pueden ser tratadas por métodos de correlación genética, si sólo dos diferentes ambientes son considerados (Falconer, 1952). Robertson (1959) planteó la pregunta ¿Qué tanto podría disminuir la correlación antes de tener importancia biológica? La respuesta dada fue hasta 0.8, por lo que un valor superior a este valor, significaría no interacción.

Con el uso de grupos de parientes en el análisis del problema, una interacción (implicando que las diferencias reales entre grupos no son las mismas en los dos ambientes) puede ser debida a dos fenómenos biológicos completamente diferentes. En primer lugar, los componentes de varianza entre grupos pueden ser diferentes; en segundo, la verdadera jerarquía de grupos puede ser diferente. Falconer (1952) hizo una considerable conceptualización por puntualizar que la segunda causa de interacción puede ser considerable en términos de correlación genética entre comportamiento en dos ambientes. La interacción significa claramente cómo los dos efectos contribuyen.

2.10 Estimación de IGA

Las razas bovinas son criadas en climas diferentes y en una amplia gama de condiciones de manejo (Tess *et al.*, 1979), por lo que la definición de ambiente

es una de las primeras cuestiones donde las coincidencias no son del todo uniformes (Naves y Menéndez, 2005). Con un incremento en el rango de ambientes, la potencial importancia de la IGA incrementa. A escala global, esto puede tener grandes consecuencias para la selección de sementales, pero quizás puede ser importante también a nivel nacional, donde ganaderos individuales podrían seleccionar toros más apropiados a su sistema de producción (Strandberg *et al.*, 2009).

Se ha estimado que la problemática de la IGA, requiere de estudios más profundos (Naves y Menéndez, 2005), y junto a evidencia estadístico-biológica de la IGA necesitan ser considerada a la par con información económica durante las decisiones de apareamiento involucrando todas las características de interés (Montaldo, 2001); estudios que deben ser abordados a la brevedad, debido a la envergadura económica de la IGA (Naves y Menéndez, 2005).

2.10.1 Comparación entre países

Para animales destinados a la producción de carne se ha planteado evaluar la interacción mediante la correlación genética de la misma característica controlada en varios países como equivalente del ambiente (Naves y Menéndez, 2005). Algunas poblaciones animales ya han sido simultáneamente evaluadas en diferentes países, por ejemplo, animales de Francia, Italia, Luxemburgo y Hungría; Australia y Nueva Zelanda; Estados Unidos de América y Canadá, suponiendo una característica simple y homogeneidad de varianzas a través de países (Phocas *et al.*, 2005).

Sin embargo, autores como Phocas *et al.* (2005) reconocen que existen algunas consideraciones cuando se implementan evaluaciones genéticas a través de diferentes países, junto a importantes consideraciones políticas. Primeramente, la conectividad genética necesita ser suficiente a través de países para estimar correlaciones genéticas y para comparar estimaciones de valores genéticos; segundo, un modelo para una evaluación genética internacional necesita ser definido e implementado; tercero, los requerimientos de memoria

computacional, baja velocidad de convergencia y tiempo de CPU han impedido el montaje de modelos animales bivariados considerando cada país como una característica diferente. No obstante existen diferentes autores que han hecho un esfuerzo por comparar estimaciones de valores genéticos a través de países (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de correlación genética (r_g) agrupados por pares de países para características de crecimiento en la raza Hereford.

Autor	Ambiente	Característica	r_g
Mattos <i>et al.</i> , 2000	EEUU ^z vs Canadá		0.86
	EEUU vs Uruguay	Peso al destete	0.90
	Canadá vs Uruguay		0.88
Lee y Bertrand, 2002	EEUU vs Canadá		0.85
	EEUU vs Argentina		0.81
	EEUU vs Uruguay		0.86
	Canadá vs Argentina	Peso al destete	0.82
	Canadá vs Uruguay		0.83
	Argentina vs Uruguay		0.81
	EEUU vs Canadá		0.92
	EEUU vs Argentina		0.51
	EEUU vs Uruguay		0.83
	Canadá vs Argentina		0.64
	Canadá vs Uruguay	Ganancia posdestete	0.84
	Argentina vs Uruguay		0.80
	EEUU vs Canadá		0.97
	EEUU vs Argentina		0.97
	Canadá vs Argentina		0.92

^z Estados Unidos de América

Mattos *et al.* (2000) concluyeron que la IGA no tuvo un efecto significativo en la característica estudiada y por tanto no fue materialmente afectada (Cuadro 1). Propusieron entonces que peso al destete puede ser analizado como la misma característica en todos los países involucrados en el estudio. A consecuencia

de la similaridad de parámetros genéticos y ambientales, propusieron que es factible una evaluación genética conjunta en la raza Hereford y la IGA puede ser ignorada.

Lee y Bertrand (2002) después de estudiar la interacción genotipo por país para peso al nacimiento, peso al destete y ganancia de peso pos-destete en la población Hereford (Cuadro 1) concluyeron que peso al destete y ganancia de peso pos-destete pueden ser analizadas como la misma en todos los países involucrados. Sin embargo, reconocieron que para peso al nacimiento parece requerir ajustes por heterogeneidad de varianza fenotípicas a través de los diferentes países.

Naves y Menéndez (2005) reconocieron que es factible una evaluación genética conjunta a nivel internacional debido a la inexistencia (o de muy poca importancia) de la IGA. Sin embargo, Fikse *et al.* (2003) comentan que el comportamiento en países vecinos con ambientes similares de producción no puede ser tratada como característica genética idéntica, porque no solo depende de la IGA, sino también de las diferencias entre los sistemas de evaluaciones nacionales. Es por esto que Lee y Bertrand (2002) proponen llevar a cabo más investigaciones para determinar la importancia de la interacción genotipo por país para una variedad de características, que incluyan países en ambos hemisferios o difieran ampliamente en condiciones climáticas o de manejo, haciendo énfasis en identificar el modelo que permita obtener inferencias correctas para la evaluación de bovinos para carne a través de los países.

2.10.2 Características de crecimiento

Una de las interacciones que ha sido ampliamente estudiada a nivel internacional es la interacción semental por ambiente. Bertrand *et al.* (1987) reconocieron que esto es necesario para evaluar los valores genéticos de los sementales en regiones donde pueden ocurrir cambios de jerarquía y de esta manera separar el comportamiento de sementales analizados. Esta interacción

(semental por ambiente) puede ser cuantificada para cada raza y, si es necesario, ser incluida en la evaluación genética con procedimientos de modelo mixtos para minimizar sus efectos.

Los resultados obtenidos por diferentes autores han sido variados; algunos indican la existencia de la IGA en bovinos para carne. Sin embargo, hay quienes concluyeron que esta interacción no existe o es de poca importancia, (Cuadro 2). Esto sugiere que las características de crecimiento en bovinos para carne necesitan un mayor número de estudios que combinen una mayor cantidad de ambientes, de tal forma que se pueda llegar a una conclusión acerca de la existencia o inexistencia de la IGA.

La IGA ha sido ampliamente estudiada para características de crecimiento, Nunn *et al.* (1978) y Burfering *et al.* (1982) concluyeron que la interacción semental por región no fue significativa para peso al nacimiento en la raza Simmental. Tess *et al.* (1984) llegaron a la misma conclusión cuando analizaron la interacción semental por localidad en la raza Hereford. Así mismo, Carolino *et al.* (2007), estudiando la IGA (semental x hato x año) en la raza Alentejana, concluyeron, que esta interacción no es significativa, indicando que la característica peso al nacimiento puede ser considerado bajo la influencia de los mismos genes cuando se analiza en diferentes ambientes. Por el contrario, Buchanan y Nielsen (1979) estudiaron la interacción semental por región para las razas Simmental y Maine-Anjou y concluyeron que dicha interacción fue una fuente importante de variación para peso al nacimiento.

En características pre-destete, Tess *et al.* (1984) determinaron que la ganancia de peso pre-destete no se vio afectada cuando se considera la interacción semental por localidad, y por tanto los sementales pueden jerarquizarse similarmente a través de localidades. Para peso a los tres y siete meses, Carolino *et al.* (2007) concluyeron que las diferencias entre genotipos son independientes del ambiente (semental x hato x año) en que estos son expresados. De este modo no parece haber necesidad de ser considerado el

efecto de la IGA en lo respectivo a un programa de selección para estas características.

Cuadro 2. Correlaciones genéticas (r_g) para características de crecimiento en distintos ambientes.

Autor	Ambiente	Raza	Característica	r_g
Bradfield <i>et al.</i> , 1997	Favorable vs Desfavorable	SG ^z	Peso al destete	0.64
	Sur vs Sureste			1.00
	Sur vs Centro-oeste			0.84
	Sur vs Noreste			-0.86
	Sureste vs Centro-oeste		Peso al destete	0.98
	Sureste vs Noreste			0.51
	Centro-oeste vs Noreste			1.00
Fridrich <i>et al.</i> , 2005	Sur vs Sureste	Tabuapa		0.99
	Sur vs Centro-oeste			0.99
	Sur vs Noreste			-0.73
	Sureste vs Centro-oeste		Peso al año	0.93
	Sureste vs Noreste			0.45
	Centro-oeste vs Noreste			0.12
	Pastoreo vs Intensivo			0.45
Naves y Menéndez, 2005	Intermedio vs medio	CG ^y	P15m ^x	0.15
	Pastoreo vs intermedio			0.60
Souza <i>et al.</i> , 2008	Pantanal vs Goiás, Brasil	Nellore	Peso al destete (205d)	0.61
			Peso al nacimiento	1.00
			Peso al destete	1.00
Jeyaruban <i>et al.</i> , 2009	Queensland vs Victoria	A ^w	Peso al año	0.98
			Peso final	0.96
			Peso de la vaca maduro	0.89

^zbovinos Santa Gertrudis, ^ybovinos Criollo de Guadalupe, ^xpeso a los 15 meses de edad, ^wbovinos Angus.

Para peso al destete se han publicado resultados igual de contrastantes en interacciones similares. En la raza Hereford se han estudiado las interacciones semental por región (Nunn *et al.*, 1978; Buchanan y Nielsen, 1979) y semental por estación (Buchanan y Nielsen, 1979), las cuales tuvieron un efecto significativo para dicha característica. Resultados similares fueron obtenidos por Buchanan y Nielsen (1979) para la raza Manjie-Anjou cuando analizaron los efectos de semental por estación y semental por hato/región. Bertrand *et al.* (1985) analizaron semental x hato/región, semental por grupo contemporáneo/hato y semental por región con datos productivos de Polled Hereford, y concluyeron que estas interacciones tienen un efecto significativo en peso al destete, proponiendo que dichas interacciones sean tomadas en los procedimientos de evaluación para predecir valores genéticos. Notter *et al.* (1992) estudiaron la interacción semental por hato y concluyeron que esta interacción fue significativa para peso al destete.

Tess *et al.* (1979) determinaron que el efecto de la interacción semental por región no fue significativo para peso al destete, mientras que semental por hato estuvo cerca de serlo cuando analizaron la información de bovinos Simmental. Así mismo, varios años después Tess *et al.* (1984) analizaron información de la raza Hereford y determinaron que la interacción semental por localidad no fue significativa.

En un estudio donde se compararon ocho regiones de Brasil, Souza *et al.* (2003) analizaron los registros de peso al destete en bovinos Nellore y encontraron que las estimaciones de correlación variaron de -0.25 a 1.00; las correlaciones cercanas a cero (Campo Grande - Dourados y Araraquara) sugieren que diferentes conjuntos de genes controlan la característica peso al destete en esas regiones.

Pahnish *et al.* (1983) estudiaron los efectos de la interacción línea genética (Hereford) por localidad para características de crecimiento y concluyeron que dicha interacción tienen efectos significativos en dichas características. Estos resultados indican que la adaptación al ambiente local es importante en

producción de bovinos para carne y debe ser considerada para el desarrollo de programas de apareamiento. Por el contrario, Baker *et al.* (2002) determinaron que la IGA (donde ambiente fue definido como corral de engorda vs pastoreo) no fue significativa para ganancia de peso posdestete en los bovinos Angus y Polled Hereford, y concluyeron que la falta de significancia de las interacciones indica que el ajuste apropiado de los datos es útil para jerarquizar los toros por mérito genético para crecimiento.

Para peso al año, pocos estudios han sido desarrollados. Por ejemplo, Pani *et al.* (1973) estudiaron los efectos de semental por año en la raza Hereford, clasificando los resultados según el sexo de los animales (toretos y vaquillas); en toretes, los efectos de la interacción fueron significativos y de magnitud importante, mientras que en las vaquillas, los efectos de esta interacción no fueron significativos, las diferencias observadas entre toretes y vaquillas fueron atribuidas a la edad en que las mediciones fueron realizadas y a las diferencias en las condiciones de alimentación y hormonales. Assenza *et al.* (2010) consideraron dos sistemas de engorda (confinamiento contra pastoreo), concluyendo la existencia de la IGA en bovinos Criollos, por lo que debe ser considerada cuando se planean programas de apareamiento. En tanto, Carolino *et al.* (2007), al considerar la interacción semental x hato x año concluyeron que ésta puede no ser considerada en programas de selección, ya que no se afectó la característica.

La IGA (representado por pastoreo en praderas de pasto Bermuda o pastizal nativo) con información de las razas Angus y Brahman para peso adulto y velocidad de crecimiento, fue estudiada por Sandelin *et al.* (2002), quienes concluyeron que esta interacción necesita ser cuidadosamente considerada cuando se intente establecer programas de apareamiento para la producción y aprovechamiento de los recursos disponibles. Jeyaruban *et al.* (2009) también concluyeron que las características de crecimiento estuvieron bajo el control de los mismos genes (Cuadro 2), puesto que las características estudiadas no

fueron influenciadas por la interacción (Queensland y Victoria como definición de ambientes).

Según Pahnish *et al.* (1983), la importancia de la IGA en determinar el ambiente óptimo para seleccionar progenitores no ha sido bien establecida, sugiriendo que la adaptación genética al ambiente local es importante en la producción de bovinos para carne y evidenciando la necesidad de elegir el mejor semental desarrollado para cada determinada región. El hecho de no tener en cuenta esta indicación podrá causar menor ganancia genética y productividad (Souza *et al.*, 2008).

