



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**“INTERACCIÓN GENOTIPO-AMBIENTE EN  
LA PRODUCCIÓN DE GRASA DE LECHE DE  
VACAS HOLSTEIN ALTAS PRODUCTORAS”**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**MÉDICA VETERINARIA  
ZOOTECNISTA**

**P R E S E N T A:**  
**Cecilia Guadalupe Roque Revuelta**

Asesor: Dr. Benito López Baños  
Coasesor: Dr. Armando Enrique Esperón Sumano

Cuautitlán Izcalli, Estado de México

2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**  
**UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR**  
**DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ**  
**DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN**  
**PRESENTE**

**ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO**  
**Jefe del Departamento de Exámenes**  
**Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

**Interacción genotipo-ambiente en la producción de grasa de la leche de vacas Holstein altas productoras.**

Que presenta el pasante: **CECILIA GUADALUPE ROQUE REVUELTA**

Con número de cuenta: **40809930-5** para obtener el Título de: **Médica Veterinaria Zootecnista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de abril de 2014.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	<u>Dr. Benito López Baños</u>	
<b>VOCAL</b>	<u>MVZ. Ruperto Javier Hernández Balderas</u>	
<b>SECRETARIO</b>	<u>Dr. Antonio Gómez Alcántara</u>	
<b>1er SUPLENTE</b>	<u>M.C. Marcelino Evodio Rosas García</u>	
<b>2do SUPLENTE</b>	<u>Dra. Marisela Leal Hernández</u>	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.

(Art 127 REP)

IHM/yrf

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero dar las gracias a mis padres Patricia y Francisco que sin ellos yo no estaría aquí, por su apoyo y amor incondicional al demostrarme que nada es imposible, que el esfuerzo y trabajo son siempre recompensados y que no importan los obstáculos siempre estarán ahí con sus palabras de aliento y amor para salir adelante.

A la memoria de mis abuelos Lupita y Pepito que son dos luceros que siempre me apoyaron para lograr mis propósitos y que siempre me enseñaron que bajo cualquier circunstancia la familia siempre estará para apoyarte.

A mis hermanas Martha y Sandra por que siempre han estado conmigo para ayudarme y apoyarme en todo lo que he necesitado a pesar de las diferencias.

A mis familiares por haberme permitido ser parte de esta gran familia que sabe sortear los problemas con la mejor actitud y siempre busca la manera de salir adelante con trabajo y amor.

A David por ser un compañero de vida que siempre me ha apoyado en los buenos y los malos momentos, el cual me ha enseñado a tener paciencia y tomar las cosas con calma para poder resolver los problemas y por siempre brindarme su amor.

A mis amigos, Fernando por estar siempre cuando lo he necesitado, Sonia por el apoyo brindado a lo largo de la carrera a Gaby, Alfredo, Adrian, Mario, Marina, Quintin, Olivia y Pancho por haberme brindado su amistad y compartir parte de sus vidas conmigo y por todas las aventuras, risas, enojos y apoyo incondicional a lo largo de estos años.

Al doctor Benito y el doctor Esperon por brindarme su apoyo para poder concluir con este proyecto y por los consejos dados.

Y a todos aquellas personas que han sido parte de mi vida y han contribuido para que esto haya sido posible.

## ÍNDICE

Resumen- 5 -	
Introducción.....	- 6 -
Objetivos.....	- 19 -
Material y Métodos.....	- 20 -
Resultados.....	- 24 -
Discusión.....	- 43 -
Conclusiones.....	- 51 -
Referencias.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

---

---

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo estudiar de los efectos de interacción genotipo-ambiente en la producción de grasa de leche de vacas Holstein altas productoras; por lo cual se analizaron los registros de 215 vacas Holstein de diferentes lactaciones en un establo de Torreón; se utilizó una metodología basada en un modelo de regresión lineal para estimar los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la recta a partir de 10 a 12 mediciones por lactancia cada 28 días posteriormente se graficaron algunas rectas de regresión de diferentes vacas a diferentes ambientes -2, -1, 0, 1 y 2 desviaciones estándar de los efectos ecológicos. Determinando que la producción de grasa en leche de vacas Holstein presenta una interacción genotipo-ambiente variable, esto permite además la posibilidad de seleccionar animales mediante las pendientes de las rectas, observando que hay un mayor porcentaje con 87.5 % de pendientes positivas no similares para la primera lactancia y pendientes negativas atípicas en esta misma.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la cría de ganado lechero se ha convertido en un negocio cada vez más internacional; un considerable intercambio de semen Holstein ha tenido lugar en todo el mundo, dando lugar a que las vacas se vayan seleccionando de acuerdo con su nivel de producción tanto de leche como de grasa. Esto ha derivado en animales de alto nivel productivo que poseen la habilidad de digerir gran proporción de nutrientes consumidos y dirigirlos a la glándula mamaria para la producción láctea. Esta habilidad es el resultado de la capacidad de síntesis de la glándula mamaria, interactuando con hormonas y metabolitos circulantes (Chalupa y Galligan, 1990; Hammami *et al.*, 2009).

La leche es una secreción de la glándula mamaria de los mamíferos que desde el punto de vista fisicoquímico es una emulsión de materia grasa, en forma globular, contiene material proteico en suspensión así como lactosa y sales minerales en solución. También, se ha definido como la secreción, excluyendo el calostro, que se obtiene mediante los métodos de ordeño normales de las glándulas mamarias de vacas saludables y normalmente alimentadas en la etapa de lactancia (Kirk *et al.*, 2002; Ávila y Gutiérrez, 2009).

Las características genotípicas entre razas varían y dentro de ellas está la capacidad de producción de leche, así como los componentes fisicoquímicos de la misma (Ávila y Gutiérrez, 2009).

La composición más deseable de la leche depende del punto de vista de cada persona, la disminución en el contenido de uno de los constituyentes por debajo de los límites prescritos pueden causar el rechazo de la leche. Existen mecanismos nutricionales para aumentar la relación proteína-grasa en la leche y para alterar la composición de ácidos grasos (Broster y Swan, 1992).

De todos los componentes de la leche, la fracción que más varía es la formada por las grasas, estando en una proporción que oscila entre el 3.2 y el 6%. Estas variaciones se deben principalmente a la selección realizada para obtener las distintas razas de ganado vacuno. Además también se deben a la alimentación, edad, alojamiento, estado sanitario y a las características individuales de las vacas lecheras (Spreer, 1991; Keating y Gaona, 1999).

El contenido en grasa de la leche varía considerablemente de un ordeño al siguiente y de un día a otro, la grasa es, sin duda, el principal contribuyente a la variación en el contenido de sólidos totales de la leche causada por cambios en la dieta. La producción de grasa en la leche no depende solo del suministro de los principales precursores desde el tracto digestivo, sino de si hay una síntesis neta o

movilización de ácidos grasos almacenados en el organismo, factor que está bajo el control hormonal fundamentalmente (Johansson, 1972; Broster y Swan, 1992; González, 2005).

La grasa de la leche, también llamada grasa butírica, está compuesta principalmente por acilgliceroles (98-99%), los más abundantes son los triglicéridos, sin embargo también se pueden encontrar fosfolípidos, colesterol, acilcolesterol y ácidos grasos libres (Jiménez, 2005).

La materia grasa de la leche se encuentra en forma de glóbulos grasos de forma esférica. La zona superficial o la membrana del glóbulo graso no es una capa de adsorción compuesta por una única sustancia, sino que está compuesta por muchos componentes y su estructura es muy compleja, esta le confiere a los glóbulos grasos una gran estabilidad como emulsión y protección frente a la lipólisis (Schlimme y Bucheim, 2002).

Desde el punto de vista comercial la cantidad de grasa en la leche es un indicador importante en la determinación de la calidad de esta y en muchos casos se emplea para fijar el precio de la leche (Ávila y Gutierrez, 2009).

La posibilidad de alterar la composición de grasa en la leche es mucho mayor que en el caso de la proteína. Desde los años sesenta hasta la

actualidad la grasa de la leche es el primer componente de interés, siendo recompensados los ganaderos cuando producen leche con elevadas concentraciones de esta (Bucio, 1966).

Tanto la composición como la producción de la leche son el resultado de una serie de factores. Dentro de los cuales destacan los factores ambientales o no fisiológicos, que actúan de forma indirecta limitando la producción del animal y son en su mayoría provocados por el manejo de la producción. Los factores fisiológicos o genéticos son los que afectan de una forma directa al animal (García, 1990; Muñoz, 2001).

Los factores hereditarios pueden ser responsables del incremento o decremento de grasa en la leche (cuadro1) y la cantidad de leche ya que después de que la vaca alcanza el pico de lactación, la producción de leche tiende a decrecer y el contenido de grasa incrementar (Ávila y Gutiérrez, 2009).

**Cuadro 1. Contenido de grasa de la leche en diferentes grupos genéticos**

Factores hereditarios	
Raza	Grasa %
Ayrshire	4.0
Pardo Suizo	3.8 a 4.2

---

---

Guernsey	3.5
Holstein	3.5
Jersey	5 a 5.5

(Tomado de Ávila y Gutiérrez, 2009)

De tal forma los factores ambientales que influyen en el decremento en grasa se pueden relacionar con la administración de dietas pobres en cantidad, calidad, ciertas hormonas, medicamentos, ácidos grasos, así como también climas y épocas de frío. La reducción en la administración de forraje de 30% en base a materia seca, se ha señalado como posible causa de la disminución hasta de 2% en el contenido de grasa en la leche. Otros factores que afectan son la administración de forraje finamente picado, dietas altas en maíz y granos procesados con calor o expandidos (Ávila y Gutiérrez, 2009).

