



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA LECHE DE BÚFALA (*Bubalus bubalis*)

MIGUEL ALEJANDRO CABRERA CRUZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Características físico químicas de la leche de búfala (*Bubalus bubalis*)**, realizada por el estudiante: **Miguel Alejandro Cabrera Cruz**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

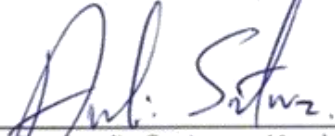
DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

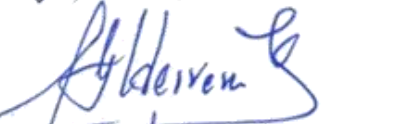
CONSEJERA


Dra. María Esther Ortega Cerrilla

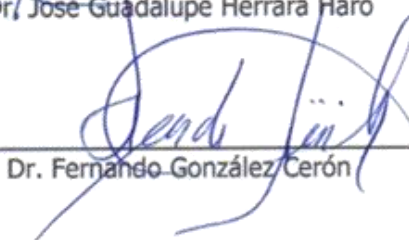
ASESOR


Dr. Amalio Santacruz Varela

ASESOR


Dr. José Guadalupe Herrera Haro

ASESOR


Dr. Fernando González Cerón

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2022

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA LECHE DE BÚFALA (*BUBALUS* *BUBALIS*)

Miguel Alejandro Cabrera Cruz, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

El búfalo de agua se ha convertido en una excelente alternativa en los sistemas de producción pecuarios, su resistencia a enfermedades, su alto aprovechamiento del alimento, su baja incidencia de mastitis, son algunas características que ha permitido la introducción y aceptación de la especie en América Latina. La presente investigación se llevó a cabo en el municipio de Hidalgotitlán, Veracruz. Se analizaron animales de la raza Mediterránea y Buffalypso en tres periodos de la lactación. Las muestras de leche fueron colectadas por medio de ordeña manual en frascos estériles con capacidad de 50 mL. Para el análisis físico químico se utilizó el equipo MilkoScan™ FT2 y el método de FAME para la determinación de ácidos grasos de cadena larga. Los datos obtenidos se analizaron por medio de un análisis descriptivo, los resultados mostraron que la proteína ($4.30 \pm 0.56\%$), caseína ($3.41 \pm 0.51\%$), grasa ($3.91 \pm 1.06\%$) y lactosa ($5.11 \pm 0.46\%$) presentaron un promedio que coincide con lo publicado por algunos autores. La cantidad de ácidos grasos de cadena larga tuvieron un comportamiento decreciente en el total del porcentaje de ácidos grasos saturados (64.51 a 54.44%) y creciente en ácidos grasos mono-insaturados (25.26 a 34.35%), Se observó que los parámetros fisicoquímicos de la leche de búfala, obtenidos durante el periodo de lactación principalmente grasa, lactosa, proteína y caseína total, fueron similares a los reportados por otros autores, los que podrían mejorarse, considerando que aún no se cuenta con un programa de mejoramiento y manejo del búfalo para la producción de leche en México.

Palabras clave: Buffalypso, búfalo de agua, leche, análisis fisicoquímico, producción bufalina.

PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BUFFALO MILK (BUBALUS BUBALIS)

Miguel Alejandro Cabrera Cruz, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

ABSTRACT

The water buffalo has become an excellent alternative to other livestock in production systems. Its resistance to diseases, better feed digestibility, and low incidence of mastitis are some characteristics that have favored the introduction and acceptance of these in animals in Latin America. The present study was carried out in the municipality of Hidalgotitlán, Veracruz. Water buffalos of the Mediterranean and Buffalypso breeds were used in three lactation periods. The milk used to determine long-chain fatty acid samples was collected manually in sterile bottles with a capacity of 50 mL to analyze their physical-chemical characteristics. A MilkoScan™ FT2 equipment and the FAME method were used to determine long-chain fatty acids. A descriptive analysis was used to analyze the data. The results showed that the protein ($4.30 \pm 0.56\%$), casein ($3.41 \pm 0.51\%$), fat ($3.91 \pm 1.06\%$), and lactose ($5.11 \pm 0.46\%$) showed values that coincided with those published. The number of long-chain fatty acids decreased concerning the total percentage of saturated fatty acids (64.51 to 54.44%). The monounsaturated fatty acids increased (25.26 to 34.35%). It was found that the physicochemical characteristics of buffalo milk obtained during the lactation period, mainly fat, lactose, protein, and total casein, were similar to those reported by other authors. These characteristics could be improved, considering there is still no improvement and management program for buffalo milk production in Mexico.

Keywords: Buffalypso, water buffalo, milk, physicochemical analysis, buffalo production.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por confiar en mi por medio de la beca otorgada, la cual permitió realizar mis estudios de Posgrado.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, por la oportunidad de la formación profesional y humana que me brindó.

A la Dra. María Esther Ortega Cerrilla, por la paciencia y cariño que me brindó a lo largo de este camino, durante toda mi vida estaré eternamente agradecido.

A mi Consejo Particular, por los consejos y oportunidades brindadas. Muchas gracias.

Al señor Diego Morales por darme la oportunidad de trabajar con sus animales, dando todas las facilidades para los muestreos.

A mis compañeros y hermanitos presentes y no presentes.

Al personal administrativo y de apoyo, muchas gracias por todo.

Muchas gracias

DEDICATORIAS

**A mis hijas y mi esposa, que son las más felices del termino de esta etapa y la
forma de realizarme profesionalmente**

A mi mamá que me sigue acompañando desde el inicio... lo seguimos logrando

A mi hermana y mi cuñado Sergio que los quiero con todo el corazón

A los Pachones

Es por y para ustedes

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIAS	vi
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
Producción de leche de búfalo.....	2
El búfalo en México y América Latina	3
Características de la leche de búfala	5
Proteína	7
Grasa	8
Lactosa	11
III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	12
Objetivos.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos	12
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
Localización del área experimental.....	13
Muestreo.....	14
Características físico-químicas de la leche de búfalo	14

Determinación de ácidos grasos de cadena larga	15
Extracción de grasa.	15
Proceso de transesterificación.	15
Proceso de esterificación ácida	15
Extracción de los ésteres metílicos.	16
Limpieza de la muestra.	16
Filtración de la muestra.	16
Preparación de diluciones.	16
Condiciones cromatográficas	16
Las condiciones del horno	16
V. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	18
VI. RESULTADOS y DISCUSIÓN.....	19
Grasa	19
Lactosa	19
Proteína y caseína	20
Características físicas de la leche.....	22
Análisis de ácidos grasos de cadena larga en la leche de búfalo	23
VII. CONCLUSIONES	26
VIII. LITERATURA CITADA	27

