



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN  
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRODUCCIÓN DE LECHE DE BÚFALO DE AGUA EN EL TRÓPICO  
MEXICANO

TESIS

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

**NANCY SANTIAGO HERNÁNDEZ**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Abril 2016

Chapingo, Estado de México

**“PRODUCCIÓN DE LECHE DE BÚFALO DE AGUA EN EL TRÓPICO MEXICANO”**

Tesis realizada por **NANCY SANTIAGO HERNÁNDEZ**, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

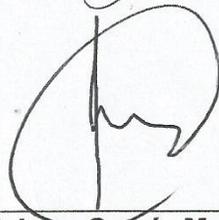
**MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

**Director:**



\_\_\_\_\_  
**Gilberto Aranda Osorio, Ph. D.**

**Co-director:**



\_\_\_\_\_  
**J. Guadalupe García Muñiz, Ph. D.**

**Asesor:**



\_\_\_\_\_  
**Nelson O. Huerta Leidenz, Ph. D.**

## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2	REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1	Población bufalina .....	3
2.2	Clasificación zoológica del búfalo .....	3
2.3	Razas de búfalos productores de leche.....	4
2.4	Características de la producción de leche .....	6
2.4.1	Producción de leche.....	6
2.4.2	Componentes fisicoquímicos de la leche de búfala.....	7
2.4.3	Factores que afectan la composición de la leche.....	10
2.5	Parámetros reproductivos y productivos.....	10
2.6	Queso Mozzarella.....	11
2.7	Curva de lactancia .....	11
2.8	Utilización de modelos matemáticos para caracterizar curvas de lactancia.....	12
2.9	Modelos lineales .....	13
2.9.1	Modelo lineal .....	13
2.9.2	Modelo cuadrático .....	13
2.9.3	Modelo cuadrático logarítmico .....	13
2.9.4	Modelo lineal hiperbólico.....	14
2.9.5	Regresión múltiple de Ali y Shaeffer (1987) .....	14
2.9.6	Modelo polinomial inverso.....	14
2.10	Modelos no lineales.....	15

2.10.1	Modelo de Brody (1923).....	15
2.10.2	Modelo de Brody (1924).....	15
2.10.3	Función gamma incompleta (Wood, 1967) .....	16
2.11	Polinomios de Legendre .....	16
2.12	Literatura citada.....	18
3	CURVAS DE LACTANCIA PARA PRODUCCIÓN Y COMPONENTES DE LECHE DE BÚFALAS ( <i>Bubalus bubalis</i> ) DE AGUA PASTOREANDO PRADERAS TROPICALES EN VERACRUZ, MÉXICO.....	23
3.1	RESUMEN.....	24
3.2	INTRODUCCIÓN.....	26
3.3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.3.1	Origen de los datos .....	27
3.3.2	Variables medidas y generadas .....	29
3.3.3	Análisis estadístico.....	29
3.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
3.4.1	Estadísticos descriptivos para variables de producción y composición de la leche .....	32
3.4.2	Curvas de producción de leche y de componentes de la leche ....	33
3.4.3	Curvas de composición de la leche.....	43
3.5	CONCLUSIONES .....	49
3.6	AGRADECIMIENTOS.....	49
3.7	LITERATURA CITADA .....	49

4	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LECHE DE BÚFALA.....	54
4.1	INTRODUCCIÓN.....	55
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	55
4.2.1	Localización .....	55
4.2.2	Metodología de muestreo.....	56
4.2.3	Análisis estadístico.....	56
4.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	56
4.3.1	Caracterización de la producción .....	56
4.3.2	Caracterización del sistema .....	56
4.4	CONCLUSIONES .....	59
4.5	LITERATURA CITADA .....	59

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica del búfalo .....	3
<b>Cuadro 2.</b> Composición de la leche de búfala.....	9
<b>Cuadro 3.</b> Comparación entre la leche de búfala y otras especies. ....	9
<b>Cuadro 4.</b> Composición de la leche de búfala por época del año. ....	10
<b>Cuadro 5.</b> Composición de la leche de búfala con diferente número de lactancia.....	10
<b>Cuadro 6.</b> Estadísticos descriptivos para producción de leche y componentes de la leche de búfalas de agua ( <i>Bubalus bubalis</i> ) manejadas en pastoreo de praderas tropicales en Veracruz, México .....	33
<b>Cuadro 7.</b> Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y aleatorios ajustados en los modelos de mejor ajuste de las regresiones aleatorias para producción de leche, grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y caseína de búfalas de agua ( <i>Bubalus bubalis</i> ) pastoreando praderas tropicales en Veracruz, México. ....	35
<b>Cuadro 8.</b> Soluciones de los efectos fijos y aleatorios de los modelos de regresión aleatoria ajustados a la producción de leche, grasa, proteína, lactosa, sólidos totales (ST) y caseína de búfalas de agua ( <i>Bubalus bubalis</i> ) manejadas en pastoreo de praderas tropicales en Veracruz, México .....	36
<b>Cuadro 9.</b> Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y aleatorios ajustados en los modelos de mejor ajuste de las regresiones aleatorias para los porcentajes de proteína, lactosa y caseína, en leche de búfalas de agua ( <i>Bubalus bubalis</i> ) pastoreando praderas tropicales en Veracruz, México .....	44
<b>Cuadro 10.</b> Soluciones de los efectos fijos y aleatorios de los modelos de regresión aleatoria ajustados a los porcentajes de proteína, lactosa y caseína de búfalas de agua manejadas en pastoreo de praderas tropicales en Veracruz, México .....	45

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Búfalo de la raza Murrah.....	4
<b>Figura 2.</b> Búfalo de la raza Jafabaradi. ....	5
<b>Figura 3.</b> Búfalo de la raza Mediterránea. ....	5
<b>Figura 4.</b> Búfalo de la raza Buffalypso bajo ordeña manual.....	6
<b>Figura 5.</b> Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de leche en el día de muestreo. ....	37
<b>Figura 6.</b> Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de grasa en el día de muestreo. ....	38
<b>Figura 7.</b> Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de proteína en el día de muestreo. ....	39
<b>Figura 8.</b> Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de lactosa en el día de muestreo.....	40
<b>Figura 9.</b> Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de sólidos totales en el día de muestreo. ....	41
<b>Figura 10.</b> Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior);	

diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de caseína en el día de muestreo.....	42
<b>Figura 11.</b> Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para el porcentaje de proteína en leche en el día de muestreo. ....	46
<b>Figura 12.</b> Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para el porcentaje de lactosa en leche en el día de muestreo. ....	47
<b>Figura 13.</b> Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para el porcentaje de caseína en leche en el día de muestreo. ....	48

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma Chapingo, en especial a el Posgrado en Producción Animal por permitirme continuar con mi formación profesional y superarme.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado durante mis estudios de Maestría en Ciencias.

A la Dirección General de Investigación y Posgrado por el apoyo económico para la realización del trabajo de campo de esta Investigación.

Al Dr. Gilberto Aranda Osorio, por su atinada dirección y por su apoyo en el trabajo de tesis.

Al Dr. J. Guadalupe García Muñiz por sus valiosas enseñanzas en la realización de este proyecto y sobre todo por el trabajo dedicado para terminar con la Investigación.

Al Dr. Nelson Huerta Leidenz por sus aportes a la Investigación y mejora de este trabajo.

Al Ing. Armando Morales por permitirnos realizar el trabajo en su rancho y por la confianza, además de facilitar todos los medios para este trabajo

A la Dra. Citlalli González Ariceaga por el apoyo para la realización de los análisis de muestras.

A mi esposo Orlando Jiménez, por ser mí guía en todo este proceso, por su apoyo en la recolección y análisis de muestras.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Emma y Juan por darme la vida, todo su amor y apoyo, ya que sin ustedes no hubiera sido posible esto, este logro también es de ustedes.

A mi esposo Orlando, por toda la paciencia y consejos, así como todo el apoyo, amor que me brindas en las buenas y las malas.

A mis hijos Abraham y María José, por toda la alegría que me han dado, sé que no estuve en muchas ocasiones y me perdí de muchas de sus travesuras y ocurrencias, no puedo regresar el tiempo, así que por lo menos, cada vez que vean esto sepan que ustedes fueron quienes me ayudaron a conseguir esto. Este logro es de ustedes.

A mis hermanos Gabriel, Erika, Efraín Eriberto y Manuel, por todo su apoyo y consejos.

A mi familia, por todo su apoyo y cariño ya que de una u otra forma han estado a mi lado, muy en especial a mis abuelitos Lucila y Pascual.

A mi suegra por todo el apoyo que nos ha brindado tanto a mis hijos como a mí.

A mis amigos, aun en la distancia siempre me han apoyado y dado consejos.

A mis compañeros que más que eso son mis amigos: Itzel, Paco, Emmanuel y Luisa.

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

### **Datos generales**

Nombre: Nancy Santiago Hernández

Fecha de nacimiento: 02 de noviembre de 1990

Lugar de nacimiento: Teotongo, Oaxaca

CURP: SAHN901102MOCNRN05

Cédula profesional: 08764282



### **Formación académica**

Bachillerato: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

Licenciatura: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

Maestría: Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera. Posgrado en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo.

# 1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El búfalo tuvo su origen en Asia y se piensa que su aparición se dio hace 10 mil años (Cadoppi, 2003); la población mundial de búfalos de agua es de 168 millones de cabezas aproximadamente, más del 95% se encuentra en Asia; el 2% en África, particularmente en Egipto; otro 2% en América del Sur, y menos del 1% en Australia y Europa (FAO, 2011); la especie *Bubalus bubalis* comprende 19 razas diferentes (Cadoppi, 2003). Entre éstas, la raza Buffalypso originada en Trinidad y Tobago es la más común en México. Es una especie con características zootécnicas muy apreciables tanto para la producción de leche como para carne, además es un animal muy dócil cuando ha sido manejado (Rosales y WingChing-Jones, 2007; De la Cruz-Cruz *et al.*, 2014).

La producción de búfalos representa una opción importante como fuente de ingresos en aquellos lugares ganaderos que se ubican en zonas poco aprovechables por los bovinos como: zonas inundables con climas tropical y subtropical y en pastizales naturales de bajo valor nutritivo (Crudeli *et al.*, 1997; Crudeli *et al.*, 2004).

Según FAO (2010) la producción mundial de leche, de todas las especies, en el año 2008 alcanzó las 693.7 millones de toneladas de las cuales 12.8% fueron de búfala. En los últimos treinta años, el crecimiento de la producción de leche de búfala fue del 248.4%; sin embargo, la leche de vaca tan solo alcanzó el 40.5%, el de cabra 105.4% y el de oveja 40 %, lo que indica la importancia de la evolución de la lechería bufalina.

Las búfalas de agua generalmente producen entre 1,500 y 4,500 litros de leche por lactación, tienen una vida productiva considerablemente mayor que la del ganado vacuno, puesto que proporcionan crías y leche hasta después de los 20 años de edad. Los principales factores que limitan la producción comercial de leche de búfala son la edad tardía del primer parto, la estacionalidad reproductiva, el prolongado intervalo entre partos y el largo periodo de secado (FAO, 2011).

De acuerdo con Iñiguez *et al.* (1987) a la composición de la leche de búfala le atribuyen mayor cantidad de sólidos totales que la leche de vaca, contenido de grasa de 3.9 a 6.6%, proteína de 4.1 a 6.8% y sales minerales de 0.5 a 0.9%.

Es importante conocer la evolución de la producción lechera desde el parto hasta el secado, la cual puede ser representada gráficamente por una curva de lactancia y ser descrita por medio de una función matemática. Dada su utilidad en el pronóstico de la producción total a partir de muestras parciales; su definición es de gran interés ya que permite hacer predicciones de eficiencia productivas (Fraga *et al.*, 2003; Quintero *et al.*, 2007a; Quintero *et al.*, 2008). En la actualidad no existen estudios sobre las curvas de lactancia de búfalos en México. Por otra parte, es importante generar información sobre las características zootécnicas de importancia económica en esta especie.

Con base en lo anterior, el propósito de este proyecto de investigación es modelar curvas de lactancia y describir los componentes de la leche del búfalo de agua, así como realizar una caracterización del sistema de producción de leche en el trópico mexicano.

En el Capítulo II se presenta una revisión de literatura que contiene información referente a la clasificación zoológica del búfalo de agua, así como producción de leche y componentes de la misma. Además, se describen modelos lineales y no lineales para ajustar curvas de lactancia en especies animales, principalmente de bovinos y búfalos.

Con fines de divulgación, el Capítulo III se presenta como un artículo científico con las especificaciones para ser enviado a la revista *Agrociencia*, cuyo objetivo consistió en modelar las curvas de lactancia y las curvas de los componentes de la leche de búfalas a lo largo de su lactancia.

Por último, en el Capítulo IV se presenta la caracterización del sistema de producción de leche en zonas tropicales para ser enviado como nota técnica a la revista *BM Editores*, por lo cual se presenta con el formato de la misma.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Población bufalina

El búfalo se ha convertido en una especie de interés para la investigación tecnológica debido a su fertilidad, longevidad, aptitud para producir carne, leche y co-productos, eficiencia de conversión, adaptación a condiciones difíciles o imposibles para el ganado vacuno y como animal de trabajo (Asociación Argentina de Criadores de Búfalo).

En el mundo se estima una población bufalina de 187.9 millones de cabezas (FAO, 2011). En México, el búfalo se introdujo a través de Cuba en la década de 1980, originarios de Trinidad y Tobago y posteriormente se importaron búfalos de pantano o Carabao desde Australia (García, 2011). Un estudio realizado por la SAGARPA (2012) estimó para México, una población de búfalas en edad reproductiva de 17,000 cabezas.

### 2.2 Clasificación zoológica del búfalo

Zava (1982) refiere que los búfalos tuvieron su origen en el Norte de India, sur de China y Pakistán, fueron las civilizaciones que habitaban en los márgenes del río Éufrates, Tigris, Indus y Yantze las primeras en domesticar esta especie. Es descendiente lineal de *Bubalus paleindicus*, del periodo Plioceno, y del búfalo salvaje, *Bubalus arnee*, de Italia y Mesopotamia (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica de bovino y búfalo

Reino	Animal
Clase	Mamíferos
Sub-clase	Ungulados
Orden	Artiodáctilos
Sub-orden	Rumiantes
Infra-orden	Pécora
Super-familia	Bóvidos
Familia	Bovidae
Sub-familia	Bovinae
	Genero <i>Bos</i>
	Especie <i>B. taurus</i> (2n=60)
	<i>B. indicus</i> (2n=60)
	Genero <i>Bubalus</i>
	Especie <i>B. bubalis</i> (2n=50)*

\*Número de cromosomas; Fuente Zava (2004).

### 2.3 Razas de búfalos productores de leche

Se reportan 19 razas de la especie *Bubalus bubalis sp* en el mundo, incluyendo como raza al búfalo de pantano siendo un tipo diferente, empleado principalmente para trabajo. Las 18 razas restantes se utilizan para carne y leche (Zava, 2004). A continuación, se describen algunas razas, principalmente las utilizadas para producir leche y la Buffalypso, que es la predominante en México.

Raza Murrah:

Según Zava (2004) es originaria del Noreste de la India, y la describe como animales de color negro azabache con pelos en la región torácica, y manchas blancas sólo en la punta de la cola. Sus cuernos son cortos y tienen forma de espiral cerrada. La ganancia de peso promedio diaria es de 620 g alcanza una producción promedio de 2010 l/leche/lactancia y una duración de lactancia de 270 a 306 días. Tienen ubre bien desarrollada, con venas bien marcadas y cuartos bien encuadrados, los pezones son de fácil manipuleo y tracción. Por ser excelentes lecheras se difundieron por toda la India y es la raza más numerosa en ese país (Zava, 2004).



**Figura 1.** Búfalo de la raza Murrah.  
Foto: Mundo pecuario.

### Raza Jafabaradi:

Esta raza es la de mayor tamaño, la producción de leche fluctúa entre 1,800 a 2,700 l/lactancia y grasa entre 8% y 10%. Tiene excelente conformación lechera y cárnica. Su peso en machos va de 700 a 1,500 kg y en hembras de 650 a 900 kg (Zava, 2004).



**Figura 2.** Búfalo de la raza Jafabaradi.  
Foto: Mundo pecuario.

### Raza Mediterránea:

Esta raza integra las poblaciones bufalinas de Italia, Rumania, Azerbaijón, Turquía, Egipto y es la raza más numerosa en Bulgaria, Brasil y Argentina (Zava, 2004). Son búfalos índicos, descendientes principalmente de la raza Surti, los colores comunes son gris oscuro, marrón oscuro y negro pizarra, sus cuernos son medianos, dirigidos hacia atrás y los costados, con las puntas curvadas hacia arriba formando una media luna. La ubre es de tamaño mediano, bien formada y con cuartos bien encuadrados; el peso vivo promedio del animal adulto es de 700 a 800 kg en machos y 600 kg en hembras.