La mejora genética de las poblaciones persigue como principal objetivo obtener avances en las características económicamente importantes. Los avances obtenidos a través de la mejora genética implican que el ambiente en que se desenvuelven los animales también sea estable, de no darse esta estabilidad y mejora ambiental, será difícil lograr avances significativos (Chamberlain, 2002; Pérez y Gómez, 2005).

Algunas características están relacionadas con otras ya sea positiva o negativamente, y en términos estadísticos se dice que están correlacionadas. Esta correlación puede ser de origen genético o ambiental (Johansson, 1972; Valencia y Montaldo, 2008).

La elección del medio ambiente o la caracterización del genotipo dependen del objetivo de cada estudio. Genotipo puede referirse a una unidad genotípica (razas, cruza, individuos), también a un valor genotípico (individuos con ciertas características genotípicas y fenotípicas, genes). De la misma manera, los entornos pueden definirse como una unidad (manada, región, país, etc.), pero también como un valor continuo (temperatura, precipitación, concentración, nivel de alimentación, etc.) (Hammami *et al.*, 2009).

El genotipo puede ser clasificado en tres niveles en combinación con el medio ambiente:

- La raza por la interacción medio ambiente (interacción entre su clase)
- Individuo por la interacción medio ambiente (interacción dentro de su clase)
- Gen por medio de interacción (interacción dentro de individuos)

La unidad elemental de costumbre para la definición de medio ambiente en el ganado lechero es la manada. El uso de las

características individuales de cada rebaño como un entorno distinto dará lugar a grandes dificultades en la comparación de diferentes entornos. La agrupación de rebaños en función de sus similitudes ambientales puede ser una alternativa, pero la disponibilidad y precisión del genotipo-ambiente dependerá de la solidez del criterio utilizado para su agrupación (Jansson, 2005; Hammami *et al.*, 2009).

Algunos investigadores, mencionan que un ambiente pobre puede poner un límite virtual sobre la expresión de las diferencias inherentes al valor genético y hacer la selección ineficaz por la reducción en la variación genética (López, 1999; Muñoz, 2001; Ramírez, 2011).

Dar un ambiente óptimo a los animales significaría que el cambio específico en el ambiente daría por resultado un cambio proporcional en el fenotipo para todo el conjunto de genotipos (Ramírez, 2011).

El factor como la estación del año, ejerce un efecto que se traduce en una modificación de las curvas de lactancia y en lo que se refiere a la materia grasa, el mínimo en verano y el máximo en invierno son independientes del régimen alimenticio (Alais, 2003).

La temperatura es probablemente una de las causas de las variaciones temporales en la leche, ya que algunos estudios muestran que la cantidad de leche producida disminuye, y el contenido de grasa aumenta de la forma siguiente: rápidamente, cuando la temperatura se

eleva por encima de los 27°C y progresivamente, cuando la temperatura disminuye por debajo de 5°C (Johansson, 1972; Alais, 2003).

Las condiciones meteorológicas, como la presión atmosférica, origen de las masas de aire, parecen influir sobre el contenido en materia grasa (Alais, 2003).

La composición del alimento ejerce una acción sobre el contenido de la leche. Cuando disminuye la cantidad de alimento o bien el contenido de carbohidratos solubles en la dieta, la concentración de grasa y proteína tiende a disminuir (Johansson, 1972).

Por otra parte, el contenido de materia grasa en la leche se eleva en el curso del ordeño, desde 15 g/l al principio hasta 100 g/l al final (Alais, 2003).

La edad de las vacas tiene cierta influencia sobre la composición de la leche. Tanto el contenido en grasa como el de los productos sólidos no grasos tienden a disminuir a medida que la edad aumenta (Johansson, 1972).

Entre vacas de una misma raza sometidas a las mismas condiciones de medio y alimentación, pueden existir en los individuos diferencias significativas y reproducibles, en cuanto a la composición de la leche (Alais, 2003).

Las razas, la diferencia que hay entre ellas son muy importantes en lo que se refiere a la materia de grasa (del 34 al 64%) constituyen un factor que predispone a favor del determinismo genético de estos caracteres (Johansson, 1972).

La inseminación artificial permite una difusión del semen de toros de alta selección, esto ayuda a la mejora constante de las aptitudes lecheras (Alais, 2003).

Es indispensable que para el mejoramiento genético se deba conocer que el fenotipo es una expresión que se presenta de la siguiente manera:

$$\text{Fenotipo} = \text{Genotipo} + \text{Ambiente}$$

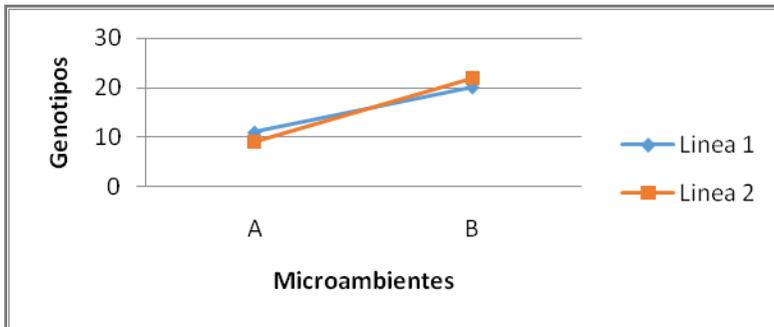
La referencia anterior es tomada por la escuela americana la cual no acepta o minimiza los efectos de interacción genotipo-ambiente (IGA). Sin embargo, sabemos que algunos investigadores (Carmona, 1993; López, 1999) proponen que el modelo anterior debería involucrar la componente de IGA quedando de la manera siguiente:

$$\text{Fenotipo} = \text{Genotipo} + \text{Ambiente} + \text{Interacción genotipo-ambiente} \\ (\text{IGA})$$

La interacción genotipo-ambiente (IGA) se define como la alteración del desempeño del genotipo medido en dos o más ambientes. La capacidad de los organismos vivos (plantas o animales) para alterar el

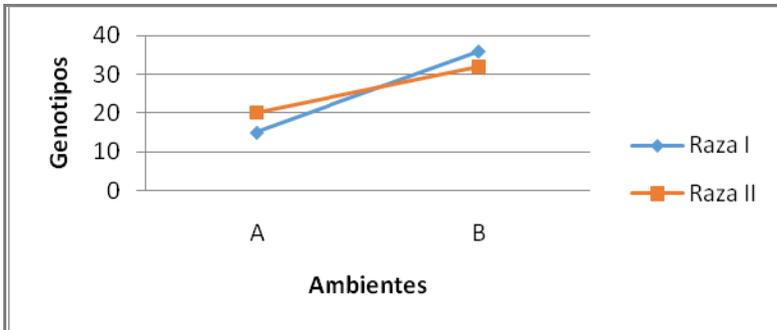
fenotipo en respuesta a los cambios en el medio ambiente se conoce como la plasticidad fenotípica o sensibilidad ambiental (Falconer y Mackay, 1996).

La IGA se presenta cuando existe una considerable variación en uno o en ambos términos, de tal manera que tiene una importancia relevante, cuando el ambiente no se puede controlar o es parcialmente controlado. Así algunos investigadores consideran que hay cuatro tipos o arreglos posibles de que se presente la IGA, las figuras siguientes presentan tales condiciones (López, 1999).



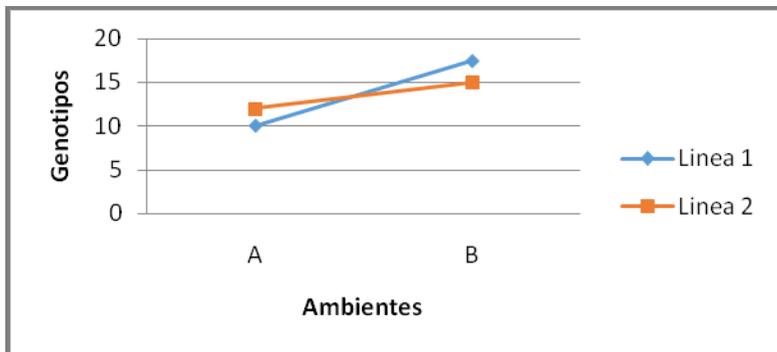
**Figura 1. Interacción genotipo ambiente tipo I**

IGA tipo I (Figura 1): esta se presenta cuando las diferencias tanto genéticas como ambientales son pequeñas (dos líneas de una raza en un rebaño). Esto es el comportamiento específico de cada animal al interior del rebaño, siendo esta poco estudiada (López, 1999).



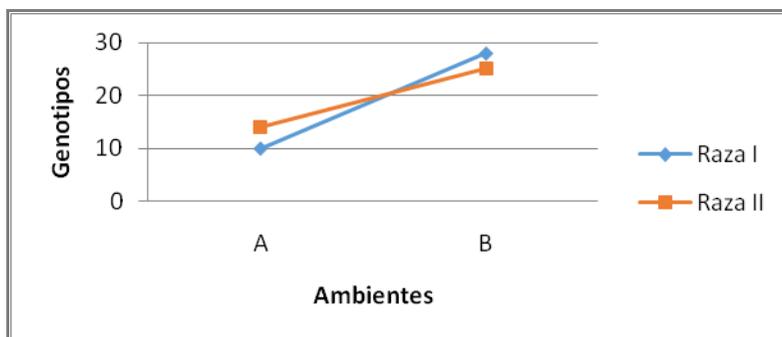
**Figura 2. Interacción genotipo ambiente tipo II**

IGA tipo II (Figura 2): esta segunda se presenta cuando las diferencias en el genotipo son grandes pero las diferencias ambientales son pequeñas (varias razas en un mismo rebaño). Esta se presenta ligada al efecto de heterosis, los genotipos heterocigotos están en general más adaptados a una larga gama de micro ambientes y menos sujetos a la influencia no genética (López, 1999).



