



Tomado de: <http://edomexinforma.com/2015/12/productividadganadolechero/>  
<http://gaiabit.com/wp-content/uploads/2014/07/carne-702x336.jpg>

# Importancia de la interacción genotipo x ambiente en rasgos de producción en ganado lechero

## Importance of the genotype x environment interaction in production traits in dairy cattle

Nicacia Hernández-Hernández<sup>1</sup>  
Juan Carlos Martínez-González<sup>1\*</sup>  
Gaspar Manuel Parra-Bracamonte<sup>2</sup>  
Eugenia Guadalupe Cienfuegos-Rivas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87149.

<sup>2</sup>Instituto Politécnico Nacional. Centro de Biotecnología Genómica, Laboratorio de Biotecnología Animal, boulevard del Maestro s/n, Esq. Elías Piña, col. Narciso Mendoza, Reynosa, Tamaulipas, México, C.P. 88710.

\*Autor para correspondencia:  
jmartinez@uat.edu.mx

Fecha de recepción:  
9 de julio de 2015

Fecha de aceptación:  
23 de octubre de 2015

### RESUMEN

El ganado bovino lechero expresa con diferente nivel de eficiencia su potencial genético dependiendo de la región en que se desarrolla; a este efecto se le denomina interacción genotipo x ambiente (IGA), y puede afectar la eficiencia de los programas de mejoramiento genético. Este fenómeno debe ser considerado al importar recursos genéticos de otros países e incluso de otras regiones dentro de un mismo país. El objetivo de este trabajo fue analizar los principales aspectos de la IGA en el mejoramiento genético de ganado bovino lechero. Los programas de mejoramiento genético deben estar

basados en el registro de las operaciones que se realizan en cada una de las unidades de operación, lo que permitirá establecer cuales fueron los principales factores que influyeron en la expresión del potencial genético y su reflejo en la producción alcanzada. Se concluye que la selección de los sementales de la próxima generación deberá realizarse en las mismas condiciones donde se usarán sus progenies, buscando minimizar la IGA.

**PALABRAS CLAVE:** correlación genética, ganado lechero, interacción genotipo x ambiente, mejoramiento genético.

## ABSTRACT

Dairy cattle shows their genetic potential in different efficiency levels depending on the region in which they live; this effect is referred to as interaction genotype x environment (IGE) and may have implications for the genetic improvement of dairy cattle in Mexico. This phenomenon should be considered when importing genetic resources from other countries, and even from other regions within the same country. The objective of this study was to review the IGE in the genetic improvement of dairy cattle. The genetic improvement programs need to be based on records of the productions carried out in each of the production units. This can help identify the factors affecting the genetic production and how this in turn reflects the achieved production. It is concluded that the selection of the sires of the next generation must be conducted under the same conditions as where their progenies will be used if the IGE is to be minimized.

**KEYWORDS:** genetic correlation, dairy cattle, genotype x environment interaction, genetic improvement.

## INTRODUCCIÓN

El propósito del mejoramiento genético en los bovinos productores de leche consiste en obtener, mediante selección, a los individuos sobresalientes de la población, con el fin de aprovechar el valor genético transmitido a sus descendientes, como son producción de leche, incremento en los porcentajes de proteína y grasa en la leche, así como hacer más eficientes los animales en la conversión alimenticia (Hayes y col., 2013). Además, se debe tener claro el número de registros necesarios para predicciones genómicas precisas (índice de herencia e índice de constancia) de los rasgos de importancia económica.

Una herramienta útil para evaluar la mejora genética en las poblaciones es mediante el cálculo de las tendencias genéticas y fenotípicas a través del tiempo (Vargas y Gamboa, 2008; López-Zavala, 2010) o de las regiones (Valencia y col., 2004; Hamrouni y col., 2014). Este procedimiento corresponde a los denominados

esquemas de mejoramiento genético clásico, los cuales han contribuido a mejorar la producción de leche.

Los estudios sobre la interacción entre el genotipo x ambiente (IGA) son de gran utilidad en los programas de mejoramiento genético del ganado lechero, debido a que el genotipo responde de manera distinta a diferentes ambientes (Ramírez-Carballo y col., 2007; Echeverri y col., 2014), por lo que los efectos de los genotipos y ambientes no son aditivos estadísticamente. Esta interacción, atribuida a la distribución geográfica, debe ser estudiada en los diferentes ambientes para determinar su efecto sobre el animal (Baye y col., 2011), ya que puede provocar alteraciones de las varianzas genéticas, fenotípicas y ambientales y consecuentemente, modificar los parámetros genéticos y fenotípicos estimados (Cerón-Muñoz y col., 2001; Díaz y col., 2011).