**Figura 3.** Búfalo de la raza Mediterránea.  
Foto: Asociación Argentina de Criadores de Búfalos.

### Raza Buffalypso:

Definida en Trinidad y Tobago, seleccionada por el Dr. Steve Bennett en el Caroni State durante 40 años con cruces de cuatro razas índicas para producción de carne, Murrah, Nili-Ravi, Jaffarabadi y Carabao (Zava, 2004; Agudelo-Gómez *et al.*, 2007).



**Figura 4.** Búfalo de la raza Buffalypso bajo ordeña manual en Veracruz, México.  
Foto: Elaboración propia.

## **2.4 Características de la producción de leche**

### **2.4.1 Producción de leche**

La producción de leche de búfala a nivel mundial ocupa el segundo lugar en importancia por volumen producido luego de la leche bovina y seguido por la caprina y ovina, que ocupan el tercero y cuarto lugar respectivamente (Patiño, 2004).

En el año 2002 según FAO (2007) la producción mundial de leche de todas las especies alcanzó las 598.6 millones de toneladas de las cuales 12.6 % es decir 75.4 millones de ton fueron de búfala. Los principales países productores de leche de búfala en el mundo son: India 46.7 millones de ton, Pakistán 22.5 millones de ton, China 2.6 millones de ton, Egipto 2.0 millones de ton, Italia 140,000 ton y Myanmar 116, 018 ton y Nepal 8, 066.94 ton (FAO, 2007).

Méndez y Fraga (2009), bajo condiciones de pastoreo reportaron una producción promedio por día de leche de 3.70 kg en un solo ordeño, mientras que García *et al.* (2012) bajo condiciones similares obtuvieron un promedio de 3.41 kg/día.

García *et al.* (2013) obtuvieron valores en la producción inicial de 4.04 kg y el pico lo alcanzó en el segundo muestreo con 4.19 kg y el valor mínimo de 2.15 kg en el último muestreo lo que coincide con la terminación de la lactancia. Quintero *et al.* (2008), encontraron promedios de producciones máximas en el pico para diferentes partos, de 3.79 kg a 4.63 kg, observando el mayor promedio en el parto número 4, seguido del parto número 3, mientras que el pico con más bajo promedio se encontró en las hembras de primer parto, que aún se encontraba en crecimiento.

Fraga *et al.* (2003) en búfalas de la raza Murrah y mestizos estimaron que el pico de producción y la producción máxima fue en el día 41 con una producción de 4.87 kg. Mientras que Montiel *et al.* (2000) en búfalas mestizas, encontraron el pico de producción entre los 40.5 y 49.4 días con un promedio de producción máxima entre 3.31 y 3.57 kg/día. Quintero *et al.* (2007b) estimaron que para el nivel más bajo de producción los días en alcanzar el pico variaron de 52.3 a 121 días y la producción máxima varió de 3.63 a 5.70 kg.

Hurtado-Lugo *et al.* (2005) encontraron en búfalas de la raza Buffalypso que los componentes físico-químicos como porcentaje de grasa, sólidos no grasos y sólidos totales variaron de 6.65 a 7.36, 9.57 a 10.75 y 16.17 a 17.66 %, respectivamente y estaban influenciados por los meses del año.

#### **2.4.2 Componentes fisicoquímicos de la leche de búfala**

Según Páez *et al.* (2002) la composición de la leche puede variar entre diferentes especies y dentro de la misma especie por efecto de factores relacionados con la raza, intervalo entre ordeños, etc.

La Norma Oficial Mexicana (NOM-155-SCFI-2012), refiere a los sólidos lácteos como los componentes propios de la leche los cuales se describen a continuación:

*Sólidos totales:* se componen de la fracción grasa, la proteína, la lactosa, y los minerales. Shearer (1986) reporta que el valor nutricional económico de la leche se asocia directamente con la concentración de sólidos totales y éstos son indicadores para la elaboración de derivados lácteos.

*Grasa:* constituye desde el 2 hasta el 6% de la leche vacuna, dependiendo de la raza de la vaca, sin embargo, en búfalos los valores van de 2 hasta 16%. Según Santos (1995) la grasa de la leche está compuesta por una mezcla de triglicéridos que constituyen de 95 a 98% de la grasa total, los cuales contienen más de 17 ácidos grasos.

*Proteína:* la fracción proteica de la leche está constituida por numerosas proteínas específicas, de las cuales las más importantes es la caseína. La caseína, la  $\beta$ -lactoglobulina y la  $\alpha$ -lactoalbúmina constituyen entre 90 y 95% de la proteína de la leche (Schmidt, 1971).

*Sólidos no grasos:* es un término que se utiliza para describir el total de contenido de sólidos, menos la fracción grasa (Shearer, 1986).

*Lactosa:* está compuesta por glucosa y galactosa. El poder edulcorante de la lactosa es inferior al de la sacarosa, por lo que la leche no es muy dulce. El contenido de la lactosa es generalmente más bajo al final de la lactación y en la leche de animales con mastitis (Varnam, 1995).

La leche de búfala se caracteriza por altos niveles de grasa, lactosa, proteína, caseína y contenido de cenizas (Abd El-Salam y El-Shibiny, 2011), en el Cuadro 2 se muestra la composición de la leche de búfala.

La composición de la leche en la mayoría de las especies es constante, pero desde el punto de vista cualitativo presenta variaciones en la composición, éstas variaciones pueden deberse a causas genéticas (especie, raza), fisiológicas (número de partos, gestación, etapa de lactancia) y ambientales (clima, alimentación) (Alais, 1984; Walstra y Jennes, 1987).

**Cuadro 2.** Composición de la leche de búfala.

Grasa	Sólidos totales	Proteína	Lactosa	Sólidos no grasos	Localización/Referencia
7.0	16.6	3.7	4.6	-	Argentina/Patiño <i>et al.</i> 2003
8.8	18.4	5.2	4.5	-	Argentina/Patiño y Guanziroli 2005
7.3	16.7	3.7	4.7	9.2	Bangladesh/Khan <i>et al.</i> 2007
7.6	18.4	4.7	-	-	China/Han <i>et al.</i> 2007
7.0	-	4.3	5.2	-	Pakistán/Arian <i>et al.</i> 2008
7.7	17.0	3.8	4.8	9.4	India/Sodi <i>et al.</i> 2008
7.6	-	4.1	4.7	9.8	Pakistán/Imran <i>et al.</i> 2008
7.0	-	4.3	5.2	-	Francia/Ahmad <i>et al.</i> 2008
8.1	-	4.6	4.8	-	Italia/Tufarelli <i>et al.</i> 2008
7.6	17.4	4.3	4.8	9.5	Promedios

La leche de búfala posee tres veces más materia grasa que la del bovino, produciendo de 7 a 12 litros de leche diarios (equivalente aproximadamente de 21 a 36 litros de leche bovina, por el contenido de grasa), teniendo 30 a 40 % más de calorías que la de vaca (Cuadro 3), es de sabor dulce y de color blanca (Almaguer, 2007).

**Cuadro 3.** Comparación entre la leche de búfala y otras especies.

Especie	Agua (%)	Grasa (%)	Lactosa (%)	Albúmina (%)	Sales (%)
Búfala	85	7.6	4.8	4.70	1.0
Vaca	90	3.5	5.0	0.35	0.9
Cabra	90	4.0	4.8	0.65	1.0
Oveja	86	6.3	4.5	0.90	1.1
Mujer	90	3.5	7.0	0.50	0.3

Fuente: Almaguer, 2007.

Un estudio realizado por Patiño (2003) encontró que los componentes químicos con mayor variabilidad fueron la grasa (7.22%) y los sólidos totales (16.35%), que pueden variar no solo por las etapas de lactación sino por la genética de los animales estudiados.

### 2.4.3 Factores que afectan la composición de la leche

Para estación del año Patiño (2003) no encontró diferencias en cuanto a los componentes físico-químicos. En el Cuadro 4 se muestra la composición de la leche por estación del año según este autor.

**Cuadro 4.** Composición de la leche de búfala por época del año.

Variable	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
pH	6.63	6.79	6.69	6.72
Grasa (%)	7.22	7.35	8.03	6.26
Proteína (%)	3.08	4.33	3.81	4.13
Lactosa (%)	4.53	4.55	4.46	4.44
Sólidos totales (%)	16.58	16.77	17.15	14.85

Fuente: Patiño (2003).

En lo que respecta a la variación de la composición físico-química de acuerdo a etapa de lactancia, Patiño (2003) no observó diferencias a través de las tres etapas, a excepción de la proporción de sólidos totales que tuvo diferencias en el último tercio con respecto del primero y segundo, como se muestra en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Composición de la leche de búfala con diferente número de lactancia.

Variable	Tercios de la lactancia		
	Primero	Segundo	Tercero
pH	6.68	6.68	6.78
Grasa (%)	6.45	6.85	6.78
Proteína (%)	3.97	3.73	3.84
Lactosa (%)	4.45	4.55	4.48
Sólidos totales (%)	15.40	16.22	17.54

Fuente: Patiño (2003).

### 2.5 Parámetros reproductivos y productivos

El periodo de gestación varía dependiendo de la raza, para la raza Murrah es entre 300 a 306 d, en la raza Mediterránea se prolonga hasta 311 d y para la raza Jafarabadi es de 330 días (Cockrill, 1991).

Según Almaguer (2007) la mortalidad en bucerros (llamados así a los búfalos de corta edad) es de 3 a 5 %, mientras que la mortalidad en adultos es de 1 %, el periodo de

lactancia va de 240 a 270 días con una producción de 1,080 a 1,560 litros; los bucerros nacen con un peso de 30 a 36 kg.

Los bufalinos se consideran una especie con estación reproductiva. Aun cuando éstos son fértiles durante todo el año, su actividad sexual aumenta cuando las horas luz disminuyen (Crudeli *et al.*, 2004).

## **2.6 Queso Mozzarella**

El queso contiene proteínas, grasas, agua y sales en proporciones diversas dependiendo de los tipos. Las posibilidades de utilización de las proteínas lácteas en la elaboración de quesos dan lugar a una enorme variedad de quesos, con diferentes características referentes a sabor y contenido en sólidos (Hernández y Díaz, 2002).

El queso es un producto de la coagulación de la proteína presente en la leche luego de ser sometido a procesos térmicos, ácidos o enzimáticos. Actualmente existe una diversidad de quesos tales como: quesos frescos, de pasta blanda, de pasta firme, de pasta dura, o de pasta hilada o filata, como el mozzarella (Castillo, 2001).

El queso mozzarella es oriundo de Italia, originalmente fue elaborado de leche de búfala, la cual posee un alto contenido de grasa por lo que le brinda al queso un aroma y textura particular (Hernández y Díaz, 2002), su característica principal es la plasticidad la cual se debe al hilado en la etapa de moldeado (Patiño, 2005).

## **2.7 Curva de lactancia**

La lactancia es un proceso biológico que puede ser explicado mediante una función matemática generando curvas útiles en el pronóstico de la producción total a partir de muestras parciales. Con la ayuda de esta predicción confiable de la producción se puede hacer una selección de animales a partir del conocimiento de las relaciones entre las diferentes partes de la curva, y se favorece la planificación del hato. Sin embargo, es importante encontrar, para cada sistema de producción, la función matemática que mejor describa la curva de lactancia de sus animales. Para describir la producción de leche a través de la lactancia en animales domésticos, se han propuesto diversos

modelos matemáticos, entre los cuales se encuentran los modelos de Papajcsik y Bodero (1988) y el de Wood (1967).

Según Quintero *et al.* (2007a) el uso de modelos matemáticos ha permitido conocer las curvas de lactancia de animales domésticos en diferentes sistemas de producción lechera. Como se explicó anteriormente, no todos los modelos matemáticos se adecúan a una curva de lactancia típica, con sus respectivas fases secuenciales de producción ascendente, máxima y descendente. Por consiguiente, un modelo adecuado sería aquel que permita predecir la producción máxima y el lapso requerido para que ella ocurra. Asimismo, los parámetros de un modelo adecuado de la curva de lactación deben reflejar las influencias de factores genéticos, fisiológicos, productivos, ambientales, y sus interacciones.

## **2.8 Utilización de modelos matemáticos para caracterizar curvas de lactancia**

Según Quintero *et al.* (2007a) en sistemas de producción con razas lecheras, la curva de lactancia se caracteriza por una fase de ascenso, un periodo de producción máxima seguido por una fase de descenso continuo en la producción. Estas fases determinantes de la forma de la curva están afectadas por factores genéticos y ambientales; el estudio del recorrido de la lactancia puede hacerse a través de funciones matemáticas que estiman el nivel de producción alcanzado en el tiempo.

Al generar datos de curvas de lactancia se pueden comparar los parámetros de las curvas para tomar decisiones de manejo. La necesidad actual está en encontrar modelos matemáticos que mejoren la explicación de las curvas de lactancia (Sherchand *et al.*, 1995).

Los modelos más utilizados para la estimación de curvas de lactancia son los siguientes: 1) lineales, entre los que se cuentan, cuadráticos, cuadrático logarítmicos, polinomiales inversos, polinomios segmentados, lineal hiperbólico, regresión múltiple y modelos polinomiales; y 2) no lineales, entre los que están la función gamma incompleta, la parabólica exponencial y el modelo de Wilmink (Wilmink, 1987).

Los modelos lineales y no lineales utilizados en curvas de lactancia de ganado bovino y bufalino, se representan de la manera siguiente:

## 2.9 Modelos lineales

### 2.9.1 Modelo lineal

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t$$

### 2.9.2 Modelo cuadrático

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t - \beta_2 t^2$$

Donde el pico de lactancia se alcanza en:

$$t_{pico} = \frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

Y la producción máxima se alcanza en:

$$y_{max} = \beta_0 + \frac{\beta_1^2}{2\beta_2} - \frac{\beta_1}{2}$$

Este modelo fue utilizado por Dave (1971), citado por Sherchand *et al.* (1995), con datos de la primera lactancia en búfalos domésticos (*Bubalus bubalis*) de la India. En este modelo el componente ( $y_t$ ) representa la producción de leche medida en el día ( $t$ ) de lactación; los  $\beta_i$  son los parámetros a estimar de la curva y en el caso de los modelos no lineales, el exponente es la base de los logaritmos napierianos.

### 2.9.3 Modelo cuadrático logarítmico

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 \ln(t)$$

Donde el pico de lactancia se alcanza en:

$$t_{pico} = \frac{-\beta_1 \pm \sqrt{\beta_1^2 - 8\beta_0\beta_2}}{4\beta_2}$$

Y la producción máxima se alcanza en:

$$y_{max} = -\beta_0 + \beta_1 \left( \frac{-\beta_1 \pm \sqrt{\beta_1^2 - 8\beta_0\beta_2}}{4\beta_2} \right) - \frac{-\beta_1 \pm \sqrt{\beta_1^2 - 8\beta_0\beta_2}}{4} + \beta_3 \ln \left( \frac{-\beta_1 \pm \sqrt{\beta_1^2 - 8\beta_0\beta_2}}{4\beta_2} \right)$$

Este modelo fue propuesto por Singh y Gopal (1982). Se utilizó en búfalas lecheras de la India, la función gamma incompleta propuesta por Wood (1967) o el modelo lineal logarítmico, propuesto por los mismos autores.

#### 2.9.4 Modelo lineal hiperbólico

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \frac{\beta_2}{t}$$

Donde el pico de lactancia se alcanza en:

$$t_{pico} = \sqrt{\frac{\beta_2}{t}}$$

Y la producción máxima se alcanza en:

$$y_{max} = \beta_0 + 2\sqrt{\beta_1\beta_2}$$

Este modelo fue utilizado en búfalas de las raza Murrah, en Cuba (Fraga *et al.*, 2003).