**Figura 3. Interacción genotipo ambiente tipo III**

IGA tipo III (figura 3): esta tercera se presenta cuando las diferencias genéticas son pequeñas y las ambientales son grandes (dos líneas de una raza en diferentes rebaños). Estas interacciones se manifiestan entre líneas o descendientes de un semental en razón de diferentes ranchos o regiones (López, 1999).



**Figura 4. Interacción genotipo ambiente tipo IV**

IGA IV (Figura 4): esta última se presenta cuando las diferencias genéticas y ambientales son grandes (varias razas en diferentes rebaños). La introducción de nuevas razas en un macro ambiente o región, deberá ser estudiada en forma prioritaria ya que frecuentemente se introducen nuevas razas en una zona geográfica con el objetivo de incrementar la producción en esta área (López, 1999).

Los estudios experimentales más informados que investigan la existencia de interacción genotipo-ambiente en el ganado lechero se

han producido en las granjas experimentales en los Países Bajos, Australia, Irlanda y Nueva Zelanda (Hammami *et al.*, 2009).

En los últimos años, los efectos de interacción genotipo-ambiente han recibido un mayor interés debido a que los programas de cría son orientados internacionalmente. Varios estudios han examinado la importancia de la interacción genotipo-ambiente para diferentes rasgos en el ganado vacuno (Pégolo *et al.*, 2009).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

- Determinar los efectos de interacción genotipo-ambiente sobre el porcentaje de grasa de la leche de vacas Holstein.

### **Objetivos Específicos:**

- Estimar los parámetros del modelo de Wood para ajustar la curva de producción de grasa (porcentajes).
- Estimar el porcentaje de grasa promedio producido durante una lactancia por vacas Holstein.
- Determinar los parámetros del modelo de regresión lineal que explique los efectos de interacción genotipo ambiente.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de Tesis se realizó con una base de datos de un hato de 215 vacas Holstein de alta producción, estos se tomaron durante los años de 2007-2008, en un establo que se encuentra en la comarca Lagunera de Coahuila a 6.5 Km. de Torreón, Coahuila, sus coordenadas son 25° 27'14.13" y 103°20'58.52", dirección: carretera Torreón, Mieleras, Km. 6.5 Torreón, Coahuila. (Torreón, 2013).

El clima de la comarca lagunera es semidesértico a desértico, según la clasificación Köppen, modificada por García (1981), es un BWhw(e), que se caracteriza por ser muy seco y cálido en verano e invierno fresco, con una temperatura media anual entre 24 y 28°C del mes más frío oscilando entre 8 y 12°C; el promedio mensual con mínimas entre 2°C y -2°C del más cálido y temperaturas medias de 34 y 36°C, alcanzando máximas entre 39 y 43°C muy extremoso, teniendo una oscilando mayor de 18°C; precipitación media de 250 mm y evaporación potencial del orden de 2,500 mm anuales, es decir, diez veces mayor precipitación pluvial; con régimen de lluvias de verano, por lo menos es 20 veces mayor la cantidad de lluvia en el mes más húmedo (septiembre), y de la mitad en el mes más caliente del año que en el mes seco (mayo), un porcentaje de lluvia entre 5 y 10.2 mm de la total anual (García, 1981).

La alimentación empleada fue de 40.5kg de alimento fresco en promedio con 25kg de materia seca aproximadamente por día.

El criterio de exclusión que se utilizó en este trabajo fueron todas aquellas vacas que no alcanzaron 250 días en producción y/o que presentaron curvas atípicas de producción de leche.

La variable que se estudió fue Porcentaje de Grasa (PG), esta fue determinada en el laboratorio de ALPURA (Autop. México-Querétaro, Km. 37.4, Frac. Ind. Cuamatla, Cuautitlán Izcalli. Estado de México, CP: 54730 México) para lo cual se tomaron muestras cada 28 días.

La estimación de la producción total de la variable fue ajustada a 305 días usando los parámetros (a, b y c) del Modelo de Wood (1967), por ello se utilizó la ecuación siguiente:

$$PG = at^b e^{-ct}$$

Dónde:

**PG** es porcentaje de grasa en el t día.

**e** es la base de los logaritmos naturales (2.71828)

**a, b, c** son parámetros del modelo.

Los efectos de interacción genotipo ambiente fueron evaluados con el modelo propuesto por Bucio (1966) que es un modelo de regresión lineal cuya ecuación es:

$$F_{ij} = \mu + g_i + \beta_{\gamma_e} (\hat{e}_j) \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:  $F_{ij}$  el fenotipo de la vaca  $i$  bajo el efecto ambiental  $j$  en la variable porcentaje promedio diario de grasa.

$\mu$  representa la media general para el porcentaje diario de grasa promedio.

$g_i$  representa el efecto genético, determinado como la ordenada al origen cuando el índice ambiental  $\hat{e}_j=0$ .

$\beta_{\gamma_e}$  representa la pendiente de regresión de los efectos de interacción ( $\gamma$ ) sobre los efectos ( $\hat{e}_j$ ) y es igual a  $b_{\gamma_e} + 1$  (López, 1999).

Se obtuvo el promedio general ( $\mu$ ) y la desviación estándar por lactación de las vacas, ocupando las doce mediciones cada 28 días por lactancia. Para así obtener los promedios ambientales, efectos ecológicos, efectos ecológicos estandarizados y la desviación estándar de efectos ecológicos ( $\hat{E}_j$ ).

Dónde:

La media ambiental ( $\hat{e}_j$ )= es el promedio de cada mes.

Efecto ecológico ( $\hat{E}_j$ )= es el promedio general menos el promedio de cada mes.

Efecto ecológico estándar ( $\hat{E}_j/S_{gi}$ )= efecto ecológico entre la desviación estándar del efecto ecológico.

Desviación estándar del efecto ecológico= la desviación estándar de la sumatoria de los efectos ecológicos.

Se estimaron los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la recta en cada lactación por vaca, considerando las mediciones cada 28 días de cada hembra (fenotipo) como la variable dependiente (x) y los efectos ecológicos estandarizados como la variable independiente (Y).

Así también para graficar cada recta se uso la misma ecuación.

$$Y = \beta(x) + \alpha$$

Dónde:

$Y$ = comportamiento fenotípico estimado de una vaca en los 5 ambientes de predicción,  $x = -2s, -1s, 0, 1s, 2s$  (ambientes),

$s$ = desviación estándar de los efectos ecológicos

$\alpha$  y  $\beta$ = parámetros de la recta. (López, 1999).

## **RESULTADOS**

Los resultados de este trabajo se presentan en el apéndice A. Los 2 cuadros y los 8 gráficos que se presentan son una muestra de toda la información, donde se denota el comportamiento de la interacción genotipo- ambiente (IGA) en la producción de grasa de la leche de vacas Holstein.

**Cuadro 2. Promedio de los parámetros Beta positivos de la regresión lineal estimada para la producción de grasa de la leche en las 4 lactancias evaluadas.**

<b>Lactancias</b>	<b>Promedio de Betas(+)</b>	<b>Coefficiente variación %</b>	<b>Betas similares</b>	<b>Betas no similares</b>
Primera	3.610213908	62.21841456	12.5	87.5
Segunda	1.297566423	86.71436115	17.4	82.6
Tercera	2.263028996	95.510099	14.3	85.7
Cuarta	2.155407045	113.4908224	22.2	77.8

En el cuadro se muestra el parámetro beta de cada recta que representa los efectos de interacción en cada una de las lactancias. En este solamente se incluye las pendientes positivas y como se puede ver la primera lactancia expresó el valor más alto de interacción genotipo–ambiente con un valor de 3.6102, misma que representó el 87.5 % de las pendientes no similares y tan solo el 12.5 % de ellas no presentaron interacción. También, se puede ver que el coeficiente de variación para cada lactancia fue muy alto lo que denota una gran variación entre vacas de la misma lactancia.

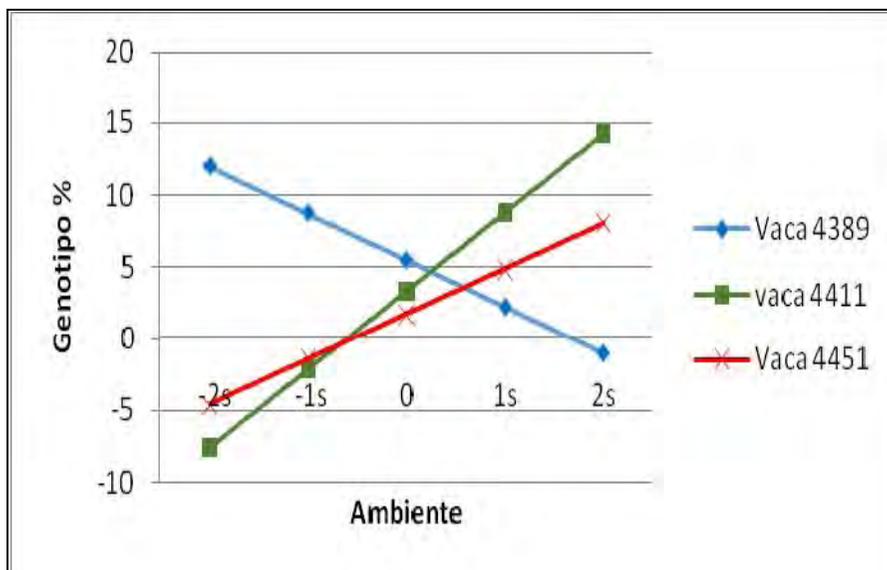
Por otra parte, la segunda lactancia presentó la menor pendiente en promedio con 1.2975; sin embargo, el porcentaje de pendientes no similares fue de 82.6 % lo cual denota que aun entre vacas de segunda lactancia sigue existiendo efectos de interacción genotipo-ambiente.