La IGA puede ser de gran importancia práctica, y generalmente no ha sido considerada en los programas de apareamiento o en los modelos para las evaluaciones genéticas. Según Souza *et al.* (2008), la no observación de la interacción puede traer costos elevados para los ganaderos porque no siempre un determinado semental tiene la misma respuesta en distintos ambientes, por lo que se tiene la necesidad de considerar la interacción en el momento de aparear a los animales.

2.10.3 Características de producción

Investigaciones dirigidas a características relacionadas con la producción de leche o sus componentes (por ejemplo grasa y proteína) se han desarrollado principalmente en bovinos Holstein, y los resultados han indicado que producción de leche, grasa y proteína pueden ser consideradas como la misma característica independiente del ambiente donde se desarrollen.

Los efectos de la interacción genotipo por sistema de alimentación (alta vs baja entrada de insumos) y genotipo por manejo (pastoreo vs convencional) fueron estudiadas para producción de leche, grasa y proteína por Cromie *et al.* (1998) y Weigel *et al.* (1999), respectivamente. En ambos casos arribaron a coeficientes de correlación similares (Cuadro 3) y concluyeron que las correlaciones no indican la presencia de IGA, por lo que no son importantes en los sistemas de alimentación estudiados. Sin embargo, Cromie *et al.* (1998)

identificaron pequeñas evidencias de cambios de jerarquía a través de los grupos definidos.

Cuadro 3. Correlaciones genéticas (r_g) para características de producción en distintos ambientes.

Autor	Ambiente	Raza	Característica	r_g
Cromie <i>et al.</i> , 1998	Alto vs bajo	Holstein	PL ^z	0.92
			Grasa ^y	0.89
			Proteína ^x	0.91
Weigel <i>et al.</i> , 1999	Pastoreo vs convencional	Holstein	PL	0.92
			Grasa	0.88
			Proteína	0.99
Suárez <i>et al.</i> , 2009	Normal vs bajo	Siboney	PL	0.49
Ramírez-Valverde <i>et al.</i> , 2010	Pastoreo vs confinamiento	Jersey	PL	0.96

^zproducción de leche; ^yproducción de grasa; ^xproducción de proteína

Weigel *et al.* (1999) reconocieron que al no ser importante la interacción estudiada, el progreso genético puede ser óptimo seleccionando sementales probados bajo condiciones convencionales (control), pero comentan que los hatos que practican pastoreo (no convencionales) deberían cooperar en el desarrollo de esquemas de muestreo de sementales para que sementales jóvenes puedan ser probados en ambientes no convencionales.

Otro de los estudios que han comparado confinamiento contra pastoreo, fue el realizado por Fahey *et al.* (2007), quienes agruparon los registros ajustados a equivalente maduro de producción de leche, grasa y proteína en cuartiles; existió evidencia que la IGA (o un efecto de escala) estuvo presente entre los cuartiles bajos entre pastoreo y confinamiento con una correlación genética de 0.21, aunque el error estándar fue 0.22, para el segundo cuartil la correlación

incrementó a 0.77, y para el tercer y cuarto cuartil la correlación fue de 0.97 y 0.86.

Ramírez-Valverde *et al.* (2010) estudiaron la interacción genotipo por sistema de alimentación (confinamiento contra pastoreo) para producción de leche, en bovinos Jersey, y concluyeron que la alta correlación (Cuadro 3) indica que los valores genéticos pueden ser usados de forma segura en ambos ambientes, aunque identificaron un cambio en la jerarquía de los animales de baja a moderada magnitud.

Suárez *et al.* (2009) estudiaron registros de producción de leche de bovinos Siboney de Cuba agrupados en dos ambientes denominados “normal” (1980-1990) y “bajo” (1991-2000); la correlación genética (Cuadro 3) indicó un cambio importante en el orden del mérito genético de los sementales, resultando en una clara evidencia de la existencia de la IGA.

2.10.4 Características reproductivas

Los factores potenciales que tienen influencia en las características reproductivas han sido mayormente estudiados en bovinos Holstein. Algunas de las variables de respuesta estudiadas han sido intervalo entre partos, número de días al primer estro observado, número de servicios por concepción, condición corporal al servicio, y días al primer estro pos-parto observado. Los resultados en bovinos lecheros son contradictorios, aunque la mayoría indica la no existencia de la IGA. En bovinos para carne existe la necesidad de llevar a cabo más estudios para este tipo de características.

Burfening *et al.* (1982) analizaron la característica facilidad al parto en bovinos Simmental, comparando la magnitud y causas de la interacción de semental por región y por hato/región; concluyeron que la interacción semental por región de los Estados Unidos de América no fue significativa. Por el contrario la interacción semental por hato/región, fue significativa en 40% de los análisis y concluyeron que en la definición de ambiente (hato-año-estación), cada

elemento puede contribuir a la interacción, por lo que más investigaciones son necesarias para dilucidar la causa de la interacción de su estudio.

Características que relacionan la producción lechera con el desempeño reproductivo de las hembras tales como mastitis, cetosis, metritis, entre otras, han sido poco estudiadas. Pryce *et al.* (1999) estudiaron los efectos de seleccionar por características productivas (producción de leche, grasa y proteína) en la salud y fertilidad de las hembras, y determinaron una interacción no significativa cuando analizaron el efecto de la interacción de línea genética (Holstein) x sistema de alimentación en las características mastitis, cetosis, metritis, retención de placenta, fiebre de leche, laminitis, o estro no observado, concepción al primer servicio, días al primer servicio, días al primer celo, y días abiertos; para intervalo entre parto, la interacción estudiada estuvo cerca de ser significativa. Con base en esto, los autores concluyeron que los efectos de seleccionar por características productivas en la salud y fertilidad parecen ser similares si las vacas son alimentadas con cantidades altas o bajas de concentrado en la ración mezclada; sin embargo, reconocen la importancia de revisar este tipo de interacciones, sobre todo cuando los sementales son criados en condiciones de alto nivel de concentrado en las dietas.

Castillo-Juárez *et al.* (2000) evaluaron la potencial IGA para la primera lactancia en vacas Holstein, clasificando los hatos dentro de un grupo ambiental “alto” y “bajo” usando como criterio la desviación estándar del equivalente maduro de producción de leche, una combinación de equivalente maduro de producción de leche-desviación estándar y el promedio de peso corporal del hato al primer parto agrupado de acuerdo con la edad al primer parto. Estos autores concluyeron que la producción de leche en equivalente maduro, conteo promedio de células somáticas por lactancia y concepción al primer servicio son características genéticamente equivalentes a través de las clases definidas en su estudio (Cuadro 4).

Resultados del estudio realizado por Kearney *et al.* (2004) no proporcionaron evidencia de la existencia de la IGA en bovinos Holstein cuando compararon los

sistemas de pastoreo vs confinamiento (Cuadro 4). Las estimaciones de la correlación genética indicaron que las características días abiertos, días al primer servicio, conteo promedio de células somáticas por lactancia y servicios por concepción fueron influidas por los mismos genes, aunque reconocen la posibilidad de resultados espurios, surgidos del error de muestreo y pequeños número de registros que no pudieron ser evitados en este estudio. Sin embargo, reconocieron la necesidad de llevar a cabo trabajos futuros con un gran número de registros antes de llegar a conclusiones definitivas.

Cuadro 4. Correlaciones genéticas (r_g) para características reproductivas en distintos ambientes

Autor	Ambiente	Raza	Característica	r_g
Castillo-Juarez <i>et al.</i> , 2000	Alto vs bajo	H ^Z	MEM ^Y	0.975
			LMSCS ^X	0.981
			CR ^W	0.997
Kearney <i>et al.</i> , 2004	Sistema de pastoreo vs confinamiento	H	DO ^V	0.74 – 1.0
			DPS ^U	1.0
			CCSL ^T	0.89
			SC ^S	1.0
Suárez <i>et al.</i> , 2009	Normal vs bajo	SB ^R	IEP ^Q	0.08
Jeyaruban <i>et al.</i> , 2009	Queensland vs Victoria Estados de Australia	A ^P	DE ^O	0.97
			DP ^N	1.0

^Zbovinos Holstein, ^Yproducción de leche en equivalente maduro, ^Xconteo de células somáticas por lactancia, ^Wrango de concepción, ^Vdías abiertos, ^Udías al primer servicio, ^Tconteo de células somáticas por lactancia; ^Sservicios por concepción; ^Rbovinos Siboney, ^Qintervalo entre partos, ^Pbovinos Angus; ^Odiámetro escrotal; ^Ndías al parto.

Los efectos de la IGA (representada por semental x hato x año) fueron estudiados en las variables intervalo entre partos, edad al primer parto, longevidad y número de partos en la raza Alentejana por Carolino *et al.* (2007), quienes concluyeron que esta interacción no ejerce un efecto significativo. Por el contrario, Suárez *et al.* (2009) reconocieron que la correlación para intervalo entre partos fue baja (Cuadro 4) cuando compararon los registros de un

ambiente “normal” contra “bajo”, con lo que concluyeron la existencia de la IGA en ganado Siboney de Cuba.

Los resultados obtenidos para la raza Angus por Jeyaruban *et al.* (2009) para diámetro escrotal y días al parto (Cuadro 4), indicaron que la característica fue controlada por un conjunto similar de genes en Victoria y Queensland ($r_g > 0.8$); ellos concluyeron que las diferencias en los sistemas de manejo y variación de clima asociado con los registros de comportamiento no introduce el efecto IGA, por lo que una evaluación conjunta puede ser desarrollada para ambos Estados. Baker *et al.* (2002) también analizaron circunferencia escrotal en bovinos Hereford y Angus, comparando diferentes definiciones de ambiente, y concluyeron que sólo la interacción raza x línea fue significativa en la característica analizada, justificando esta interacción debido a que los bovinos Hereford en las líneas de baja producción tienen menor circunferencia escrotal.

Las correlaciones obtenidas en los diferentes estudios indican que las diferentes características estudiadas son controladas por los mismos genes; sin embargo, los diferentes autores reconocen la necesidad de realizar un mayor número de investigaciones con un mayor número de registros antes de establecer conclusiones definitivas para las características reproductivas en bovinos para carne.

2.10.5 Características de la canal

Las características de la canal (marmoleo, grasa dorsal, área del músculo *Longissimus dorsi*, entre otras) han sido poco estudiadas y la mayoría de las investigaciones señalan la no existencia de la IGA, y en caso de existir es de poca importancia y no hay indicios de que provoque cambios de jerarquía en las poblaciones estudiadas.

Tess *et al.* (1984) probaron la interacción semental por localidad y semental por dieta, en vaquillas de la raza Hereford para las características peso de la canal

y porcentaje de grasa en el área de las costillas, encontraron que dicha interacción no fue importante.

En el estudio de Ibi *et al.* (2005), las estimaciones de la correlación genética (Cuadro 5) estuvieron por encima del umbral de la importancia biológica de la IGA (0.80), indicando que la IGA no causa suficiente cambio de jerarquía en los valores genéticos estimados.

Cuadro 5. Correlaciones genéticas (r_g) para características de calidad de canal en distintos ambientes.

Autor	Ambiente	Raza	Característica	r_g
Ibi <i>et al.</i> , 2005	Tohoku vs Kyusyu Region	GNJ ^z	Peso canal caliente	0.97
			Área LM ^y	0.95
			Espesor de Costilla	0.93
			Espesor grasa	0.97
			Marmoleo	0.93
	Tohoku vs Kyusyu Sistema de manejo	GNJ	Peso canal caliente	0.84
			Área LM	0.92
			Espesor de Costilla	0.84
			Espesor grasa	0.90
			Marmoleo	0.97
Jeyaruban <i>et al.</i> , (2009).	Victoria y Queensland Estados de Australia	A ^x	EMA ^w (Machos)	0.9
			IMF ^v (Machos)	0.65
			BP8 ^u (Machos)	0.99
			EMA (Hembras)	0.84
			IMF (Hembras)	0.94
			BP8 (Hembras)	0.97

^zbovinos Negro Japonés, ^y*Longissimus dorsi*, ^xbovinos Angus, ^wárea del músculo *longissimus dorsi*, ^vporcentaje de grasa entre la 12ª y 13ª costilla, ^uespesor de grasa en al área de la grupa.

Las correlaciones genéticas estimada por Jeyaruban *et al.* (2009) para las características área del músculo *longissimus dorsi*, porcentaje de grasa entre la 12ª y 13ª costilla, así como el espesor de grasa en al área de la grupa para toretes y vaquillas Angus (Cuadro 5), indicaron que existe una pequeña

evidencia de IGA entre Victoria y Queensland, Australia; sin embargo, concluyeron que combinando los datos de comportamiento a través de los diferentes estados, se espera que la progenie pueda ubicarse en la misma posición a través de los estados.

Las altas correlaciones estimadas, implican que los sementales y la progenie de los mismos van a estar jerarquizados en el mismo orden, independiente del ambiente en que sean evaluados; así mismo, estos resultados apoyan la implementación de programas de apareamiento y análisis conjuntos.

En caso de que exista la IGA, cualquier programa de mejora genética debe evaluar y seleccionar a los candidatos a padres de la próxima generación, en las mismas condiciones ambientales (manejo y alimentación) donde se desarrollará su progenie.

2.11 Metodologías propuestas para considerar la IGA

Cada tipo de interacción requiere de soluciones propias, dependiendo de la combinación de factores como intensidad de la interacción, peso económico relativo a través del ambiente, el tamaño del ambiente, la naturaleza del ambiente, la naturaleza de la interacción, e intensidad de selección (Lin y Togashi, 2002). A continuación se describen algunas de las metodologías propuestas.

2.11.1 Estrategias ambientales

El ambiente puede ser modificado para permitir la óptima expresión del genotipo. Es fácil cambiar el sistema de alojamiento, el tipo de alimentación, o el manejo de los animales en general. Las diferencias en el comportamiento de los diferentes genotipos podrían ser el resultado de nutrición, enfermedades, estrés calórico, manejo, parásitos o posiblemente otros factores que quizás puedan ocurrir (Bratfield *et al.*, 1997).

En poblaciones adaptadas a ambientes específicos que son difíciles de cambiar, la selección de la raza localmente adaptada puede ser la mejor opción.