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Presencia de los búfalos en los continentes.	3
Cuadro 2. Países asiáticos con mayor número de cabezas de búfalos.	3
Cuadro 3. Comparación entre la leche de búfala y la de otras especies.	6
Cuadro 4. Comparación nutricional de la leche de búfalo (g.kg^{-1}).....	6
Cuadro 5. Comparación del perfil de aminoácidos en la leche de búfalos (g AA 100 g^{-1} proteína)	8
Cuadro 6. Comparación de componentes presentes en la leche de búfalo y vaca.	9
Cuadro 7. Perfil de ácidos grasos presentes en la leche de diferentes especies (g.100g del total de AG).	10
Cuadro 8. Comparación de niveles de lactosa en la leche de búfalo de la raza Murrah y Nili-Ravi (g.100g de leche).....	11
Cuadro 9. Número de animales por periodo de muestra.....	14
Cuadro 10. Características físico-químicas de la leche de búfalo durante el periodo de lactancia.....	20
Cuadro 11. Perfil de ácidos grasos de leche de búfalo durante la lactancia	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de búfalos (1994-2018)	2
Figura 2. Delimitación geográfica del municipio de Hidalgotitlan, Veracruz	13

I. INTRODUCCIÓN

Existen antecedentes que colocan al continente asiático como el origen del búfalo de agua, aun cuando la presencia de esta especie se registra desde hace 60,000 años AC (Patiño, 2008) su domesticación es prácticamente nueva. Existe registros de su domesticación desde hace 5,000 (búfalos de río) a 4,000 (búfalos de pantano) años AC (Bradford *et al.*, 2003). Actualmente existen a nivel mundial 207 millones de cabezas, de las cuales el 97% se concentra en Asia (FAO, 2020). Esta especie es utilizada como animales de trabajo, producción de carne y leche, existen países como India y Paquistán donde la producción de leche de búfala supera la producción de leche de bovino, convirtiéndose así, en una especie de suma importancia en la producción de esos países. Actualmente la población de búfalos a nivel mundial va en aumento, eso se debe al valor nutricional de la leche y subproductos de esta especie (Vale, 2017), la cual cuenta con características importantes que le dan ventaja sobre otras especies permitiendo mayor aprovechamiento del alimento, facilidad para la obtención de recursos en zonas de difícil tránsito, resistencia a enfermedades, adaptabilidad a diferentes sistemas de producción y distintos climas (De la cruz, 2018).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Producción de leche de búfalo

La producción de leche de búfalo en el mundo es de 90,3 millones de toneladas (Kahn *et al.*, 2019). Los búfalos de río comprenden el 70 % de la población total de búfalos, esta sub especie presenta mejor rendimiento en la producción de leche llegando a producir de 1,500 a 4,500 Kg de leche durante los 270 días que dura aproximadamente su periodo de lactancia (FAO, 2020). En los últimos 24 años la producción de leche de búfalo ha venido en aumento (Figura 1). Los búfalos de agua están presentes en cuatro de los cinco continentes, siendo Asia la que registra mayor población (Cuadro 1). India encabeza la lista de los países con mayor presencia de cabezas de búfalos (Cuadro 2) (FAOSTAT, 2020).

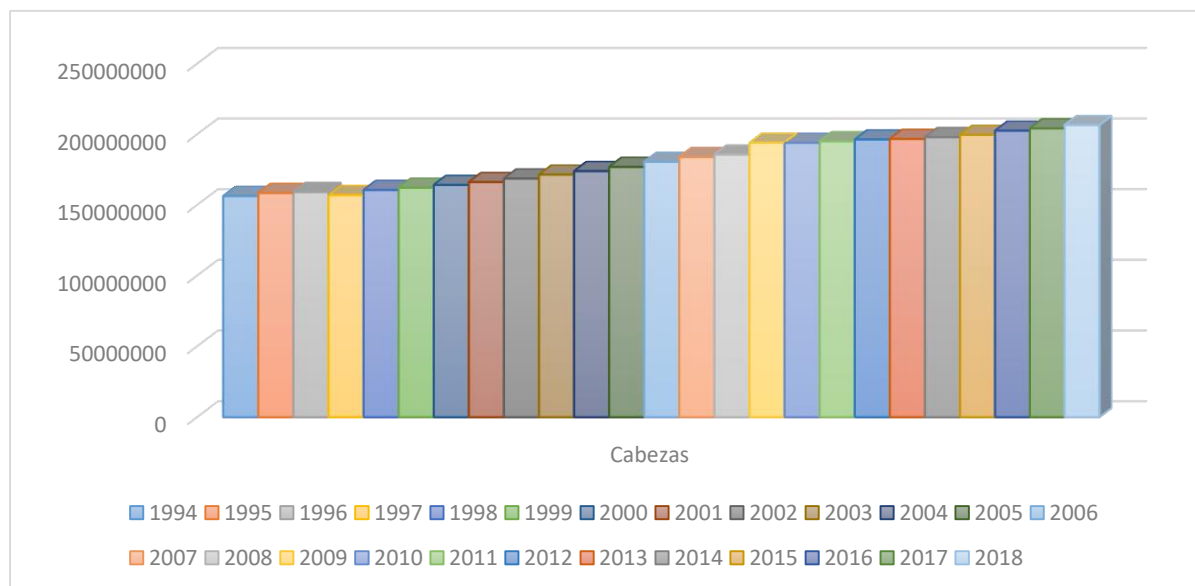


Figura 1. Producción mundial de búfalos (1994-2018)

FAOSTAT, 2020.

Cuadro 1. Presencia de los búfalos en los continentes.

Continente	Porcentaje total de cabezas (%)	Número de Cabezas
Asia	97.1	175,417,609
África	2	3,621,908
América	0.7	1,229,091
Europa	0.2	301,228
Oceanía	0	210

FAOSTAT, 2020.

Cuadro 2. Países asiáticos con mayor número de cabezas de búfalos.

País	Número de cabezas de búfalos
India	101,469,050
Pakistán	27,806,279
China, continental	24,567,597
Nepal	4,266,259
Egipto	3,621,883
Filipinas	3,042,190
Myanmar	2,848,625
Vietnam	2,794,019
Indonesia	2,089,497
Tailandia	1,906,351

FAOSTAT, 2020.

Existen 34 razas de búfalos lechero, siendo Nili-Ravi, Kundi, Egipcia, Murrah, Tarai, Lime, Azeri, Jafarabadi, Surti, y Mediterránea, las de mayor importancia productiva. Se ha destacado la raza Murrah por presentar una mayor producción de leche por lactancia (2,225 kg), seguida de Jafarabadi (1,800-2,700 kg), Nili-Ravi (2,000 kg) y Kundi (2,000 kg), Por otra parte, la raza Jafarabi presenta una mayor cantidad de grasa en la leche (8.5 %), al igual que la Mediterránea (8.0 %) (Patiño, 2011a).