**Cuadro 3. Promedio de los parámetros Beta negativos de la regresión lineal estimados para la producción de grasa de la leche en las 4 lactancias evaluadas.**

<b>Lactancias</b>	<b>Promedio de Beta(-)</b>	<b>Coefficiente variación %</b>	<b>Betas similares</b>	<b>Betas no similares</b>
Primera	-0.76564266	99.78461004	0	100
Segunda	-0.799167064	54.53552356	55.5	44.5
Tercera	-0.907853202	131.3486921	0	100
Cuarta	-0.665857776	75.40484468	33.3	66.7

En el cuadro se muestran los promedios de las pendientes negativas encontradas en este trabajo, donde la pendiente más alta se encontró en la cuarta lactancia con -0.6658 y la más pequeña lo expresa la tercera lactancia con -0.9078.

**Gráfica 1. Líneas de regresión del comportamiento de interacción genotipo-ambiente en la producción de grasa de leche de 3 vacas de primera lactancia**



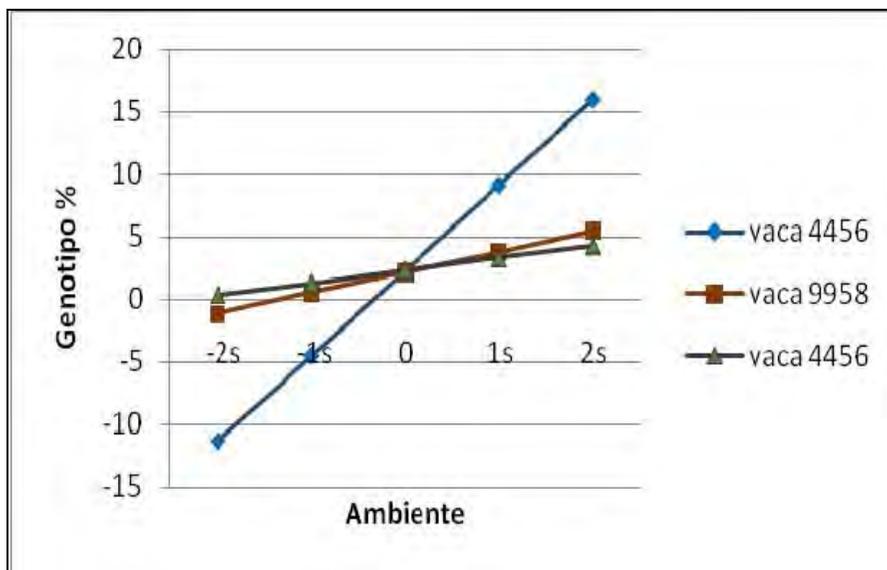
Vaca4389  $\alpha= 5.4807$ ,  $\beta= -1.2662$ ; vaca411  $\alpha= 3.2986$ ,  $\beta= 2.1236$ ; vaca4451  $\alpha= 1.7316$ ,  $\beta= 1.2329$ .

En la gráfica se presenta las rectas de 3 vacas de la primera lactancia las cuales muestran efectos de interacción genotipo-ambiente para los 5 ambientes proyectados. Como se puede ver la vaca 4411 si bien tiene un valor fenotípico representado por el ambiente 0, mismo que se modifica al proyectarlo a ambientes negativos como el -2s donde teóricamente su producción de grasa estaría en 0, pero si se proyecta a

ambientes positivos 2s su porcentaje de grasa sería el más alto de las tres.

La vaca 4389 expresa una pendiente negativa de -1.2662 misma que si observamos su expresión fenotípica en el ambiente 0 es la que tiene el valor más alto con 5.4807 pero al proyectarla a los diferentes ambientes esta vaca no mejora su producción de grasa como la vaca anteriormente descrita y la vaca 4389 cuyas pendientes son positivas.

**Gráfica 2. Líneas de regresión del comportamiento de interacción genotipo-ambiente en la producción de grasa de leche de 3 vacas de primera lactancia**

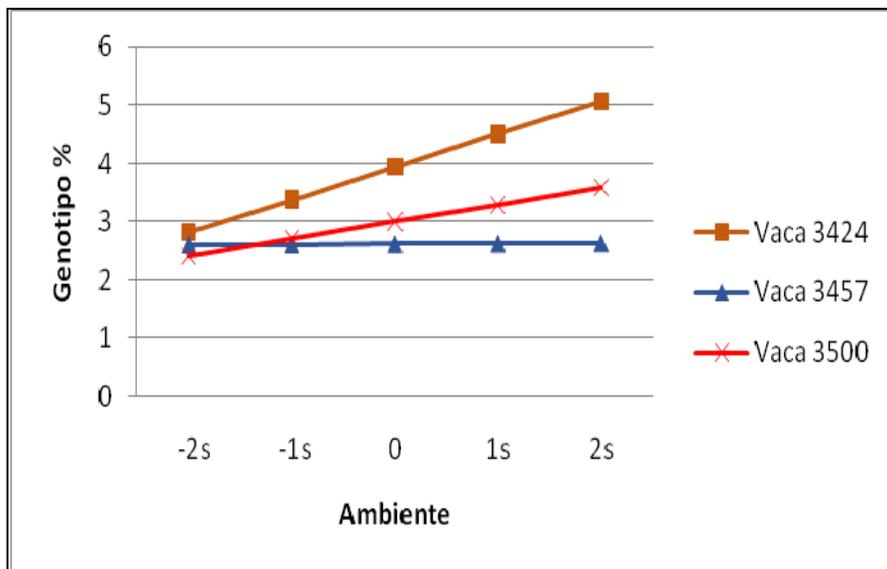


Vaca4456  $\alpha= 2.2993$ ,  $\beta= 2.6568$ ; vaca9958  $\alpha= 2.1597$ ,  $\beta= 0.6451$ ; vaca4466  $\alpha= 2.3371$ ,  $\beta= 0.3768$ .

En esta gráfica se presentan las rectas de 3 vacas de la primera lactancia las cuales presentan IGA para los diferentes ambientes. De tal manera que las tres vacas tienen un valor parecido en su expresión fenotípica en el ambiente cero, pero cada una de ellas al proyectarla a los diferentes ambientes tienden a comportarse de distinta manera, ya que sus betas son diferentes en las tres de tal forma que la vaca 4456

en el ambiente  $-2s$  presenta teóricamente una producción de grasa en 0, pero si se proyecta a ambientes positivos su producción de grasa sería el más alto de las tres.

**Gráfica 3. Líneas de regresión del comportamiento de interacción genotipo-ambiente en la producción de grasa de leche de 4 vacas de segunda lactancia**

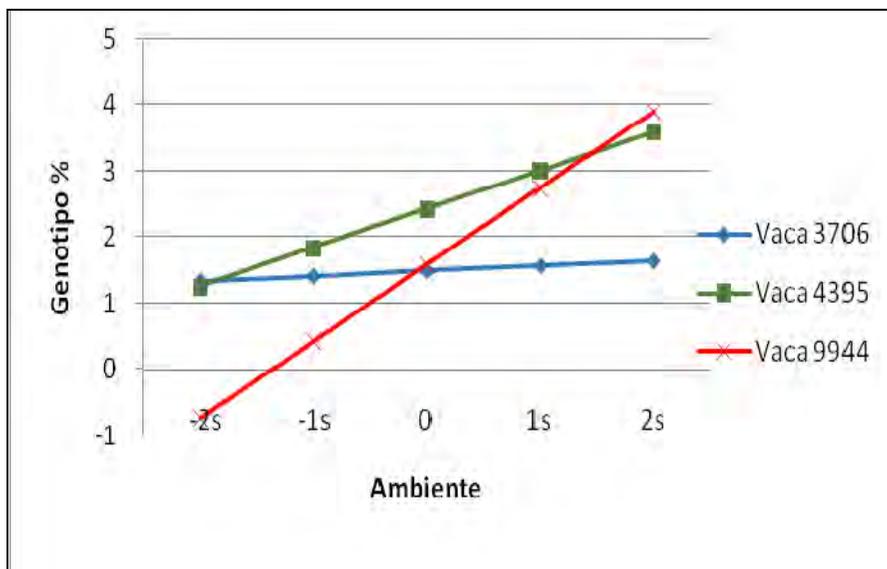


Vaca3424  $\alpha=3.9398$ ,  $\beta=0.7904$ ; vaca3457  $\alpha=2.6269$ ,  $\beta=0.0084$ ; vaca3500  $\alpha=3.0023$ ,  $\beta=0.4177$ .

En la gráfica se muestran tres rectas correspondientes a vacas de segunda lactancia, en esta se puede observar que la vaca 3424 tiene un valor fenotípico de 3.9398 en el ambiente cero siendo este el más alto en comparación con las otras dos vacas, pero al ser proyectadas a los diferentes ambientes se puede notar como la vaca con mejor producción de grasa teóricamente sería la mencionada anteriormente.

La vaca 3457 muestra una pendiente beta mínima de 0.0084, lo que significa que dicho animal tendría un comportamiento muy regular en los diferentes ambientes teniendo un genotipo más estable que las otras 2 vacas.