Para cualquier situación, comparando el comportamiento productivo de genotipos candidatos en las condiciones de un ambiente local podrían ser evaluados antes de decidir el genotipo a utilizar. Así, Montaldo (2001) sugiere que para muchos casos, razas cruzadas o la creación de nuevas razas sintéticas puede ser la opción más rentable para combinar altos niveles productivos con resistencia a condiciones ambientales.

2.11.2 Estrategias de apareamiento

El impacto de la IGA puede ser minimizado a través de la selección de razas. Según Mulder *et al.* (2006), la cuestión para las organizaciones de criadores es si los diferentes ambientes pueden ser suplidos con un genotipo global óptimo o que se necesite desarrollar un genotipo especializado para cada ambiente. Por ejemplo, ganaderos en el ambiente “1” estarían sólo interesados en el comportamiento en el ambiente “1”, así que la estrategia desarrollada en su ambiente es la mejor. Sin embargo, ésta no es la mejor estrategia para la organización de criadores donde el ambiente “2” es muy importante. Para solucionar esta situación, Montaldo (2001) propone mejoras basadas en élites cerradas o sistemas de núcleos puros, con la identificación de factores ambientales importantes asociados con la IGA para optimizar los ambientes a probar.

2.11.3 Marcadores genéticos

Debido al rápido avance de las tecnologías basadas en ADN, los marcadores genéticos han incrementado la disponibilidad de la selección asistida por marcadores. Índices de selección combinando valores genéticos estimados con metodología BLUP y la información de marcadores genéticos es más efectivo que la selección basada exclusivamente en las evaluaciones de BLUP (Zhang y Smith, 1992). Si los marcadores genéticos son cercanos a los genes estables e interactuantes responsables de los efectos genéticos constantes y de interacción, respectivamente, estos marcadores pueden ser usados para incrementar la frecuencia de los QTL vinculados. La identificación de los

genotipos estables de alta producción es un importante paso hacia la obtención de un índice óptimo global y estabilidad genética. La detección, de genes estables y de interacción, es crucial para la optimización local o regional (por ejemplo, la selección de un genotipo específico para una región específica). Las nuevas biotecnologías como clonación, transferencia de genes o transgresión asistida por marcadores, puede ser de gran uso para mejorar las frecuencias de los alelos deseables. La técnica de clonación no sólo permite la asignación de genotipos idénticos de cada animal dentro de diferentes ambientes para precisar la estimación de IGA, también provee una poderosa herramienta para incrementar la frecuencia de los genotipos deseados a través de diferentes ambientes en la presencia de la IGA. Sin embargo, la transgresión asistida por marcadores no parece ser una opción practica debido a los altos costos involucrados (Lin y Togashi, 2002).

2.11.4 Modelo genético evaluado

En un modelo genético simple para características cuantitativas, el fenotipo es considerado como la suma del efecto genético y ambiental. Como modelo, casi siempre no es satisfactorio para el rango de situaciones en que es aplicado (Montaldo, 2001); sin embargo, el uso de modelos genéticos aditivos simples ha demostrado que sobrestima los parámetros genéticos de cada característica (Maniatics y Pollot, 2002). Una forma de remediar esto es extendiendo el modelo para incluir los términos de IGA (Montaldo, 2001), pero el uso de modelos mejorados por algunos factores genéticos y ambientales casi siempre resulta en correlaciones entre efectos inexplicables (Maniatics y Pollot, 2002).

Jorjani *et al.* (2005) comentan que para estimar las correlaciones a través de países, dos diferentes tipos de estrategias pueden ser usadas. La primera estrategia (subconjunto país) es para dividir poblaciones dentro de pequeños grupos y estimar correlaciones para cada subconjunto en el tiempo. La otra estrategia (subconjunto semental) es para usar un subconjunto de sementales y estimar correlaciones basadas en el subconjunto. Pero esto no es una solución óptima por algunas razones: primero, debido a bajas relaciones entre ciertos

países, el problema de la conectividad puede ser acentuada, y el problema de la no estimabilidad puede desarrollarse para algunos países; segundo, la demanda computacional en términos de tiempo de procesamiento puede incrementar debido a la necesidad para estimar correlaciones para muchos subconjuntos. Una combinación de las dos estrategias mencionadas puede ayudar en las estimaciones de las correlaciones a través de un gran número de poblaciones. Los resultados han presentado dos ventajas: la primera es que puede obtener mejores estimadores de correlación genética a través de países; y la segunda, puede reducirse la demanda computacional.

2.12 Literatura citada

- AMCGSR (Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Suizo de Registros). 2012. Origen del ganado Pardo Suizo Europeo. <http://www.amcgsr.com.mx/amcgsr/historia.html>. Consultada el 11 de enero de 2012.
- Arias, R. A., T. L. Mader, and P. C. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria* 40: 7–22.
- Assenza, F., A. Menendez B., J-L. Gourdine, A. Farant, B. Bocage, X. Godard, and M. Naves. 2010. Genotype by environment interaction on growth and carcass traits in beef cattle in the tropics. *In: International Symposium in Sustainable Animal Production in the Tropics: Farming in a Changing World, Advances in Animal Biosciences* 1: 372-373.
- Baker, J. F., R. C. Vann, and W. E. Neville Jr. 2002. Evaluations of genotype x environment interactions of beef bulls performance-tested in feedlot or pasture. *Journal of Animal Science* 80: 1716-1724.
- Beede, D. K., and R. J. Collier. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science* 62: 543–554.
- Bertrand, J. K., J. D. Hough, and L. L. Benyshek. 1987. Sire x environment interaction and genetics correlations of sire progeny performance across region in dam-adjusted field data. *Journal of Animal Science* 64: 77-82.
- Bertrand, J. K., P. J. Berger, and R. L. Willham. 1985. Sire x environment interaction in beef cattle weaning weight field data. *Journal of Animal Science* 60: 1396–1402.
- Birkelo, C. P., and D. E. Johnson. 1993. Seasonal environment, performance and energy metabolism of feedlot cattle in northern Colorado. *In: Proc 4th*

International Livestock Environmental Symposium, University of Warwick, Coventry, England. pp: 1117-1124.

- Boettcher, P. J., J. Fatehi, and M. M. Schutz. 2003. Genotype x environment interactions in conventional versus pasture-based dairies in Canada. *Journal of Dairy Science* 86: 383-389.
- Bowman, J. C. 1972. Genotype x environment interactions. *Annales de Genetique et de Selection Animale* 4(I): 117-123.
- Bradfield, M. J., H-U. Graser, and D. J. Johnston. 1997. Investigation of genotype x production environment interaction for weaning weight in the Santa Gertrudis breed in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 48: 1-5.
- Braganca C., M. B., N. J. Laurino D., and F. Flores C. 2009. Genotype by environment interaction characterization and model comparison for post weaning gain adjustment of Devon cattle via reaction norms. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38: 1460- 1467.
- Brown-Brandl, T. M., J. A. Nienaber, R. A. Eigenberg, T. L. Mader, J. L. Morrow, and J. W. Dailey. 2006. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livestock Science* 105: 19-26.
- Buchanan, D. S., and M. K. Nielsen. 1979. Sire by environment interactions in beef cattle field data. *Journal of Animal Science* 48: 307-312.
- Burfening, P. J., D. D. Kress, and R. L. Friedrich. 1982. Sire x region of United States and herd interactions for calving easy and birth weight. *Journal of Animal Science* 55: 765-770.
- Calus, M. P. L., A. F. Groen, and G. de Jong. 2002. Genotype x environment interaction for protein yield in Dutch dairy cattle as quantified by different models. *Journal of Dairy Science* 85: 3115-3123.
- Carolino, N., L. T. Gama, and P. Espadinha. 2007. Interacoes genótipo x ambiente em caracteres reprodutivos e de crescimento de bovinos alentejanos. *Archivos de Zootecnia* 56 (Sup.1): 633-640.
- Castillo-Juárez, H., P. A. Oltenacu, R. W. Blake, C. E. Mcculloch, and E. G. Cienfuegos-Rivas. 2000. Effects of herd environment on the genetic and phenotypic relationship among milk yield, conception rate, and somatic cell score in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science* 83: 807-814.
- Cerón-Muñoz, M. F., H. Tonhati, C. N. Costa, J. Maldonado-Estrada, and D. Rojas-Sarmiento. 2004. Genotype x environment interaction for age at first calving in Brazilian and Colombian Holstein. *Journal of Dairy Science* 87: 2455-2458.
- Cienfuegos-Rivas, E. G., P. A. Oltenacu, R. W. Blake, S. J. Schwager, H. Castillo-Juarez, and F. J. Ruiz. 1999. Interaction between yield of Holstein cows in Mexico and the United States. *Journal Dairy Science* 82: 2218-2223.

- Collier, R. J., G. E. Dahl, and M. J. VanBaale. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89: 1244–1253.
- Cromie, A. R., D. L. Kelleher, F. J. Gordon, and M. Rath. 1998. Genotype by environment interaction for milk production traits in Holstein Friesian dairy cattle in Ireland. *Interbull* 18: 100–104.
- Dunlop, A. A. 1962. Interactions between heredity and environment in the Australian Merino. 1. Strain x location interactions in wool traits. *Australian Journal of Agricultural Research* 13: 503-531.
- Everitt, B. S. 1980. *Cluster Analysis*. 2nd ed. Heinemann Educational Books. London, p. 136.
- Fahey, A. G., M. M. Schutz, D. L. Lofgren, A. P. Schinckel, and T. S. Stewart. 2007. Genotype by environment interaction for production traits while accounting for heteroscedasticity. *Journal of Dairy Science* 90: 3889-3899.
- Falconer, D. S., and T. F. C. Mackay. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. 4th ed. Longman Group Ltd. Harlow, England. 464 p.
- Falconer, D. S. 1952. The problem of environment and selection. *American Naturalist* 86: 293-298.
- Fikse, W. F., R. Rekaya, and K. A. Weigel. 2001. Genotype by environment interaction for milk production traits in Guernsey cattle. *Interbull* 27: 9-12.
- Fikse, W. F., R. Rekaya, and K. A. Weigel. 2003. Genotype x environment interaction for milk production in Guernsey cattle. *Journal of Dairy Science* 86: 1821-1827.
- Fox, D. G., and T. P. Tylutki. 1998. Accounting for the effects of environment on the nutrient requirements of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 81: 3085–3095.
- Fridrich, A. B., M. A. Silva, D. Fridrich, G. S. S. Correa, L. O. C. Silva, E. S. Sakaguti, I. C. Ferreira, and B. D. Valente. 2005. Genotype by environment interaction and genetic parameter estimates for growth traits of Tabapua cattle. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 57: 663-672.
- Gaztambide A., C., W. L. Henning, and R. C. Miller. 1952. The effects of environmental temperature and relative humidity on the acclimation of cattle to the tropics. *Journal of Animal Science* 11: 50–60.
- Gomes da S., R. 2006. Weather and climate and animal production. *In: Guide to agricultural meteorological practices*. Samsul Huda and Jason Flesch. WMO-No.134.
- Hahn, G. L., T. L. Mader, and R. A. Eigenberg. 2003. Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management. *In:*

European Association of Animal Production Proceedings. September 8.
Pp: 31–44.

- Hammami, H., B. Rekik, H. Soyeurt, C. Bastin, J. Stoll, and N. Gengler. 2008. Genotype x environment interaction for milk yield in Holsteins using Luxembourg and Tunisian populations. *Journal of Dairy Science* 91: 3661-3671.
- Hayes, B. J., M. Carrick, P. Bowman, and M. E. Goddard. 2003. Genotype x environment interaction for milk production of daughters of Australian dairy sires from test-day records. *Journal of Dairy Science* 86: 3736-3744.
- Ibi, T., H. Hirooka, A. K. Kahi, Y. Sasae, and Y. Sasaki. 2005. Genotype x environment interaction effects on carcass traits in Japanese Black cattle. *Journal of Animal Science* 83: 1503-1510.
- James, J. W. 2006. Genotype by environment interaction in farm animals. Centre for Advanced Technologies in Animal Genetics and Reproduction. Faculty of Veterinary Science, University of Sidney. Sidney, Australia.
- Jeyaruban, M. G., D. J. Johnston, and H-U. Graser. 2009. Estimation of genotype x environment interactions for growth, fatness and reproductive traits in Australian Angus cattle. *Animal Production Science* 49: 1-8.
- Jorjani, H., U. Emanuelson, and W. F. Fikse. 2005. Data subsetting strategies for estimation of across-country genetic correlations. *Journal of Dairy Science* 88: 1214-1224.
- Kadzere, C. T., M. R. Murphy, N. Silanikove, and E. Maltz. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science* 77: 59–91.
- Kearney, J. F., M. M. Schutz, and P. J. Boettcher. 2004. Genotype x environment interaction for grazing vs confinement II. Health and reproductive traits. *Journal of Dairy Science* 87: 510-516.
- Keren, E. N., and B. E. Olson. 2006. Thermal balance of cattle grazing winter range: model application. *Journal of Animal Science* 84: 1238–1247.
- Khalifa, H. H. 2003. Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. *In: Interactions between climate and animal production*. European Association of Animal Production. Technical series No 7. pp: 15–29.
- Knap, P. W., and G. Su. 2008. Genotype by environment interaction for litter size in pigs as quantified by reaction norms analysis. *Animal* 12: 1742-1747.
- Kolmodin, R., E. Strandberg, P. Madsen, J. Jensen, and H. Jorjani. 2002. Genotype by environment interaction in Nordic dairy cattle studied using reaction norms. *Acta Agriculturae Scandinavica* 52: 11-24.
- Kolmodin, R., E. Strandberg, H. Jorjani, and B. Danell. 2003. Selection in the presence of a genotype by environment interaction: response in environmental selection. *Animal* 76: 375-385.