El búfalo en México y América Latina

El búfalo de agua se introdujo en el continente americano en 1895 por la Guyana Francesa, estos animales fueron importados de la Indochina con la intención de

utilizarlos como animales de tiro en los cultivos de caña. Posteriormente en Trinidad y Tobago en el año de 1950, se generó una raza híbrida llamada Buffalypso utilizando las razas Carabao, Murrah, Jafarabadi, NiliRavi, Bhadawari y Surti. Trinidad y Tobago importó de 1923 a 1949 sus últimos hatos de búfalos de la raza Murrah provenientes de India, actualmente la raza Buffalypso o búfalo trinitario predomina en los sistemas de producción del Caribe (Bennett *et al.*, 2007). El continente americano cuenta con menos del 1% del inventario mundial de búfalos (FAO,2020), según datos de FAOSTAT (2020), Brasil cuenta con 1,222,685 cabezas, siendo el país con mayor número de cabezas de búfalos en América Latina. El búfalo llegó a Brasil entre los años de 1940 y 1960, las condiciones climáticas favorecieron la adaptación de estos animales, en 1970 los criadores de búfalos comenzaron la explotación de cuatro razas: Carabao, Jafarabadi, Murrah y Mediterránea. La raza Jafarabadi es utilizada para producción de carne, la Carabao como animal de tiro y las razas Murrah y Mediterránea para la producción de leche (Plana, 2005). En Cuba el búfalo de agua es prácticamente nuevo, esta especie fue introducida a la isla en los años de 1983 a 1989 proveniente de Trinidad y Tobago, y Panamá. Actualmente predominan las razas Buffalypso y Carabao (Borghese, 2005). Venezuela cuenta con 350,000 cabezas de búfalo, esto lo coloca como el segundo país de Latinoamérica en número de cabezas. Actualmente las principales razas presentes en Venezuela son: la Mediterránea, Murrah y mestizas. Colombia reporta 170,000 cabezas, siendo las razas más importantes Murrah, Mediterránea y mestizas (Patiño, 2011b), Ángel *et al.* (2010) realizaron un análisis de marcadores moleculares a Buffalypsos, presentes en Colombia, concluyendo que cuenta con una estructura genética definida que permite diferenciarla de las razas precedentes.

En Argentina hay registro de 100,000 cabezas de búfalo, principalmente Murrah, Mediterránea y Jafarabadi (Patiño, 2011b), proveniente de Brasil (Crudeli, 2014), este país ocupa el cuarto lugar en población de búfalos en el continente americano, ubicándose principalmente en el subtrópico húmedo.

El búfalo de agua llegó a México en 1990 por Belice, esto como una opción más para la ganadería nacional (Romero y Pérez. 2014), se instaló en Quintana Roo, Campeche, Tabasco y Veracruz, actualmente se cuenta con 40,000 cabezas de búfalo distribuidos en 13 estados de la República (SAGARPA,2017). Aunque el búfalo de agua originalmente estaba destinado para establecerse en zonas tropicales de México, actualmente hay presencia de esta especie en lugares que superan los 2,200 msnm y climas templados semi-secos. La capacidad adaptiva del búfalo de agua es amplia, dándole ventaja sobre otras especies. Así mismo, en climas tropicales el búfalo es utilizados para la diversificación de la ganadería y aprovechamiento de zonas que para el ganado convencional le es prácticamente imposible acceder (Almaguer, 2007).

Características de la leche de búfala

La leche de búfala cuenta con un alto valor nutricional, presenta un excelente rendimiento durante la elaboración de productos como queso y yogurt en comparación con la leche de vaca, siendo esta una de sus características más importantes (Patiño *et al.*, 2008). Su alto rendimiento puede atribuirse al alto contenido de minerales con el que cuenta la leche de búfalo, los cuales son importantes pues de ellos dependen la estabilidad al calor y capacidad de coagulación de la leche. El contenido de minerales puede variar por factores como la raza, periodo de lactancia, clima, estación del año y alimentación

(Rodríguez *et al.*, 2001). Sin embargo, la leche de búfalo comparado con la leche de vaca, no solamente presenta un mayor contenido de minerales, si no también mayor contenido de grasa, proteína y lactosa (Ahmad *et al.*, 2008), dándole un alto valor nutricional y comercial (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación entre la leche de búfalo y la de otras especies.

Especie	Agua (%)	Grasa (%)	Lactosa (%)	Proteína (%)	Minerales (%)
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

Pérez, 2007.

Como se mencionó anteriormente la leche de búfalo puede variar debido a diferentes factores, en el Cuadro 4 se muestran diferentes valores obtenidos en diversas investigaciones, que son utilizados como herramienta para la selección de animales.

Cuadro 4. Comparación nutricional de la leche de búfalo (g.kg⁻¹)

proteína	Grasa	Lactosa	Minerales	*ST	Referencia
49.2	78.2	51.8	-	190.3	Zhou <i>et al.</i> (2018)
40	74	47	8	174	Arteaga <i>et al.</i> (2017)
45.2	65.3	55.1	-	165.3	Ren <i>et al.</i> (2015)
47.5	68.6	46	-	170	Sun <i>et al.</i> (2014)
42.5	65	-	8.2	166	Rafiq <i>et al.</i> (2016)
46.5	66.5	51.1	-	172.3	Yang <i>et al.</i> (2013)
50	71	46	9	177	Han <i>et al.</i> (2012)
47	76	48	10	-	Pérez (2007)
34.6	70	52.1	8.4	-	Ahmad <i>et al.</i> (2007)
38.5	72.2	44.9	8.3	163	Patiño (2004)
36.6	76	45.2	8.4	169	Patiño (2003)

*ST= Solidos Totales

Proteína

La leche de búfalo presenta una alta cantidad de proteína en comparación con otras especies. Las proteínas juegan un papel muy importante en el organismo, pues son responsables de proporcionar aminoácidos esenciales, los cuales cumplen funciones de mantenimiento, reparación y crecimiento de los tejidos; síntesis de proteínas, enzimas, hormonas, etc. (Boza *et al.*, 1992). De la proteína presente en la leche de búfalo cerca del 80% son caseínas y el 20% restantes son proteínas de suero con presencia de proteínas menores (Ahmad *et al.*, 2013) La mayoría de la caseína presente se encuentra en forma de micelas (Ganguli, 1979), lo cual tiene una importante repercusión en la estabilidad de los subproductos obtenidos durante un tratamiento térmico, concentración y almacenamiento (Ferrandini *et al.*, 2006). Estas micelas superan la cantidad que se puede encontrar en la leche de vaca, esto se debe a que hay una mayor concentración de caseína en la leche de búfalo generando mayor número de micelas. La caseína de la leche de búfalo presenta una similitud en la secuencia de los aminoácidos de hasta el 95% en comparación con la leche de vaca, es deficiente en ácido siálico y rico en calcio coloidal. Así mismo, se han realizado numerosos análisis del perfil de aminoácidos de la leche de búfalo encontrando diferencias dentro de la misma especie y raza (Cuadro 5), como se abordó anteriormente esto se debe a ciertos factores condicionantes los cuales puedes modificar el valor biológico de la proteína presente en la leche.