**Gráfica 4. Líneas de regresión del comportamiento de interacción genotipo-ambiente en la producción de grasa de leche de 3 vacas de segunda lactancia**



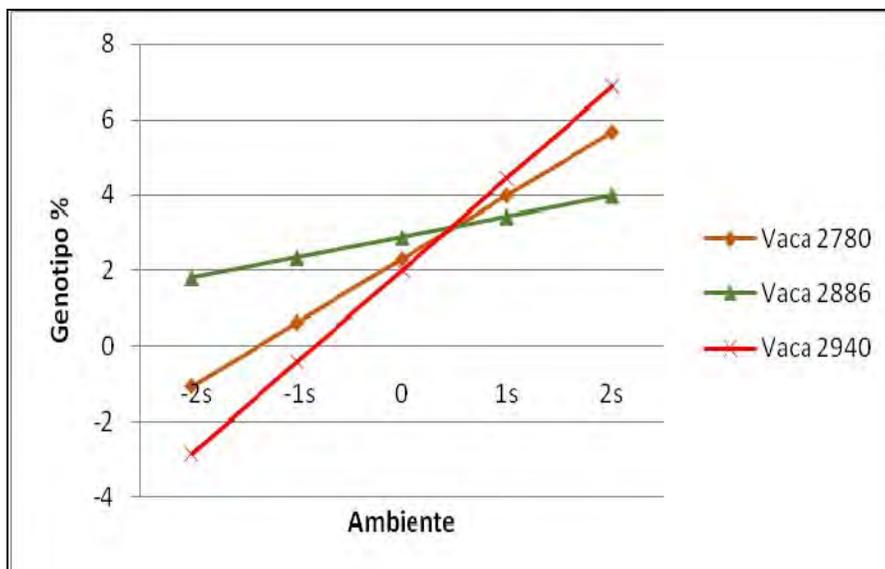
Vaca3706  $\alpha= 1.4819$ ,  $\beta= 0.1095$ ; vaca4395  $\alpha= 2.4246$ ,  $\beta= 0.8283$ ; vaca9944  $\alpha= 1.5800$ ,  $\beta= 1.6422$ .

La gráfica muestra las rectas de otras 3 vacas de segunda lactancia que presentan interacción genotipo-ambiente, en estas se observa a la vaca 4395 que presenta un valor fenotípico expresado en el ambiente cero de 2.4246 siendo este el valor más alto en comparación con las otras.

Al ser proyectadas a los diferentes ambientes negativos como en el -2s la vaca 9944 presentaría teóricamente una producción de grasa cero,

pero al proyectarla a ambientes positivos 2s su producción de grasa sería el más alto de las tres; no obstante, aunque la vaca 4395 tiene el valor fenotípico más alto es superada por la vaca antes mencionada y la 3706 mantiene una producción de grasa teóricamente más estable en los diferentes ambientes.

**Gráfica 5. Líneas de regresión del comportamiento de interacción genotipo-ambiente en la producción de grasa de leche de 3 vacas de tercera lactancia**



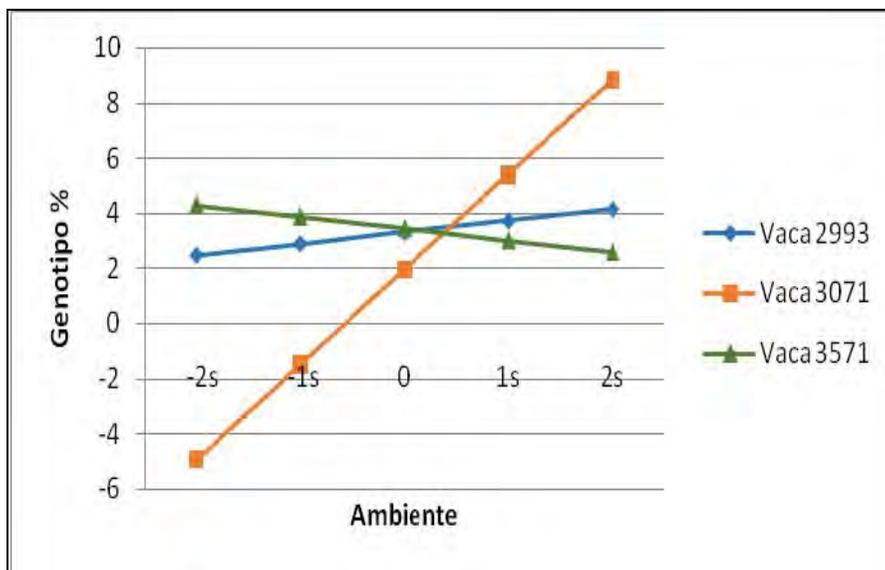
Vaca2780  $\alpha= 2.2968$ ,  $\beta= 1.1760$ ; vaca2886  $\alpha= 2.8869$ ,  $\beta= 0.3785$ ; vaca2940  $\alpha= 2.0114$ ,  $\beta= 1.6979$

En la gráfica se muestran tres líneas de regresión de vacas de la tercera lactancia las cuales presentan interacción genotipo-ambiente, se observa que la vaca 2940 tiene un valor fenotípico de 2.0114 representado por el ambiente 0, mismo que al proyectado a ambientes negativos como el -2s se modifica y teóricamente su producción de

grasa estaría en 0, pero si se proyecta a ambientes positivos 2s su producción de grasa sería el más alto de las tres.

Aunque la vaca mencionada anteriormente presenta la producción de grasa más alta al ser proyectada a ambientes positivos, la 2886 tiene el valor fenotípico más alto (2.8869) representado en el ambiente 0 y aunque al ser proyectada a los diferentes ambientes mejora su producción de grasa no supera a la vaca 2940.

**Gráfica 6. Líneas de regresión del comportamiento de interacción genotipo-ambiente en la producción de grasa de leche de 3 vacas de tercera lactancia**

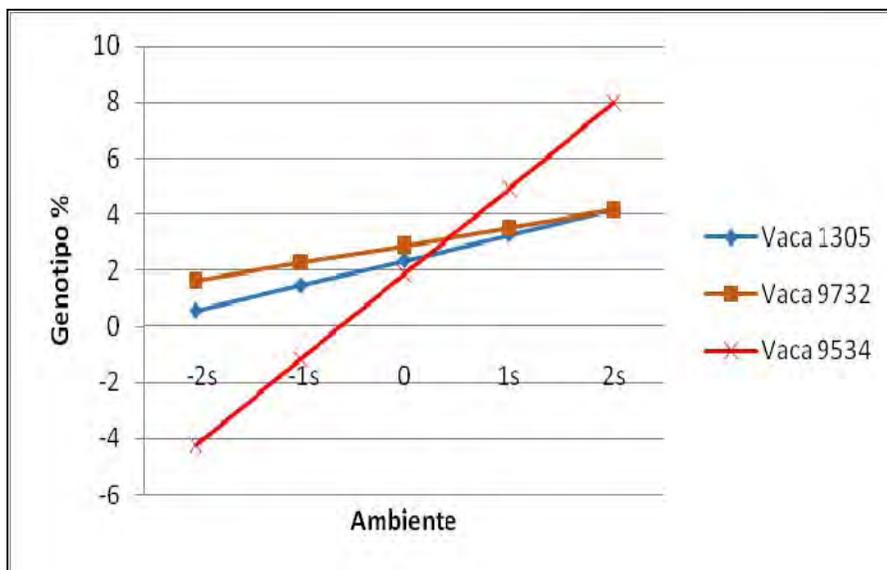


Vaca2993  $\alpha= 3.3059$ ,  $\beta= 0.2955$ ; vaca3071  $\alpha= 1.9512$ ,  $\beta= 2.3994$ ; vaca3571  $\alpha= 3.4278$ ,  $\beta= -0.2985$

En la gráfica se presentan 3 rectas de vacas de la tercera lactancia, se puede observar que la vaca 3071 al ser proyectada a ambientes negativos -2s presentaría teóricamente una porcentaje de grasa de 0, pero al ser proyectada a ambientes positivos 2s presentaría la producción de grasa más alto. Aunque la vaca 3571 presente el valor fenotípico más alto de 3.4278 representado en el ambiente 0, tiene una

pendiente negativa de  $-0.2985$  con lo cual al ser proyectada a los diferentes ambientes no mejora su producción de grasa en comparación con las otras, mostrando con esto el comportamiento de IGA.

**Gráfica 7. Líneas de regresión del comportamiento de interacción genotipo-ambiente en la producción de grasa de leche de 3 vacas de cuarta lactancia**

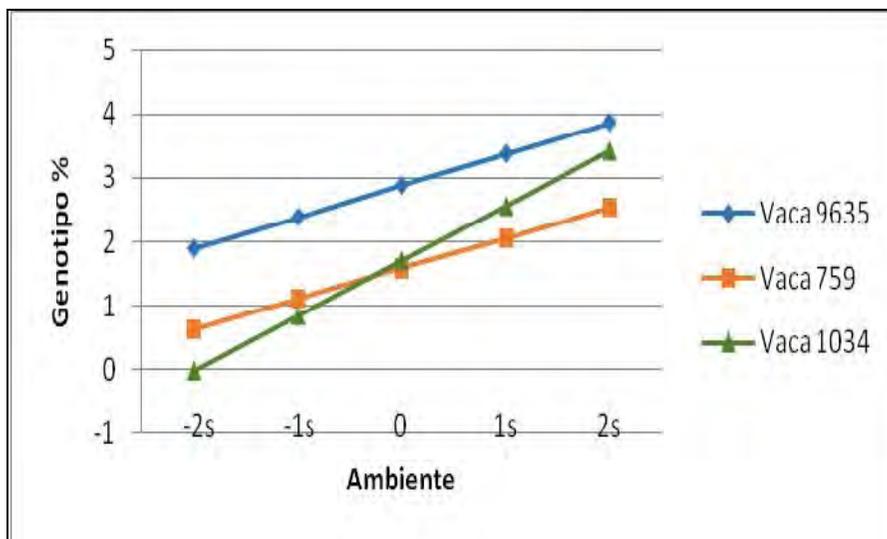


Vaca1305  $\alpha= 2.3470$ ,  $\beta= 0.8873$ ; vaca9732  $\alpha= 2.9038$ ,  $\beta= 0.6211$ ; vaca9534  $\alpha= 1.8848$ ,  $\beta= 3.0167$ .