- Lee, D. H., and J. K. Bertrand. 2002. Investigation of genotype x country interactions for growth traits in beef cattle. *Journal of Animal Science* 80: 330-337.
- Lin, C. Y., and C. S. Lin. 1994. Investigation of genotype-environment interaction by cluster analysis in animal experiments. *Canadian Journal of Animal Science* 74: 607-612.
- Lin, C. Y., and K. Togashi. 2002. Genetic improvement in the presence of genotype by environment interaction. *Animal Science Journal* 73: 3-11.
- Lopez-Villalobos, N. 1994. Accounting for scale effects in genetic evaluation of New Zealand dairy cattle. Master Thesis. Massey University. Palmerston North, New Zealand. 141 p.
- Mader, T. L. 2003. Environmental stress in confined beef cattle. *Journal of Animal Science* 81 (Suppl. 2): E110-E119.
- Maniatics, N., and G. E. Pollot. 2002. Genotype by environment interactions in lamb weight and carcass composition traits. *Animal* 75: 3-14.
- Mark, T., W. F. Fikse, P. G. Sullivan, and P. M. VanRaden. 2007. Prediction of genetic correlations and international breeding values for missing traits. *Journal of Dairy Science* 90: 4805-4813.
- Mattos de, D., J. K. Bertrand, and I. Misztal. 2000. Investigation of genotype x environment interactions for weaning weight for Hereford in three countries. *Journal of Animal Science* 78: 2121-2126.
- Maxa, J., M. Neuditschko, M. Foster, and I. Medugorac. 2010. Whole Genome Association Study in Admixed European Braunvieh Cattle. *In: 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. August 1 – 6. Leipzig, Germany. Abstract ID354.
- McBride, G. 1958. The environment and animal breeding problems. *Animal Breeding Abstracts* 26: 349–358.
- Medina-Zaldívar, J. M., M. M. Osorio A., y J. C. Segura C. 2005. Influencias ambientales y parámetros genéticos para características de crecimiento en ganado Nelore en México. *Revista Científica FVC-LUZ* 15(3): 235-241.
- Meyer, K. 1991. Estimating variances and covariances for multivariate animal models by restricted maximum likelihood. *Genetics Selection Evolution* 23: 67–83.
- Meyer, U., M. Everinghoff, D. Gädeken, and G. Flachowsky. 2004. Investigations on the water intake of lactating cows. *Livestock Production Science* 90: 117–121.
- Montaldo, H. H. 2001. Genotype by environment interactions in livestock breeding programs: a review. *Interciencia* 26(6): 229-253.
- Mulder, H. A., A. F. Groen, G. de Jong, and P. Bijma. 2004. Genotype x environment interaction for yield and somatic cell score with automatic

- and conventional milking system. *Journal of Dairy Science* 87: 1487-1495.
- Mulder, H. A., and P. Bijma. 2005. Effects of genotype x environment interaction on genetic gain in breeding programs. *Journal of Animal Science* 83: 49-61.
- Mulder, H. A., R. F. Veerkamp, B. J. Ducro, J. A. M. van Arendonk, and P. Bijma. 2006. Optimization of dairy cattle breeding programs for different environments with genotype by environment interaction. *Journal of Dairy Science* 89: 1740-1752.
- NRC (National Research Council) 1981. *Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals*. National Academy Press. Washington D.C., USA. 168 p.
- Nauta, W. J., R. F. Veerkamp, E. W. Brascamp, and H. Bovenhuis. 2006. Genotype by environment interaction for milk production traits between organic and conventional dairy cattle production in the Netherlands. *Journal of Dairy Science* 89: 2729-2737.
- Naves, M., y A. Menéndez B. 2005. Interacción genotipo ambiente sobre el crecimiento posdestete en vacuno criollo de Guadalupe. *Archivos de Zootecnia* 54: 377-384.
- Neser, F. W. C., G. J. Erasmus, and M. M. Scholtz. 2008. The use of a cluster analysis in across herd genetic evaluation for beef cattle. *South African Journal of Animal Science* 38: 51-57.
- Notter, D. R., B. Tier, and K. Meyer. 1992. Sire x herd interactions for weaning weight in beef cattle. *Journal of Animal Science* 70: 2359-2365.
- Nunn, T. R., D. D. Kress, P. J. Burfening, and D. Vaniman. 1978. Region by sire interaction for reproductive traits in beef cattle. *Journal of Animal Science* 46: 957-964.
- Núñez D., R., R. Ramírez V., A. Ruíz F., y J. Domínguez V. 2003. Evaluación genética de sementales Suizo Europeo 2003. *Boletín Técnico*. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 42 p.
- Pahnish, O. F., M. Koger, J. J. Urick, W. C. Burns, W. T. Butts, and G. V. Richardson. 1983. Genotype x environment interaction in Hereford cattle: III. Postweaning traits of heifers. *Journal of Animal Science* 56: 1039-1046.
- Pani, S. N., G. F. Krause, and J. F. Lasley. 1973. Genotype x environment interactions in beef sire evaluation: The importance of sire by year interactions for postweaning traits. *Journal of Animal Science* 36: 622-634.
- Pegolo, N. T., H. N. Oliveira, L. G. Albuquerque, L. A. F. Bezerra, and R. B. Lobo. 2009. Genotype by environment interaction for 450-day weight of

- Nellore cattle analyzed by reaction norm models. *Genetics and Molecular Biology* 32: 281-287.
- Phocas, F., K. Donoghue, and H-U. Graser. 2005. Investigation of three strategies for an international genetic evaluation of beef cattle weaning weight. *Genetic Selection Evolution* 37: 361-380.
- Ponzoni, R. W., N. Hong N., H. Ling K., and N. Huu N. 2008. Accounting for genotype by environment interaction in economic appraisal of genetic improvement programs in common carp *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 285: 47-55.
- Pollott, G. E., and J. C. Greeff. 2004. Genotype x environment interactions and genetic parameters for fecal egg count and production traits of Merino sheep. *Journal of Animal Science* 82: 2840-2851.
- Pryce, J. E., B. L. Nielsen, R. F. Veerkamp, and G. Simm. 1999. Genotype and feeding system effects and interactions for health and fertility traits in dairy cattle. *Livestock Production Science* 57: 193-201.
- Ramírez-Valverde, R., J. A. Peralta-Aban, R. Núñez-Domínguez, A. Ruíz-Flores, J. G. García-Muñiz, and T. B. García-Peniche. 2010. Genotype by feeding system interaction in the genetic evaluation of Jersey cattle for milk yield. *Animal* 4: 1971–1975.
- Renaudeau, D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively-fed growing pigs. *Animal Research* 54: 81-93.
- Robertson, A. 1959. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. *Biometrics* 15: 469-485.
- SAS. 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- Sandelin, B. A., A. H. Brown, Jr., M. A. Brown, Z. B. Johnson, D. W. Kellogg, and A. M. Stelzleni. 2002. Genotype x environmental interaction for mature size and rate of maturing for Angus, Brahman, and reciprocal-cross cows grazing bermudagrass or endophyte infected fescue. *Journal of Animal Science* 80: 3073-3076.
- Sevi, A., G. Annicchiarico, M. Albenzio, L. Taibi, A. Muscio, and S. Dell'Aquila. 2001. Effects of solar radiation and feeding time on behavior, immune response and production of lactating ewes under high ambient temperature. *Journal of Dairy Science* 84: 629-640.
- Souza, J. C., C. H. Gadini, L. O. C. Da Silva, A. A. Ramos, K. Euclides Filho, M. M. De Alencar, P. B. Ferraz Filho, and L. D. Van Vleck. 2003. Estimates of genetic parameters and evaluation of genotype x environment interaction for weaning weight in Nellore cattle. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 11(2): 94:100.

- Souza, J. C., M. C. Doska, L. O. C. Silva, A. Gondo, A. A. Ramos, C. H. M. Malhado, I. W. Santos, J. A. Freitas, P. B. Ferraz Filho, y J. R. B. Sereno. 2008. Interacción genotipo x ambiente sobre el peso al destete de bovinos Nellore en Brasil. *Archivos de Zootecnia* 57: 171-177.
- Strandberg, E., S. Brotherstone, E. Wall, and M. P. Coffey. 2009. Genotype by environment interaction for first-lactation female fertility traits in UK dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 92: 3437-3446.
- Suárez, M. A., I. Zubizarreta, y T. Pérez. 2009. Interacción genotipo ambiente en ganado Siboney de Cuba. *Livestock Research for Rural Development* 21(9). Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd21/9/cont2109.htm>.
- Tess, M. W., D. D. Kress, P. J. Burfering, and R. L. Friedrich. 1979. Sire by environment interaction in Simmental-sired calves. *Journal of Animal Science* 49: 964-971.
- Tess, M. W., K. E. Jeske, E. U. Dillarad, and O. W. Robinson. 1984. Sire x environment interaction for growth traits of Hereford cattle. *Journal of Animal Science* 59: 1467-1476.
- Togashi, K., T. Yoshizawa, K. Moribe, C. Y. Lin, Y. Okamura, O. Sasaki, and Y. Yamamoto. 1999. Correlation of international sire evaluation and transmitting abilities based on interaction effects between two countries. *Journal of Dairy Science* 82: 2030-2038.
- Togashi, K., C. Y. Lin, and K. Moribe. 2001. Construction of optimum index to maximize overall response across countries in the presence of genotype x environment interaction. *Journal of Dairy Science* 84: 1872-1883.
- Valencia, M., H. H. Montaldo, and F. Ruíz. 2008. Interaction between genotype and geographic region for milk production in Mexican Holstein cattle. *Archivos de Zootecnia* 57: 457-463.
- Vargas L., B., y G. Gamboa Z. 2008. Estimación de tendencias genéticas e interacción genotipo x ambiente en ganado lechero de Costa Rica. *Técnica Pecuaria México* 46(4): 371-386.
- Weigel, K. A., and R. Rekaya. 2000. A multiple-trait herd cluster model for international dairy sire evaluation. *Journal of Dairy Science* 83: 815-821.
- Weigel, K. A., T. Kriegl, and A. L. Pohlman. 1999. Genetic analysis of dairy cattle production traits in a management intensive rotational grazing environment. *Journal of Dairy Science* 82: 191-195.
- Wolf, J., and M. Wolfová. 1998. Making models for production traits. *In*: International workshop "Introduction of BLUP Animal Model in Pigs". Research Institute of Animal Production, Praha-Uhríneves, September 3-5. 37 p.
- Yoder, D. M., and J. L. Lush, 1937. A genetic history of the Brown Swiss cattle in the United States. *Journal of Heredity* 28: 154-160.

- Young, B. A. 1985. Physiological responses and adaptations of cattle. *In: Strees physiology in Livestock Volume II Ungulates*. Yousef MK (ed). CRC Press, Boca Ratón Florida, USA.
- Young, B. A., B. Walker, A. E. Dixon, and V. A. Walker. 1989. Physiological adaptation to the environment. *Journal of Animal Science* 67: 2426–2432.
- Zhang, W., and C. Smith. 1992. Computer simulation of marker-assisted selection utilizing linkage disequilibrium. *Theoretical and applied. Genetics* 83: 813-820.
- Zwald, N. R., K. A. Weigel, W. F. Fikse, and R. Rekaya. 2003. Identification of factors that cause genotype by environment interaction between herds of Holstein cattle in seventeen countries. *Journal of Dairy Science* 86: 1009-1018

3. INTERACCIÓN GENOTIPO POR CLIMA EN LA EVALUACIÓN GENÉTICA PARA CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO EN BOVINOS SUIZO EUROPEO

3.1 Resumen

La interacción genotipo por ambiente puede producir cambios en la jerarquización de valores genéticos (VG) de los sementales de un ambiente a otro, afectando el progreso genético. El objetivo de esta investigación fue determinar la magnitud de la interacción genotipo por clima (IGC) en la evaluación genética de bovinos Suizo Europeo, para características de crecimiento (pesos al destete, P240d, y al año, P365d). La información provista por la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Suizo de Registro, se agrupó de acuerdo con variables climatológicas reportadas en el Sistema Meteorológico Nacional, con el procedimiento CLUSTER del programa SAS en: trópico seco (TS), trópico húmedo (TH) y templado (TE). Los registros para P240d fueron 5348 en TS, 4501 en TH y 2515 en TE, con 25173 animales en el pedigrí; y los de P365d, 3811 en TS, 2652 en TH y 1528 en TE, con 18072 animales en el pedigrí. Para estimar parámetros genéticos y predecir VG se utilizó un modelo animal bivariado, considerando características medidas en diferentes climas como características diferentes. Se usó el programa ASReml. Los criterios para evaluar la IGC fueron: correlación genética (r_g) en los análisis bivariados, correlación de Pearson (CP) y rango de Spearman (RS) de los VG, y frecuencia de coincidencia (FC) de los mejores 25 sementales comunes (SC) en cada par de climas. Las r_g oscilaron entre -0.36 y 0.84, y entre 0.23 y 0.99 para P240d y P365d, respectivamente. La CP estuvo entre -0.60 y 0.97 para P240d y entre 0.38 a 0.99 para P365d, similares a RS. Las FC estuvieron entre 0.16 a 0.92 para P240d y entre 0.60 a 1.00 para P365d. Los criterios indican la presencia de IGC y sugieren llevar a cabo evaluaciones genéticas adicionales por separado para los animales que se utilizan en trópico húmedo.

Palabras clave: genotipo x ambiente, peso al destete, peso al año, Suizo Europeo.

GENOTYPE X CLIMATE INTERACTION IN THE GENETIC EVALUATION FOR GROWING TRAITS IN BRAUNVIEH CATTLE

3.2 Abstract

The presence of genotype x environment interaction can cause changes in ranking of breeding values (BV) of sires from one environment to another, which affects genetic progress. The aim of this study was to determine the magnitude of genotype x climate interaction (IGC) for growth traits (weaning weight, WW, and yearling weight, YW) in the genetic evaluation of Braunvieh cattle. Records provided by the Mexican Association of Braunvieh Cattle Breeders, were grouped based on the meteorological variables recorded by the National Weather System. The PROC CLUSTER routine in SAS was used to classify herds into: dry tropic (DT), wet tropic (WT) and temperate (TE). Records of WW were 5348, 4501 and 2515 in DT, WT and TE, respectively, with 25173 animals in the pedigree. For YW, there were 3811, 2652 and 1528 records in DT, WT and TE, respectively, with 18072 animals in the pedigree. An animal model with ASReml software was used to estimate genetic parameter and to predict BV. Bivariate analyses were carried out for pairwise combinations of climates for each growth trait. The criteria to evaluate IGC were: genetic correlation (r_g) in bivariate analyses, Person's correlation (PC) and Spearman's rank correlation (SR), and frequency of coincidence (FC) in the ranking of top 25 sires. Genetic correlations were between -0.36 and 0.84, and between 0.23 and 0.99 for WW and YW, respectively. Person's correlations were between -0.60 and 0.97 for WW, and between 0.38 to 0.99 for YW, and were similar to SR. The FC were between 0.16 to 0.92 for WW, and between 0.60 to 1.00 for YW. The criteria used indicate the presence of IGC and suggest that genetic evaluations should be carried out separately for animal performing under wet tropical conditions.