Cuadro 5. Comparación del perfil de aminoácidos en la leche de búfalos (g AA 100 g⁻¹ proteína)

Aminoácidos	Referencia			
	Zhou <i>et al.</i> (2018)	Sun <i>et al.</i> (2014)	Medhammar <i>et al.</i> (2011)	Aliyev (2005)
Lisina	8.22	5.73	7.48	3.51
Histidina	2.26	1.83	2.73	1.66
Arginina	2.18	2.06	2.55	1.17
Ác. aspártico	7.04	5.71	7.13	2.94
Treonina	3.95	3.37	4.35	1.22
Serina	5.56	3.98	4.65	0.72
Ác. glutámico	19.36	18.53	21.4	9.96
Prolina	9.32	8.29	12.00	4.44
Glicina	1.68	1.45	1.93	0.81
Alanina	2.89	2.40	3.03	1.57
Valina	5.44	4.59	5.85	2.52
Metionina	2.16	2.15	2.33	0.62
Isoleucina	5.02	4.08	4.85	2.48
Leucina	4.40	3.52	9.20	4.24
Tirosina	3.53	3.92	4.53	0.48
Fenilalanina	5.16	3.66	4.58	2.31
Cistina	0.49	1.35	0.83	-

Grasa

La concentración de grasa en la leche de búfalo es alta y de buena calidad, convirtiéndola en una excelente alternativa económica y nutricional a la leche de vaca (Humma *et al.*, 2013). Aun cuando el consumo de leche proveniente de rumiantes puede ser cuestionada por la cantidad de ácidos grasos (AG) saturados que contienen. Existen reportes que mencionan el aporte del ácido linoleico conjugado en la leche de rumiantes relacionado con la reducción de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Penchev *et al.*, 2016). La leche de búfalo aporta cantidades considerables de colesterol, vitamina E, vitamina C (Cuadro 6) y ácidos grasos de interés, como por ejemplo el ácido docosahexaenoico y el ácido eicosapentaenoico, los cuales favorecen el desarrollo del sistema nervioso en recién nacidos (Guesnet y Alessandri, 2011).

Cuadro 6. Comparación de componentes presentes en la leche de búfalo y vaca.

Componente	Búfalo	Vaca
Grasa (%)	6 – 7	4.2-4.5
Viscosidad (cP)	2.04	1.86
Colesterol (mg.100g)	8	14
Vitamina E (mg.100g)	5.5	2.1
Vitamina C (mg.100g)	3,66	0,94

Khan *et al.*, 2019.

La cantidad de colesterol que aporta la leche de búfalo es mucho menor comparada con la de vaca y otras especies, también se han evaluado y comparado los perfiles de ácidos grasos presentes en la leche de diferentes especies (Cuadro 7), con la finalidad de conocer la cantidad de ácidos grasos que contiene, para darle un mayor aprovechamiento económico.

Cuadro 7. Perfil de ácidos grasos presentes en la leche de diferentes especies (g.100g del total de AG).

AG		Búfalo	Camello	Vaca	Cabra	Yak
Nombre común	Fórmula					
AGS						
Butírico	C4:0	3.8	0.01	1.09	2.56	2.46
Caproico	C6:0	2.31	0.07	0.89	2.79	2.20
Caprilico	C8:0	1.20	0.11	0.65	3.32	0.97
Caprico	C10:0	2.26	0.21	1.76	11.28	1.64
Hendecanoico	C11:0	0.06	0.02	0.03	-	0.11
Laurico	C12:0	2.82	1.07	2.53	5.62	1.20
Tridecanoico	C13:0	0.22	0.11	0.07	0.20	0.15
Mirístico	C14:0	11.87	14.51	9.69	11.35	6.82
Pentadecanoico	C15:0	1.34	1.99	1.09	1.42	1.04
Palmítico	C16:0	32.10	24.54	29.17	27.69	28.67
Margárico	C17:0	0.54	0.68	0.65	0.83	0.94
Estearico	C18:0	8.74	2.95	12.92	8.25	18.52
Araquidónico	C20:0	0.19	0.13	0.21	0.20	0.94
AGMI						
Miristoleico	C14:1	0.86	1.99	0.64	0.21	0.33
Palmitoleico	C16:1	2.02	13.55	1.53	1.18	2.25
Heptadecenoico	C17:1	0.26	0.93	0.31	0.30	1.79
Oleico	C18:1 n-9	18.32	32.68	32.22	19.77	20.68
Eicosanoico	C20:1	0.05 ^b	0.16	0.18	0.05	0.53
AGPI						
Linoleico	C18:2 n-6	-	3.46	3.43	2.23	1.77
γ-Linoleico	C18:3 n-6	-	0.07	0.07	-	-
α-Linoleico	C18:3 n-3	-	0.20	0.58	0.28	0.27
Eicosadeinoico	C20:2	0.90 ^b	0.27	0.02	0.08	0.06
Eicosatrienoico	C20:3 n-3	0.10 ^b	0.20	0.17	-	0.04
Araquidónico	C20:4	-	0.01	0.01	-	0.14

Pegolo *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2018; Meribal *et al.*, 2018; Pietrzak Y Kamelska, 2020; Liu *et al.*, 2011.

La cantidad y perfil de ácidos grasos en la leche presenta diferencias entre la misma especie y raza (García *et al.*, 2014), es por eso que la grasa es considerada como el componente con mayor variación de la leche y responsable de sus propiedades físicas y organolépticas (Fernández *et al.*, 2015).

Lactosa

La lactosa es el carbohidrato de mayor presencia en la leche de búfalo, este disacárido compuesto de glucosa y galactosa interviene en la síntesis de glucolípidos y glicoproteínas (Fernández *et al.*, 2015), así como en la adecuada absorción del calcio (Moreno *et al.*, 2013). Es importante para la generación de productos como el yogurt, pues es el sustrato que las bacterias utilizan durante la fermentación. A diferencia de la proteína y ácidos grasos, la lactosa es un componente que se mantiene estable en la leche de búfalo; las diferencias que se pueden encontrar en la leche no son significativas (Zhou, *et al.*, 2018) como se observa en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Comparación de niveles de lactosa en la leche de búfalo de la raza Murrah y Nili-Ravi (g.100g de leche)

Referencia	Murrah	Nili-Ravi
Zhou, <i>et al.</i> (2018)	5.18	5.28
Sun <i>et al.</i> (2014)	4.60	4.74
Wang <i>et al.</i> (2019)	4.76	4.73
Ahmad <i>et al.</i> (2008); Khan <i>et al.</i> (2011)	5.21	5.24
Arteaga (2017); Hifzulrahman <i>et al.</i> (2018)	4.73	4.90
Ren <i>et al.</i> (2015)	5.51	5.68
Yang <i>et al.</i> (2013); Shahzad <i>et al.</i> (2008)	5.11	7.06

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Identificar la variabilidad en la características fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos en la leche de búfalo de agua dentro de un sistema de producción lechero permitirá establecer una identificación animal diferenciada.