Como se puede observar en la gráfica se representan las rectas de 3 vacas de la cuarta lactancia mostrando un comportamiento de IGA, al ser proyectadas a diferentes ambientes presentan modificación en su producción de grasa; tal es el caso de la vaca 9732 la cual presenta el valor fenotípico más alto de 2.9038 representado en el ambiente cero. Teóricamente no sería la que presente mejor producción en ambientes

positivos 2s ya que la vaca 9534 al ser proyectada a ambientes positivos es la que presenta una mejor producción aunque tiene una producción de grasa cero en ambientes negativos -2s.

**Gráfica 8. Líneas de regresión del comportamiento de interacción genotipo-ambiente en la producción de grasa de leche de 3 vacas de cuarta lactancia**



Vaca759  $\alpha= 1.5798$ ,  $\beta= 0.4695$ ; vaca9635  $\alpha= 2.8789$ ,  $\beta= 0.4888$ ; vaca1034  $\alpha= 1.6985$ ,  $\beta= 0.8529$ .

Por último, en la gráfica se presentan las líneas de regresión de 3 vacas de cuarta lactancia, en el cual la vaca 9635 expresa un valor fenotípico de 2.8789 en el ambiente 0 y al ser proyectada a ambientes positivos 2s mejora producción en comparación a las otras 2 vacas. Tanto la vaca 9635 y la vaca 759 en el ambiente 0 presentan similar IGA aunque diferente fenotipo, ya que la primera tiene una mayor producción de grasa que la segunda.

---

---

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio infieren que los efectos de interacción genotipo-ambiente están presentes en todas las expresiones fenotípicas de los seres vivos incluyendo el porcentaje de grasa de la leche en vacas Holstein. Estos efectos concuerdan con autores como Nogara *et al.*, en 1998 quienes evaluaron la interacción genotipo-ambiente sobre la producción total de vacas Holstein a través de la estimación de coeficientes de heredabilidad en tres niveles de producción y del coeficiente de correlación genética entre la producción de hijas de un mismo semental en diferentes ambientes (bajo, medio, alto), dando como resultado que los coeficientes de correlación genética estimados para los niveles de producción mostraron el efecto de IGA, esto sugiere que los mejores sementales en el nivel más bajo de manejo no necesariamente son los mejores en los niveles medio y alto, y viceversa. Con lo cual al seleccionar el semen para ser utilizado en el rebaño productor, se debe tener en cuenta las condiciones del medio ambiente que tendrá durante la vida productiva los animales que se generen.

López en 1999 menciona un trabajo recapitulativo de DeLacy *et al.*, en 1996 el cual presenta una reseña histórica de los principales modelos matemáticos usados para evaluar el componente de IGA, empleándose algunos en genética animal; entre estos se encuentra el

método de regresión lineal. También, se estimó la IGA mediante la producción láctea de un rebaño de cabras compuesto por cuatro razas, se utilizó el modelo de regresión lineal, para demostrar la presencia de IGA entre individuos al comparar las pendientes de la recta de regresión con sus congéneres de la misma raza.

Brown *et al.*, en el 2000 evalúan la IGA en Angus, Brahman y vacas de cruzamiento recíproco pastando en bermuda común o festuca alto infectado-endófito. Resultando que las vacas con cruce de Brahman tienen más ventajas sobre las purasangre en pasto festuca alto, mostrando así la IGA. También sugieren una ventaja para Angus en pasto bermuda pero no en pasto festuca alto.

Sandelin *et al.*, en el 2000 analizaron la IGA para el tamaño de maduración e índice de maduración para Angus, Brahman y vacas de cruzamiento recíproco, pastando en bermuda común o festuca alto infectado-endófito. Al hacer una recolección de datos cada 28 días hasta los 18 meses de edad (se abarcaron los datos antes de la cruce, posparto y parto de la vaca). Estos arrojaron como resultado la IGA para tamaño de madurez pero no en índice de maduración.

Muñoz *et al.*, en 2001 investigaron la existencia de interacción genotipo-ambiente entre cuatro regiones; la información se tomó de registros de ganado Holstein de Cundinamarca, Valle del Cauca, Antioquia y Nariño. Se observaron diferentes varianzas genéticas,

ambientales permanentes y residuales entre las regiones, pero las heredabilidades y repetibilidades fueron similares. La IGA existe principalmente entre Cundinamarca y las otras tres regiones. En general los resultados encontrados en este trabajo confirman que la expresión fenotípica de la producción de leche es el resultado de la acción genética, ambiental y de la interacción entre estas en rebaños colombianos.

Calus *et al.*, en 2002 estima la IGA para la producción de proteína en vacas lecheras holandesas cuantificadas en modelos diferentes. Se aplicaron tres modelos diferentes y contabilizaron la IGA. El primer modelo, incluyó un toro con un hato de un año de edad; el segundo modelo, divide todos los registros en cuatro tipos diferentes de grupos, basado en la estimación efecto subclase; el tercer modelo, el modelo de norma de reacción, realizó una regresión lineal aleatoria sobre el efecto estimado, se obtuvo como resultado para el primer modelo, una interacción de varianza 2.5 de la varianza fenotípica; el segundo modelo, mostro correlación entre los grupos y el tercero, no detectó significancia de varianza. Por lo tanto la IGA se mostró en dos de los tres modelos.

Kolmodin *et al.*, en 2002 estudiaron la interacción genotipo-ambiente en ganado lechero nórdico, mediante normas de reacción; mostraron

en sus resultados un pequeño efecto de interacción genotipo-ambiente en la población de ganado lechero nórdico.

Boettcher *et al.*, en 2003 evaluaron los efectos de interacción genotipo-ambiente sobre las características lecheras entre rebaños de Canadá que practican el pastoreo rotacional intensivo en comparación con los métodos convencionales, que se basan en los alimentos almacenados. Se utilizaron 22 vacas para el grupo de pastoreo y 34 para el convencional, por lo cual la producción láctea en el método convencional mayor a la del método en pastoreo. Estos resultados demuestran los efectos de IGA entre los dos tipos de sistemas analizados.

Hayes *et al.*, en 2003 estudiaron la IGA para la producción de leche, proteína y grasa de hijas de sementales en lecherías australianas. Usaron un modelo de regresión aleatorio para modelar la respuesta de las hijas del semental a la variación en el ambiente y calcular las correlaciones genéticas entre las mismas características medidas en dos ambientes ampliamente diferentes al usar los registros diarios. Obtuvieron como resultado una mayor variación en la IGA en el promedio de producción de proteína.

Hernández en 2003 estimó la IGA en la producción láctea de vacas Holstein en México y encontró la existencia del efecto de interacción genotipo ambiente.

Kearney *et al.*, en 2004 evaluaron la IGA entre rebaños de pastoreo contra rebaños de confinamiento, donde los rebaños que pastan se definieron como aquellos que utilizan el pastoreo durante un mínimo de 6 meses. Se evaluó promedios de lactación, conteo de células somáticas, días abiertos, días de servicio y número de servicios por concepción. Concluyeron que las estimaciones de correlaciones genéticas para cada característica reproductiva entre los dos ambientes fueron altas y no significativamente diferentes de la unidad; generalmente estas características parecen estar bajo un control genético similar, sin embargo, las diferencias no son tan grandes como para justificar las evaluaciones genéticas separadas para cada sistema.

El estudio de Logar *et al.*, en 2007 fue evaluar la interacción genotipo-ambiente para los rasgos de rendimiento en ganado de raza Holstein y Simmental de Eslovenia. Para el estudio de la IGA, utilizó la correlación genética entre los rasgos, dando como resultado que la IGA era generalmente más pequeña para la grasa y la producción de leche que para la producción de proteína.

Falcão *et al.*, en 2008 evaluaron la Interacción genotipo -ambiente en la producción de leche de las vacas de la raza Holstein pertenecientes a rebaños de Minas Gerais, São Paulo, Paraná y Santa Catarina estados de Rio Grande do Sul. El resultado obtenido en los valores de las correlaciones genéticas de este estudio mostraron la aparición de

la interacción genotipo-ambiente; al igual se indicaron los posibles cambios en el orden de rango de los productores entre los estados.

El objetivo de Logar *et al.*, en 2011 fue evaluar la interacción genotipo-ambiente para los rasgos productivos en ganado Holstein en Eslovenia, al emplear el enfoque norma de reacción. Sin embargo, los resultados de este estudio proporcionan algunas pruebas de la existencia de IGA en los entornos definidos, especialmente en el medio ambiente desfavorable. La IGA generalmente era más pequeña para la producción de proteína y grasa de la leche. Esto indica que sería razonable tomar en cuenta la IGA en ganado Holstein en Eslovenia, ya que para entornos menos favorables para la producción de leche otras razas serían más apropiadas.

Todos estos autores obtuvieron como resultado una variación en la IGA para diferentes características medibles en ganado vacuno, asemejándose algunas con lo observado en este trabajo.