La IGA es uno de los principales problemas a considerar en el proceso de selección del ganado (Rodríguez y Guerra, 2013), por lo que al detectarse efectos significativos de la IGA es necesario cambiar o adecuar los criterios de selección, de modo que la identificación de las interacciones contribuya al aumento de la eficiencia en la selección de los bovinos (Alencar y col., 2005). Las diferencias en los promedios y en las desviaciones estándar, que se presentan en los criterios de selección del ganado lechero, son el reflejo de las diferencias geográficas, meteorológicas y condiciones socioeconómicas propias de cada región (Cerón-Muñoz y col., 2001). Por ello, los objetivos de un programa de mejoramiento genético, deben estar basados en las condiciones, necesidades e intereses de cada región.

En México, la selección de ganado en las unidades de producción son actividades escasas y el mejoramiento genético se enfoca a identificar los mejores animales por sus rasgos fenotípicos. También es común ver que el progreso genético se lleva a cabo principalmente mediante cruzamientos entre las hembras locales y sementales importados o utilizando biotecnología reproductiva con semen y embriones, generando así dependencia

técnica y económica de otros países (Larios-Sarabia y col., 2011). Estos procesos de mejoramiento productivo son muy sensibles a la IGA, lo que afecta el desarrollo de la expresión del potencial genético del ganado, particularmente del Holstein, que en México es uno de los rasgos principales, por lo que se requiere establecer con mayor precisión la importancia de la IGA en el mejoramiento del ganado productor de leche (Ramírez-Carballo y col., 2007; Valencia y col., 2008). El principal problema asociado con la importación del material genético, es que se han establecido que los animales seleccionados en determinadas condiciones de producción no siempre presentan el mismo comportamiento al ser expuestos a otros ambientes, lo que indica una IGA que afecta principalmente las características de producción de leche y que se producen en el individuo (Cerón-Muñoz y col., 2001; Valencia y col., 2004; Ramírez-Carballo y col., 2007; Vargas y Gamboa, 2008; Echeverri y col., 2014).

Por ejemplo, Ramírez-Carballo y col. (2007) encontraron que existe interacción genotipo x ambiente entre la región Lagunera de México y Estados Unidos. Los sementales probados como mejores genéticamente en Estados Unidos lo son también en La Laguna, México, solo que su expresión genética cuantitativa en producción de leche, medida en sus hijas, está disminuida por el ambiente. De un 13 % al 17 % de la superioridad genética de sementales importados es expresada en condiciones de México.

El objetivo de este trabajo fue analizar los principales factores en la interacción genotipo x ambiente para el mejoramiento genético de ganado bovino lechero en México.

### **Interacción genotipo x ambiente**

La IGA se refiere a diferencias en la respuesta de los genotipos a los cambios en el ambiente (Lynch y Walsh, 1998), y una manera de cuantificarla es mediante el cálculo de correlaciones entre predictores de valor genético para un determinado rasgo, obtenidos para los mismos individuos en dos diferentes ambientes (Cerón-Muñoz y col., 2001).

Por otra parte, la existencia de la IGA hace estadísticamente imposible interpretar los principales efectos de genotipo y el medio ambiente, y para predecir el rendimiento de genotipos en entornos cambiantes. Verde (2010) mencionó que la IGA es una de las complicaciones que se puede presentar en la selección de animales, partiendo del hecho de que los mejores genotipos en un ambiente no lo sean en otro, por lo que pueden reducir el progreso genético. Asimismo, Lin y Togashi (2002) observaron que biológicamente, la IGA puede presentarse de dos maneras: (i) un conjunto de genotipos pueden clasificar de manera diferente dependiendo del entorno; y (ii) la diferencia real entre los genotipos puede variar entre los entornos en magnitud sin cambiar la clasificación, es decir, este último tipo de interacción genética no plantea ningún problema desde el punto de vista de selección, porque los mejores animales seleccionados en un entorno se comportarían igual en los demás, independientemente de la expresión diferencial de genotipos entre entornos.