Objetivos

Con base a lo anterior los objetivos planteados para el presente trabajo fueron los siguientes:

Objetivo general

Evaluar la magnitud y variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y perfil de ácidos grasos en la leche de búfalo de agua dentro de un sistema de producción lechero en pequeña escala de bajos insumos,

Objetivos específicos

- a) Analizar las características fisicoquímicas de la leche de búfalo en la región de Hidalgotitlan, Veracruz durante el periodo de lactancia.
- b) Conocer el perfil de ácidos grasos de la leche de búfalo mediante un análisis cualitativo

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área experimental

Las muestras de leche se obtuvieron en el municipio de Hidalgotitlán, Veracruz, el cual cuenta con las siguientes coordenadas geográficas: 17° 19' - 17° 51' de latitud norte y 94° 26' - 94° 51' de longitud oeste, su altitud va de 10 a 300 msnm. Limita al noreste y este con el municipio de Minatitlán, al sureste con Uxpanapa, al suroeste con Jesús Carranza y al noroeste con Texistepec y Jáltipan (Figura 2). Su clima es cálido-regular con una temperatura promedio de 27° C.; su precipitación pluvial media anual es de 2,900 milímetros, el tipo de suelo es luvisol con acumulación de arcilla en el subsuelo, de coloración rojo claro, ácido y susceptible a la erosión. El 70% del territorio municipal es dedicado a potreros para uso ganadero, un 15% a uso agrícola, un 5% para cultivos perennes, un 3% está integrado por lagunas y arroyos; finalmente un 2% se destina para áreas urbanas (INAFED, 2016).

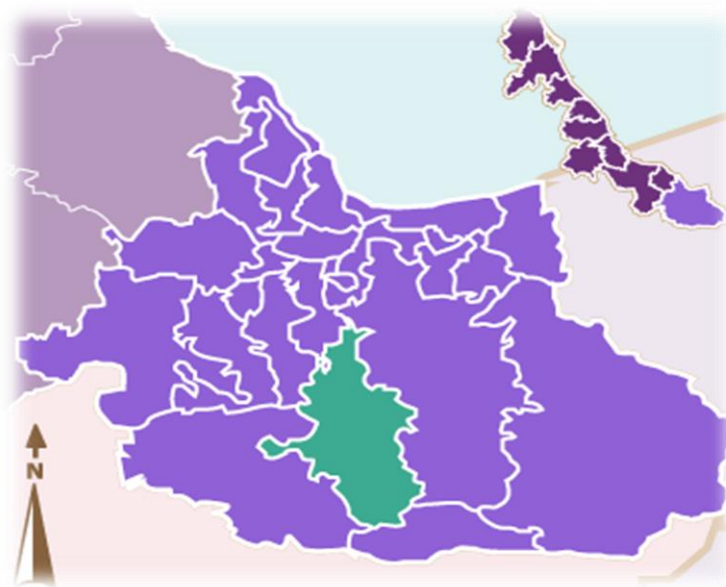


Figura 2. Delimitación geográfica del municipio de Hidalgotitlan, Veracruz

Las muestras de leche fueron analizadas en el Laboratorio de Nutrición Animal del Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados y en el Laboratorio de Análisis de Productos Lácteos del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo.

Muestreo

Se tomaron muestras de leche de animales de la raza Mediterránea y Buffalypso al inicio, etapa intermedia y final de la lactancia, el número de muestras fue variable en cada muestreo (Cuadro 9). Las muestras de leche fueron colectadas por medio de ordeña manual en frascos estériles con capacidad de 50 mL. Estas fueron colocadas en hieleras con geles refrigerantes para su conservación, posteriormente se colocaron a una temperatura de 4°C, con la finalidad de mantener las propiedades fisicoquímicas de la leche.

Cuadro 9. Número de animales por periodo de muestra

Periodo de muestreo	Número de animales
Primer periodo (noviembre)	28
Segundo periodo (enero-febrero)	99
Tercer periodo (abril)	44

Características físico-químicas de la leche de búfalo

Las muestras fueron analizadas 24 h después de ser tomadas, utilizando el equipo de análisis MilkoScan™ FT2 considerando las especificaciones del proveedor. Estas fueron colocadas a temperatura ambiente durante 15 min, para descongelarlas y posteriormente se garantizó la dilución de la muestra usando baño maría a 30°C durante 10 min, utilizando un termómetro de mercurio para garantizar las condiciones de temperatura. El

análisis de las muestras se realizó en forma directa, empleando un volumen aproximado de 20 mL, con un tiempo de análisis de 1 min por muestra.

Determinación de ácidos grasos de cadena larga

Para determinar el perfil de ácidos grasos (AG) de la leche se analizaron un total de 66 muestras distribuidas en los 3 periodos, primero se extrajo la grasa de la leche con la metodología de Feng (Lock y Garnsworthy, 2004). Posteriormente, se determinó el perfil de ácidos grasos mediante la técnica de metilación, modificada de Palmquist y Jenkins (2003) y Jenkins (2010), donde los ácidos grasos están presentes como ésteres metílicos.

Extracción de grasa. Se utilizó un volumen de 20 mL de leche, que se centrifugó en tubos Nalgen a 12000 rpm por 30 min a 4°C. Se recolectó la capa de grasa obtenida en tubos tipo eppendorf de 1.5 mL, para centrifugar nuevamente a 13000 rpm durante 20 min y separar la fase superior.

Proceso de transesterificación. Las muestras se colocaron en tubos de cultivo de 50 mL con tapa de baquelita. Se añadieron 2 mL de solución de metóxido de sodio metanólica (0.5M), integrando por medio del vortex. Posteriormente se incubaron los tubos a baño maría por 10 min, después de este tiempo se dejaron enfriar a temperatura ambiente

Proceso de esterificación ácida. Se agregaron 3 mL de solución de ácido clorhídrico metanólico al 5%, se taparon nuevamente y agitaron en vortex para volver a incubar en baño maría por 10 min a 80°C.

Extracción de los ésteres metílicos. Se añadió a la solución 3 mL de hexano y muy lentamente 5 mL de carbonato de potasio al 6%, con la finalidad de neutralizar la reacción, Se agitó por medio de vortex y se pasó en su totalidad la solución a tubos de PPE de 16.5 mL, posteriormente se centrifugaron sin tapa durante 5 min a 3500 rpm.