Dentro de los resultados podemos encontrar parámetros de betas negativas muy altos (como se muestra en el cuadro 3) efectos todos ellos que pueden considerarse como atípicos ya que otros autores como Bucio y Hill (1966) mencionan que es de esperarse betas negativas cuando el carácter bajo observación es uno de resistencia a condiciones ambientales adversas, siempre y cuando existan diferencias genéticas; por lo que en condiciones ambientales -2s

existirá mayor producción que en ambientes 2s en algunas ocasiones; en otras, sería totalmente al revés y en ciertas circunstancias, tendría un comportamiento estable. López *et al.* (2004) mencionan que cuando las estimaciones de producción están en ambientes negativos algunas cabras producen más leche que otras, expresándose un comportamiento diferencial al comparar su producción en los ambientes negativos. Bucio y Hill (1966) mencionan que el tamaño de  $\beta$  indica los valores de la relación entre sí que tienen el efecto ambiental e IGA, de modo que cuando  $\beta$  es mayor que 1 el valor absoluto de IGA es mayor que el efecto ambiental, cuando  $\beta=1$ , IGA es igual al efecto ambiental y cuando  $\beta<1$  la interacción IGA será más pequeña que el efecto ambiental. Del mismo modo, para aquellas situaciones en que  $\beta$  es negativo. Finalmente,  $\beta$  puede ser igual a cero por una de dos razones; puede no haber interacción genotipo-ambiente es decir,  $IGA=0$  y toda la variación entre los entornos puede atribuirse únicamente al efecto del medio ambiente. Si bien han reportado efectos de interacción genotipo ambiente negativos, estos representan un porcentaje relativamente bajo, sin embargo, en este trabajo los porcentajes fueron relativamente altos.

De igual manera podemos encontrar en los resultados vacas (3457 y 3706) que presentan pendientes betas cercanas a 0, con lo cual estos animales no afectan su producción de grasa en ambientes negativos o

positivos, ya que diferentes autores mencionan que todos aquellos valores betas cercanos a 0 indican que los genotipos tienden a ser estables (López, 1999; Carmona, 1993).

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede concluir que el porcentaje de grasa de la leche en vacas Holstein estudiadas está influido también por los efectos de interacción genotipo-ambiente.

---

---

**REFERENCIAS**

1. Alais C. (2003) Ciencia de la leche, principios de la técnica lechera. 4<sup>a</sup> ed. México. Reverte.
2. Ávila T.S. y Gutiérrez C.A.J., (2009) *Producción de la leche con ganado bovino*, 2<sup>a</sup> ed., México, D.F., Manual Moderno.
3. Boettcher P.J, Fatehl J., Schutz M.M. (2003) *Genotype x environmental interactions in conventional versus pasture-based dairies in Canada*. J. Dairy Sci. 86(1):383-9.
4. Broster W. y Swan H. (1992) *Estrategia de alimentación para vacas lecheras de alta producción*. México. Agt. editor S.A.
5. Brown M.A., Brown H.A. Jr, Jackson W.G., Miesner J.R. (2000) *Genotype x environment interactions in Angus, Brahman, and reciprocal-cross cows and their claves grazing common bermudagrass , endophyte –infected tall fescue pastures, or both forages*. Anim. Sci. 78(3):546-51.
6. Bucio A.L. (1966) *Environmental and genotype-environmental components of variability. I. Inbred lines*. Heredity. 21 387: 397.
7. Bucio A.L., and Hill J. (1966). *Environmental and genotype-environmental components of variability. II. Heterozygotes*. Heredity, 21, 399:405.

8. Calus M.P., Groen A.F., de Jong G. (2002) *Genotype x environmental interactions for protein yield in Dutch dairy cattle as quantified by different models*. J Dairy Sci. 85(11): 3115-23.
9. Carmona M.M.A. (1993) *Respuesta a la selección en Apis mellifera evaluando baja respuesta agresiva y estabilidad genotipo ambiente*. Tesis de doctorado en ciencias veterinarias. Fac. de Med. Vet. Y Zootecnia, UNAM, México, D.F.
10. Chalupa W. y Galligan D.T. (1990) *Metabolic modifiers and nutritional requirements of lactating dairy cattle*. Proc. Cornell Nutr. Conf., pp. 10.17.
11. Chamberlain A.T. (2002) *Alimentación de la vaca lechera*. Zaragoza, España. Acribia.
12. Delacy I.H., Basford K.E., Cooper M., Bull J.K. y McLaren C.G. (1996) *Analysis of multi-environment trials an historical perspective*. Of the book plant adaptation and crop improvement. Edited by M. Cooper and G.L. Hammer. CAB International in association with the International Rice Research Institute and the International Crops Research Institute for the semi-arid tropics. Australia 39-1 14.
13. Falconer D.S. y Mackay T.F.C. (1996) *Introducción a la genética cuantitativa*. 4<sup>a</sup> ed., Zaragoza, España. Acribia.

14. García A. (1990). *Factores que afectan la producción de leche y el porcentaje de grasa en el hato Holstein-Friesain del rancho Santa Clara, Huamantla, Tlaxcala*. Tesis de licenciatura. Escuela de Zootecnia. UPAEP.
15. García, E. (1981) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones climáticas de la república mexicana*, 3<sup>a</sup> ed. México, D.F. Offset Larios.
16. González H. (2005) *Factores nutricionales que afectan la producción y composición de la leche*. Universidad de Chile. (2) 1-11.
17. Hammami H., Rekik B. y Gengler N. (2009) *Genotype by environment interaction in dairy cattle*. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 13(1), 155-164.
18. Hayes B.J., Carrick M., Bowman P., Goddard M.E. (2003) *Genotype x environmental interaction for milk production of daughters of Australian dairy sires from test-day records*. J. Dairy Sci. 86(11): 3736-44.
19. Hernández A.G. (2003) *Evaluación de la interacción genotipo-ambiente de la producción láctea de vacas Holstein en una explotación del altiplano de México*. Tesis de Licenciatura de Médico Veterinaria Zootecnista. FES Cuautitlán, UNAM.

20. Jansson K., (2005) *Genotype by environment interaction for udder health in Swedish Holstein cows*. Tesis de licenciatura. Departamento de Reproducción Animal y Genética. Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas, pp. 1-4.
21. Jiménez L.M. (2005) *Disposición de leche en polvo caduca, Estudio de caso*. Tesis Licenciatura. UNAM. México. pp. 24, 53.
22. Johansson I. (1972) *Genética y mejora animal*. España. Acribia.
23. Kearney J.F., Schutz M.M., Boettcher P.J. (2004) *Genotype x environmental interactions for grazing vs confinement. I. Production traits*, J. Dairy Sci. 87(2): 510-6.
24. Keating, F., Gaona, H. (1999) *Introducción a la lactología*. 2<sup>a</sup> ed. México. Limusa. pp. 20-22.
25. Kirk R., Sawyer R., Egan H. (2002) *Composición y análisis de alimentos de Pearson*, 2<sup>a</sup> ed. México. Continental. pp. 583-588.
26. Kolmodin, R., Strandberg, E., Madsen, P., Jensen J. y Jorjani, H. (2002) *Genotype by environment interaction in Nordic dairy cattle studied using reaction norms*. Animal Sci. 52: 11–24.
27. Logar B., Malovrh S. y Kovač M. (2007) *Genotype by environment interaction for yield traits in Holstein cattle in Slovenia using reaction norms*. Animal Genetics. N.1503; 2-8.

- 
- 
28. Logar B., Malovrh Š. y Kovač M. (2011) *Multiple trait analysis of genotype by environment interaction for milk yield traits in Slovenian cattle*. UDK 636.2:637.12.
29. López B. B. (1999) *Evaluación de la producción láctea de un rebaño caprino considerando los efectos de interacción genotipo-ambiente*. Tesis de Doctorado. Fac. Med. Vet. y Zoot. Universidad de Colima.
30. López B.B., Carmona M.M.A., Bucio A.L., Galina H.M.A (2004) *Una metodología para evaluar el comportamiento de interacción genotipo-ambiente con fines de selección en cabras lecheras*. Avances en investigación agropecuaria.
31. Muñoz C. (2001) *Interacción genotipo-ambiente en ganado Holstein colombiano*. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 9(2): 74-78.
32. Nogara R. P. R., Verneque R. S., Martínez M. L., Ferreira G. B. y Valente J. (1998) *Genotype-environment interaction on milk production in Holstein in Brazil. (i) sire model*. Ciência Rural, Santa Maria, v. 29, n. 4, pp. 717-720.
33. Pégolo N.T., Oliveira H.N., Albuquerque L.G., Bezerra L.A. y Lôbo R.B., (2009), *Genotype by environment interaction for 450-day weight of Nelore cattle analyzed by reaction norm models*. Genetics and Molecular Biology. 32(2) 281-287.
34. Pérez A. y Gómez G. (2005) *Factores genéticos y ambientales que afectan el comportamiento de un rebaño pardo suizo en el*

- trópico, producción de leche*. Revista científica. vol. XIX, no. 1, 77- 83.
35. Ramírez C. (2011) *Interacción genotipo-ambiente en la evaluación genética de sementales Holstein-Friesian en la comarca lagunera*, México. Revista Chapingo. 6: 14 -15.
36. Sandelin B.A., Brown M.A., Brown H.A. Jr, Johnson Z.B., Kellogg D.W., Stelzlein A.M. (2002) *Genotype x environment interactios for mature size and rate of maturing for Angus, Brahman, and reciprocal-cross cows grazing bermudagrass or endophyte infected fescue*. Anim. Sci. 80(12):3073-6.
37. Schlimme, E. y Buchheim W. (2002) *La leche y sus componentes, propiedades químicas y físicas*. Madrid. Acribia.
38. Spreer E. (1991) *Lactologia Industrial*. 2ª ed. España. Acribia.
39. Torreón (s.f.), recuperado el 30 de mayo del 2013, de <http://es.db-city.com/M%C3%A9xico--Coahuila--Torre%C3%B3n>.
40. Valencia M. y Montaldo H. (2008) *Interacción entre genotipo y región geográfica para producción de leche en ganado Holstein mexicano*. Arch. Zootec. 57 (220): 457-463.
41. Wood P.D.P. (1967) *Algebraic model of the lactation curve in cattle*. Nature. 216:164-165.