La mayor parte de las características de importancia económica en el ganado lechero son cuantitativas, y se caracterizan porque están determinadas por muchos pares de genes, y además la expresión fenotípica de la característica se ve afectada de manera importante por el ambiente; estos dos efectos se combinan para causar que el fenotipo de estas características, presente una variación continua, tal es el caso de la producción y composición de la leche (Ochoa, 1991). Por ello, desarrollar una estrategia efectiva de selección requiere un buen análisis de las interacciones, donde cualquier programa de mejora genética debe evaluar y seleccionar a los candidatos a padres de la próxima generación en las mismas condiciones (manejo y alimentación) donde se usarán sus progenies (Huquet y col., 2012).

Se han realizado estudios de la IGA en ganado lechero, con el fin de determinar la magnitud de la interacción entre valores genéticos y diferentes ambientes, encontrándose que el valor genético se mantiene. Valencia y col. (2004) reportaron que en ganado Holstein de tres regiones de México tuvieron una correlación genética de 0.46, 0.43 y 0.40 para la región norte, centro y sur, sobre la producción de

leche, respectivamente. Años más tarde, los mismos autores (Valencia y col., 2008) reportaron en el ganado Holstein una correlación genética de 0.73, 0.38 y 0.93 para la región norte-centro, norte-sur y centro-sur sobre la producción de leche, respectivamente. La menor correlación genética (norte-sur) indicó una importante IGA, y por lo tanto, una expresión diferente de los genes en las hijas del mismo toro en cada ambiente. La variación encontrada es atribuida a que los animales bovinos son criados en climas diferentes y en una amplia gama de condiciones de manejo, por lo que la definición de ambiente es difícil de uniformizar (Tumwasorn, 2012). Con cambios en el ambiente, la importancia de la IGA se incrementa y esto puede tener grandes consecuencias para la selección de sementales, pero quizá puede ser importante también a nivel nacional, donde ganaderos individuales podrían seleccionar toros más apropiados a su sistema de producción (Strandberg y col., 2009; Arango y Echeverri, 2014).

### Causas de la interacción

Desde un punto de vista ambiental, es sencillo visualizar los cambios de los factores ambientales que afectan al ganado bovino y corresponden a una compleja interacción de la temperatura, humedad relativa, radiación, velocidad del viento, precipitación, presión atmosférica, luz ultravioleta y polvo (Hahn y col., 2003). La temperatura es probablemente la variable más investigada y al mismo tiempo la más utilizada como indicador de estrés en ganado bovino (Arias y col., 2008; Lozano-Domínguez y col., 2010). Por otra parte, Buckley y col. (2000), mencionaron que la alimentación es otro factor de importancia, debido a que las vacas de alto mérito genético tienen mayores requerimientos de energía y consumen más alimento, pero su capacidad productiva no se expresa con nutrición inadecuada. También, la fisiología, el comportamiento y la salud del ganado bovino son marcadamente influenciados por el ambiente, en el cual el ganado vive afectando significativamente el desempeño productivo y por tanto económico del mismo.

Sin embargo, desde el punto de vista genético es difícil determinar los mecanismos responsables

de las diferentes respuestas. Cruz y Regazzi (1994), observaron que el ambiente no modifica de forma directa la constitución genética del individuo, pero sí determina la extensión con que se expresan los genes. Por lo tanto, cuando se cuantifica el comportamiento fenotípico de los animales se considera el componente genético y ambiental en forma independiente, y un efecto adicional algunas veces significativo causado por la interacción de los mismos (Cerón-Muñoz y col., 2001).

Esta interacción se establece debido a que algunos genes pueden mostrar diferentes efectos en diferentes entornos, es decir, algunos genes son más sensibles a los factores ambientales en comparación con los demás, y por lo tanto se ve reflejado en el fenotipo del animal (Kemper y Goddard, 2012). Por lo anterior, Togashi y col. (2002), mencionaron que los loci de rasgos cuantitativos (QTL) se pueden clasificar en dos grupos, un grupo de genes constantes, donde los descendientes de un mismo reproductor en diferentes regiones expresaría una porción de sus genes en común, y el otro grupo son los genes de interacción en donde la otra porción diferiría según la región en que serán criados.

### Evidencias de interacción genotipo x ambiente para ganado lechero

Diversos estudios (Cienfuegos-Rivas y col., 1999; Cerón-Muñoz y col., 2001; Ramírez-Carballo y col., 2007; Valencia y col., 2008; Gebreyohannes y col., 2014; Naser y col., 2014) investigaron la existencia de la IGA, ya sea dentro regiones del mismo país o con material genético de diferentes países. Asimismo, esta interacción ha sido evaluada en los diferentes rasgos de producción en ganado lechero como se muestra en la Tabla 1.