#### 2.9.5 Regresión múltiple de Ali y Shaeffer (1987)

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 \frac{t}{305} + \beta_2 \left( \frac{t}{305} \right)^2 + \beta_3 \ln \frac{305}{t} + e \left( \ln \frac{305}{t} \right)^2$$

#### 2.9.6 Modelo polinomial inverso

$$y_t = \frac{t}{\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2}$$

Donde el pico de lactancia se alcanza en:

$$t_{pico} = \sqrt{\frac{\beta_0}{\beta_2}}$$

Y la producción máxima se alcanza en:

$$y_{max} = \frac{\sqrt{\beta_0}}{2\beta_0\sqrt{\beta_2} + \beta_1\sqrt{\beta_0}}$$

Este modelo se ajusta bien para lactancias que comienzan con una baja producción y alcanzan el pico más pronto de lo normal (Quintero *et al.*, 2007a). Con base en la comparación del  $R^2$ , se observó que la función polinomial inversa se ajustaba mejor que la función gamma incompleta cuando se utilizaban datos semanales de producción láctea. Esta función fue superior a las funciones gamma, parabólica y exponencial en curvas que comprendían la lactancia media usando datos de vacas, pero la función gamma se ajustaba mejor a las vacas que tenían una duración de la lactancia de 44 semanas (Rowlands *et al.*, 1982).

## 2.10 Modelos no lineales

Los modelos no lineales fueron propuestos inicialmente por Wood (1967) y han servido mucho para describir la curva de la lactancia de bovinos, ovinos, cabras, búfalos y camélidos sudamericanos. Por otro lado, los diferentes modelos matemáticos permiten estimar la producción en el pico de la lactancia, definido como el tiempo en el cual se alcanza la máxima producción de leche de una hembra.

### 2.10.1 Modelo de Brody (1923)

$$y_t = \beta_0 \exp(-\beta_2 t)$$

En un estudio de estimación de curvas de lactancias en la raza Siboney de Cuba, los modelos de regresión múltiple y el cuadrático logarítmico, permitieron describir adecuadamente la producción de leche de la raza y estimar valores que permitieron calcular producciones diarias, acumuladas y totales de leche (Fernández *et al.*, 2001).

### 2.10.2 Modelo de Brody (1924)

$$y_t = \beta_0 \exp(-\beta_1 t) - \beta_0 \exp(-\beta_2 t)$$

Donde el pico de lactancia se alcanza en:

$$t = (\beta_2 - \beta_1)^{-1} \ln\left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right)$$

Y la producción máxima se alcanza en:

$$y_{max} = \beta_0 \exp\left(-\beta_1 \left(\frac{\ln \frac{\beta_1}{\beta_2}}{\beta_2 - \beta_1}\right)\right) - \beta_0 \exp\left(-\beta_2 \frac{\ln \frac{\beta_1}{\beta_2}}{\beta_2 - \beta_1}\right)$$

Este modelo subestima la producción de leche en la mitad de la lactancia y sobre estima la producción cerca del pico y al final de la lactancia (Sherchard *et al.*, 1995).

### 2.10.3 Función gamma incompleta (Wood, 1967)

Este modelo ha sido ampliamente utilizado para la curva de lactancia de vacas de ganado lechero, se ajusta bien a los datos de producción de leche, predice mejor los datos reales durante la lactancia temprana y tardía, y predice con menor precisión los datos durante la lactancia media (Rowlands *et al.*, 1982).

$$y_t = \beta_0 t^{\beta_1} \exp(-\beta_2 t)$$

Donde el pico de lactancia se alcanza en:

$$t_{pico} = \frac{\beta_1}{\beta_2}$$

Y la producción máxima se alcanza en:

$$y_{max} = \beta_0 \left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right)^{\beta_1} \exp(-\beta_1)$$

## 2.11 Polinomios de Legendre

Cualquier polinomio de grado  $n$  puede ser escrito como una combinación lineal de los polinomios de Legendre de grado 0 hasta  $n$ . El polinomio de Legendre de grado  $n$  puede escribirse como:

$$P_n(x) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n [(x^2 - 1)^n]}{dx^n}$$

con  $n$  entero.

Los polinomios de Legendre son ortogonales con respecto al producto escalar definido en  $L_2$  en el intervalo  $[-1, 1]$ , es decir

$$\int_{-1}^1 P_m(x) P_n(x) dx = 0 \text{ si } m \neq n$$

Como la ortogonalidad de los polinomios de Legendre se cumple en  $[-1, 1]$ , para las curvas de lactancia se estandarizaron los tiempos respecto del parto (DIM) de la siguiente forma:

$$w(t) = 2 \frac{(t - t_{min})}{(t - t_{max})} - 1$$

donde  $t_{min}$  es el tiempo mínimo y  $t_{max}$  el máximo (Silvestre *et al.*, 2006); en el presente trabajo 6 y 235 días respectivamente.

Además

$$\int_{-1}^1 P_n(x)^2 dx = \frac{2}{2n + 1}$$

Entonces, los polinomios de Legendre normalizados  $\varphi_n(x)$  se obtienen de la siguiente manera:

$$\varphi_n(x) = \sqrt{\frac{2n + 1}{2}} P_n(x)$$

## 2.12 Literatura citada

- Abd El-Salam, M. H. and S. El-Shibiny. 2011. A comprehensive review on the composition and properties of buffalo milk. Dairy Science & Technology 91: 663-699.
- Agudelo-Gómez, D. A., M. F. Cerón-Muñoz y A. Hurtado-Lugo 2007. El búfalo como animal productor de carne: producción y mejoramiento genético. Revista Lasallista de Investigación 4 (2). Disponible en: [http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-44492007000200007&lng=es](http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492007000200007&lng=es). Consultado el 26 de mayo de 2014.
- Ahmad, S., I. Gaucher, F. Rousseau, E. Beaucher, M. Piot, J. F. Grongnet and F. Gaucheron. 2008. Effect of acidification on physicochemical characteristics of buffalo milk: a comparison with cow milk. Food Chemistry 106(1): 11-17.
- Alais, C. 1984. Ciencia de la leche. Principios de técnica lechera. 5ta Edición. Ed. Reverté S. A. Barcelona. pp: 21-26.
- Almaguer, P., Y. 2007. El búfalo, una opción de la ganadería. Revista Electrónica de Veterinaria III (8). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080807.html>. Consultado el 25 de enero de 2014
- Arian, H. H., M. Khaskhali, M. A. Arian, A. H. Soomro and A. H. Nizamani. 2008. Heat stability and quality characteristics of postpartum buffalo milk. Pakistan Journal of Nutrition. 7(2): 303-307.
- Asociación Argentina de Criadores de Búfalo. S/F. El búfalo. <http://www.bufalos.org.ar/elbufalo.php>. Consultado el 20 de enero de 2014.
- Brody, S., A. C. Ragsdale and C. W. Turner. 1923. The rate of decline of milk secretion with the advance of period of lactation. Journal of General Physiology. 5(4): 441-444.
- Brody, S., A. C. Ragsdale and C. W. Turner. 1924. The relation between the initial rise and the subsequent decline of milk secretion following parturition. Journal of General Physiology. 6(5): 541-545.
- Cadoppi, C. A. 2003. Cría de búfalos para carne en el Delta Entrerriano. Sitio Argentino de Producción Animal. 28(323): 26-30. [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar). Consultado el 9 de octubre de 2015.
- Castillo, C., J. 2001. Elaboración de queso Mozzarella con diferentes porcentajes de grasa en la leche de vaca. Universidad Earth. Guácimo, Costa Rica. <http://usi.erath.ac.cr/glas/sp/dgp/97015.pdf>. Consultado el 29 de Octubre de 2015.
- Cockrill, W. R. 1991. Búfalo. Ministerio de Agricultura y Reforma Agraria, Asociación Brasileira de Criadores de Búfalos. Brasilia, Brasil. pp: 5-50.

- Crudeli, G., P. Maldonado V. y S. M. Flores B. 1997. Reproduction of buffaloes in the northeast of Argentina. *In*: 5th World Buffalo Congress. Caserta Italy. pp: 779 - 782.
- Crudeli, G., P. Maldonado V., G. Pellerano y S. Flores B. 2004. Reproducción de búfalos en el Nordeste Argentino. *Búfalos en Argentina*. 1ª ed. Corrientes Argentina. 230 p.
- Dave, B. K. 1971. First lactation curve of Indian water buffalo. *JNKVV Research Journal* 5: 93-98.
- De la Cruz-Cruz, L., E. Maitre-Guichard, J. Gasperín-Marín, I. Guerrero-Legarreta y D. Mota-Rojas 2014. El Bienestar del Búfalo de Agua en Sistemas Agrosilvopastoriles. *Entorno Ganadero*. No. 65. Disponible en: <http://bmeditores.mx/el-bienestar-del-bufalo-de-agua-en-sistemas-agrosilvopastoriles/> Consultado el 9 de octubre de 2015.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2007 El búfalo de agua. [http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/animales-lecheros/bufalos-de\\_agua/es/#.Uld0gtLmPz8](http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/animales-lecheros/bufalos-de_agua/es/#.Uld0gtLmPz8). Consultada el 20 de enero de 2014.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2010. FAOSTAT. Agriculture Database. <http://apps.fao.org/page/collections?.Subsety=agriculture>. Consultada el 20 de enero de 2014.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2011. FAOSTAT. Agriculture Database. <http://apps.fao.org/page/collections?.Subsety=agriculture>. Consultada el 28 de enero de 2016.
- Fernández, L., A. Menéndez, W. Guerra y M. Suárez. 2001. Estimación de curvas de lactancia estándar de la raza siboney para su utilización en extensiones de lactancias. *Revista Cubana Ciencias Agrícolas*. 35(2): 99-104.
- Fraga, L. M., M. Gutiérrez, L. Fernández, O. Fundora y M. E. González. 2003. Estudio preliminar de las curvas de lactancia en las búfalas mestizas de Murrah. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 37(2): 151-155.
- García, J. 2011. Evaluación del comportamiento productivo lechero de búfalas mestizas en la Empresa Pecuaria Genética "El Cangre". Tesis Maestría. ICA, MES, Mayabeque, Cuba. pp: 76.
- García, Y., M. Fraga L., G. Guzmán, M. Mora, D. García, y E. Padrón. 2012. Evaluación del comportamiento lechero de búfalas mestizas (Buffalypso x Carabao). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46(4): 357-363.
- García, Y., M. Fraga L., G. Guzmán, M. Mora, D. García, y E. Padrón. 2013. Estimación de la curva media de lactancia de búfalas mestizas (Buffalypso x Carabao). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 47(2): 131-136.

- Han, B. Z., Y. Meng, M. Li, Y. X. Yang, F. Z. Ren, Q. K. Zeng, and M. J. R. Nout. 2007. A survey on the microbiological and chemical composition of buffalo milk in China. *Food Control*. 18(6): 742-746.
- Hernández, P., P. A. y E. Díaz S. 2002. Elaboración de queso mozzarella a partir de leche de *Bubalus bubalis* (ganado bubalino). *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*. 2(2): 19-30.
- Hurtado-Lugo, N. A., M. F Cerón-Muñoz, M. I. Lopera, A. Bernal and T. Cifuentes. 2005. Determination of physical and chemical parameters of Buffalo milk in an organic production system. *Livestock Research for Rural Development* 17(1). <http://www.lrrd.org/lrrd7/1/hurt17001.htm>. Consultado el 5 de noviembre de 2014.
- Imran, M., H. Khan, S. S. Hassan and R. Khan. 2008. Physicochemical characteristics of various milk samples available in Pakistan. *Journal of Zhejiang University Science B*. 9(7): 546-551.
- Iñiguez, C., M. Ameneiros A., E. Marbot M., J. Abreu., R. Battes., E. Perdoma M., y J. Pulido. 1987. Composición de la leche de búfala en Cuba. *ACPA* (1): 24-26.
- Khan, M. A. S., Islam M. N., and Siddiki M. S. R. 2007. Physical and chemical composition of swamp and water buffalo milk: a comparative study. *Italian Journal of Animal Science* 6(2): 1067-1070.
- Méndez, M., M. y L. M. Fraga B. 2009. La curva de lactancia de búfalas (*Bubalus bubalis*) en la provincia de Gramma a través de modelos matemáticos. *Revista electrónica de veterinaria*. España. 10(5). Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050509/050902.pdf>. Consultado el 6 de abril de 2015.
- Montiel, N., S., F. Angulo S. y F. Perozo. 2000. Variaciones en los parámetros productivos en búfalas mestizas de primer y segundo parto en un bosque muy seco tropical en Venezuela. In: *I Congreso Internacional sobre Mejoramiento Animal (CIMA)*. La Habana, Cuba. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000103&pid=S1794-4449200800010000600016&lng=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000103&pid=S1794-4449200800010000600016&lng=pt). Consultado el 19 de agosto de 2015.
- Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2012, Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.
- Páez, L., N. López, K. Salas, A. Spaldillero y O. Verde. 2002. Características físico-químicas de la leche cruda en las zonas de Aroa y Yaracal, Venezuela. *Revista Científica*. 12(2). Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/614/61412208.pdf>. Consultado el 20 de enero de 2016.
- Papajcsik, I. A. and J. Boderó. 1988. Modelling lactation curves of Friesian cows in a subtropical climate. *Animal Production* 47: 201-207.

- Patiño, E. M. 2003. Factores que afectan la composición físico-química de la leche de búfalos en el nordeste argentino. Revista Electrónica de Veterinaria. 5(10). Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101004.html>. Consultado el 12 de febrero de 2015.
- Patiño, E. M. 2004. Leche de búfala. Búfalos en Argentina. 1ª ed. Corrientes, Argentina. pp: 230.
- Patiño, E. M. 2005. El Búfalo. Leche bubalina: producción mundial. Comparación con la leche bovina. Alimentos funcionales derivados de la leche. Sitio Argentino de Producción Animal. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/237747950\\_EL\\_BUFALO\\_LECHE\\_BUBALINA\\_PRODUCION\\_MUNDIAL\\_COMPARACION\\_CON\\_LA\\_LECHE\\_BOVINA\\_ALIMENTOS\\_FUNCIONALES\\_DERIVADOS\\_DE\\_LA\\_LECHE](https://www.researchgate.net/publication/237747950_EL_BUFALO_LECHE_BUBALINA_PRODUCION_MUNDIAL_COMPARACION_CON_LA_LECHE_BOVINA_ALIMENTOS_FUNCIONALES_DERIVADOS_DE_LA_LECHE). Consultado el 23 de marzo de 2015.
- Patiño, E. M. y M. C. Guanziroli S. 2005. Composición de leche de búfala (*Bubalus bubalis*) de raza Jafarabadi en Corrientes, Argentina. Revista Electrónica de Veterinaria. 6(5). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050505.html>. Consultado el 25 de agosto de 2015.
- Patiño, E. M., F. I. Méndez, E. L. Faisal, J. F. Cedrés, L. G. Gómez y M. C. Guanziroli S. 2003. Composición de leche de búfalas de raza Murrah y mestizas Murrah x Mediterráneo. <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2002/04-Veterinarias/V-039.pdf>. Consultada el 15 de agosto de 2014.
- Quintero, J. C., J. I. Serna, N. A. Hurtado, R. Rosero N. y M. F. Cerón-Muñoz. 2007a. Modelos matemáticos para curvas de lactancia en ganado lechero. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 20: 149-156.
- Quintero, V., J., J. Serna G. and M. Cerón-Muñoz 2007b. Non linear mixed models to describe buffalo milk yield curve in an organic production system in Magdalena Medio Antioqueño (Colombia). Livestock Research for Rural Development. 19(4). <http://www.lrrd.org/lrrd19/4/quin19052.htm>. Consultado el 12 de mayo de 2015.
- Quintero, V., J. C., J. Serna G., M. Cerón M., N. Hurtado L. y D. A. Agudelo G. 2008. Estimación de la curva de lactancia mediante modelos matemáticos lineales y no lineales en búfalas colombianas. Revista Lasallista de Investigación. 5 (1): 34-44.
- Rosales, R., R. y R. WingChing-Jones. 2007. Sistemas de producción bufalinos en Costa Rica. I. Cuantificación de la población y caracterización de los sistemas. Nota técnica. Agronomía Costarricense 31(2): 65-69.
- Rowlands, G. J., S. Lucey and A. M. Russell. 1982. A comparison of different models of the lactation curve in dairy cattle. Animal Production 35: 135-144.
- Santos, A., M. 1995. Química y Bioquímica de los Alimentos. Universidad Autónoma Chapingo. pp:335.