## Apéndice A

Valores de efectos de interacción (alfa) y las pendientes de interacción genotipo-ambiente (beta) de la línea de regresión, estimación de la producción de grasa en leche en %, al considerar hasta el doble de la desviación estándar de los efectos ecológicos (ambientes).

No. vaca	No. Lactancia	b (alfa)	m(beta)	-2s	-1s	0	1s	2s
4389	1	5.4807	-1.2662	11.9850	8.7329	5.4807	2.2286	-1.0235
4411	1	3.2986	2.1236	-7.6095	-2.1555	3.2986	8.7527	14.2067
4414	1	3.1718	3.4503	-14.5516	-5.6899	3.1718	12.0334	20.8951
4420	1	2.9191	3.3603	-14.3417	-5.7113	2.9191	11.5495	20.1799
4442	1	3.1421	6.5415	-30.4596	-13.6587	3.1421	19.9430	36.7438
4446	1	6.2338	-1.8644	15.8106	11.0222	6.2338	1.4454	-3.3430
4450	1	2.7529	6.3938	-30.0899	-13.6685	2.7529	19.1743	35.5957
4451	1	1.7316	1.2329	-4.6012	-1.4348	1.7316	4.8980	8.0644
4456	1	2.2993	2.6568	-11.3476	-4.5242	2.2993	9.1228	15.9463
4457	1	2.0811	2.9511	-13.0776	-5.4983	2.0811	9.6605	17.2398
4458	1	2.7565	-0.1119	3.3313	3.0439	2.7565	2.4691	2.1816
4462	1	2.1231	2.7225	-11.8616	-4.8692	2.1231	9.1154	16.1077
4466	1	2.3371	0.3768	0.4015	1.3693	2.3371	3.3049	4.2727
4467	1	1.9322	3.1794	-14.3995	-6.2336	1.9322	10.0981	18.2640

---

---

4472	1	4.0538	-0.2580	5.3790	4.7164	4.0538	3.3913	2.7287
9946	1	3.7106	-0.3277	5.3939	4.5523	3.7106	2.8690	2.0273
9947	1	2.8954	6.9539	-32.8244	-14.9645	2.8954	20.7553	38.6152
9949	1	2.1882	3.1951	-14.2241	-6.0180	2.1882	10.3944	18.6005
9951	1	3.1245	4.0999	-17.9352	-7.4053	3.1245	13.6543	24.1842
9952	1	3.8077	7.8805	-36.6722	-16.4322	3.8077	24.0477	44.2877
9958	1	2.1597	0.6451	-1.1539	0.5029	2.1597	3.8164	5.4732
2538	2	3.0260	3.5235	-1.9623	0.5318	3.0260	5.5202	8.0144
2827	2	3.6668	-0.4689	4.3307	3.9988	3.6668	3.3349	3.0029
3056	2	2.4378	3.3290	-2.2752	0.0813	2.4378	4.7942	7.1507
3094	2	6.8102	-1.0694	8.3242	7.5672	6.8102	6.0533	5.2963
3276	2	2.3551	2.4233	-1.0756	0.6398	2.3551	4.0705	5.7858
3389	2	2.7454	1.7353	0.2887	1.5171	2.7454	3.9738	5.2022
3424	2	3.9398	0.7904	2.8208	3.3803	3.9398	4.4993	5.0588
3457	2	2.6269	0.0084	2.6150	2.6209	2.6269	2.6328	2.6387
3500	2	3.0023	0.4177	2.4110	2.7067	3.0023	3.2980	3.5937
3506	2	8.5579	-1.2485	10.3255	9.4417	8.5579	7.6741	6.7903
3565	2	1.6728	0.3579	1.1661	1.4195	1.6728	1.9262	2.1796
3630	2	1.3995	2.0738	-1.5363	-0.0684	1.3995	2.8675	4.3354
3651	2	3.6016	0.3716	3.0755	3.3386	3.6016	3.8647	4.1277
3706	2	1.4819	0.1095	1.3268	1.4043	1.4819	1.5594	1.6369

---

---

3712	2	4.1695	2.7044	0.3408	2.2552	4.1695	6.0839	7.9982
3715	2	2.2388	1.8655	-0.4022	0.9183	2.2388	3.5593	4.8799
3719	2	1.9543	3.2102	-2.5905	-0.3181	1.9543	4.2266	6.4990
3763	2	6.1460	-0.5618	6.9414	6.5437	6.1460	5.7483	5.3506
3766	2	2.2623	1.5941	0.0055	1.1339	2.2623	3.3907	4.5192
3786	2	3.8664	-0.4480	4.5006	4.1835	3.8664	3.5493	3.2322
3817	2	3.8788	-0.4727	4.5481	4.2135	3.8788	3.5442	3.2096
3825	2	7.8939	-1.2613	9.6796	8.7868	7.8939	7.0011	6.1082
3843	2	3.6424	0.2172	3.3349	3.4887	3.6424	3.7962	3.9499
4384	2	2.3520	0.3374	1.8744	2.1132	2.3520	2.5908	2.8296
4387	2	3.8912	0.3037	3.4612	3.6762	3.8912	4.1062	4.3212
4388	2	1.6407	0.3424	1.1560	1.3983	1.6407	1.8830	2.1254
4394	2	5.4362	-0.2680	5.8156	5.6259	5.4362	5.2466	5.0569
4395	2	2.4246	0.8283	1.2519	1.8383	2.4246	3.0110	3.5973
4406	2	8.8703	-1.3938	10.8436	9.8569	8.8703	7.8837	6.8970
4413	2	2.6099	0.9859	1.2142	1.9121	2.6099	3.3078	4.0056
4445	2	3.6981	0.6722	2.7464	3.2222	3.6981	4.1739	4.6498
9944	2	1.5800	1.6422	-0.7449	0.4176	1.5800	2.7424	3.9048
2321	3	1.9519	1.0157	-0.9500	0.5009	1.9519	3.4029	4.8539
2439	3	1.6502	0.7252	-0.4218	0.6142	1.6502	2.6862	3.7222
2706	3	2.0119	2.8659	-6.1764	-2.0822	2.0119	6.1061	10.2003

---

---

2760	3	11.8236	-2.8750	20.0379	15.9307	11.8236	7.7165	3.6093
2768	3	2.6505	6.1659	-14.9665	-6.1580	2.6505	11.4591	20.2676
2780	3	2.2968	1.1760	-1.0632	0.6168	2.2968	3.9768	5.6568
2831	3	1.9421	2.1186	-4.1109	-1.0844	1.9421	4.9687	7.9952
2886	3	2.8869	0.3785	1.8053	2.3461	2.8869	3.4277	3.9684
2917	3	3.0856	5.2497	-11.9139	-4.4142	3.0856	10.5853	18.0850
2925	3	2.6817	6.4219	-15.6670	-6.4926	2.6817	11.8560	21.0303
2940	3	2.0114	1.6979	-2.8399	-0.4143	2.0114	4.4370	6.8626
2993	3	3.3059	0.2955	2.4616	2.8838	3.3059	3.7280	4.1501
3030	3	3.5561	-0.1308	3.9298	3.7429	3.5561	3.3693	3.1825
3071	3	1.9512	2.3994	-4.9043	-1.4766	1.9512	5.3790	8.8067
3338	3	3.0154	-0.0368	3.1205	3.0679	3.0154	2.9629	2.9104
3568	3	1.5476	1.0396	-1.4227	0.0624	1.5476	3.0328	4.5179
3571	3	3.4278	-0.2985	4.2808	3.8543	3.4278	3.0014	2.5749
3665	3	2.8260	0.1325	2.4473	2.6367	2.8260	3.0154	3.2047
3688	3	5.2368	-1.1982	8.6604	6.9486	5.2368	3.5251	1.8133
1305	4	2.3470	0.8873	0.5520	1.4495	2.3470	3.2445	4.1419
2423	4	5.8385	-0.7839	7.4243	6.6314	5.8385	5.0455	4.2526
759	4	1.5798	0.4695	0.6300	1.1049	1.5798	2.0547	2.5295
2890	4	3.7465	-0.1935	4.1379	3.9422	3.7465	3.5508	3.3551
2955	4	3.6682	0.5888	2.4770	3.0726	3.6682	4.2638	4.8593

---

---

9635	4	2.8789	0.4888	1.8900	2.3844	2.8789	3.3733	3.8677
9732	4	2.9038	0.6211	1.6473	2.2755	2.9038	3.5320	4.1602
717	4	2.9532	6.4400	-10.0745	-3.5607	2.9532	9.4670	15.9808
1034	4	1.6985	0.8529	-0.0269	0.8358	1.6985	2.5612	3.4239
2077	4	3.0444	-0.1948	3.4384	3.2414	3.0444	2.8474	2.6504
2344	4	2.3508	6.0334	-9.8542	-3.7517	2.3508	8.4533	14.5558
6717	4	7.2931	-1.3510	10.0262	8.6596	7.2931	5.9266	4.5601
8580	4	1.5804	-0.3346	2.2573	1.9188	1.5804	1.2420	0.9035
8737	4	6.1490	-1.1373	8.4497	7.2994	6.1490	4.9987	3.8483
9534	4	1.8848	3.0167	-4.2178	-1.1665	1.8848	4.9362	7.9875