Por otra parte, los avances en la tecnología basada en el ácido desoxirribonucleico (ADN) y/o marcadores genéticos se han vuelto cada vez más disponibles para la selección asistida por marcadores. Streit y col. (2013) investigaron la interacción mediante análisis de asociación de todo el genoma. Ellos reportaron polimorfismos en un solo nucleótido (SNPs) que afectan la sensibilidad medioambiental (GP) y que también

■ **Tabla 1. Interacción genotipo x ambiente para diferentes rasgos de producción en ganado lechero.**  
Table 1. Genotype-environment interaction for different production traits in dairy cattle.

Raza	Sitios	Rasgo	Efecto	Referencia
Holstein	México y Estados Unidos	PL	Existencia de IGA $r = 0.60$ a $0.71$ ( $P < 0.001$ )	Cienfuegos-Rivas y col., 1999
Holstein	Colombia	PL	Existencia de IGA $r_g = 0.70$ a $0.99$	Cerón y col., 2001
Holstein	México y Estados Unidos	PL	Existencia de IGA	Ramírez-Carballo y col., 2007
Holstein	Norte, Centro y Sur de México	PL	Existencia de IGA $r_g = 0.73$ (Norte-Centro; $P = 0.07$ ) $r_g = 0.38$ (Norte-Sur; $P = 0.002$ ) $r_g = 0.93$ (Centro-Sur)	Valencia y col., 2008
Holstein	Costa Rica y Estados Unidos	PL	Existencia de IGA $r = 0.62$ (PTAs Holstein; $P < 0.01$ )	Vargas y Gamboa, 2008
Holstein	Antioquia y foráneos	PP y PL	Existencia de IGA $r_g = 0.11$ (PP; $P < 0.05$ ) $r_g = -0.06$ (PL; $P < 0.05$ )	Echeverri y col., 2014
Holstein	Norte, centro y sur de Tunisian	PL, PP y PG	Existencia de IGA $r_g < 0.80$ (PL, PP y PG)	Hamrouni y col., 2014
Horro, Boran, Cruzas de Friesian, Jersey y Simmental	Etiopía	PL, PI, y RLD	Existencia de IGA $r_g = 0.86$ (PL y PI; $P < 0.0001$ ) $r_g = 0.87$ (RLD; $P < 0.0001$ )	Gebreyohannes y col., 2014
Holstein	Sudáfrica	PL y EPP	Existencia de IGA $r_g = 0.90 - 0.027$ (PL) $r_g = 0.28 - 0.12$ (EPP)	Nesery col., 2014

Producción de leche (PL), producción de leche inicial (PI), rendimiento medio de leche por día (RLD), porcentaje de proteína (PP), Habilidad de transmisión predicha (PTA) y edad al primer parto (EPP).

afectan producción de leche (PL). De igual modo, Lin y Togashi (2002) observaron que la detección de genes estables y de interacción es crucial para la optimización local o regional, es decir, la selección de un genotipo específico para una región con las condiciones ambientales adecuadas para que sea expresado su potencial genético.

### Implicaciones de la interacción genotipo x ambiente en la mejora genética de los hatos lecheros

La importación de material genético mejorado de otros países también ha incrementado el interés por realizar evaluaciones sobre el mérito genético de los animales. Ya que sin lugar a dudas, el uso de este material genético ha contribuido en el

mejoramiento de los hatos lecheros en México. Sin embargo, se deben tomar en cuenta las condiciones ambientales, de las cuales proceden estos animales, debido a que diversos estudios demuestran un efecto significativo de IGA para los diferentes rasgos de producción en ganado lechero (Cienfuegos-Rivas y col., 1999; Valencia y col., 2008; Montaldo y col., 2010).

De acuerdo a la existencia de la IGA en el sector productivo involucrado, es recomendable reconsiderar las políticas de mejoramiento genético basadas exclusivamente en importación de material genético. Esto debido a un amplio uso de la inseminación artificial en la industria láctea, es decir, los toros se producen y se prueban en unos pocos lugares, pero más tarde los sementales

seleccionados son utilizados en diferentes partes del mundo. Por ejemplo, cuando la diferencia entre entornos es tan grande, como la que existe entre las regiones templadas y tropicales, es importante saber si los toros superiores en las regiones templadas seguirían siendo superiores cuando se utilizan en las regiones tropicales.