Keywords: genotype x environment, weaning weight, yearling weight, Braunvieh cattle.

3.3 Introducción

La interacción genotipo por ambiente (IGA) ocurre cuando el comportamiento de diferentes genotipos no es igualmente afectado por diferentes ambientes (Falconer, 1952) y esto puede traer como consecuencia que el mejor individuo seleccionado en un ambiente pueda no ser el mejor en un ambiente diferente.

En México se han realizado estudios de IGA para diferentes razas (Holstein, Nelore, Jersey), con el fin de determinar la magnitud de la IGA entre valores genéticos y diferentes definiciones de ambientes (regiones, sistema de alimentación, sistema de alojamiento, niveles de producción). Los resultados han sido variables, dependiendo de la raza y el ambiente estudiado (Medina-Zaldívar *et al.*, 2005; Valencia *et al.*, 2008; Cienfuegos-Rivas *et al.*, 1999; Ramírez-Valverde *et al.*, 2010); sin embargo, la mayoría de los resultados indican la presencia de dicha interacción. La presencia de esta interacción puede tener implicaciones importantes de carácter económico, porque puede reducir la respuesta a la selección (Robertson, 1959).

En la raza bovina Suizo Europeo, se han llevado a cabo evaluaciones genéticas desde 2003 (Núñez *et al.*, 2003), siendo la publicada en 2010 la más reciente. Los valores genéticos predichos han sido utilizados suponiendo que los mejores sementales lo van a ser independientemente del ambiente en que éstos están siendo utilizados. Sin embargo, en años recientes, ha surgido la duda de si la evaluación genética actual puede estar afectada por esta interacción, teniendo como consecuencia un cambio en la jerarquía de los sementales, y consecuentemente, la interrogante acerca de si es necesario establecer diferentes programas de apareamiento dependiendo del clima en que el ganado se esté desarrollando. El objetivo de esta investigación fue determinar la magnitud de la interacción genotipo por clima (IGC) en la evaluación genética nacional de bovinos Suizo Europeo de registro, para las características de peso al destete y peso al año.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Origen de la información

Los registros genealógicos y productivos fueron proporcionados por la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Suizo de Registro. Los hatos participantes se distribuyen en todo el territorio nacional, principalmente en las zonas costeras del Golfo de México.

Los genotipos fueron definidos como el valor genético de cada animal y de los sementales en particular por considerarse los de mayor impacto en el mejoramiento genético. Los ambientes fueron definidos como los tipos climáticos: trópico seco (TS), trópico húmedo (TH) y templado (TE). Para ubicar las observaciones en los tipos climáticos, se utilizó el conjunto de condiciones atmosféricas de las regiones obtenidas de las estaciones meteorológicas más cercanas a cada rancho, registradas en el periodo 1981-2000 y reportadas por el Sistema Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua (SMN, 2011). El procedimiento CLUSTER del paquete estadístico SAS (SAS, 2009) fue usado para determinar los tipos climáticos de los registros productivos, teniendo como base los promedios mensuales y anuales de las variables climatológicas: temperatura (°C, bulbo seco y húmedo), precipitación (mm), y humedad relativa (%).

En el Cuadro 6 se presenta un resumen de las principales variables climatológicas obtenidas de los tres ambientes. El TH tuvo variables climáticas de mayor valor respecto a TS y TE. Las temperaturas fueron mayores en 1.3 y 7.2 °C respecto a TS y TE cuando se comparó la temperatura del bulbo seco, y 0.3 y 8.6 °C al comparar la temperatura de bulbo húmedo. El TH tuvo 2.5 y 2.9 veces más precipitación que TS y TE. La humedad relativa fue 0.05 y 0.21 veces menor en TS y TE respecto a la humedad relativa en TH. Del total de ranchos (129) que aportaron registros productivos, 43% pertenecen a TS que agrupa municipios como Berriozabal, Chiapas; Cuajinicuilapa, Guerrero y La Yesca, Nayarit; 28% a TH, con municipios como Emiliano Zapata, Tabasco,

Pichucalco, Chiapas y Coscomatepec, Veracruz; y 29% a TE, al que pertenecen municipios como Ocampo, Guanajuato, Acuitzio, Michoacán y Tabasco, Zacatecas.

Cuadro 6. Promedios de las principales variables climatológicas obtenidas en los grupos climáticos.

Concepto	Trópico seco	Trópico húmedo	Templado
Temperatura 1 ^z (°C)	24.1	25.4	18.2
Temperatura 2 ^y (°C)	20.9	21.2	12.6
Ppt ^x anual (mm)	907.3	2275.8	783.9
HR ^w anual (%)	70.4	74.3	58.9

^ztemperatura de bulbo seco, ^ytemperatura de bulbo húmedo, ^xprecipitación, ^whumedad relativa

Las características analizadas fueron el peso al destete ajustado a 240 días (P240d) y peso ajustado a 365 días (P365d). Los registros individuales de producción abarcaron el periodo 1984 a 2009 para P240d y de 1983 al 2010 para P365d.

3.4.2 Análisis estadísticos

Los registros de peso al destete se ajustaron a 240 días y de peso al año a 365 días, según la metodología descrita por la *Beef Improvement Federation* (BIF, 2010). Los registros de peso por arriba o por debajo de tres desviaciones estándar no se incluyeron en los análisis. Los grupos contemporáneos fueron formados considerando los efectos de año y época de nacimiento, condición de crianza, rancho de origen y sexo de la cría. Las épocas de nacimiento se definieron considerando la distribución de precipitación y temperatura mensual a través de los años de la estación meteorológica más cercana a cada rancho, que se encuentra en el Servicio Meteorológico Nacional. Sólo dos épocas de nacimiento fueron definidas (lluvias: junio a octubre; y seca: noviembre a mayo). La conectividad genética a través de grupos contemporáneos fue determinada

utilizando el programa AMC (Roso y Schenkel, 2006). Información general acerca de los estadísticos descriptivos de la información considerada para los diferentes climas se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Estadísticos descriptivos de la información del ganado en los diferentes climas para las variables estudiadas (P240d y P365d).

Concepto	P240d			P365d		
	TS ^Z	TH ^Y	TE ^X	TS	TH	TE
n ^W	5348	4501	2515	3811	2652	1528
Media ^V (kg)	235	223	252	335	315	380
Mín ^U (kg)	90	88	86	114	175	183
Máx ^T (kg)	429	500	458	636	537	630
CV ^S (%)	19	16	19	18	16	14
Hatos (n) ^R	50	34	17	43	15	23
GC (n) ^Q	639	648	310	509	399	233
Sementales	348	312	203	290	186	175
SC ^P	90 ^O	62 ^N	66 ^M	56 ^O	43 ^N	55 ^M
Pedigrí		25173			18072	

^Zclima trópico seco, ^Yclima trópico húmedo, ^Xclima templado, ^Wnúmero de registros productivos, ^Vpeso promedio por grupo, ^Upeso mínimo por grupo, ^Tpeso máximo por grupo, ^Scoeficiente de variación, ^Rnúmero de hatos por grupo, ^Qnúmero de grupos contemporáneos, ^Psementales comunes, ^Osementales comunes entre TS y TH, ^Nsementales comunes entre TS y TE, ^Msementales comunes entre TH y TE.

Los análisis estadísticos para estimar los parámetros genéticos y predecir los valores genéticos de los animales, se realizaron utilizando un modelo animal, mediante el programa ASReml (Gilmour *et al.*, 2009). En forma preliminar se estudiaron modelos univariados considerando todas las variables. Los modelos finales se basaron en la selección de los efectos fijos y aleatorios con mejor ajuste para cada variable, de acuerdo a la metodología propuesta por Domínguez-Viveros *et al.* (2003). Los modelos univariados finales fueron:

$$y = Xb + Zu + Wp + e$$

Modelo 1a. Peso al destete

$$y = Xb + Zu + e$$

Modelo 1b. Peso al año

donde, y es el vector de observaciones; b es el vector de efectos fijos (grupo contemporáneo), u es el vector de efectos genéticos aditivos; p es el vector del efecto genético aditivo materno; e es el vector de efectos residuales; X , Z y W son las matrices de incidencia que relacionan los registros de producción con los vectores correspondientes. La matriz X para P240 incluyó las covariables lineal y cuadrática de edad de la vaca al parto.

Se asumió que: $E[y] = Xb$, $E[u] = E[p] = E[e] = 0$, y

$$\text{Var} \begin{bmatrix} u \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_u^2 & 0 & 0 \\ 0 & I_V\sigma_p^2 & 0 \\ 0 & 0 & I_N\sigma_e^2 \end{bmatrix} \quad \text{Para el Modelo 1a ; y}$$

$$\text{Var} \begin{bmatrix} u \\ p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_u^2 & 0 \\ 0 & I_N\sigma_e^2 \end{bmatrix} \quad \text{Para el modelo 1b}$$

donde, V es el número de vacas; N es el número de registros de producción; A es la matriz de relaciones genéticas aditiva; I_V e I_N son matrices identidad de orden V y N .

Con base en los modelos seleccionados en los análisis univariados (1a y 1b), se estudiaron modelos bivariados para cada característica, considerando el comportamiento de la misma característica en cada ambiente (trópico seco, trópico húmedo y templado) como una característica diferente. En este caso, las “características” se refieren a medidas del mismo parámetro biológico en los diferentes pares de ambientes. Así, por ejemplo, P240d en trópico seco fue considerado como la primera característica y P240d en trópico húmedo fue considerada como la segunda característica. En cada modelo bivariado, los animales tuvieron información reportada para un ambiente pero perdida en el otro.

Los resultados obtenidos con los modelos univariados (Modelos 1a y 1b) fueron usados como valores iniciales para el análisis bivariado. La representación matricial del modelo bivariado fue:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \quad \text{Modelo 2a}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \quad \text{Modelo 2b}$$

donde los términos en el modelo son los previamente descritos para los modelos 1a y 1b, pero con los subíndices 1 y 2 representando las diferentes combinaciones entre ambientes para P240d y P365d, respectivamente. La covarianza entre efectos genéticos aditivos directos y maternos fue asumida como cero.

3.4.3 Criterios para evaluar la interacción genotipo por clima

Los resultados obtenidos con los modelos bivariados (2a y 2b) fueron usados para determinar la magnitud de la interacción estudiada, mediante los tres criterios siguientes:

1. **Correlación genética en los análisis bivariados.** Los estimadores de las correlaciones genéticas (r_g) obtenidos en los análisis bivariados para cada par de ambientes, fueron los indicadores de la existencia de IGC, donde $r_g < 0.8$ indicó importancia biológica de la interacción (Robertson, 1959). La prueba de máxima verosimilitud fue utilizada para probar si la r_g entre dos grupos climáticos fue menor que la unidad ($p < 0.05$, Robert *et al.*, 1995). Los valores de logaritmo de máxima verosimilitud (L) fueron obtenidos para los pares de modelos a comparar: en el primero, todas las varianzas fueron estimadas (modelo convencional), mientras que en segundo, L fue obtenida restringiendo la r_g igual a 1 (modelo restringido).
2. **Correlaciones entre los valores genéticos predichos de los análisis bivariados.** Los estimadores de la correlación producto-momento de

Pearson y rango de Spearman (SAS, 2009) entre los valores genéticos predichos de los animales obtenidos con los modelos bivariados para las diferentes combinaciones, se usaron para determinar la magnitud de la interacción estudiada en la jerarquización de los valores genéticos predichos de todos los animales provenientes de la evaluación. Para determinar el impacto en la jerarquización de los animales de mayor uso en cada par ambientes, este criterio se utilizó sólo con los sementales, y con los sementales comunes con progenie en cada par de ambientes.

3. **Coincidencia entre los sementales con valores genéticos superiores.** La frecuencia de coincidencia (FC) se utilizó como un indicador de cambios en la jerarquía de animales genéticamente superiores. En la presente investigación sólo se calculó para los 25 sementales con valores genéticos más altos obtenidos con los análisis bivariados.

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Correlación genética en los análisis bivariados

En el Cuadro 8 se presentan los componentes de (co)varianza y heredabilidades obtenidos con el modelo bivariado para P240d, y en el Cuadro 9 para P365d. Los estimadores de r_g obtenidos de los análisis bivariados, oscilaron entre -0.36 y 0.84 para P240d, y entre 0.23 a 0.99 para P365d. Estas correlaciones sugieren la presencia de la interacción estudiada para algunos pares de climas y que la jerarquía de los animales puede verse afectada por el ambiente en que se desarrollan. Aunque las correlaciones genéticas (<0.8) indican la presencia de la IGC, el alto valor del error estándar obtenido para algunas estimaciones pone en duda este cambio de jerarquía. Lo anterior sugiere que la jerarquización de los animales puede estar en función del ambiente donde se produjo su progenie, siendo de mayor impacto para P240d.

Cuadro 8. Estimadores de varianzas para los efectos genéticos directos (σ^2_u), maternos (σ^2_p) y residuales (σ^2_e); covarianza estimada para los efectos genéticos directos ($\sigma_{u1,u2}$), maternos ($\sigma_{p1,p2}$); heredabilidades directas (h^2_d) y maternas (h^2_m); y correlación genética (r_g), estimados para P240d usando los modelos bivariados.

	TS ^z y TH ^y	TS y TE ^x	TH y TE
σ^2_{u1}	245.46	222.47	170.21
σ^2_{u2}	167.48	500.32	509.97
$\sigma_{u1,u2}$	-73.21	280.87	213.46
σ^2_{p1}	49.53	60.19	9.5
σ^2_{p2}	9.53	21.24	5.97
$\sigma_{p1,p2}$	-5.46	8.18	2.64
σ^2_{e1}	369.82	380.55	179.77
σ^2_{e2}	180.16	330.83	328.84
h^2_{1d}	0.37	0.34	0.47
h^2_{2d}	0.47	0.59	0.60
h^2_{1m}	0.07	0.09	0.02
h^2_{2m}	0.03	0.01	0.01
r_g	-0.36 ± 0.22	0.84 ± 0.17	0.72 ± 0.18

^zclima trópico seco, ^yclima trópico húmedo, ^xclima templado

Las r_g obtenidas entre TS y TH, y TH y TE en P240d y P365d fueron significativamente diferentes de la unidad ($p < 0.05$, los valores del logaritmo de L se muestran en el Cuadro 10), indicando una IGC importante, y una expresión diferente de los mismos genes. La r_g obtenida para TS y TE en P240d y P365d no fueron significativamente diferentes de la unidad ($p < 0.05$, los valores del logaritmo de L se muestran en el Cuadro 10), indicando una expresión similar de los mismos genes a través de los diferentes ambientes.