- Schmidt, H. G. 1971. *Biología de la lactación*. Ed. Acribia, Zaragoza, España. pp: 307.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012. Documento metodológico para el cálculo del subíndice de diversidad pecuaria.
- Shearer, K. J. 1986. *The Production of Quality Milk*. IFAS. Extension Veterinaria. College of Veterinary Medicine. University of Florida. pp: 1-8.
- Sherchand, L., R. W. Mc New, D. W. Kellogg and Z. B. Jonson. 1995. Selection of mathematical model to generate lactation curves using daily milk yields of Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 78(11): 2507-2513.
- Silvestre, A. M., F. Petim-Batista and J. Colaço. 2006. The accuracy of seven mathematical functions in modeling dairy cattle lactation curves based on test-day records from varying sample schemes. *Journal of Dairy Science* 89(5): 1813-1821.
- Singh, R. P. and R. Gopal. 1982. Lactation curve analysis of buffalo is maintained under village conditions. *Indian Journal of Animal Sciences* 52(12): 1157-1160.
- Sodi, S. S., M. L. Mehra, A. K. Jain and P. K. Trehan. 2008. Effect of non-genetic factors on the composition of milk of Murrah buffaloes. *Indian Veterinary Journal* 85: 950–952.
- Tufarelli, V., M. Dario and V. Laudadio. (2008). Diet composition and milk characteristics of Mediterranean water buffaloes reared in South Eastern Italy during spring season. *Livestock Research Rural Development* 20(10). Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd20/10/tufa20165.htm>. Consultado el 5 de octubre de 2014.
- Varnam, H. A. 1995. *Leche y productos lácteos; Tecnología, Química y Microbiología*. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España. pp: 97.
- Walstra, P. and R. Jenness. 1987. *Química y Física Lactológica*. Acribia. Zaragoza, España. pp: 423.
- Wilmink, J. B. M. 1987. Comparison of different methods of predicting 305 – day milk yield using means calculated from within herd lactation curves. *Livestock Production Science* 17: 1-17.
- Wood, P. D. P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*. 216: 164-165.
- Zava, M. A. 1982. Los Búfalos en la India, Bulgaria, e Italia. *In: I Curso de Búfalos*. San Fernando de Apure, Venezuela. pp: 33-35.
- Zava, M. A. 2004. *El búfalo doméstico. Búfalos en Argentina*. 1ª ed. Corrientes Argentina. pp: 230.

**3 CURVAS DE LACTANCIA PARA PRODUCCIÓN Y COMPONENTES  
DE LECHE DE BÚFALAS (*Bubalus bubalis*) DE AGUA  
PASTOREANDO PRADERAS TROPICALES EN VERACRUZ,  
MÉXICO**

**LACTATION CURVES FOR YIELD OF MILK AND MILK COMPONENTS OF  
WATER BUFFALO (*Bubalus bubalis*) COWS GRAZING TROPICAL PASTURES IN  
VERACRUZ, MEXICO**

Nancy Santiago Hernández<sup>1</sup>, José Guadalupe García Muñiz<sup>1</sup>, Gilberto Arando Osorio<sup>1</sup>

(Para ser sometido a la revista AGROCIENCIA)

---

<sup>1</sup>Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

Universidad Autónoma Chapingo. km. 38.5. Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México.

Autor de correspondencia: José Guadalupe García Muñiz [jgarciam@correo.chapingo.mx](mailto:jgarciam@correo.chapingo.mx)

### 3.1 RESUMEN

La población mundial de búfalos de agua es de aproximadamente 168 millones de cabezas, y el mayor inventario de la especie se encuentra en Asia. En México, la producción bufalina comenzó a principios de 1980 y actualmente hay alrededor de 17 mil hembras en edad reproductiva; sin embargo, no existe información suficiente sobre la zootecnia del búfalo de agua, ni de la producción y composición de su leche en las condiciones de producción del país. Los objetivos del presente trabajo fueron describir las curvas de producción de leche y sus componentes, así como evaluar el efecto del número de lactancia y época de parto en la producción y composición de la leche de búfalas de agua, manejadas en pastoreo de praderas tropicales. Se obtuvieron de los registros productivos y las fechas de parto de 115 búfalas de agua, de 1 a 3 lactancias, paridas en verano u otoño y se les dio seguimiento de septiembre de 2014 a mayo de 2015, en un hato comercial de Veracruz, México. Trimestralmente, en el día de muestreo, se registró producción de leche individual y se colectaron muestras individuales de leche para determinar su composición química (proteína, caseína, grasa, lactosa, sólidos no grasos y sólidos totales). Las curvas de lactancia se modelaron con polinomios de Legendre, ajustando modelos de regresión aleatoria. El modelo incluyó los efectos fijos de número de lactancia y época de parto, así como los coeficientes fijos y aleatorios de los polinomios de Legendre del modelo de mejor ajuste. Las curvas de lactancia desplegaron tendencias lineales decrecientes para producción diaria de leche, lactosa, y caseína, o ligeramente curvas para producción diaria de proteína y sólidos totales. El número de lactancia no afectó la producción diaria de leche ni la de sus componentes. Las búfalas paridas en verano produjeron más leche (3.96 vs. 3.46 litros/búfala/día;  $p < 0.05$ ), más caseína (0.159 vs. 0.140 kg/búfala/día;  $p < 0.05$ ), más lactosa (0.208 vs. 0.171 kg/búfala/día;  $p < 0.01$ ) y más sólidos totales (0.689 vs. 0.571 kg/búfala/día;  $p < 0.01$ ), que las que parieron en otoño. Se

concluye que las búfalas paridas en verano producen más leche y componentes que las que paren en otoño, y que las curvas de producción y componentes de la leche no difieren para búfalas de primera a tercera lactancia.

**Palabras clave:** *Bubalus bubalis*, Polinomios de Legendre, producción y calidad de la leche, curvas de lactancia.

### 3.2 INTRODUCCIÓN

La evolución de la producción lechera desde el parto hasta el secado puede ser representada gráficamente por una curva de lactancia. La producción de leche es un proceso biológico que puede ser descrito por medio de una función matemática, aun cuando ésta no se registre diariamente, lo cual es útil en el pronóstico de la producción total a partir de muestras parciales. El conocimiento de la curva de producción de leche de animales individuales es de gran interés, ya que permite hacer predicciones de comportamiento (Fraga *et al.*, 2003; Quintero *et al.*, 2007a; Quintero *et al.*, 2008) y puede utilizarse con fines de selección de reproductores con el mejor potencial para producir leche.

El estudio de la curva de lactancia también permite detectar problemas relacionados con el manejo de animales (nutrición, sanidad, ordeño, entre otros), ya que comportamientos erráticos en la producción de leche indican que el animal está siendo afectado por factores que producen cambios bruscos en el proceso productivo. En este sentido, se deben esperar valores altos de coeficiente de determinación cuando se ajustan los datos de leche a alguno de los modelos de curva de lactancia comúnmente utilizados, indicando que el animal tuvo un ciclo productivo normal (Colmenares y Cermeño, 1997).

Según Quintero *et al.* (2007a) en sistemas de producción con razas lecheras, la curva de lactancia está caracterizada por una fase de ascenso, un periodo de producción máxima seguido por una fase de descenso continuo en la producción.

En el año 2002 según FAO (2007) la producción mundial de leche de todas las especies alcanzó 598.6 millones de toneladas, de las cuales 12.6 % es decir 75.4 millones de toneladas fueron de leche de búfala.

García *et al.* (2013) obtuvo valores en la producción inicial de 4.04 kg y el pico lo alcanzó en el segundo registro de producción de leche con 4.19 kg y el valor mínimo de 2.15 kg en el último registro de producción, lo que coincide con la terminación de la lactancia. Fraga *et al.* (2003) en búfalas de la raza Murrah y búfalas cruzadas estimaron que el pico de producción y la producción máxima fue en el día 41 de lactancia, con una producción de 4.87 kg. Mientras que Montiel *et al.* (2000) en búfalas cruzadas, encontraron el pico de producción entre 40.5 y 49.4 días posparto, con un promedio de producción máxima entre 3.31 y 3.57 kg/búfala/día. En tanto Quintero *et al.* (2007b) estimaron que para el nivel más bajo de producción los días en leche para alcanzar el pico de producción variaron de 52.3 a 121 días y la producción máxima varió de 3.63 a 5.7 kg.

Hurtado-Lugo *et al.* (2005) encontraron en búfalas de la raza Buffalypso que los componentes físico-químicos de la leche están influenciados por los meses del año como porcentaje de grasa, sólidos no grasos y sólidos totales, los cuales variaron de 6.65 a 7.36, de 9.57 a 10.75 y de 16.17 a 17.66 % respectivamente.

Sin embargo, la información es escasa sobre la producción de leche de búfala en México, por lo que es muy probable que el ajuste para bovinos no sea el mismo que para búfalos. Es por ello que el objetivo del presente trabajo consistió en modelar las curvas de lactancia y las curvas de los componentes de la leche de búfalas a lo largo de su lactancia.

### **3.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.3.1 Origen de los datos**

**Localización:** La información fue tomada del rancho “Los Gavilanes” ubicado en el ejido de Sehaulaca, Municipio de Hidalgotitlán región de Las Selvas, Veracruz localizado en las coordenadas 94°35’38.8” Longitud Oeste, 17°39’32” Latitud Norte a 23 msnm (INEGI, 2005). El

clima de la zona, según la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), es **A (w”2) (i’) g**, el cual corresponde a un clima cálido húmedo con lluvias en verano, con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 12, y precipitación del mes más seco menor a 60 mm, con temperaturas máxima de 33°C, media de 25°C y mínima de 19°C.

**Animales:** Se emplearon 42, 33 y 40 búfalas de la raza Buffalypso de primera, segunda y tercera lactancia, respectivamente, en un sistema de pastoreo, en el que la fuente principal de alimentación es el pastoreo de seis gramíneas: *Cynodon nlemfluensis* (Estrella), *Panicum máximum* (Guinea), *Brachiaria* híbrido cv. Mulato, *Brachiaria brizantha*, *Cynodon dactylon* y *Paspalum fasciculatum* los cuales se encuentran en praderas puras y en praderas mixtas con diferente superficie. Para apoyar la alimentación del hato se siembra maíz forrajero para ensilar, lo que constituye el alimento principal durante la ordeña, principalmente en la época de secas, mismo que se complementa con sales minerales y sal común. La ordeña es manual y mecánica, e inicia a las 5 am, las búfalas son traídas de los potreros por los vaqueros, pasan por una fosa de agua para bañarse antes de llegar a la ordeña. Para la ordeña manual las búfalas son amarradas y pialadas, se realiza la rutina de limpieza y posteriormente se les acerca a los bucerros para ayudar con la bajada de leche, al acabar el ordeño éstos se sueltan para amamantar la leche residual, solo se realiza un ordeño al día. Después del ordeño las búfalas son llevadas a los potreros y por la tarde los bucerros son separados de las búfalas y llevados a otro corral. Para la ordeña mecánica las búfalas también se someten a la rutina de limpieza previa al ordeño, y se les aplica una dosis de oxitocina para ayudar con la bajada de leche. Al finalizar el ordeño, las búfalas se van al mismo potrero que las crías para amamantarlas con la leche residual y por la tarde se separan.

**Mediciones:** Trimestralmente (de septiembre de 2014 a mayo de 2015) se colectaron muestras individuales de leche al final del ordeño en viales de 60 ml de capacidad. Las muestras se

conservaron en frío en hieleras, se les agregó una pastilla de bronopol y se trasladaron al Laboratorio de “Análisis de Leche” del Posgrado en Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se determinó su composición química (proteína, caseína, grasa, lactosa, sólidos no grasos y sólidos totales) utilizando un MILKO SCAN FT120.

### **3.3.2 Variables medidas y generadas**

En cada ocasión de muestreo y registro de producción de leche, para cada búfala se generó la producción de leche en el día de muestreo. Con las muestras de leche de cada búfala se determinaron los porcentajes en leche de grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y caseína. La producción diaria de grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y caseína se calculó multiplicando el volumen de leche producido por el porcentaje del componente respectivo.

### **3.3.3 Análisis estadístico**

Se obtuvieron los estadísticos descriptivos para producción de leche y componentes utilizando el procedimiento MEANS de SAS (SAS, 2009). Se procedió a modelar las trayectorias de producción diaria de leche y componentes de búfalas individuales utilizando modelos de regresión aleatoria. El día de lactancia fue la variable independiente y se utilizó para generar días de lactancia estandarizados ( $x$ ), utilizando la siguiente expresión:

$$x=2\left(\frac{t-t_{\min}}{t_{\max}-t_{\min}}\right)-1$$

Donde  $t_{\min}$  es el día de lactancia más corto en que hubo registro de producción y composición de la leche y  $t_{\max}$  el día de lactancia más largo; en el presente trabajo fueron 6 y 294 días, respectivamente. De esta forma, los días de lactancia estandarizados tendrán valores entre -1 y 1. Con los días de lactancia estandarizados se procedió a calcular los polinomios de Legendre de grado cero hasta grado 3, utilizando las siguientes expresiones:

$$P(x)^0=1$$

$$P(x)^1=x$$

$$P(x)^2=\frac{1}{2}(3x^2-1)$$

$$P(x)^3=\frac{1}{2}(5x^3-3x)$$

Los modelos de regresión aleatoria se ajustaron con el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2009) siguiendo un enfoque como el descrito por Hanford (2005). Para cada una de las variables modeladas se construyó un modelo de regresión aleatoria que se fue reduciendo con la eliminación de efectos no significativos. En la parte fija del modelo se ajustaron los efectos de número de lactancia, estación del año en que parió la búfala, la interacción de los coeficientes de la regresión fija con la estación del año en que parió la búfala. En la parte aleatoria del modelo, además del término de error, se evaluó el ajuste de los polinomios de Legendre de grado cero, uno y dos. En este último caso, para obtener las regresiones aleatorias de cada búfala, la identificación única del animal se utilizó como el ‘sujeto’ en el análisis de varianza.

En el enunciado ‘model’ del programa, se especificaron las opciones ‘noint’, ‘solution’, ‘outp’, ‘outpm’, ‘residual’ y ‘satterth’ para generar, respectivamente, el ajuste de un modelo sin una media general, las soluciones de los efectos fijos del modelo, los valores predichos para las regresiones aleatorias de cada búfala, los valores predichos de las regresiones fijas promedio para cada estación de parto de la búfala, así como los residuales de las regresiones aleatorias de búfalas individuales.

Las medias de cuadrados mínimos para los efectos de número de lactancia y estación de parto de la búfala se compararon utilizando la prueba de Tukey. Los valores predichos y residuales obtenidos con el modelo de mejor ajuste se utilizaron para producir figuras de las

trayectorias de las regresiones aleatorias de cada búfala, las regresiones fijas de cada estación de parto, así como el despliegue gráfico de valores observados y predichos para el modelo final. Las figuras de alta resolución se generaron utilizando el procedimiento SGPLOT de SAS (SAS, 2009). El modelo estadístico de la Ecuación 1 se ajustó a los registros de producción de leche y sus componentes y a los porcentajes de grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y caseína.

$$Y_{ijkl} = E_i + L_j + \sum_{m=1}^u \beta_{mi} P(x_{ijkl})_i^m + \sum_{n=0}^v \alpha_{nij} P(x_{ijkl})_{ijk}^n + e_{ijkl} \quad [1]$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  es la observación  $l$  de producción de leche, producción de componentes de la leche, o el porcentaje de grasa, proteína, lactosa, sólidos totales o caseína en la leche, de la búfala  $k$ , parida en la estación  $i$ , y en su lactancia  $j$ .  $E_i$  es el efecto fijo de la  $i$ -ésima estación de parto de la búfala ( $i =$  verano, otoño).  $L_j$  es el efecto fijo del  $j$ -ésimo número de lactancia de la búfala ( $j = 1, 2, 3$ ). Los términos  $\beta_{mi}$  ( $\beta_{1i} =$  efecto lineal,  $\beta_{2i} =$  efecto cuadrático,  $\beta_{3i} =$  efecto cúbico, ...) corresponden a los coeficientes de la regresión fija de la  $i$ -ésima estación de parto de la búfala para producción de leche, producción de componentes de la leche, o el porcentaje de grasa, proteína, lactosa, sólidos totales o caseína de la búfala sobre los polinomios de Legendre construidos con los días de lactancia ( $x_{ijkl}$ ) estandarizados. Los términos  $P(x_{ijkl})_i^m$  y  $P(x_{ijkl})_{ijk}^n$  son los polinomios de Legendre de grado  $m$  o  $n$  generados con la  $i$ -ésima o la  $ijk$ -ésima observación del día de lactancia ( $x_{ijkl}$ ) estandarizado, respectivamente. Los elementos  $\alpha_{nij}$  corresponden a los coeficientes de la regresión aleatoria de cada búfala ( $\alpha_{0ijk} =$  intercepto,  $\alpha_{1ijk} =$  efecto lineal,  $\alpha_{2ijk} =$  efecto cuadrático, ...) para cada una de las variables de respuesta analizadas, sobre los polinomios de Legendre construidos con el día de lactancia ( $x_{ijkl}$ ) estandarizado, para la  $k$ -ésima búfala, parida

en la  $i$ -ésima estación de partos y en el  $j$ -ésimo número de lactancia. Finalmente, el término  $e_{ijk}$  es el error aleatorio asociado con la observación  $y_{ijkl}$ .