La actividad en el mejoramiento productivo del ganado lechero en México tiene una creciente dependencia de la importación de semen proveniente de Estados Unidos, Canadá y otros países como Nueva Zelanda. Sin embargo, la eficiencia de estos procesos de mejoramiento productivo se ven afectados por la IGA, combinado con los criterios de selección interna de sementales y vacas (Cienfuegos-Rivas y col., 1999; Ramírez-Carballo y col., 2007; Valencia y col., 2008). Por lo anterior, se requieren estudios adicionales orientados a la identificación de factores

ambientales específicos relacionados a estas interacciones.

## CONCLUSIONES

Si bien, la selección de animales (machos o hembras), óvulos o semen de importación han sido la base del desarrollo en la cría de ganado productor de leche en los países en desarrollo, también es necesario considerar en la selección de estos genotipos el factor ambiente donde deben tomarse en cuenta características de adaptación, buscando la combinación óptima entre el genotipo y el ambiente. Además, es importante mejorar las estimaciones de los valores de cría de toros nacionales y extranjeros, a través de la selección de sementales con información de su progenie para seleccionar con precisión los toros más adecuados para cada lugar, y con ello obtener la información para tener mayor fiabilidad en los parámetros estimados.

## REFERENCIAS

- Alencar, M. M., Mascioli, A. S., and Freitas, A. R. (2005). Evidências de interação genótipo x ambiente sobre características de crescimento em bovinos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 34(2): 489-495.
- Arango, J. y Echeverri, J. J. (2014). Asociación del valor genético del toro con caracteres productivos en vacas lecheras en Colombia. *Archivos de zootecnia*. 63(242): 227-237.
- Arias, R. A., Mader, T. L. y Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 40(1): 7-22.
- Baye, T. M., Abebe, T., and Wilke, R. A. (2011). Genotype-environment interactions and their translational implications. *Personalized Medicine*. 8(1): 59-70.
- Buckley, F., Dillon, P., Crosse, S., Flynn, F., and Rath, M. (2000). The performance of Holstein Friesian dairy cows of high and medium genetic merit for milk production on grass-based feeding systems. *Livestock Production Science*. 64(2): 107-119.
- Cerón-Muñoz, M. F., Tonhati, H., Costa, C. y Benavides, F. (2001). Interacción genotipo-ambiente en ganado Holstein colombiano. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 9(2): 74-78.
- Cienfuegos-Rivas, E. G., Oltenacu, P. A., Blake, R. W., Schwager, S. J., Castillo-Juarez, H., and Ruíz, F. J. (1999). Interaction between milk yield of Holstein cows in México and the United States. *Journal of Dairy Science*. 82(10): 2218-2223.
- Cruz, C. D. and Regazzi, A. J. (1994). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 390 Pp.
- Diaz, I. D. P. S., Oliveira, H. N. D., Bezerra, L. A. F., and Lôbo, R. B. (2011). Genotype by environment interaction in Nelore cattle from five Brazilian states. *Genetics and molecular biology*. 34(3): 435-442.
- Echeverri, J., Rincón, J. C., and López-Herrera, A. (2014). Estimation of genotype-by-environment interaction for milk traits based on foreign sires used in Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 27(4): 245-252.
- Gebreyohannes, G., Koonawootrittriron, S., Elso, M. A., and Suwanasopee, T. (2014). Genotype by environment interaction effect on lactation pattern and milk production traits in an ethiopian dairy cattle population. *Natural Science*. 48(1): 38-51.
- Hahn, G. L., Mader, T. L., and Eigenberg, R. A. (2003). Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. In N. Lacetera, U. Bernabucci, H. H. Khalifa, B. Ronchi, and A. Nardone

(Eds.). *Interactions between climate and animal production* (pp. 31-44). Italia: EAAP Technical series.

Hamrouni, A., Djemali, M., and Bedhiaf, S. (2014). Interaction between genotype and geographic region for milk production traits in Tunisian Holstein cattle. *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 3(6): 623-628.

Hayes, B. J., Lewin, H. A., and Goddard, M. E. (2013). The future of livestock breeding: genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. *Trends in Genetic*. 29(4): 206-214.

Huquet, B., Leclerc, H., and Ducrocq, V. (2012). Modelling and estimation of genotype by environment interactions for production traits in French dairy cattle. *Genetics Selection Evolution*. 44(35): 1-14.