Limpieza de la muestra. Con la ayuda de una micro pipeta se extrajo la fase superior (fase orgánica) cuidando de no extraer la fase acuosa o inferior. La fase orgánica se colocó en tubos PPE con 0.5 g de sulfato de sodio y 0.1 g de carbón activado. Posteriormente se mezcló por medio de un vortex y se centrifugó a 2500 rpm durante 5 min.

Filtración de la muestra. Se extrajo la muestra con ayuda de una micro pipeta cuidando de no mezclar el carbón activado, se colocó en una jeringa con un acrodisco de 0.45 μm y se filtró lentamente recuperando la muestra en un tubo de 1.5 tipo eppendorf o vial y almacenó a -20°C .

Preparación de diluciones. Las muestras se diluyeron, no se utilizó una dilución estándar, pues la muestra obtenida de grasa inicial varió, por esto, se utilizaron diluciones de 1:1 a 1:10 complementadas con hexano. Dichas muestras se colocaron en viales para la inyección al cromatógrafo.

Condiciones cromatográficas. Se utilizó una temperatura de inyector de 250°C con un Split ratio 10 como modo de inyección y un detector de 260°C .

Las condiciones del horno. La temperatura de la columna fue programada a 140°C por 2.95 min, incrementando a 210°C con una velocidad de $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ en un tiempo 0.0 min,

posteriormente de 235 °C con una velocidad de 0.7 °C/min manteniéndose por 0 min.
Con una duración de corrida de 62 min.

V. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos fueron analizados por medio del paquete estadístico SAS (2003), obteniendo estadísticos descriptivos y la normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro Wilks, mediante el PROC UNIVARIATE. El análisis para el perfil de ácidos grasos se realizó por medio del método de análisis FAME- LEE integrado por el método de control FAME-37, reportando el porcentaje de concentración.

VI. RESULTADOS y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados se realizó priorizando las variables que se consideran de mayor impacto en la calidad y valor de la leche, seguida de variables complementarias.

Grasa

La leche de búfala se caracteriza por su alto contenido de sólidos totales, contenido de lípidos, proteínas, lactosa, minerales; sus propiedades nutricionales y funcionales le dan un gran potencial para desarrollar productos derivados de alta calidad (Rodríguez 2017). Las características físico-químicas observadas en el análisis descriptivo obtenido durante el periodo de lactancia (Cuadro 10), mostró valores de grasa decrecientes en los tres análisis realizados, siendo el primer periodo el de mayor concentración de grasa (4.26 ± 0.95 g/100 g de leche) y el tercero el de menor concentración (3.56 ± 1.17 g/100 g de leche). La grasa es el constituyente que representa un mayor valor económico, ya que es utilizada en la elaboración de derivados como el queso. Los valores reportados por Teixeira *et al.* (2005), muestran un rango de 4.3-9.6 g/100 g de leche de leche de búfala, aun cuando los valores de grasa en el presente trabajo son menores comparados con la leche de bovino y están por debajo del potencial productivo de la especie, esta reducción en la concentración de grasa puede deberse a diversos factores, como raza, edad, número de parto, alimentación, clima y origen de los animales (Patiño 2004).

Lactosa

La lactosa mostró un comportamiento más estable durante todo el periodo de lactancia, reportando un promedio de 5.11 ± 0.48 g/100 g de leche de búfala, Los resultados obtenidos mostraron una distribución normal, esto basado en los parámetros de la

prueba de Shapiro Wilks. (W=93). Los valores obtenidos coinciden con lo reportado por Duarte *et al.* (2001), quienes reportaron valores de lactosa de 5.19 y 5.52 g/100 g de leche de búfala, e Imran *et al.* (2008) con valores de 5.15 ± 1.59 de lactosa g/100 g de leche de búfala, superando a lo reportado por Granados *et al.* (2014), con valores cercanos a 4.87 ± 0.04 g/100 de leche de búfala.

Esta variable influye en gran medida en la calidad de la leche, pues está relacionada con el valor nutritivo, además de la textura y solubilidad, desempeñando un papel fundamental en el sabor de los productos derivados de esta (Sharif *et al.*, 2009).

Cuadro 10. Características físico-químicas de la leche de búfalo durante el periodo de lactancia

Variable	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
	Media + D.E*	Media + D.E*	Media + D.E*
Grasa (%)	4.26 ± 0.95	3.67 ± 1.16	3.56 ± 1.17
Lactosa (%)	5.29 ± 0.12	5.34 ± 0.23	4.7 ± 1.09
Proteína (%)	4.55 ± 0.38	4.20 ± 0.43	4.16 + 0.89
Sólidos no grasos (%)	10.92 ± 0.32	9.60 ± 1.3	9.99 +1.51
Sólidos totales (%)	14.87 ± 1.11	13.89 ± 1.71	13.34 + 1.60
Punto de congelación (°C)	-0.59 ± 0.02	-0.58 ± 0.02	-0.57 + 0.12
Densidad (g/mL)	1030.27 ± 6.18	1029.07 ± 13.79	1045.51 + 26
Ácidos grasos libres (%)	0.36 ± 0.13	0.35 ± 0.16	1.33 + 1.71
Ácido cítrico (%)	0.22 ± 0.03	0.21 ± 0.03	0.21 +0.15
Caseína (%)	3.67 ± 0.32	3.23 ± 0.32	3.35 + 0.90
Urea (%)	0.39 ± 0.007	0.04 ± 0.02	0.14 + 0.11

*D.E.= Desviación estándar

Proteína y caseína

En cuanto a la cantidad de proteína presente al inicio de la lactación mostró una media de 4.30 ± 0.560 g/100g de leche, con un coeficiente de variación de 8.36 g/100 g de leche; con valores mínimos y máximos de 3.88 g/100g de leche y 5.31 g/100 g de leche,

respectivamente, y una distribución normal $W=97$ (Shapiro Wilks). Así mismo, los niveles de caseína presentaron una media de 3.41 ± 0.51 g/100 g de leche, con un coeficiente de variación de 8.74 g/100 g de leche, con una distribución normal $W=97$ (Shapiro Wilks).

Se obtuvo una respuesta cuantitativa de las observaciones obtenidas en el muestreo, mostrando valores muy semejantes a la media, con varianza muy reducida, lo cual hace pensar que al inicio de la lactación las búfalas presentan una respuesta homogénea en la síntesis de proteína y caseína en la leche. El nivel de proteína obtenido coincide con los valores reportados por Ren *et al.* (2015), superando a Arteaga *et al.* (2017) con 4.0 g/100 g de leche y quedando por debajo de Zhou *et al.* (2018) quienes reportaron hasta 4.92 g/100 g de leche. La cantidad de proteína puede verse afectada por diferentes factores como el periodo de lactancia, edad del animal, número de parto y alimentación (Guevara *et al.*, 2014). Los resultados obtenidos mostraron una desviación estándar baja, lo que indica que hubo uniformidad en la cantidad de proteína presente en la leche de búfala durante el primer periodo de lactancia, lo que puede deberse a que los animales correspondieron al mismo hato con condiciones similares en cuanto a alimentación y manejo.