### 3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.4.1 Estadísticos descriptivos para variables de producción y composición de la leche

Los estadísticos descriptivos para las variables registradas y generadas en el estudio se presentan en el Cuadro 5. En total, 115 búfalas de agua de parto uno hasta parto tres generaron de 336 a 343 registros de las variables evaluadas. El tamaño del coeficiente de variación mostró que la mayor variabilidad correspondió a la producción y al porcentaje de grasa lo que se asemeja a lo reportado por Patiño *et al.* (2003), quienes han documentado que pueden variar no solo por las etapas de lactancia sino por los grados de sangre de dichos animales, el porcentaje de lactosa presentó el valor más bajo del CV. La producción promedio de leche fue de 3.7 kg, lo que corresponde a lo encontrado por Quintero *et al.* (2008) y Méndez y Fraga (2009), mientras que para el porcentaje de grasa estuvo por debajo de los valores registrados por otros autores (Han *et al.*, 2000; Patiño y Guanzirolli, 2005; Sodi *et al.*, 2008; Tufarelli *et al.*, 2008). Los porcentajes de lactosa y proteína estuvieron por encima de los reportados en otros estudios (Patiño *et al.*, 2003; Khan *et al.*, 2007; Sodi *et al.*, 2008); para sólidos totales, otros autores encontraron valores similares a los reportados por este estudio (Patiño *et al.*, 2003; Khan *et al.*, 2007).

**Cuadro 6. Estadísticos descriptivos para producción de leche y componentes de la leche de búfalas de agua (*Bubalus bubalis*) manejadas en pastoreo de praderas tropicales en Veracruz, México**

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	D.E. <sup>1</sup>	CV (%) <sup>2</sup>
Producción de leche (kg/búfala/día)	343	0.150	9.000	3.700	1.500	41.4
Producción de grasa (kg/búfala/día)	337	0.017	0.638	0.209	0.137	65.8
Producción de proteína (kg/búfala/día)	343	0.009	0.403	0.177	0.070	39.6
Producción de lactosa (kg/búfala/día)	343	0.006	0.503	0.187	0.083	44.4
Producción de sólidos totales (kg/búfala/día)	343	0.031	1.684	0.608	0.268	44.0
Producción de caseína (kg/búfala/día)	343	0.006	0.339	0.149	0.059	39.4
Grasa (%)	339	0.690	14.5	6.0	3.5	57.8
Proteína (%)	343	3.6	6.7	4.9	0.64	13.0
Lactosa (%)	337	3.8	5.9	5.1	0.33	6.4
Sólidos totales (%)	336	11.0	24.7	16.6	3.29	19.8
Caseína (%)	342	3.1	5.3	4.1	0.41	9.9

<sup>1</sup>Desviación estándar

<sup>2</sup>Coefficiente de variación

### **3.4.2 Curvas de producción de leche y de componentes de la leche**

Para la producción de grasa y de proteína, el modelo de mejor ajuste fue el mismo y consistió de los efectos fijos del número de lactancia, estación de parto, los coeficientes de la regresión fija de un polinomio de Legendre de tercer grado por cada estación de parto, así como los coeficientes aleatorios de un polinomio de Legendre de primer grado. El modelo de mejor

ajuste para la producción diaria de leche, lactosa, sólidos totales y caseína fue similar al de grasa y proteína, excepto que el polinomio de Legendre de la regresión fija fue de segundo grado.

En el Cuadro 7 se presentan los niveles de significancia del análisis de varianza de los modelos ajustados para la producción diaria de leche, grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y caseína. Las soluciones de los efectos fijos y aleatorios de los modelos de mejor ajuste se presentan en el Cuadro 8. Finalmente las curvas de lactancia respectivas se presentan en las figuras 5 a la 10.

Las búfalas paridas en verano produjeron 0.67 kg más de leche que las paridas en otoño ( $p < 0.05$ ) al igual que para lactosa, caseína y sólidos totales, lo que corresponde a lo encontrado por Hurtado-Lugo *et al.* (2005) quienes observaron que en búfalas de la raza Buffalypso los componentes de la leche están influenciados por los meses del año, no así para grasa y proteína donde no se observaron diferencias.

**Cuadro 7. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y aleatorios ajustados en los modelos de mejor ajuste de las regresiones aleatorias para producción de leche, grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y caseína de búfalas de agua (*Bubalus bubalis*) pastoreando praderas tropicales en Veracruz, México.**

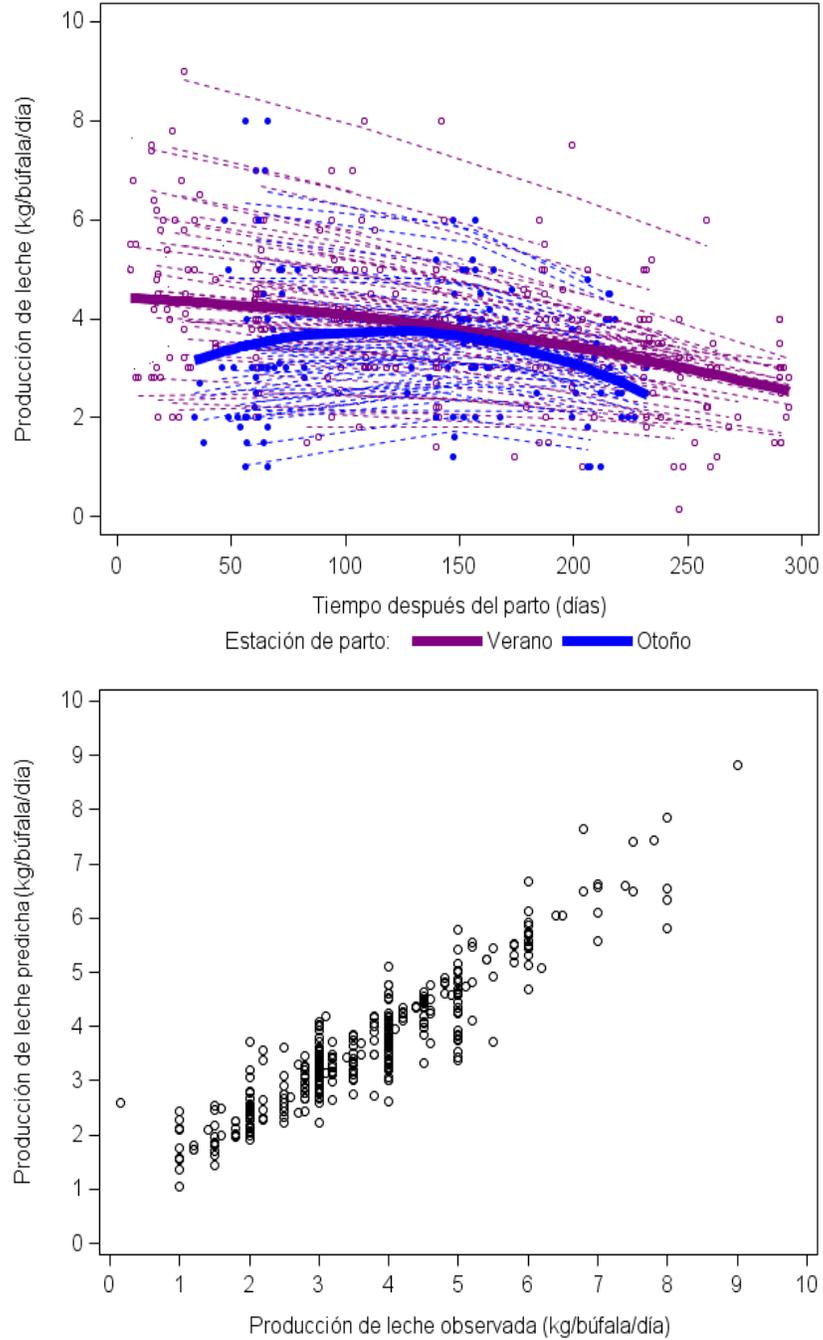
	Producción (kg/búfala/día) de <sup>w/</sup> :					
	Leche	Grasa	Proteína	Lactosa	Sólidos totales	Caseína
<b>Efectos fijos</b>						
Estación de parto	0.0022	0.2132	0.0618	0.0013	0.0108	0.0144
Número de lactancia	0.9080	0.5077	0.8571	0.8270	0.7921	0.6695
Coeficientes de la regresión fija por estación de parto						
$\beta_0$ Otoño	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
$\beta_0$ Verano	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
$\beta_1$ Otoño	<0.0001	0.5880	0.3212	<0.0001	<0.0001	0.0158
$\beta_1$ Verano	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
$\beta_2$ Otoño	0.0003	0.0631	0.0003	0.0045	0.7452	0.0005
$\beta_2$ Verano	0.0825	0.0046	0.7020	0.1919	0.0085	0.9096
$\beta_3$ Otoño	----	0.5433	0.5847	----	----	----
$\beta_3$ Verano	----	<0.0001	0.0039	----	----	----
<b>Efectos aleatorios</b>						
$\sigma_{\alpha_0}^2$	<0.0001	0.0074	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
$\sigma_{\alpha_1}^2$	0.0034	0.2540	0.0589	0.0029	0.0521	0.0655
$\sigma_{\alpha_0\alpha_1}$	<0.0001	<0.0001	0.0062	0.0002	<0.0001	0.0015
$\sigma_{\text{residual}}^2$	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

<sup>w/</sup>---- = Efecto no ajustado en el modelo.

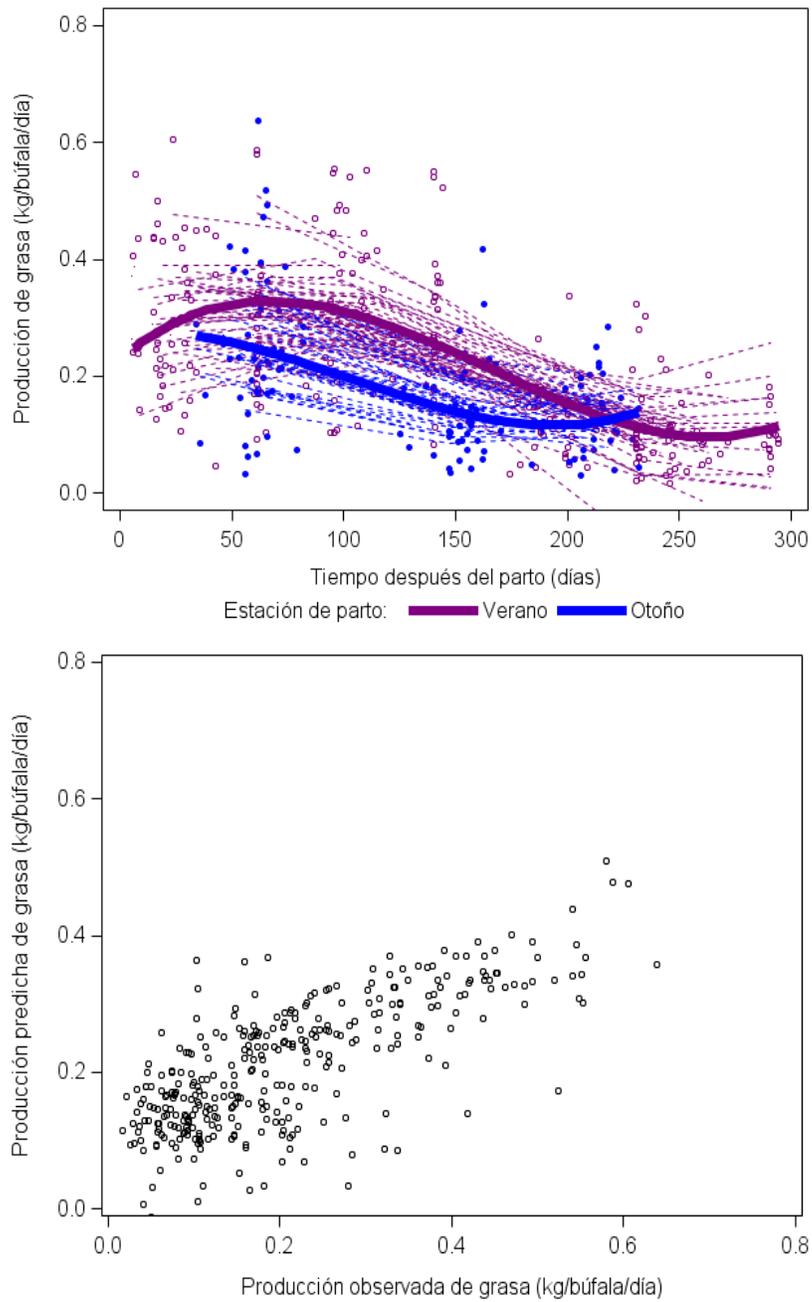
**Cuadro 8. Soluciones de los efectos fijos y aleatorios de los modelos de regresión aleatoria ajustados a la producción de leche, grasa, proteína, lactosa, sólidos totales (ST) y caseína de búfalas de agua (*Bubalus bubalis*) manejadas en pastoreo de praderas tropicales en Veracruz, México**

	Producción (kg/búfala/día) de: <sup>w/</sup>					
	Leche	Grasa	Proteína	Lactosa	Sólidos totales	Caseína
<b>Efectos fijos<sup>x/</sup></b>						
Medias de cuadrados mínimos por estación de parto						
Otoño	3.10 ± 0.18 <sup>b</sup>	0.192 ± 0.015	0.155 ± 0.009	0.157 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.542 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.130 ± 0.007 <sup>b</sup>
Verano	3.77 ± 0.14 <sup>a</sup>	0.230 ± 0.009	0.177 ± 0.007	0.195 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.640 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.152 ± 0.006 <sup>a</sup>
Coeficientes de la regresión fija por estación de parto						
$\beta_0$ Otoño	3.0300 ± 0.23	0.192 ± 0.02	0.152 ± 0.013	0.152 ± 0.012	0.525 ± 0.037	0.129 ± 0.009
$\beta_0$ Verano	3.7100 ± 0.20	0.221 ± 0.01	0.177 ± 0.009	0.191 ± 0.010	0.618 ± 0.031	0.152 ± 0.008
$\beta_1$ Otoño	0.9597 ± 0.23	-0.045 ± 0.08	-0.037 ± 0.037	-0.056 ± 0.012	-0.185 ± 0.042	-0.022 ± 0.009
$\beta_1$ Verano	0.9376 ± 0.11	-0.140 ± 0.01	-0.025 ± 0.005	-0.058 ± 0.006	-0.226 ± 0.019	-0.031 ± 0.004
$\beta_2$ Otoño	-1.2871 ± 0.35	0.102 ± 0.05	-0.088 ± 0.024	-0.053 ± 0.018	-0.022 ± 0.068	-0.052 ± 0.014
$\beta_2$ Verano	-0.2099 ± 0.12	-0.039 ± 0.01	-0.002 ± 0.006	-0.008 ± 0.006	-0.060 ± 0.022	-0.000 ± 0.005
$\beta_3$ Otoño	----	0.062 ± 0.10	-0.024 ± 0.044	----	----	----
$\beta_3$ Verano	----	0.073 ± 0.01	0.020 ± 0.007	----	----	----
<b>Efectos aleatorios</b>						
$\sigma_{\alpha_0}^2$	1.2086 ± 0.19	1.8E <sup>-3</sup> ± 7.3E <sup>-4</sup>	2.7E <sup>-3</sup> ± 4.6E <sup>-4</sup>	3.6E <sup>-3</sup> ± 5.7E <sup>-4</sup>	2.7E <sup>-2</sup> ± 4.9E <sup>-3</sup>	1.9E <sup>-4</sup> ± 3.2E <sup>-4</sup>
$\sigma_{\alpha_1}^2$	0.4289 ± 0.16	1.1E <sup>-3</sup> ± 1.6E <sup>-3</sup>	5.3E <sup>-4</sup> ± 3.4E <sup>-4</sup>	1.2E <sup>-3</sup> ± 4.5E <sup>-4</sup>	9.1E <sup>-3</sup> ± 5.6E <sup>-3</sup>	3.3E <sup>-4</sup> ± 2.2E <sup>-4</sup>
$\sigma_{\alpha_0\alpha_1}$	-0.4911 ± 0.13	-3.5E <sup>-3</sup> ± 7.4E <sup>-4</sup>	-7.7E <sup>-4</sup> ± 2.8E <sup>-4</sup>	-1.4E <sup>-3</sup> ± 3.7E <sup>-4</sup>	-1.7E <sup>-2</sup> ± 3.6E <sup>-3</sup>	-6.0E <sup>-4</sup> ± 1.9E <sup>-4</sup>
$\sigma_{\text{residual}}^2$	0.5551 ± 0.06	9.7E <sup>-3</sup> ± 1.0E <sup>-3</sup>	1.6E <sup>-3</sup> ± 1.8E <sup>-4</sup>	1.6E <sup>-3</sup> ± 1.8E <sup>-4</sup>	2.3E <sup>-2</sup> ± 2.6E <sup>-3</sup>	1.0E <sup>-3</sup> ± 1.2E <sup>-4</sup>
<b>Indicadores de bondad de ajuste</b>						
-2 Residual Log Likelihood	1047	-513	-945	-914	-107	-1096
AIC	1055	-505	-937	-906	-99	-1088
BIC	1066	-494	-926	-895	-89	-1077