Kemper, K. E. and Goddard, M. E. (2012). Understanding and predicting complex traits: knowledge from cattle. *Human Molecular Genetics*. 21(1): 45-51.

Larios-Sarabia, N., Ramírez-Valverde, R., Núñez-Domínguez, R., García-Muñiz, J. G. y Ruíz-Flores, A. (2011). Caracterización técnica, social y económica de las empresas del hato bovino Jersey de registro en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*. 8(2): 229-247.

Lin, C. Y. and Togashi, K. (2002). Genetic improvement in the presence of genotype by environment interaction. *Animal Science Journal*. 73(1): 3-11.

López-Zavala, R. (2010). Marcadores Genéticos, su detección y utilización como herramienta de selección en el ganado bovino ¿Qué es lo que se está haciendo en Tamaulipas?. *CienciaUAT*. 4(4): 44-49.

Lozano-Domínguez, R. R., Asprón-Pelayo, M. A., Vásquez-Peláez, C. G., González-Padilla, E. y Aréchi-ga-Flores, C. F. (2010). Efecto del estrés calórico sobre la producción embrionaria en vacas superovuladas y la tasa de gestación en receptoras. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 1(3): 189-203.

Lynch, M. and Walsh, B. (1998). *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. USA: Sinauer Associates Inc., USA. 980 Pp.

Montaldo, H. H., Núñez-Soto, S. G., Ruiz-López, F. J., and Castillo-Juárez, H. (2010). Selection response for milk production in conventional production systems in Mexico, using genetic evaluations of Holstein sires from Canada and the United States. *Journal of Dairy Science*. 92(10): 5270-5275.

Neser, F. W. C., Van Wyk, J. B., and Ducrocq, V. (2014). A preliminary investigation into genotype x environment interaction in South African Holstein cattle

for reproduction and production traits. *South African Journal of Animal Science*. 44(5): 75-79.

Ochoa, G. P. (1991). Mejoramiento genético del ganado bovino productor de leche. *Ciencia Veterinaria*. 5(4): 67-88.

Ramírez-Carballo, H., López-Villalobos, N. y Hernández-Salgado, J. R. (2007). Interacción genotipo-ambiente en la evaluación genética de sementales Holstein-Friesian en la Comarca Lagunera, México. *Revista Chapingo Series Zonas Áridas*. 6(1): 147-154.

Rodríguez, Y. y Guerra, D. (2013). Evidencia de interacción genotipo-ambiente para peso final en prueba de comportamiento en el Cebú Cubano. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 47(1): 13-17.

Strandberg, E., Brotherstone, S., Wall, E., and Coffey, M. P. (2009). Genotype by environment interaction for first-lactation female fertility traits in UK dairy cattle. *Journal of dairy science*. 92(7): 3437-3446.

Streit, M., Wellmann, R., Reinhardt, F., Thaller, G., Piepho, H. P., and Bennewitz, J. (2013). Using Genome-Wide Association Analysis to Characterize Environmental Sensitivity of Milk Traits in Dairy Cattle. *G3 (Bethesda, Md)*. 3(7): 1085-1093.

Togashi, K., Lin, C. Y., Yoshizawa, T., Okamura, Y., Moribe, K., Nishiura, A., and Yakamoto, N. (2002). Partition of sire effects for international sire evaluation in the presence of genotype x environment interaction. *Livestock Production Science*. 73(2): 225-235.

Tumwasorn, S. (2012). The optimization of environment and genotype to maximize farm income in the tropics. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 40(2): 100-103.

Valencia, M., Montaldo, H. H., and Ruíz, F. (2008). Interaction between genotype and geographic region for milk production in Mexican Holstein cattle. *Archivos de Zootecnia*. 57(220): 457-463.

Valencia, P. M., Ruiz, L. F. J., and Montaldo, H. H. (2004). Genetic and environmental variance components for milk yield across regions, time periods and herd levels for Holstein cattle in Mexico. *Revista Científica (Maracaibo)*. XIV(5): 404-411.

Vargas, L. B. y Gamboa, Z. G. (2008). Estimación de tendencias genéticas e interacción genotipo x ambiente en ganado lechero de Costa Rica. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 46(4): 371-386.

Verde, O. (2010). Interacción genotipo x ambiente para peso a 548 días en bovinos de carne. *Zootecnia Tropical*. 28(4): 507-512.