Cuadro 9. Estimadores de varianzas para los efectos genéticos directos (σ^2_u), y residuales (σ^2_e); covarianza estimada para los efectos genéticos directos ($\sigma_{u1,u2}$), heredabilidades directas (h^2) y correlación genética (r_g) estimados para P365d usando los modelos bivariados.

	TS ^Z y TH ^Y	TS y TE ^X	TH y TE
σ^2_{u1}	207.54	203.15	170.83
σ^2_{u2}	169.81	125.95	117.52
$\sigma_{u1,u2}$	43.86	159.24	32.81
σ^2_{e1}	562.4	564.86	496.86
σ^2_{e2}	497.6	809.36	817.76
h^2_{1d}	0.27	0.26	0.26
h^2_{2d}	0.25	0.13	0.13
r_g	0.23 ± 0.23	0.99 ± 0.44	0.23 ± 0.46

^Zclima trópico seco, ^Yclima trópico húmedo, ^Xclima templado

Cuadro 10. Valores de logaritmo de L para los diferentes modelos bivariados evaluados

	P240d		P365d	
Climas	M. Conv. ^Z	M. Restr. ^Y	M. Conv. ^Z	M. Restr. ^X
TS ^X y TH ^W	-31307.76	-31316.89	-21652.52	-21658.81
TS y TE ^V	-26518.07	-26518.20	-18190.53	-18190.52
TH y TE	-21985.74	-21979.81	-13959.67	-13961.95

^Zmodelo convencional, ^Ymodelo restringido, ^Xclima trópico seco, ^Wclima trópico húmedo, ^Vclima templado.

Las r_g obtenidas en estudios donde se analizaron registros de peso al destete de varios países (ambientes) han obtenido resultados similares entre ellos. Mattos *et al.* (2000) estudiaron información de bovinos Angus en EE. UU., Canadá y Uruguay, obteniendo r_g entre 0.86 y 0.90; así mismo, Lee y Bertrand (2002) estudiaron registros de EE. UU., Canadá, Argentina y Uruguay, obteniendo r_g (0.81 a 0.86) muy similares a las reportadas por Mattos *et al.*

(2000). Los resultados obtenidos indicaron que la IGA no tuvo efecto en la característica evaluada y por tanto puede ser analizada como la misma en todos los países involucrados.

Con base en estudios que han cuantificado la IGA en bovinos para carne con diferentes definiciones de ambientes, para peso al destete, los valores de r_g han sido variables, aunque la mayoría menores que el valor propuesto para considerar presencia de IGA (0.8, Robertson, 1959). En bovinos Santa Gertrudis bajo sistemas definidos como favorables y desfavorables, Bradfield *et al.* (1997) estimaron un valor de $r_g = 0.64$. En bovinos criollos de la isla Guadalupe y ambientes definidos de acuerdo con el sistema de alimentación, Naves y Menéndez (2005) estimaron valores de r_g en un rango de 0.15 a 0.60. Souza *et al.* (2008) determinaron una $r_g = 0.61$, cuando compararon registros de bovinos Nellore en diferentes regiones geográficas de Brasil. Todos estos resultados indican la presencia de IGA de diferente magnitud, sugiriendo posibles cambios de jerarquía de los valores genéticos de los animales para cada población estudiada en los ambientes propios de producción. Jeyaruban *et al.* (2009) determinaron una $r_g = 1$ para bovinos Angus a través de Estados Australianos, indicando que la IGA no se presentó para peso al destete y por tanto que la característica está bajo la influencia de los mismo genes en todos los ambientes estudiados.

Con excepción de los estudios dirigidos a nivel de varios países, la mayoría de los estudios han definido dos o tres ambientes; sin embargo, Souza *et al.* (2003) compararon ocho diferentes regiones de Brasil. Los valores de r_g obtenidos estuvieron en el rango de -0.25 a 1.00, que indicaron la ausencia o presencia de la IGA dependiendo del conjunto de regiones analizadas, sugiriendo de acuerdo con Robertson (1959) la ocurrencia práctica de la IGA, proponiendo que se debe tener algunas precauciones al momento de planear programas cuyo objetivo sea mejorar el peso al destete.

Los estudios realizados para peso al año de bovinos para carne han sido pocos, con resultados contradictorios (Pani *et al.*, 1973; Carolino *et al.*, 2007). Assenza

et al. (2010) consideraron dos sistemas de engorda (confinamiento contra pastoreo) y estimaron correlaciones genéticas que oscilaron entre 0.31 y 0.93, indicando que la interacción estudiada afectó el peso al año en bovinos criollos; sin embargo, debido a los bajos números de animales incluidos en los análisis y de progenie por semental, estos resultados no pueden ser concluyentes. Así mismo, Jeyaruban *et al.* (2009) publicaron una $r_g = 0.98$, indicando de esta forma que la interacción estudiada, definiendo ambiente como diferentes Estados Australianos, no afectó el peso al año y por tanto puede ser analizada como la misma característica a través de los ambientes incluidos en el estudio.

Fridrich *et al.* (2005) identificaron una situación similar a la del presente estudio. Los autores utilizaron registros de pesos a 365 días de edad de bovinos Tapabua agrupados en cuatro regiones (sur, sureste, centro-oeste y noreste) de Brasil, estimando correlaciones genéticas menores que la unidad ($p < 0.05$) para las diferentes combinaciones que incluyeron “la región noreste” en su estudio, concluyendo en la necesidad de elegir el semental en cada región donde se va a desarrollar, especialmente para la región mencionada anteriormente.

Las correlaciones obtenidas estuvieron dentro del rango de r_g reportadas por otros autores para peso al destete ($r_g = -0.86$ hasta 1; Bradfield *et al.*, 1997; Fridrich *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2008) y peso al año ($r_g = -0.73$ a 0.98; Fridrich *et al.*, 2005; Jeyaruban *et al.*, 2009). Algunos factores que pudieran explicar estas diferencias son:

1) El número y estructura de la población estudiada (Jorjani *et al.*, 2005); los estimadores de r_g dependen del número efectivo de progenie por semental, por lo que los errores de muestreo pueden causar sesgos en su estimación (Banos y Shook, 1990). El número de registros de comportamiento considerados para este estudio en relación con la información utilizada en otros estudios, representaron desde 0.5 hasta 1305% para P240d y desde 13.7 hasta 1261% para P365d. El número promedio de progenie por semental fue de 15.4, 14.4 y 12.4 para P240d en TS, TH y TE, y por semental común 31.3 entre TS y TH, 36.4 entre TS y TE, y 34.16 entre TH y TE. Para P365d el número de registros

promedio de progenie por semental fueron 13.2, 14.3 y 8.7 en TS, TH y TE respectivamente, mientras que para los sementales comunes los promedios fueron 26.6 entre TS y TH, 20.7 entre TS y TE, y 26.1 entre TH y TE. La cantidad de sementales comunes por cada par de ambientes (Cuadro 7) estuvo relacionada con el número de registros por clima, es decir, conforme se redujo el número de registros en cada combinación de ambientes, la cantidad de sementales comunes disminuyó. En este estudio, la distribución de registros a través de ambientes no fue homogénea, propiciado por la mayor cantidad de registros en el TS, lo que provocó que la mayor cantidad de sementales comunes se presentaran entre el TS y TH, que juntos suman la mayor cantidad de información en ambas características. La cantidad de animales utilizados en el pedigrí representó 17.0 y 12.2%, para P240d y P365d respectivamente, respecto al pedigrí disponible para la evaluación genética 2010.

2) Capacidad del ganado para enfrentar situaciones adversas (Arias *et al.*, 2008). El genotipo sólo es expresado tanto como el ambiente lo permita (Montaldo, 2001), así entonces la fisiología, el comportamiento y la salud del ganado son influenciados por el medio ambiente en el cual vive, el cual puede afectar significativamente el desempeño productivo del mismo (MAFF, 2000).

3) Diferencias en los niveles de producción entre los diferentes climas. En este estudio, los pesos al destete y al año más altos se registraron para TE, en tanto los más bajos fueron en TH para ambas características. El peso promedio en TE fue superior en 7 y 13% respecto a TS y TH en P240d, y en 13 y 20% respecto a los mismos climas en P365d (Cuadro 7).

4) Tratamiento diferencial entre hatos, debido a prácticas de apareamiento no aleatorio y tratamiento preferencial de becerros, también puede influir la disponibilidad de alimento a lo largo del año y las condiciones de los sistemas de alojamiento de cada rancho.

5) El modelo utilizado para la estimación de las correlaciones genéticas; en este estudio, al igual que los publicados por Lee y Bertrand (2002) y Carolino *et al.*

(2007), se realizaron utilizando un modelo animal, sin embargo, algunos autores como Maniatics y Pollot (2002) han comentado que el uso de este modelo sobreestima los parámetros genéticos. Así mismo, Schaeffer (2001) mostró que la utilización del modelo animal puede provocar mayores cambios en la jerarquía de los animales.

6) La expresión de los genes es particularmente diferente en ambientes contrastantes; en este estudio la mayoría de los hatos se localizaron en TS, aunque los mejores pesos se registraron en TE, mientras que las variables climatológicas fueron similares entre TS y TE (temperatura y precipitación, principalmente) y diferentes a TH, principalmente en precipitación.

Las varianzas genéticas directas y residuales estimadas para P240d, presentaron poca variación a través de los diferentes análisis. Las varianzas genéticas directas fueron de mayor magnitud para TE, en tanto que las varianzas residuales fueron menores para TH. Esto se reflejó en la magnitud de las heredabilidades, donde las de mayor magnitud se obtuvieron para TE y las menores para TS; además las heredabilidades presentaron poca variación a través de los diferentes análisis para el mismo clima (0.3 en TS y 0.1 en TE), siendo la heredabilidad para TH la única que no sufrió cambios. Estos patrones de varianzas reflejan el comportamiento de los valores fenotípicos (Cuadro 7), mayores para el clima TE (1.13 y 1.07 veces mayores que TH y TS). Las heredabilidades estimadas para peso al destete, estuvieron dentro del rango reportado por otros autores (0.02 a 0.50; Mattos *et al.*, 2000; Lee y Bertrand., 2002; Souza *et al.*, 2003; Fridrich *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2008; Carolino *et al.*, 2007; Jeyaruban *et al.*, 2009).

Para P365d las varianzas genéticas aditivas y residuales se mantuvieron constantes en cada ambiente en los diferentes análisis, sin embargo, las varianzas genéticas directas fueron mayores para TS y menores para TE. Además, las varianzas residuales fueron menores para TH y mayores para TE, aunque los mayores registros fenotípicos se obtuvieron para TE (Cuadro 7). Las mayores heredabilidades fueron para TS. Las heredabilidades estimadas para

peso al año, estuvieron dentro del rango publicado por otros autores (0.05 a 0.30; Bradfield *et al.*, 1997; Fridrich *et al.*, 2005; Naves y Menéndez, 2005; Carolino *et al.*, 2007; Jeyaruban *et al.*, 2009). Las heredabilidades obtenidas, similares a través de los diferentes climas, sugieren que es posible obtener similar mejoramiento genético en cada ambiente.

Los estimadores de r_g obtenidos sugieren la presencia de la IGC entre el TH y TS o TE en ambas características ($r_g = -0.36$ a 0.73 en P240d; y $r_g = 0.23$ en P365d); sin embargo, es necesario disponer de una base de datos con mayor cantidad de información antes de dar conclusiones definitivas. Particularmente, esta base de datos deberá contar con un mayor número de registros para TE, así como una mayor cantidad de sementales comunes, y por tanto un mayor número de registros por semental común, de esta forma la metodología puede incluir el establecer un número mínimo de progenie por semental, como lo han fijado en otros estudios (cinco progenies por semental por ambiente definido, por ejemplo) que han tenido a disposición una mayor cantidad de información. Así mismo, debe buscarse la forma de que cada rancho obtenga sus propios registros climatológicos, evitando hacer uso de la información de las estaciones meteorológicas, y reflejando su situación ambiental. Además del criterio de clasificación utilizado, futuras investigaciones podrían tomar en cuenta los sistemas de alimentación, alojamiento, niveles productivos y otros factores que puedan ser causantes de este tipo de interacciones, de tal forma que se puedan identificar los factores ambientales claves en el desarrollo de los animales.

Los resultados obtenidos parecen ser provocados por una mejor adaptación de los animales a ciertas condiciones ambientales. De las diferencias obtenidas la más grande fue en precipitación, donde existió una diferencia de hasta 2.9 veces a favor de TH, seguido de las diferencias en temperaturas con una diferencia de 0.05 y 0.54 menos en TS y TE respecto a TH, y similar en la humedad relativa que fue 0.05 y 0.21 veces menor en TS y TE que en TH. Estas diferencias en precipitación, temperatura y humedad relativa pueden provocar que los animales: 1) desarrollen características fenotípicas (largo y

color de pelo, talla, entre otras) que les ayuden a manejarse mejor con el medio que los rodea; 2) desarrollen diferencias en procesos metabólicos para asegurar su supervivencia y consecuentemente en las acciones que realizan los animales para mantenerse dentro de su zona de confort; y 3) modifiquen los consumos de agua y alimento, provocando diferencias en registros productivos que generan diferencias en las varianzas genéticas, valores genéticos de los animales y por tanto las correlaciones estimadas, provocando de esta manera cambios prácticos de jerarquía a través de los climas estudiados.

Las diferentes variables utilizadas para clasificar los ambientes en este estudio sugieren que la principal variable que afecta la magnitud de la interacción IGC es la precipitación, porque afecta la temperatura del ambiente y la humedad relativa y tiene influencia directa sobre la disponibilidad de alimento para el ganado.