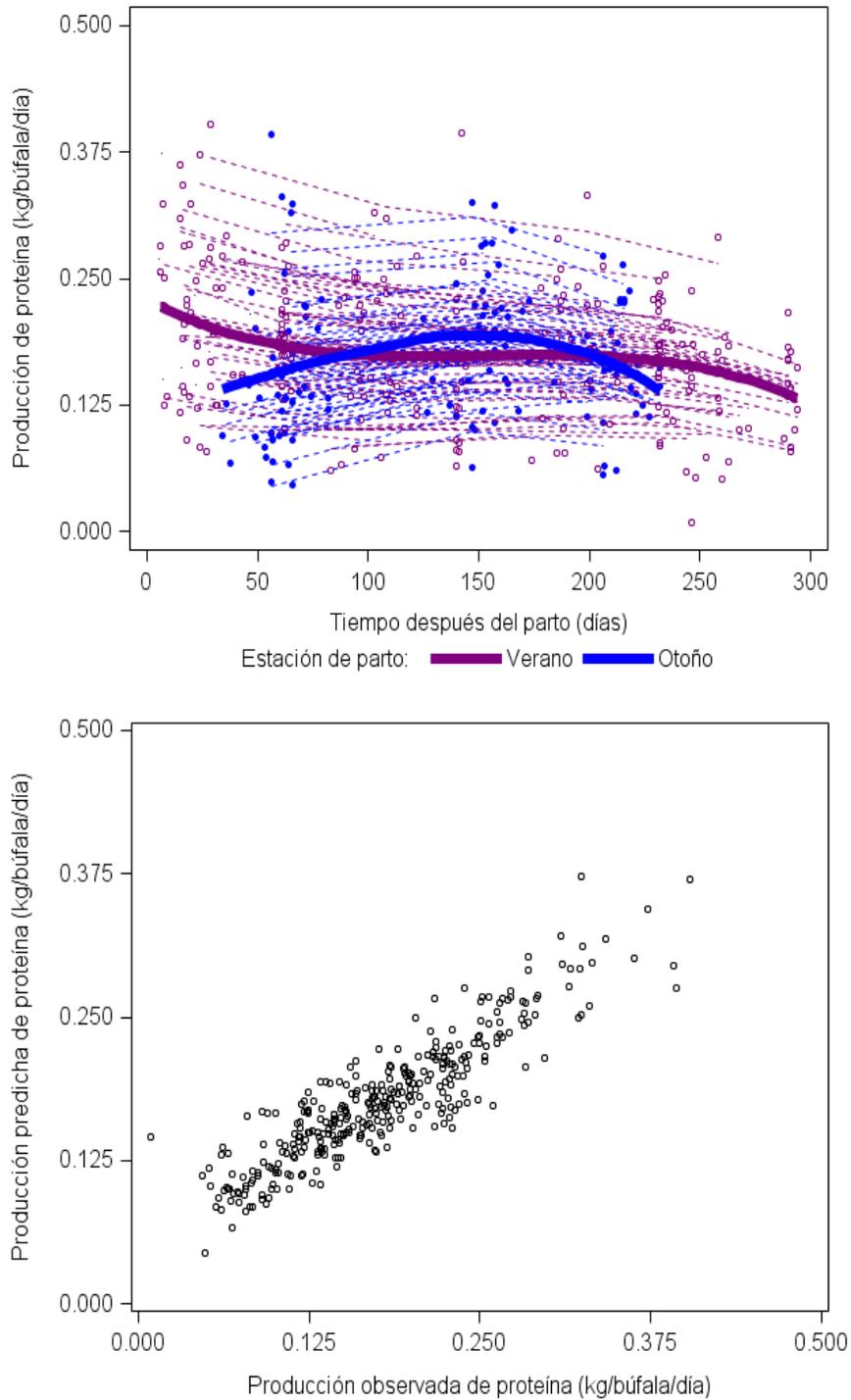
<sup>w/</sup> ---- = Efecto no ajustado en el modelo; <sup>x/</sup> Dentro de categoría de efectos fijos, medias de cuadrados mínimos en la misma columna con diferente literal, son diferentes ( $p < 0.05$ ).



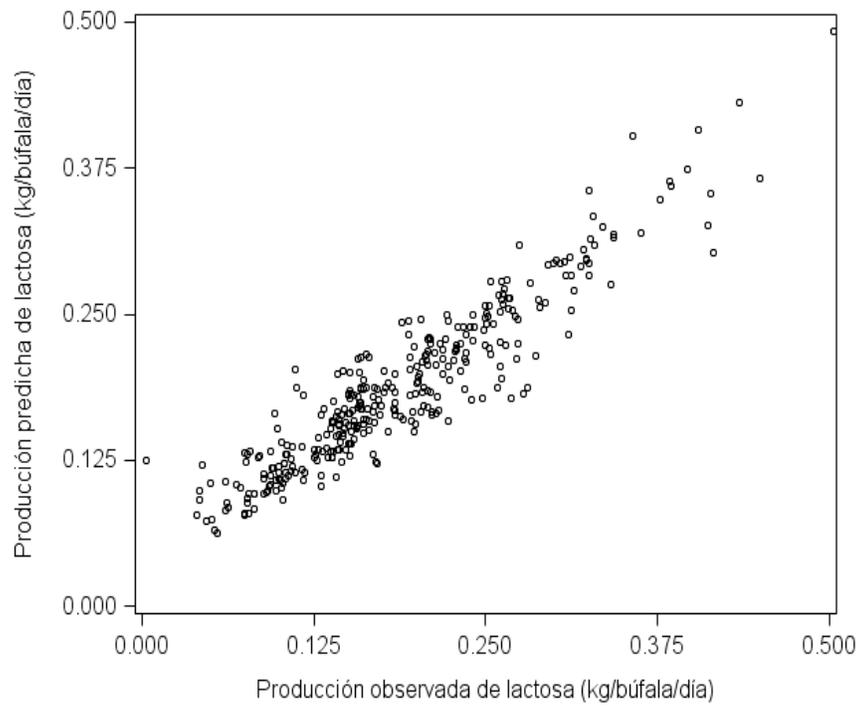
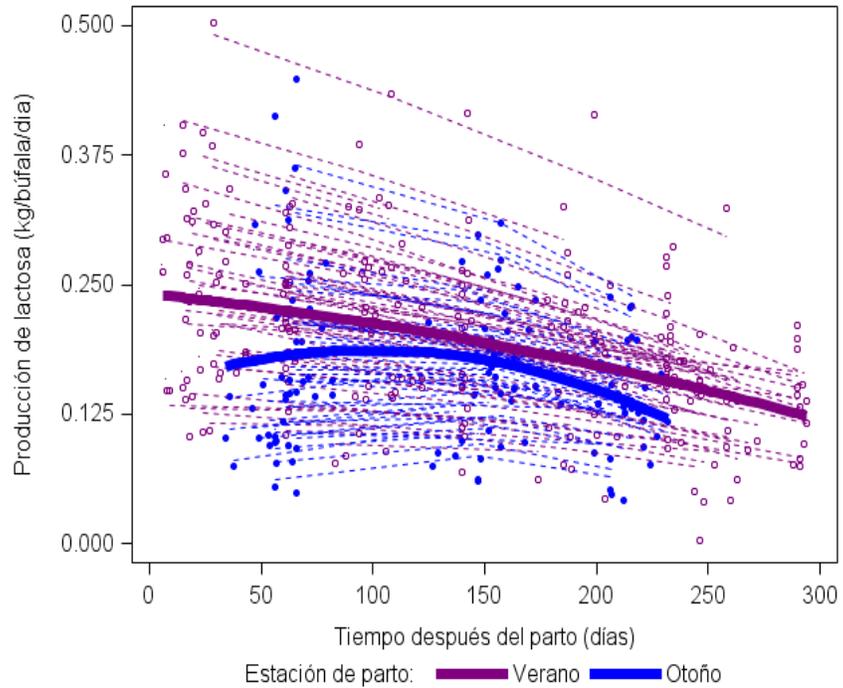
**Figura 5.** Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de leche en el día de



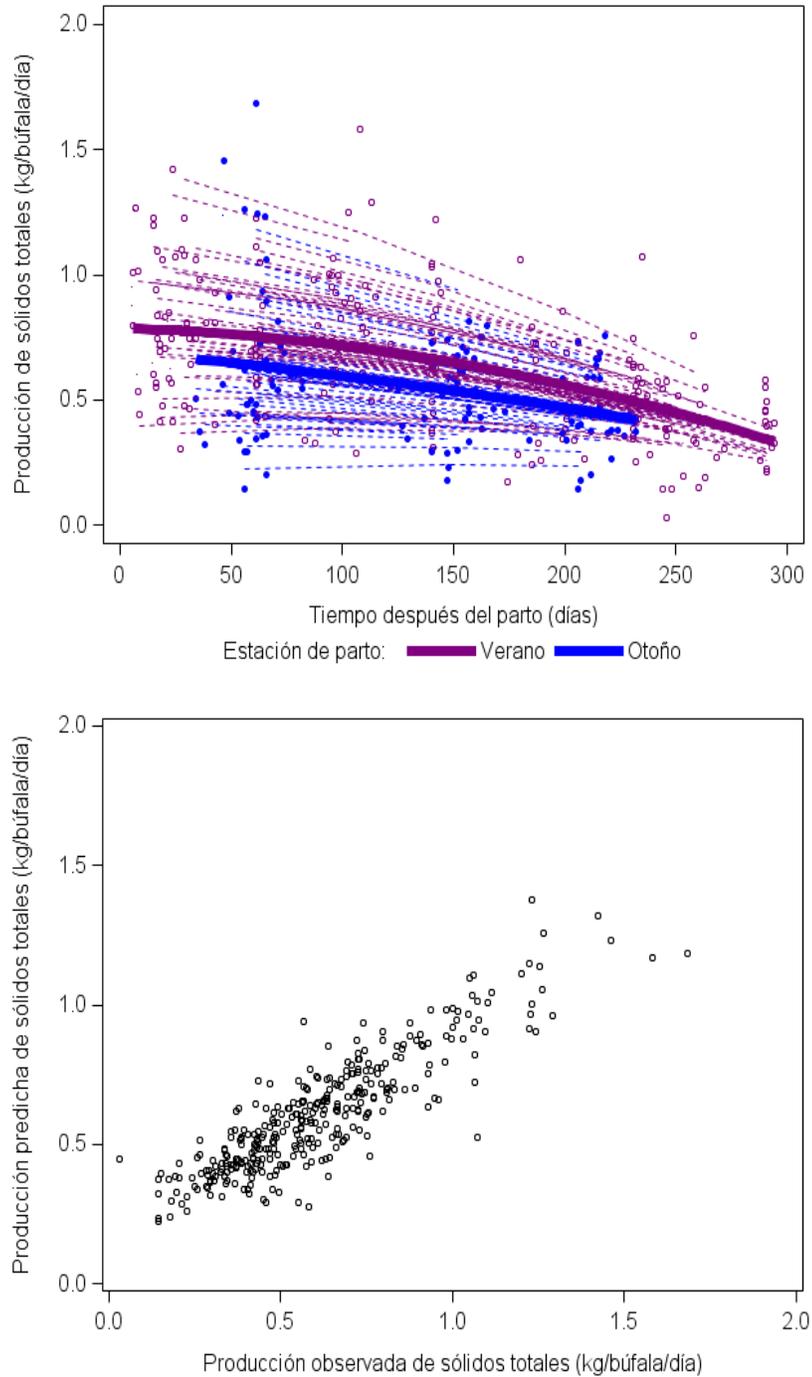
**Figura 6.** Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de grasa en el día de



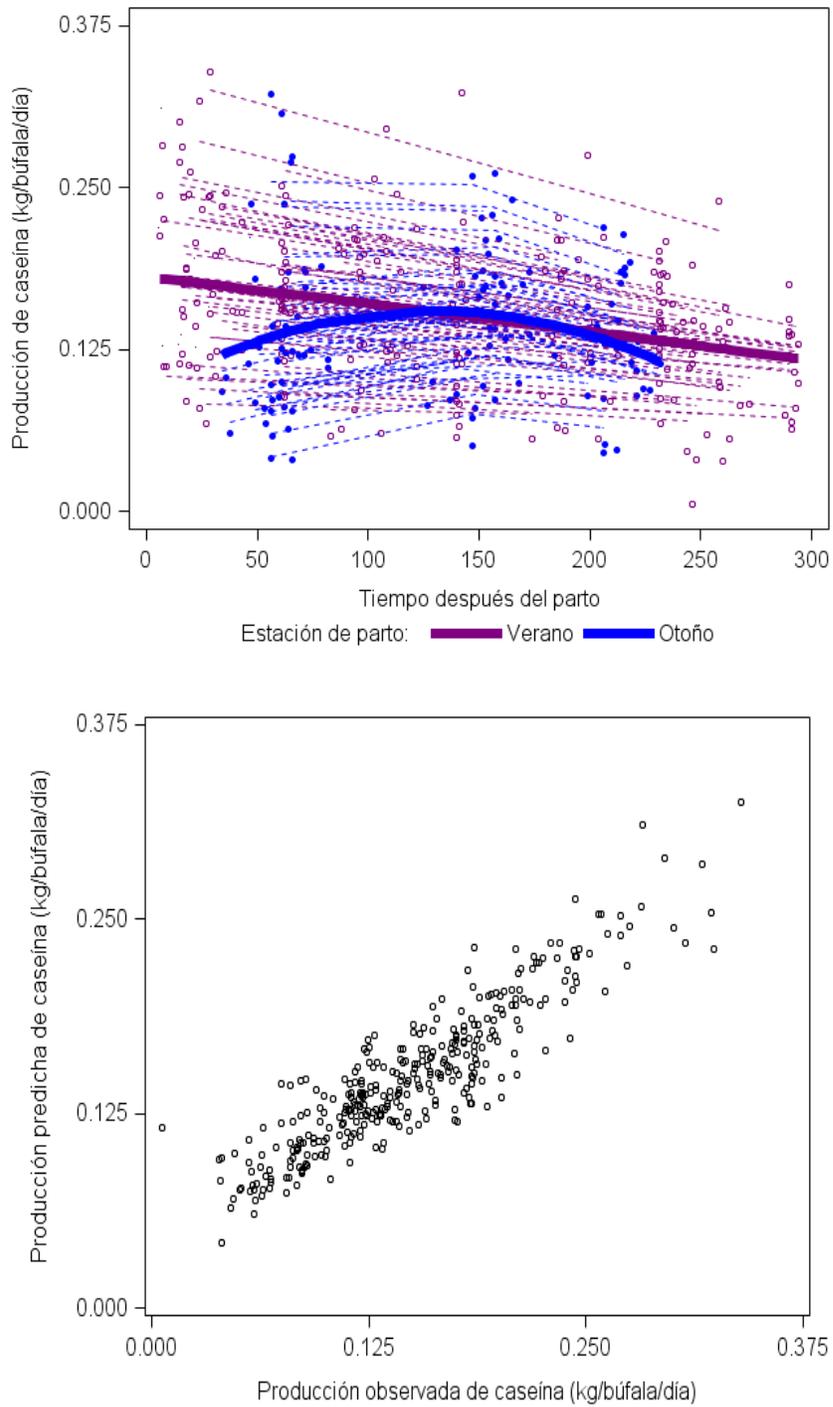
**Figura 7.** Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de proteína en el día



**Figura 8.** Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de lactosa en el día de



**Figura 9.** Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de sólidos totales en



**Figura 10.** Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para la producción de

### 3.4.3 Curvas de composición de la leche

Para los porcentajes de proteína, lactosa y caseína, el modelo de mejor ajuste fue el mismo y consistió de los efectos fijos del número de lactancia, estación de parto, los coeficientes de la regresión fija de un polinomio de Legendre de tercer grado por cada estación de parto, así como los coeficientes aleatorios de un polinomio de Legendre de primer grado.