Muchos estudios han descrito la forma como las caseínas definen la formación del cuajo de la leche y han intentado establecer como puede ser manipulada esta propiedad (Cebo *et al.*, 2011). Los resultados obtenidos presentaron una desviación estándar baja, siendo ligeramente superiores (3.63 g/100 g de leche) comparados con la leche de vaca (3.3 g/100g de leche) según lo descrito por Guevara *et al.* (2014).

Características físicas de la leche

Las características físicas de la leche de búfalo se valoraron por medio de las variables sólidos no grasos y punto de congelación, estas variables permitieron determinar la gravedad específica y cantidad de agua añadida (Fox *et al.*, 2015), los valores para el punto de congelación se mostraron constantes (-0.59 ± 0.02 ; -0.58 ± 0.02 ; $-0.57 + 0.12^{\circ}\text{C}$), presentando un punto de congelación más bajo comparado con la leche de vaca. Senevirathne *et al.* (2016), reportaron valores de $0.53 - 0.50^{\circ}\text{C}$ para bovinos, dicho resultados son similares a los reportados por Kedziersk *et al.* (2011), donde señalan valores para puntos de congelación de $0.53-0.54^{\circ}\text{C}$ para raza Jersey durante el periodo de lactación. Khedkar *et al.* (2016) encontraron que el punto de congelación de la leche de búfalo puede presentar valores de -0.518°C a -0.590°C , ellos indican que estos valores pueden variar por el tipo de clima en el que se encuentre el sistema de producción, Zava y Sansinena (2017), mencionan que puntos de congelación menores a -0.53°C pueden considerarse como leche adulterada, ya que el punto de congelación para la leche de búfalo es de -0.54°C .

En cuanto el promedio de la densidad obtenida (1034.9 ± 15.32 g/mL) supera a lo reportado por Murtaza *et al.* (2017) y Zava y Sansinena (2017), quienes mencionaron una gravedad específica de 1.031 g/mL para leche de búfalo. Por otra parte, son cercanos a lo reportado por Yoganandi *et al.* (2014), quienes reportan un promedio para densidad de 1.033 g/mL para leche de búfalo. Este valor toma relevancia al momento de analizar la leche de búfalo, pues según Ramya *et al.* (2016) dos puntos importantes para determinar la adulteración de la leche de búfalo son las variaciones en el porcentaje de grasa y la densidad.

Análisis de ácidos grasos de cadena larga en la leche de búfalo

Se determinó el perfil de ácidos grasos de la leche durante el periodo de lactancia utilizando un estándar comercial de la marca SIGMA. Los resultados se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Perfil de ácidos grasos de leche de búfalo durante la lactancia

Nombre	Abreviatura	% de concentración		
		Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo
Saturados				
Caproico	C6:0	1.90	1.87	2.47
Caprílico	C8:0	0.72	0.68	0.27
Cáprico	C10:0	1.62	1.81	1.35
Láurico	C12:0	2.18	1.91	1.06
Mirístico	C14:0	11.15	10.09	7.00
Pentadecanoico	C15:0	1.40	1.47	1.41
Palmítico	C16:0	31.14	27.84	25.27
Esteárico	C18:0	13.40	14.03	13.92
Araquídico	C20:0	0.10	0.13	0.82
Heptadecanoico	C17:0	0.90	1.07	0.87
Monoinsaturados				
Miristoléico	C14:1	0.49	0.38	0.38
Palmitoléico	C16:1	2.06	1.88	2.07
Oléico	C18:1 ω 9	22.38	26.03	31.57
Cis-10-Heptadecenoico	C17:1	0.33	0.43	0.33
Poliinsaturados				
Linoleico	C18:2 ω 6	0.84	0.91	1.28
α -Linolénico	C18:3 ω 3	0.32	0.20	0.27
Cis-9-Trans-11- CLA	C18:2	0.86	0.76	1.19
% Total de ácidos grasos	100	100	100
Saturados	Sfas	64.51	60.90	54.44
Monoinsaturados	Mufas	25.26	28.72	34.35
Poliinsaturados	Pufas	2.01	1.87	2.74
Picos no identificados*	8.22	8.51	8.47
Total Omega 6	n-6	0.84	0.91	1.28
Total Omega 3	n-3	0.32	0.20	0.27
Relación ω 6/ ω 3	ω 6/ ω 3	2.62	4.55	4.74

*Picos no identificados= Se consideraron lecturas constantes en todas las muestras sin poder ser reconocidas por el estándar.

Se identificaron un total de 17 ácidos grasos (AG). En el primer periodo los resultados mostraron un total de AG saturados de 64.51%, el cual tuvo un comportamiento decreciente al final de los periodos, llegando a presentar concentraciones de 54.44%, esto se vio reflejado principalmente en la concentración de los ácidos grasos monoinsaturados, los que se encontraron en concentraciones de 25.26% en el primer muestreo, finalizando con una concentración de 34.35%. Así mismo, la concentración de ω 6 (0.84 a 1.28%) se incrementó a lo largo del periodo, contrario a la concentración del ω 3 que se redujo (0.32 a 0.27%). La relación ω 6/ ω 3 aumentó a lo largo del periodo, presentando concentraciones de 2.62 a 4.74 %.

La concentración de CLA fue aumentando, manteniendo valores por encima de los reportados (Han et al., 2012). Esto tiene beneficios para la salud humana como antiadipogénicos, antidiabetogénicos, anticarcinogénicos y antiateroesclerosis.

Los AG palmitico y oleico fueron los más abundantes, esto coincide con lo reportado por Vidu *et al.*, (2015), quienes observaron valores similares a los obtenidos en este trabajo. Sin embargo, Pignata *et al.* (2014) reportaron que los ácidos oleico, mirístico y esteárico son los de mayor presencia en la leche de búfalo. De acuerdo a los datos obtenidos en el presente estudio, los ácidos grasos palmítico, oleico, mirístico y esteárico fueron los que se encontraron en mayor concentración.

Se sabe que la concentración de ciertos ácidos grasos está condicionada al tipo de alimentación, como lo reporta Santillo *et al.* (2016), quienes observaron un incremento del ácido linolénico, debido a la adición de linaza en la dieta de las búfalas. Por lo tanto, los subproductos que se proporcionen a los búfalos en el alimento, deben evaluarse por

su repercusión en el contenido de grasa en la leche y los productos que se obtendrán de esta. Akgun *et al.* (2016), señalan que una cantidad de 3% de grasa en la leche de búfala es la más adecuada para la elaboración de yogurt, basados en la preferencia del consumidor.