3.5.2 Correlación entre valores genéticos predichos

En el Cuadro 11 se presentan los estimadores de las correlaciones producto-momento de Pearson y de rango de Spearman entre los valores genéticos predichos con los análisis bivariados para ambas características. Las diferencias en los valores obtenidos por las dos tipos de correlaciones fueron marginales, por lo que es indistinto el análisis con cualquiera de ellas. Los estimadores de correlación obtenidos para P240d y P365d cuando se comparó TS y TH (-0.60 a 0.38), y para P365d cuando se comparó TH y TE (0.37 a 0.45), sugieren que los animales evaluados en estos ambientes tienen diferente jerarquización según el clima donde se desarrolla su progenie, esto considerando que estuvieron por debajo de la $r_g = 0.8$ propuesta por Robertson (1959). En las demás combinaciones se espera que los animales sean jerarquizados de manera similar. Por tanto, el cambio de jerarquía debido a la interacción estudiada tiene mayor probabilidad de presentarse en la característica P240d, y entre TS y TH. Los valores genéticos en ambas características tendrán una jerarquía similar a través de los climas TS y TE, por

lo que podrían utilizarse de manera indistinta entre estos ambientes, con resultados similares en el progreso genético.

Cuadro 11. Estimadores de correlación producto-momento de Pearson y rango de Spearman (entre paréntesis) entre los valores genéticos predichos con los modelos bivariados, para todos los animales del pedigrí (r_{VGA}), para todos los sementales (r_{VGS}) y para los sementales comunes (r_{VGSC}) en cada par de ambientes.

Climas	P240d			P365d		
	r_{VGA}	r_{VGS}	r_{CGSC}	r_{VGA}	r_{VGS}	r_{CGSC}
TS ^Z y TH ^Y	-0.60 (-0.60)	-0.56 (-0.58)	-0.47 (-0.47)	0.38 (0.41)	0.36 (0.39)	0.33 (0.35)
TS y TE ^X	0.97 (0.98)	0.97 (0.97)	0.95 (0.97)	1.00 (1.00)	1.00 (1.00)	1.00 (1.00)
TH y TE	0.89 (0.85)	0.86 (0.82)	0.82 (0.80)	0.45 (0.46)	0.45 (0.39)	0.37 (0.23)

^Zclima trópico seco, ^Yclima trópico húmedo, ^Xclima templado.

Para ejemplificar la presencia de la IGC y los cambios de jerarquía de los valores genéticos predichos con los análisis bivariados para los sementales comunes en cada par de ambientes, las Figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6 muestran los valores de cinco sementales seleccionados aleatoriamente, para las diferentes combinaciones de grupos climas (TS - TH, TS - TE y TH - TE) en ambas variables analizadas.

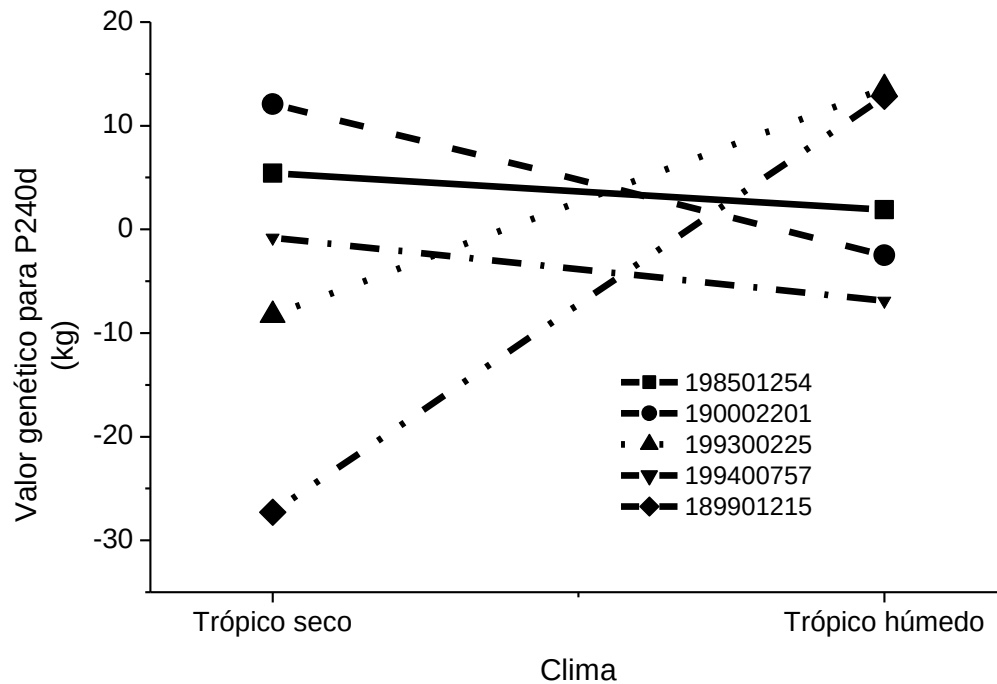


Figura 1. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico seco y trópico húmedo, obtenidos con análisis bivariados para peso al destete (P240d).

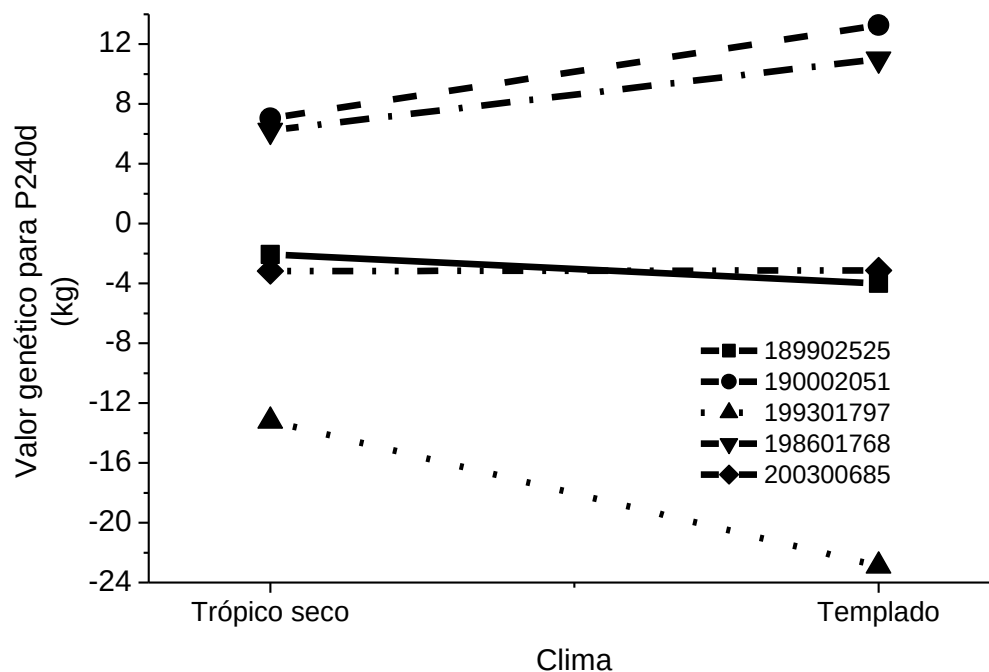


Figura 2. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico seco y templado, obtenidos con análisis bivariados para peso al destete (P240d).

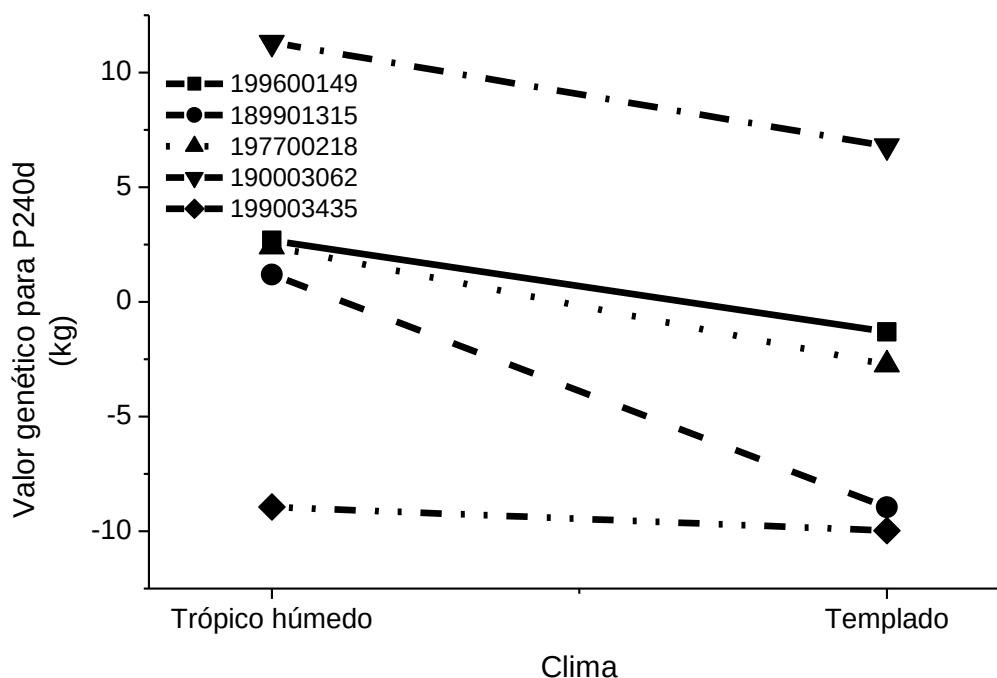


Figura 3. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico húmedo y templado, obtenidos con análisis bivariados para peso al destete (P240d).

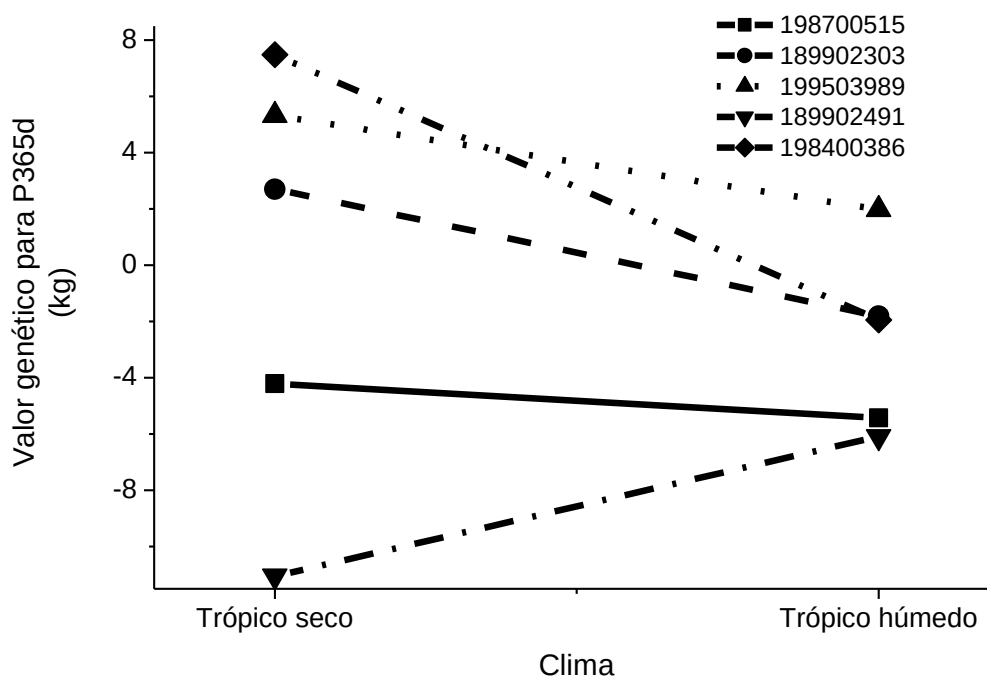


Figura 4. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico seco y trópico húmedo, obtenidos con análisis bivariados para peso a los 365 días (P365d).

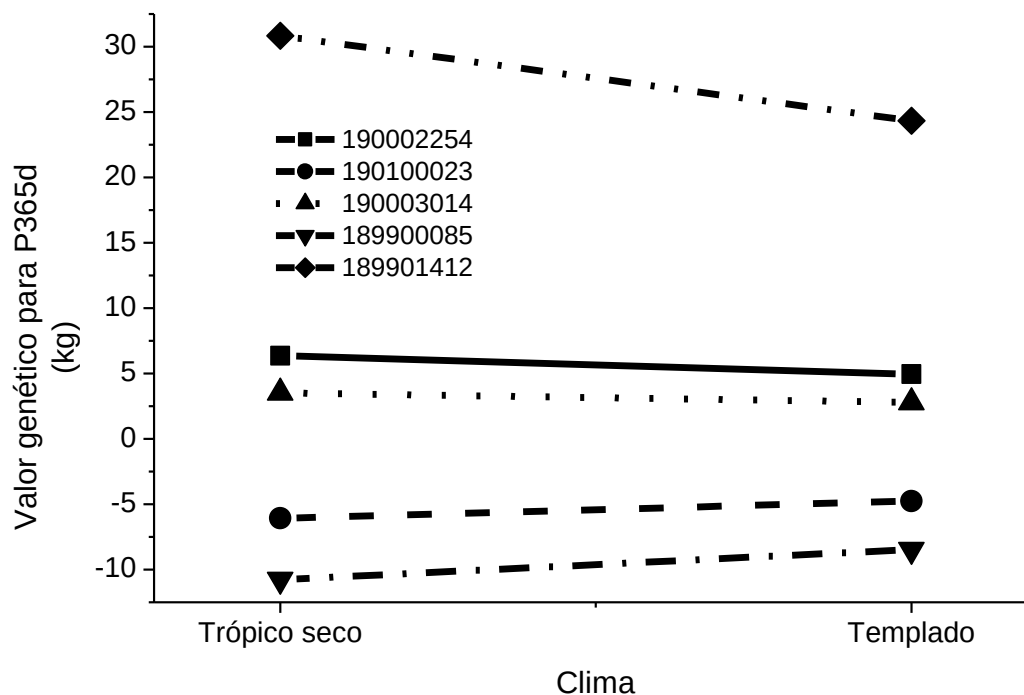


Figura 5. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico seco y templado, obtenidos con análisis bivariados para peso a los 365 días (P365d).