En el Cuadro 9 se presentan los niveles de significancia del análisis de varianza de los modelos ajustados para los porcentajes de proteína, lactosa y caseína. Las soluciones de los efectos fijos y aleatorios de los modelos de mejor ajuste se presentan en el Cuadro 10. Finalmente las curvas de lactancia respectivas se presentan en las figuras 11 a la 13.

Para los porcentajes de proteína y caseína ( $p < 0.05$ ) hubo mayor producción para las búfalas paridas en otoño, no así para la lactosa donde fue similar en las dos estaciones, las variaciones en la composición de la leche pueden deberse a causas genéticas, fisiológicas y ambientales (Alais, 1984; Walstra y Jenness, 1987).

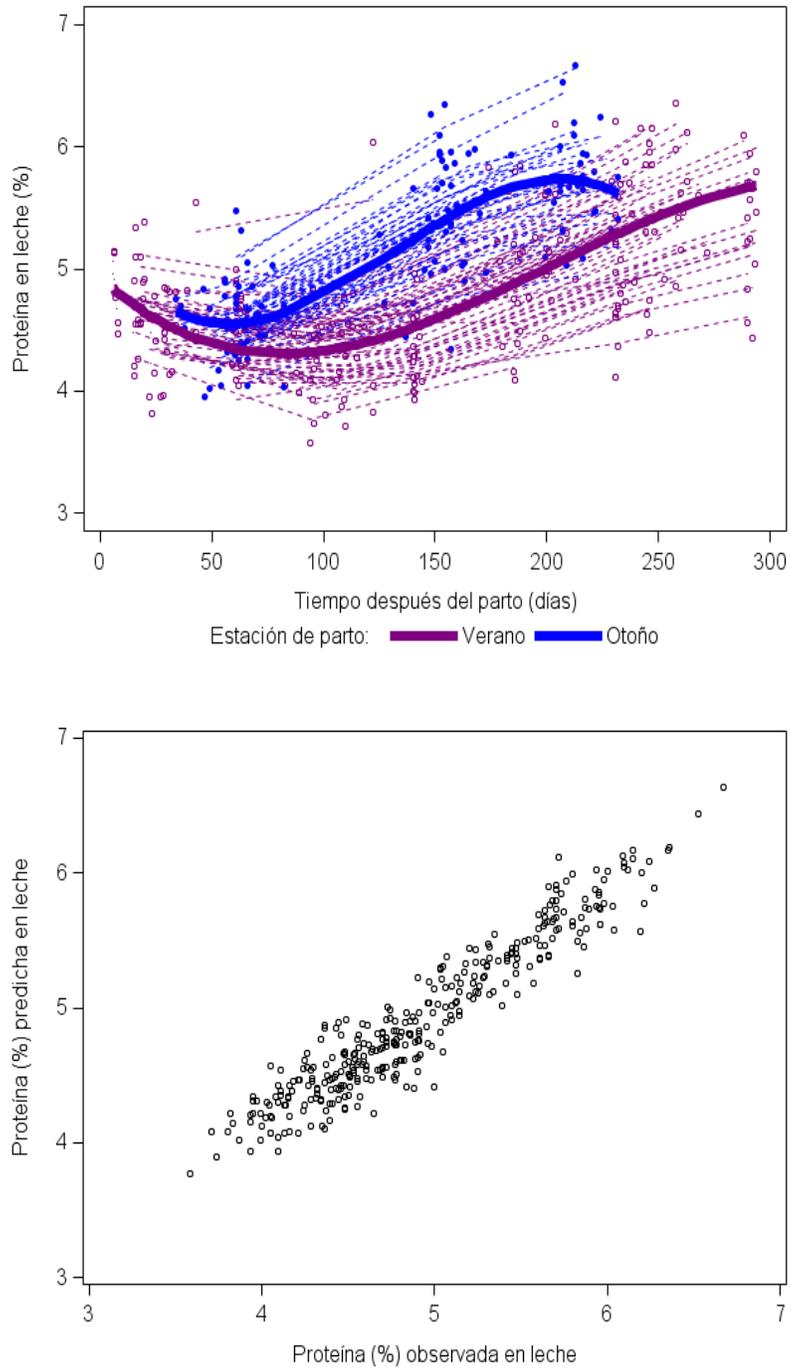
**Cuadro 9. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y aleatorios ajustados en los modelos de mejor ajuste de las regresiones aleatorias para los porcentajes de proteína, lactosa y caseína, en leche de búfalas de agua (*Bubalus bubalis*) pastoreando praderas tropicales en Veracruz, México**

	Proteína (%)	Lactosa (%)	Caseína (%)
<b>Efectos fijos</b>			
Estación de parto	0.0046	0.0968	<0.0001
Número de lactancia	0.4514	0.6487	0.2823
Coeficientes de la regresión fija por estación de parto			
$\beta_0$ Otoño	<0.0001	<0.0001	<0.0001
$\beta_0$ Verano	<0.0001	<0.0001	<0.0001
$\beta_1$ Otoño	0.1650	0.7215	0.4867
$\beta_1$ Verano	<0.0001	<0.0001	0.0059
$\beta_2$ Otoño	0.0005	0.9460	<0.0001
$\beta_2$ Verano	<0.0001	0.5402	<0.0001
$\beta_3$ Otoño	0.0012	0.1473	<0.0001
$\beta_3$ Verano	<0.0001	0.0061	0.1447
<b>Efectos aleatorios</b>			
$\sigma_{\alpha_0}^2$	<0.0001	<0.0001	<0.0001
$\sigma_{\alpha_1}^2$	0.0070	0.0811	0.0043
$\sigma_{\alpha_0\alpha_1}$	0.0002	<0.0001	0.0881
$\sigma_{\text{residual}}^2$	<0.0001	<0.0001	<0.0001

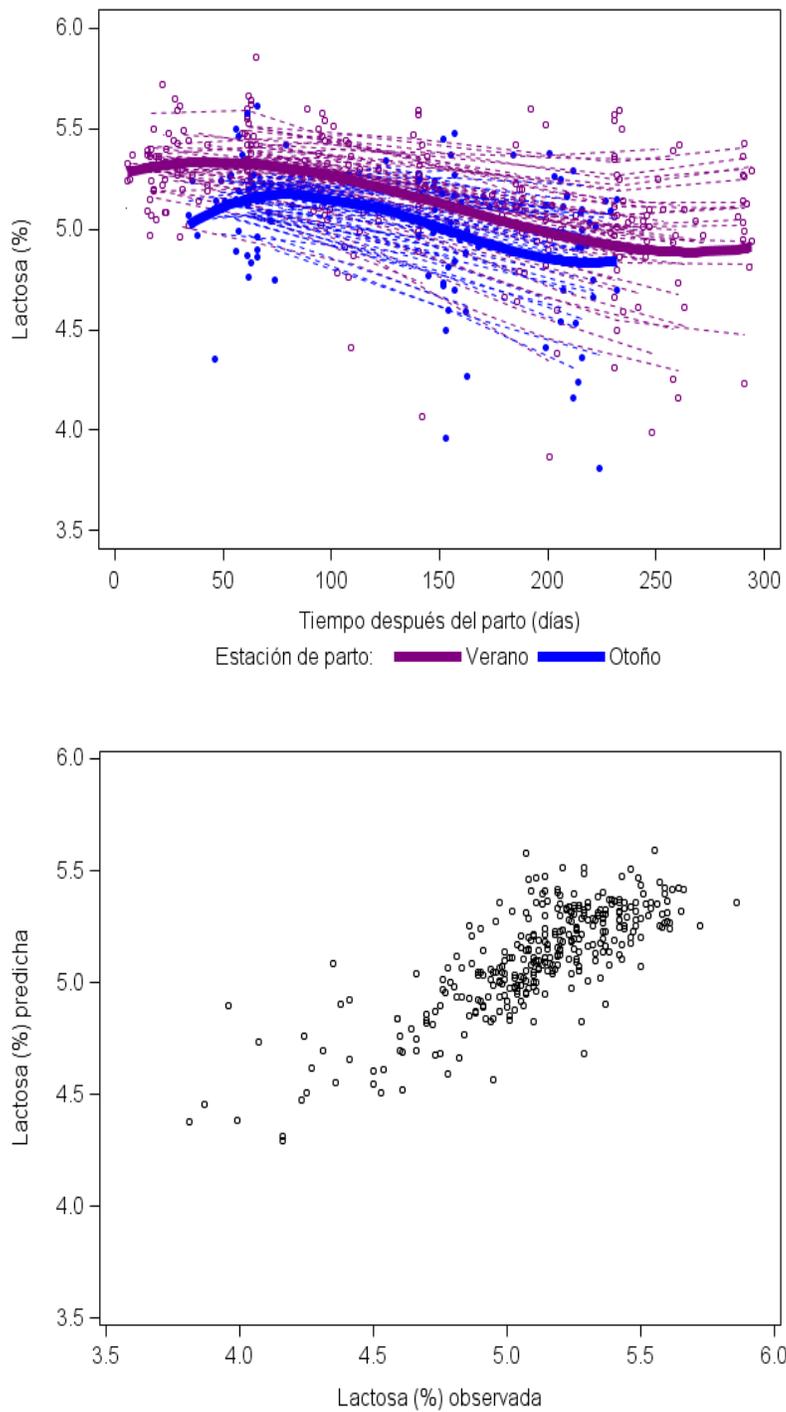
**Cuadro 10. Soluciones de los efectos fijos y aleatorios de los modelos de regresión aleatoria ajustados a los porcentajes de proteína, lactosa y caseína de búfalas de agua manejadas en pastoreo de praderas tropicales en Veracruz, México**

	Proteína (%)	Lactosa (%)	Caseína (%)
<b>Efectos fijos<sup>x/</sup></b>			
Medias de cuadrados mínimos por estación de parto			
Otoño	5.08 ± 0.07 <sup>a</sup>	5.00 ± 0.045	4.22 ± 0.052 <sup>a</sup>
Verano	4.75 ± 0.05 <sup>b</sup>	5.14 ± 0.029	4.04 ± 0.037 <sup>b</sup>
Coeficientes de la regresión fija por estación de parto			
$\beta_0$ Otoño	5.134 ± 0.09	4.981 ± 0.06	4.299 ± 0.058
$\beta_0$ Verano	4.862 ± 0.07	5.095 ± 0.04	4.004 ± 0.052
$\beta_1$ Otoño	0.320 ± 0.23	-0.066 ± 0.19	0.054 ± 0.078
$\beta_1$ Verano	0.677 ± 0.04	-0.289 ± 0.03	0.088 ± 0.032
$\beta_2$ Otoño	-0.544 ± 0.15	-0.009 ± 0.13	0.539 ± 0.115
$\beta_2$ Verano	0.446 ± 0.04	-0.019 ± 0.03	0.181 ± 0.031
$\beta_3$ Otoño	-0.871 ± 0.27	0.311 ± 0.21	-0.511 ± 0.114
$\beta_3$ Verano	-0.251 ± 0.04	0.100 ± 0.04	-0.027 ± 0.019
<b>Efectos aleatorios</b>			
$\sigma_{\alpha_0}^2$	0.136 ± 2.3E <sup>-2</sup>	0.044 ± 9.0E <sup>-3</sup>	0.0698 ± 1.2E <sup>-2</sup>
$\sigma_{\alpha_1}^2$	0.051 ± 2.1E <sup>-2</sup>	0.013 ± 9.0E <sup>-3</sup>	0.0205 ± 7.8E <sup>-3</sup>
$\sigma_{\alpha_0\alpha_1}$	0.065 ± 1.7E <sup>-2</sup>	0.034 ± 8.0E <sup>-3</sup>	0.0130 ± 7.6E <sup>-3</sup>
$\sigma_{\text{residual}}^2$	0.062 ± 8.0E <sup>-3</sup>	0.470 ± 5.0E <sup>-3</sup>	0.0429 ± 5.2E <sup>-3</sup>
<b>Indicadores de bondad de ajuste</b>			
-2 Residual Log Likelihood	292	69	175
AIC	300	77	183
BIC	311	88	194

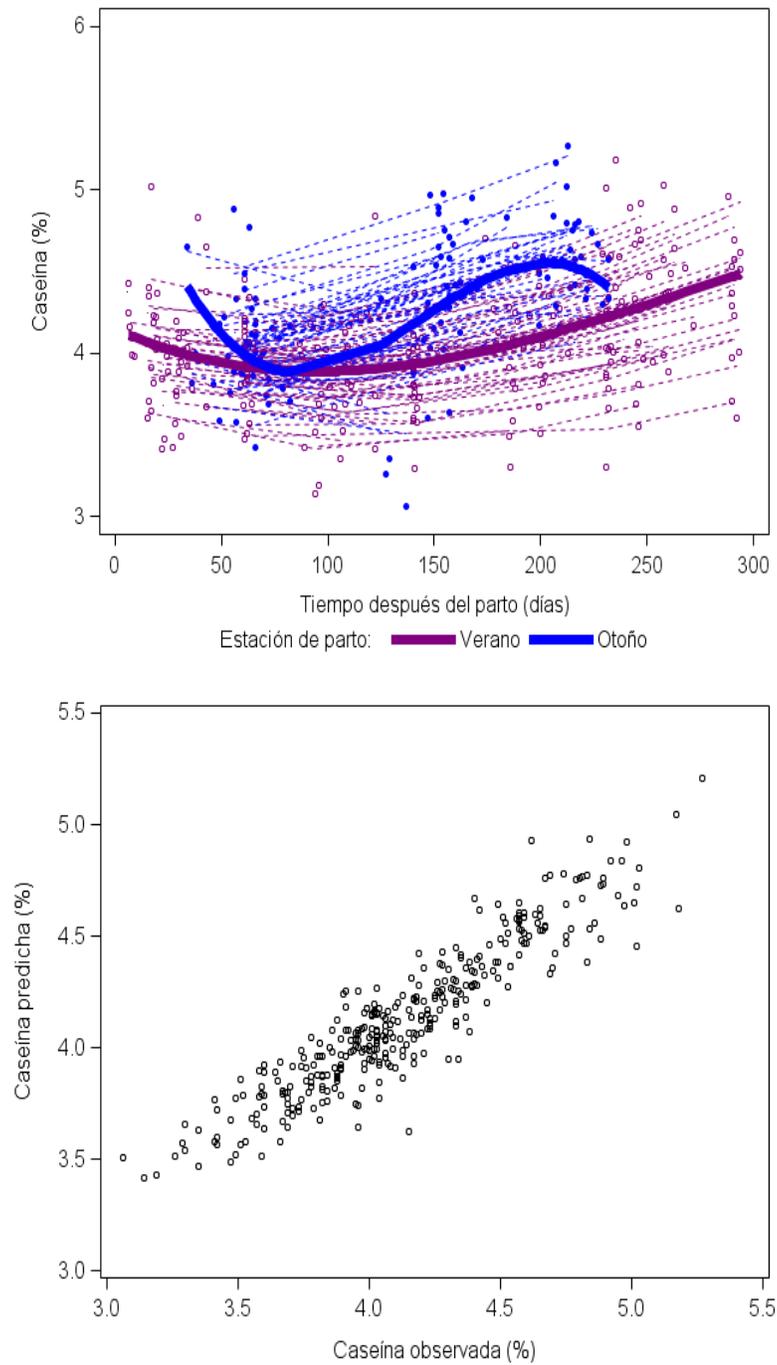
<sup>x/</sup> Dentro de categoría de efectos fijos, medias de cuadrados mínimos en la misma columna con diferente literal, son diferentes (p < 0.05).



**Figura 11.** Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para el porcentaje de



**Figura 12.** Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para el porcentaje de



**Figura 13.** Regresiones fijas por estación de parto (líneas sólidas) y regresiones aleatorias individuales (líneas quebradas) de búfalas de agua (panel superior); diagrama de dispersión de valores observados y predichos (panel inferior) para el porcentaje de caseína en leche en el día de muestreo.

### 3.5 CONCLUSIONES

Las curvas de lactancia de búfalas de agua despliegan tendencias lineales decrecientes para producción diaria de leche, lactosa, y caseína, o ligeramente curvas para producción diaria de proteína y sólidos totales. En las condiciones de clima tropical y manejo alimenticio basado en pastoreo del hato comercial muestreado, las búfalas paridas en verano producen más leche y sólidos totales por lactancia que las paridas en otoño. En el rango de 1 a 3 lactancias, los componentes físico-químicos de la leche permanecen constantes.

### 3.6 AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la DGIP por el apoyo económico otorgado al primer autor durante sus estudios de nivel Maestría.