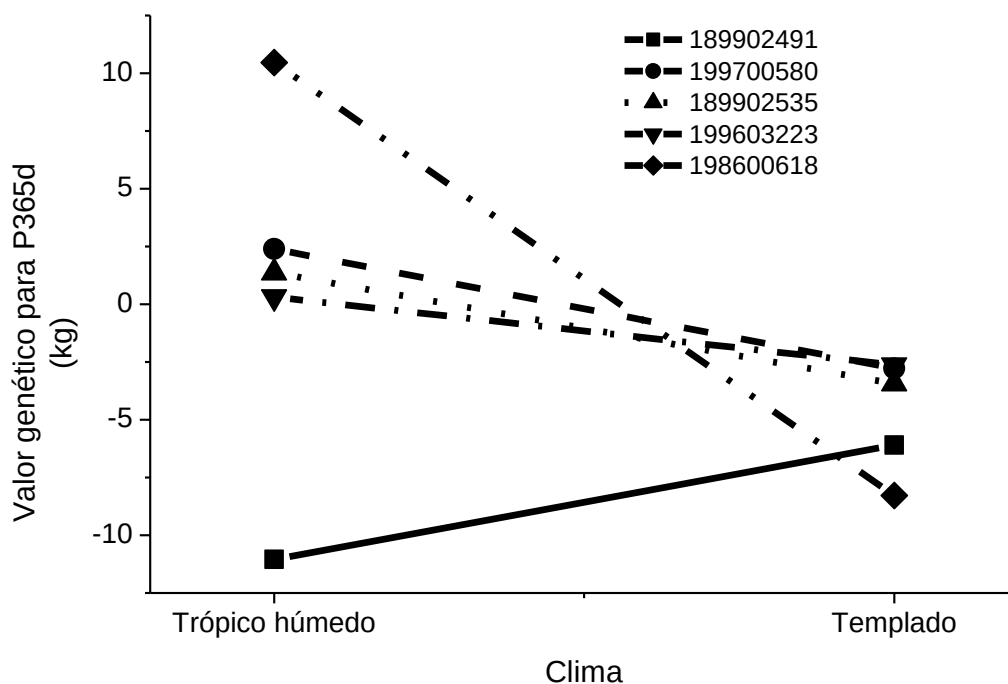


Figura 6. Valores genéticos predichos de cinco sementales (seleccionados aleatoriamente) con progenie en el clima trópico húmedo y templado obtenidos con el modelo bivariado para peso a los 365 días (P365d).

En ambas características, comparando TS-TH (Figuras 1 y 4) y TH-TE (Figura 3 y 6) se puede observar que además de presentarse un cambio de jerarquía de los sementales, también se presentan cambios notorios en las diferencias de los valores genéticos. Estos cambios son más importantes entre TS y TH. Entre TS y TE, la jerarquía de los sementales se mantiene casi constante (Figura 5) o con muy pequeños cambios (Figura 2), indicando de esta manera la similitud entre los valores genéticos en dichos ambientes. Se observa también, que los efectos de mayor impacto se presentan en P240d, confirmando de esta manera una mayor semejanza de los valores genéticos para P365d.

Los cambios de jerarquía observados, apoyados por los valores de r_g obtenidos, justifican una evaluación genética por separado para los sementales que se utilizarán en TH, debido a que al usar valores genéticos obtenidos a nivel nacional puede tener menor impacto en el mejoramiento genético. Esta evaluación genética para los animales que se utilizan bajo condiciones de TH debiera considerar el aumento en la cantidad y calidad de información, y la identificación del modelo de evaluación que mejor se ajuste a las necesidades de dicho clima.

3.5.3 Coincidencia entre valores genéticos de los mejores sementales

En el Cuadro 12 se presentan las FC entre los 25 sementales superiores comunes en cada par de ambientes para peso al destete (FC_{P240d}) y peso al año (FC_{P365d}). Las FC variaron de 0.16 a 0.92 para P240d cuando se compararon los valores genéticos obtenidos con el modelo bivariado, y para P365d de 0.60 a 1, sugiriendo cambios de mayor magnitud en la jerarquía de los sementales utilizados para P240d. Las FC para P365d indicaron mayor consistencia y semejanza de los valores genéticos a través de los diferentes ambientes, también indicaron mayor similitud entre TS y TE.

Cuadro 12. Frecuencia de coincidencia (FC) entre sementales comunes dentro de los mejores 25 con valores genéticos superiores, para las diferentes combinaciones.

Climas	FC _{P240d} ^Z	FC _{P365d} ^Y
TS ^X y TH ^W	0.16	0.60
TS y TE ^V	0.92	1.00
TH y TE	0.16	0.64

^Z frecuencia de coincidencia para peso al destete, ^Y frecuencia de coincidencia para peso al año, ^X trópico Seco, ^W trópico húmedo, ^V templado.

En general, las bajas FC entre los valores genéticos de los sementales superiores, principalmente para P240d sugieren llevar a cabo evaluaciones genéticas por separado, principalmente para TH, y de esta manera tener mayor impacto sobre el progreso genético de la población estudiada. Sin embargo, evaluaciones genéticas independientes no son posibles porque la cantidad de información disponible limita su implementación. Además, Mulder *et al.* (2004) comentan que esta opción tiene la desventaja de incrementar el número de valores genéticos disponibles para los criadores de ganado.

3.6 Conclusiones

La interacción genotipo por clima se presenta en la evaluación genética de bovinos Suizo Europeo en México, para los pesos al destete y al año, cuando se considera el trópico húmedo. La magnitud de la interacción dependió de la característica analizada y de los climas comparados, siendo de mayor impacto en el peso al destete y cuando se relacionaron con los climas tropicales. Los valores genéticos obtenidos para los climas de trópico seco y templado pueden ser considerados similares y usarse independiente del ambiente donde se utilizará el semental.

Las diferencias en los rangos de adaptación climática, principalmente a la precipitación, parecen ser la causa de las diferencias en escala entre

ambientes, en términos de registros productivos, varianzas, valores genéticos y correlaciones genéticas.

3.7 Recomendaciones

En la medida de lo posible, y cuando la cantidad y calidad de la información lo permita, se recomienda realizar evaluaciones genéticas por separado para los animales que se utilizarán en el trópico húmedo.

Se sugiere que los resultados obtenidos en la presente investigación sean considerados para futuras evaluaciones genéticas de bovinos Suizo Europeo, mediante la ampliación del modelo analizado, debido a la implicación práctica que esta interacción pueda tener sobre la jerarquización de los sementales. Además, se requieren futuras investigaciones para identificar las variables climatológicas que tienen mayor impacto en el comportamiento del ganado. Así mismo, adicionar el nivel productivo y manejo al conjunto de variables de agrupamiento que ayuden a explicar con mayor exactitud la interacción determinada en la presente investigación.

Adicionar el componente económico a la interacción estudiada, o con otras definiciones de ambiente dentro de la población de bovinos Suizo Europeo, debe ser estudiado a la brevedad con el objetivo de establecer, si los efectos en el cambio de jerarquía y magnitud de los valores genéticos tienen un efecto significativo en los indicadores económicos de cada rancho o de la población de bovinos Suizo Europeo en general.

Se requieren estudios para identificar las características fenotípicas de los sementales superiores en cada ambiente, con el objetivo de identificar aquellas (color de piel, longitud del pelo, entre otras) que permiten la mejor adaptación de estos animales en cada ambiente, para asociarlas con los genotipos particulares con la ayuda de la genética molecular.

3.8 Literatura citada

- Arias, R. A., T. L. Mader, and P. C. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria* 40: 7–22.
- Assenza, F., A. Menendez B., J.L. Gourdine, A. Farant, B. Bocage, X. Godard, and M. Naves. 2010. Genotype by environment interaction on growth and carcass traits in beef cattle in the tropics. *In: International Symposium on Sustainable Animal Production in the Tropics: Farming in a Changing World. Advances in Animal Biosciences* 1: 372-373.
- Banos, G., and G. E. Shook. 1990. Genotype by environment interaction and genetic correlations among parities for somatic cell count and milk yield. *Journal of Dairy Science* 73: 2563-2573.
- BIF (Beef Improvement Federation). 2010. Guidelines for Uniform Beef Improvement Programs. 9th ed. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina. 182 p.
- Bradfield, M. J., H-U. Graser, and D. J. Johnston. 1997. Investigation of genotype x production environment interaction for weaning weight in the Santa Gertrudis breed in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 48: 1–5.
- Carolino, N., L. T. Gama, and P. Espadinha. 2007. Interacoes genótipo x ambiente em caracteres reprodutivos e de crescimento de bovinos alentejanos. *Archivos de Zootecnia* 56 (Sup.1): 633-640.
- Cienfuegos-Rivas, E. G., P. A. Oltenacu, R. W. Blake, S. J. Schwager, H. Castillo-Juarez, and F. J. Ruiz. 1999. Interaction between yield of Holstein cows in Mexico and the United States. *Journal of Dairy Science* 82: 2218-2223.
- Domínguez-Viveros J., R. Núñez-Domínguez, R. Ramírez-Valverde, y A. Ruíz-Flores. 2003. Evaluación genética de variables de crecimiento en bovinos Tropicarne: I. Selección de modelos. *Agrociencia* 37: 227–239.
- Falconer, D. S. 1952. The problem of environment and selection. *American Naturalist* 86: 293-298.
- Fridrich, A. B., M. A. Silva, D. Fridrich, G. S. S. Correa, L. O. C. Silva, E. S. Sakaguti, I. C. Ferreira, and B. D. Valente. 2005. Genotype by environment interaction and genetic parameter estimates for growth traits of Tabapua cattle. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 57: 663-672.
- Gilmour, A. R., B. J. Gogel, B. R. Cullis, and R. Thompson. 2009. ASReml User Guide Release 3.0 VSN International Ltd. Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK. Disponible en www.vsni.co.uk

- Jeyaruban, M. G., D. J. Johnston, and H-U. Graser. 2009. Estimation of genotype x environment interactions for growth, fatness and reproductive traits in Australian Angus cattle. *Animal Production Science* 49: 1-8.
- Jorjani, H., U. Emanuelson, and W. F. Fikse. 2005. Data subsetting strategies for estimation of across-country genetic correlations. *Journal of Dairy Science* 88: 1214-1224.
- Lee, D. H., and J. K. Bertrand. 2002. Investigation of genotype x country interactions for growth traits in beef cattle. *Journal of Animal Science* 80: 330-337.
- Maniatics, N., and G. E. Pollot. 2002. Genotype by environment interactions in lamb weight and carcass composition traits. *Animal* 75: 3-14.
- Mattos de, D., J. K. Bertrand, and I. Misztal. 2000. Investigation of genotype x environment interactions for weaning weight for Hereford in three countries. *Journal of Animal Science* 78: 2121-2126.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food). 2000. Climate change & agriculture in the United Kingdom. 65 p.
- Medina-Zaldivar, J. M., M. M. Osorio A., y J. C. Segura C. 2005. Influencias ambientales y parámetros genéticos para características de crecimiento en ganado Nelore en México. *Revista Científica FVC-LUZ* 15(3): 235-241.
- Montaldo, H. H. 2001. Genotype by environment interactions in livestock breeding programs: a review. *Interiencia* 26(6): 229-253.
- Mulder, H. A., A. F. Groen, G. de Jong, and P. Bijma. 2004. Genotype x environment interaction for yield and somatic cell score with automatic and conventional milking system. *Journal of Dairy Science* 87: 1487-1495.
- Naves, M., y A. Menéndez B. 2005. Interacción genotipo ambiente sobre el crecimiento posdestete en vacuno criollo de Guadalupe. *Archivos de Zootecnia* 54: 377-384.
- Núñez D., R., R. Ramírez V., A. Ruíz F., y J. Domínguez V. 2003. Evaluación genética de sementales Suizo Europeo 2003. Boletín Técnico. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 42 p.
- Pani, S. N., G. F. Krause, and J. F. Lasley. 1973. Genotype x environment interactions in beef sire evaluation: the importance of sire by year interactions for postweaning traits. *Journal of Animal Science* 36: 622-634.
- Ramírez-Valverde, R., J. A. Peralta-Aban, R. Núñez-Domínguez, A. Ruíz-Flores, J. G. García-Muñiz, and T. B. García-Peniche. 2010. Genotype by feeding system interaction in the genetic evaluation of Jersey cattle for milk yield. *Animal* 4: 1971–1975.

- Robert, C., J. L. Foulley, and V. Ducrocq. 1995. Genetic variation of traits measured in several environments. I. Estimation and testing of homogenous genetic and intra-class correlation between environments. *Genetics Selection Evolution* 27: 111-123.
- Robertson, A. 1959. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. *Biometrics* 15: 469-485.
- Roso, V. M., and F. S. Schenkel. 2006. AMC—A computer program to assess the degree of connectedness among contemporary group. *In*: Proceedings of the 8th World Congress on Genetic Applied to Livestock Production. Belo Horizonte, Brazil, August 13-18 Poster 27-26.
- SAS. 2009. SAS/STAT Software Release 9.2. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Schaeffer, L. 2001. Multiple trait international bull comparisons. *Livestock Production Science* 69: 145-153.
- SMN (Sistema Meteorológico Nacional). 2011. Normales climatológicas. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx>. Consultada el 16 de junio de 2011.
- Souza, J. C., C. H. Gadini, L. O. C. Da Silva, A. A. Ramos, K. Euclides Filho, M. M. De Alencar, P. B. Ferraz Filho, and L. D. Van Vleck. 2003. Estimates of genetic parameters and evaluation of genotype x environment interaction for weaning weight in Nellore cattle. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 11(2): 94:100.
- Souza, J. C., M. C. Doska, L. O. C. Silva, A. Gondo, A. A. Ramos, C. H. M. Malhado, I. W. Santos, J. A. Freitas, P. B. Ferraz Filho, y J. R. B. Sereno. 2008. Interacción genotipo x ambiente sobre el peso al destete de bovinos Nellore en Brasil. *Archivos de Zootecnia* 57: 171-177.
- Valencia, M., H. H. Montaldo, and F. Ruíz. 2008. Interaction between genotype and geographic region for milk production in Mexican Holstein cattle. *Archivos de Zootecnia* 57: 457-463.