### 3.7 LITERATURA CITADA

- Alais, C. 1984. Ciencia de la leche. Principios de Técnica Lechera. 5ta Edición. Ed. Reverté S. A. Barcelona. pp:21-26.
- Colmenares, O. y Cermeño, H. 1997. Análisis preliminar de curvas de lactancia en el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) en la zona sur del estado Táchira, Venezuela. Archivo Latinoamericano de Producción Animal 5(1): 417-419.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2007 El búfalo de agua. <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/animales-lecheros/bufalos-de-agua/es/#.Uld0gtLmPz8>. Consultada el 20 de enero de 2014.

- Fraga, L. M., M. Gutiérrez, L. Fernández, O. Fundora y M. E. González. 2003. Estudio preliminar de las curvas de lactancia en las búfalas mestizas de Murrah. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 37: 151-155.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, para Adaptarlo a la República Mexicana. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. pp: 252.
- García, Y., M. Fraga L., G. Guzmán, M. Mora, D. García, y E. Padrón. 2013. Estimación de la curva media de lactancia de búfalas mestizas (Buffalypso x Carabao). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 47(2): 131-136.
- Han, B. Z., Y. Meng, M. Li, Y. X. Yang, F. Z. Ren, Q. K. Zeng, and M. J. R. Nout. 2007. A survey on the microbiological and chemical composition of buffalo milk in China. *Food Control* 18(6): 742-746.
- Hanford, K. 2005. Repeated Measures Data – Random Coefficients Models. Lecture Notes – Statistics 892 – Mixed Models – Spring 2005 –. page 132. [Accessed: 18-february-2013] 165. [ftp://tech.obihiro.ac.jp/suzuki/mixed\\_model.pdf](ftp://tech.obihiro.ac.jp/suzuki/mixed_model.pdf)
- Hurtado-Lugo, N. A., M. F Cerón-Muñoz, M. I. Lopera, A. Bernal and T. Cifuentes. 2005. Determination of physical and chemical parameters of Buffalo milk in an organic production system. *Livestock Research for Rural Development* 17(1)<http://www.lrrd.org/lrrd7/1/hurt17001.htm>. Consultado el 5 de noviembre de 2014.
- INEGI. 2005. Información nacional, por entidad federativa y municipio. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/>. Consultado el 26 de enero de 2016.

- Khan, M. A. S., M. N. Islam., and M. S. R. Siddiki. 2007. Physical and chemical composition of swamp and water buffalo milk: a comparative study. *Italian Journal of Animal Science* 6(2): 1067-1070.
- Méndez, M., M. y L. M. Fraga B. 2009. La curva de lactancia de búfalas (*Bubalus bubalis*) en la provincia de Gramma a través de modelos matemáticos. *Revista electrónica de veterinaria*. España. 10(5). Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050509/050902.pdf>. Consultado el 6 de abril de 2015.
- Montiel, N., S., F. Angulo S. y F. Perozo. 2000. Variaciones en los parámetros productivos en búfalas mestizas de primer y segundo parto en un bosque muy seco tropical en Venezuela. *In: I Congreso Internacional sobre Mejoramiento Animal (CIMA)*. La Habana, Cuba. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000103&pid=S1794-4449200800010000600016&lng=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000103&pid=S1794-4449200800010000600016&lng=pt). Consultado el 19 de agosto de 2015.
- Patiño, E. M., F. I. Méndez, E. L. Faisal, J. F. Cedrés, L. G. Gómez y M. C. Guanziroli S. 2003. Composición de leche de búfalas de raza Murrah y mestizas Murrah x Mediterráneo. <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2002/04-Veterinarias/V-039.pdf>. Consultada el 15 de agosto de 2014.
- Patiño, E. M. y M. C. Guanziroli S. 2005. Composición de leche de búfala (*Bubalus bubalis*) de raza Jafarabadi en Corrientes, Argentina. *Revista Electrónica de Veterinaria* 6(5) <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050505.html>. Consultado el 25 de agosto de 2015.

- Quintero, J. C., J. I. Serna, N. A. Hurtado, R. Rosero N. y M. F. Cerón-Muñoz. 2007a. Modelos matemáticos para curvas de lactancia en ganado lechero. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 20: 149-156.
- Quintero, V., J., J. Serna G. and M. Cerón-Muñoz 2007b. Non linear mixed models to describe buffalo milk yield curve in an organic production system in Magdalena Medio Antioqueño (Colombia). Livestock Research for Rural Development 19(4) <http://www.lrrd.org/lrrd19/4/quin19052.htm>. Consultado el 12 de mayo de 2015.
- Quintero, V., J. C., J. Serna G., M. Cerón M., N. Hurtado L. y D. A. Agudelo G. 2008. Estimación de la curva de lactancia mediante modelos matemáticos lineales y no lineales en búfalas colombianas. Revista Lasallista de Investigación 5(1): 34-44.
- SAS (Statistical Analysis System). 2009. SAS/STAT 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 564 p.
- Sodi, S. S., M. L. Mehra, A. K. Jain and P. K. Trehan. 2008. Effect of non-genetic factors on the composition of milk of Murrah buffaloes. Indian Veterinary Journal 85: 950-952.
- Tufarelli, V., M. Dario and V. Laudadio. (2008). Diet composition and milk characteristics of Mediterranean water buffaloes reared in South Eastern Italy during spring season. Livestock Research Rural Development 20(10) Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd20/10/tufa20165.htm>. Consultado el 5 de octubre de 2014.

Walstra, P. and R. Jenness. 1987. Química y Física Lactológica. Acribia. Zaragoza, España. pp: 423.

## **4 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LECHE DE BÚFALA**

Santiago-Hernández N., Aranda-Osorio G. y García-Muñiz. J. G.

## 4.1 INTRODUCCIÓN

El búfalo de agua es una especie con características zootécnicas muy apreciables tanto para la producción de leche como para carne, además es un animal muy dócil cuando ha sido manejado (Rosales y WingChing-Jones, 2007; De la Cruz-Cruz *et al.*, 2014).

El búfalo de agua tuvo su origen en Asia y se piensa que su aparición se dio hace 10 mil años. La especie *Bubalus bubalis* comprende 19 razas diferentes (Cadoppi, 2003). Entre éstas, la raza Buffalypso originada en Trinidad y Tobago es la más común de encontrar en nuestro territorio.

La producción de búfalos representa una opción importante como fuente de ingresos en aquellos lugares ganaderos que se ubican en zonas poco aprovechables por los bovinos como: zonas inundables con climas tropical y subtropical y en pastizales naturales de bajo valor nutritivo (Crudeli *et al.*, 1997 y Crudeli *et al.*, 2004).

La producción de leche en Rancho Los Gavilanes comenzó en 2010 y desde entonces se ha ido incrementado el número de búfalas en ordeña por lo que el objetivo del presente trabajo fue caracterizar el sistema de producción de leche en un sistema de pastoreo, en el trópico mexicano.

## 4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.2.1 Localización

La información fue tomada del rancho “Los Gavilanes” ubicado en el ejido de Sehaulaca, Municipio de Hidalgotitlán región de Las Selvas, Veracruz con una Latitud Norte 18° 13', Longitud Oeste 94° 50' a 360 msnm. El clima de la zona, según la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), es **A (w"2) (i' ) g**, el cual corresponde a un clima cálido húmedo con lluvias en verano, con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 12, y precipitación del mes más seco menor a 60 mm, con temperaturas máximas de 33°C, temperaturas medias de 25°C y temperaturas mínimas de 19°C.

## **4.2.2 Metodología de muestreo**

Para la recopilación de la información se aplicó una encuesta en agosto de 2014 con 6 ejes temáticos bajo el enfoque de sistemas (Von Bertalanffy, 1987). Estos contemplan: información general del rancho, estructura del hato, manejo sanitario, manejo alimenticio, manejo reproductivo y comercialización.

## **4.2.3 Análisis estadístico**

El análisis estadístico se obtuvo mediante medidas de tendencia central, desviación estándar con el fin de obtener los índices económicos y productivos de la unidad de producción.

# **4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## **4.3.1 Caracterización de la producción**

En México la producción de búfalo de agua es reciente, hace aproximadamente 30 años se introdujeron los primeros búfalos a México por el Sr. Eduardo Maitre; en Argentina la introducción fue en el siglo XX y en Costa Rica fue en 1975 (Rosales y WingChing-Jones, 2007; Patiño *et al.*, 2002); actualmente la presencia de la especie ha ido creciendo en México y se explota tanto para carne como para leche. El Rancho Los Gavilanes se dedica a la producción de leche desde el 2010 y cuenta con 650 búfalas de la raza Buffalypso.

## **4.3.2 Caracterización del sistema**

**Estructura del hato.** De las 650 hembras, 32.3% son hembras en producción, 24.6% novillonas (hembras de primer servicio al primer parto), y 43.1% son búfalas secas. El rancho cuenta con 15 sementales búfalos los cuales vienen de otras explotaciones de la zona sureste del país; los bucerros (así llamadas a las crías de los búfalos) generalmente permanecen con sus madres hasta el destete (7 meses) los cuales en su mayoría se venden para su recría y posterior engorda; en el caso de las hembras (bucerras) pasan por un proceso de

selección (generalmente aspectos fenotípicos) para constituirse en reemplazos y el resto son vendidas para producción de carne.

**Manejo sanitario.** Se asume erróneamente que el búfalo es un animal muy resistente, rústico y que no necesita de ningún manejo preventivo de enfermedades (Rosales y WingChing-Jones, 2007). Aunque el búfalo se considera un animal rústico, en sistemas intensivos de producción es importante contar con un calendario de manejo preventivo contra enfermedades y parasitosis. Dado que en nuestro país no se han desarrollado vacunas contra enfermedades del ganado bufalino, se utilizan medicamentos para bovinos. En el caso del Rancho Los Gavilanes, se vacuna sólo contra *Brucella* y se desparasita el ganado a la entrada de época de lluvia y al término de la época de secas.

**Manejo alimenticio.** La fuente principal de alimentación es el pastoreo de las siguientes seis gramíneas: *Cynodon nlemfluensis* (*Estrella mejorado*), *Panicum máximum* (*Guinea*), *Brachiaria* híbrido cv. Mulato, *Brachiaria brizantha*, *Cynodon dactylon* y *Paspalum fasciculatum*, los cuales se encuentran en praderas puras y en praderas mixtas de diferente superficie; el manejo es semejante a lo reportado por Méndez y Fraga (2009) en la provincia de Granma, en Cuba. Para apoyar la alimentación se siembra maíz forrajero para ensilar, lo que constituye el alimento principal durante la ordeña, mismo que se complementa con sales minerales y sal común.

**Manejo reproductivo.** El Rancho no cuenta con un sistema de registro de eventos reproductivos bien establecido, lo que realizan es una recopilación de las fechas de parto. La época de empadre es de noviembre a diciembre y la temporada de parto más alta es de agosto a octubre, aunque hay partos todo el año, y el periodo de gestación para esta raza es de 293-318 días (Campo & Hincapié, 2004). Los sementales son empleados en sistemas de monta continua, es decir los sementales están todo el tiempo con las hembras, los van rotando, pero no se lleva un control adecuado y al ser una población pequeña puede causar consanguinidad. También la mayoría de los bubillos (machos

jóvenes) son enviados a México y Veracruz para ser engordados, por lo que la reproducción se queda en pocos sementales. La tasa de parición es de 90%. Los bucerros son destetados de los 7 a 8 meses de edad con un peso de 220 kg.

**Manejo de la ordeña.** El rancho ordeña de forma manual y mecánica, la ordeña inicia a las 5:00 a.m., las búfalas son traídas de los potreros por los vaqueros, pasan por una fosa de agua para bañarse antes de llegar a la ordeña. En el sistema de ordeña manual las búfalas traen bozal y un lazo para poder amarrarlas, como son animales que apenas están iniciando la lactancia son ariscas, les lavan las ubres (rutina de limpieza) y después se les acerca a los bucerros; a las que no les baja la leche se les aplica vía intramuscular una dosis de oxitocina para ayudar con la bajada de leche. Al terminar el ordeño se sueltan los bucerros para que se amamenten de la leche residual. Solo se realiza un ordeño al día, y después del ordeño las búfalas son llevadas a los potreros junto con las crías y por la tarde (5:00 p.m.) los bucerros son separados de las búfalas y llevados a otro corral.

Las búfalas que ya están más acostumbradas a la ordeña son trasladadas a la ordeña mecánica, esto se hace por cuestiones de manejo, ya que los ordeñadores no se dan abasto con todas las búfalas.

El sistema de ordeña mecánica cuenta con una sala de ordeño con 8 plazas. Todas las búfalas al llegar a la sala de ordeña reciben vía intramuscular una dosis de oxitocina para ayudar con la bajada de leche. Al finalizar el ordeño las búfalas se van al mismo potrero que las crías y por la tarde los grupos se separan alrededor de la 5 pm.

Varios autores de Sudamérica reportan un ordeño en búfalas solo con ayuda del bucerro para la bajada de leche (Méndez y Fraga, 2009; Fraga *et al.*, 2003; García *et al.*, 2012), ya que no se encontró aplicación de oxitocina en estos estudios.

**Comercialización.** La leche bronca se vende cada tercer día a una empresa en Veracruz que se dedica a la producción de quesos. El precio que se recibe es de \$7.80 por litro. Las crías (hembras y machos) que, desde el punto de vista del dueño del rancho, tienen características deseables son seleccionadas para quedarse en el rancho como reemplazos. Los demás animales son separados a otro corral y cuando alcanzan alrededor de 300 kg se entregan como pago en especie por los vientres recibidos al inicio del proyecto. Las hembras que salen positivas a *brucella* son desechadas.

#### 4.4 CONCLUSIONES

El sistema de producción de búfalo de agua en México es poco conocido, por lo que se desconocen los beneficios productivos y económicos de estos animales. Se recomienda hacer más investigaciones para tener un manejo más adecuado, así como abrir frontera con las respectivas medidas sanitarias para poder mejorar la producción de leche de búfala en el país.

#### 4.5 LITERATURA CITADA

- Cadoppi, C. A. 2003. Cría de búfalos para carne en el Delta Entrerriano. Sitio Argentino de Producción Animal. 28(323): 26-30. [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar). Consultada el 9 de octubre de 2015.
- Campo, E. & J. Hincapié H. 2004. Búfalos de agua. La especie del tercer milenio. Libro electrónico. UNAH. pp: 1
- Crudeli, G., P. Maldonado V. y S. M. Flores B. 1997. Reproduction of buffaloes in the northeast of Argentina. In: 5th World Buffalo Congress. Caserta Italy. pp: 779 - 782.
- Crudeli, G. A., E. M. Patiño, F. Cedrés J., J. González F., P. Maldonado V., O. Racciopi, M. Zava y G. Pellerano. 2004. El búfalo doméstico: Origen, distribución y razas. En: Búfalos en Argentina. Moglia S. R. L. Corrientes, Argentina. pp: 9-23.

- De la Cruz-Cruz, L., E. Maitre-Guichard, J. Gasperín-Marín, I. Guerrero-Legarreta y D. Mota-Rojas 2014. El Bienestar del Búfalo de Agua en Sistemas Agrosilvopastoriles. Entorno Ganadero. No. 65. Disponible en: <http://bmeditores.mx/el-bienestar-del-bufalo-de-agua-en-sistemas-agrosilvopastoriles/> Consultado el 9 de octubre de 2015.
- Fraga, L.M., M. Gutiérrez, L. Fernández, O. Fundora y M. E. González. 2003. Estudio preliminar de las curvas de lactancia en las búfalas mestizas de Murrah. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 37(2):151-155.
- García, E.1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, para Adaptarlo a la República Mexicana. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- García, Y., M. Fraga L., G. Guzmán, M. Mora, D. García, y E. Padrón. 2012. Evaluación del comportamiento lechero de búfalas mestizas (Buffalypso x Carabao). Revista Cubana de Ciencia Agrícola 46(4): 357-363.
- Méndez, M., M. y L. M. Fraga B. 2009. La curva de lactancia de búfalas (*Bubalus bubalis*) en la provincia de Granma a través de modelos matemáticos. Revista electrónica de veterinaria. España. 10(5). Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050509/050902.pdf>. Consultado el 6 de abril de 2015.
- Patiño, E. M., F. I. Méndez, J. F. Cedrés y M. C. Guanziroli S. 2002. Caracterización de leche de búfalas mestizas en pastizales naturales de Corrientes, Argentina. Nota técnica. Revista Argentina de Producción Animal 22(3): 199-202.
- Rosales, R., R. y R. WingChing-Jones. 2007. Sistemas de producción bufalinos en Costa Rica. I. Cuantificación de la población y caracterización de los sistemas. Nota técnica. Agronomía Costarricense. 31(2): 65-69.

Von Bertalanffy, L. 1987. Teoría general de los sistemas. Fondo de Cultura Económica, México. pp: 100.