VII. CONCLUSIONES

Los parámetros fisicoquímicos de la leche de búfala, grasa, lactosa, proteína, caseína total y contenido de ácidos grasos, evaluados en un sistema de producción en pequeña escala, mostraron ser adecuados para la industrialización y consumo humano, presentando una amplia variabilidad durante el periodo de lactación. Así mismo, las razas establecidas en el país tienen un excelente potencial productivo.

VIII. LITERATURA CITADA

- Ahmad, S., F. M. Anjum, F.M., Huma, N., Sameen, A., and Zahoor, T. (2013). Composition and physico-chemical characteristics of buffalo milk with particular emphasis on lipids, proteins, minerals, enzymes and vitamins. *Journal of Animal and Plant Sciences* .23 (1):62–74.
- Ahmad, S., Gaucher, I., Rousseau, F., Beaucher, E., Piot, M., Grongnet, F.G., Gaucheron, F. (2008). Effects of acidification on physico-chemical characteristics of buffalo milk: A comparison with cow's milk. *Food Chemistry*. (106):11–17.
- Akgun, A., Yazici, F., Gulec, H.A., 2016. Effect of reduced fat content on the physicochemical and microbiological properties of buffalo milk yoghurt. *Food. Sci. Technol-Leb*. 74, 521–527.
- Aliyev, M. M., Iskenderov, T.B. and Aliev, O.V. (2005). Amino acid ingredients of milk Azeri buffalo. *Van Veterinary Journal Dergisi*. 16:103-104.
- Almaguer P. Y. (2007). El búfalo, una opción de la ganadería. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*. (8): 1-23
- Arteaga, R.M, Vélez, G.I. (2017). Evaluación Físicoquímica de la Leche De Búfala Producida En El Departamento De Córdoba. *Revista ingeniería e innovación*. 5(2):1-11.
- Bennett, S.P., García, S.W., Lampkin, P. (2007). The buffalypso: the water buffalo of Trinidad and Tobago. *Italian Journal of Animal Science* 6 (2): 179-183.
- Borghese, A., y Nazzu, A. (2005). Buffalo population and strategies in the world. En: *Búfalo Production and Research*. Chapter I, 1-39. Instituto Esperimentale per la Zootecnia. FAO, Roma 315 p.
- Boza, P.J.J., Espinosa, C., Jiménez, J., Boza, L.J. (1992). Importancia de los Alimentos de Origen Animal en la dieta humana. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental*. (4):105-122.
- Crudeli, G.A., Patiño, E.M., Maldonado V., Konrad, J.L. (2014). Pasado, presente y futuro del búfalo en Argentina. *Revista Veterinaria* 25(2):140-145.
- De la Cruz, C.L.A., Mota, R.D., Berdugo, G.J.A., Ruiz, B.J.D., Tarazona, M.A.M., Roldan, S.P., Guerrero, L.I. (2018). Manejo ante-mortem del búfalo de agua. *Entorno ganadero*. 8-18.
- Duarte J., (2001). Efeitos ambientais sobre a produção no dia do controle e características físico-químicas do leite em um rebanho bubalino no Estado de São Paulo, Brasil. *Rev Inst Latic*. 56:16–19.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2019). FAOSTAT. Agriculture Date base. <http://www.fao.org/faostat/en/#search/Bufalo>

- Fernández, F.E., Martínez, H.J.A., Suárez, M.V., Moreno, V.J.M., Collado, Y.R.L., Hernández, C.M., y Francisco Javier Morán, R.F.J. (2015). Documento de Consenso: importancia nutricional y metabólica de la leche. *Nutrición hospitalaria*. 31(1):92-101.
- Ferrandini, E.,Castillo, M., López, M.B., Laencina, J. (2006). Modelos estructurales de la micela de caseína. *Anales de veterinaria de Murcia*. (22): 5-18.
- Fox, P.F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P.L.H., O'Mahony, J.A., (2015). Physical Properties of Milk. In P. F. Fox, T. Uniacke-Lowe, P. L. H. McSweeney, & J. A. O'Mahony (Eds.), *Dairy Chemistry and Biochemistry*, Springer International Publishing, pp. 321–343.
- Ganguli NC. 1979. Tecnología de la leche de búfala. *Revista mundial de zootecnia*. 30:2–10.
- García, C.A.C., Montiel, R.L.A., y Borderas, T.F. (2014). Grasa y proteína de la leche de vaca: componentes, síntesis y modificación. *Archivos de Zootecnia*. (63):85-105.
- Granados, C., Meza, L., Paba, R., Acevedo, D. (2014). Elaboración de Queso de Capa a partir de Leche de Búfala del Municipio Carmen de Bolívar (Colombia). *Información Tecnológica*. 25:6.
- Guesnet, P., Alessandri, J.M. (2011). Docosahexaenoic acid (DHA) and the developing central nervous system (CNS) - Implications for dietary recommendations. *Biochimie*. 93(1):7-12.
- Hifzulrahman, M., Abdullah, M.U., Akhtar, T.N., Pasha, J.A., Bhatti, Z., Ali, A., Saadullah, M., and Haque, M.N. (2018). Comparison of oil and fat supplementation on lactation performance of Nili Ravi buffaloes, *Journal of the American Dairy Science* . 102:3000-3009.
- Humma, N., Sameen, A., Zahoor, T., Anjum, M. (2013). Composition and physico-chemical characteristics of buffalo milk with particular emphasis on lipids, proteins, minerals, enzymes and vitamins. *Journal of Animal and Plant Sciences*.(23):62–74.
- Imran, M., Khan, H., Hassan, S., Khan, R. (2008). Physicochemical characteristics of various milk samples available in Pakistan. *Journal of Zhejiang University Science*. 9:7.
- Khan, T.I., Nadeem, M., Imran, M., Asif, M., Khan, M.K., Din, A., and Ulla, R. (2019). Triglyceride, fatty acid profile and antioxidant characteristics of low melting point fractions of Buffalo Milk fat. *Lipids in Health and Disease*. 18(59):1-11
- Khedkar, C.D., Kalyankar, S.D., Deosarkar, S.S., 2016. Buffalo Milk. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. B. T.-E. of F. and H. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health*, Academic Press, pp. 522- 528

- Liu, C., Z. Teng, Q. Y. Lu, R. Y. Zhao, X. Q. Yang, C. H. Tang and J. M. Liao. (2011). Aggregation kinetics and potential of soy protein during fractionation. *Food Research International*. (44):1392-1400.
- Medhammar, E., Wijesinha, B.R., Stadlmayr, B., Nilsson, E., Charrondiere, U.R., and Burlingame, B. (2011). Composition of milk from minor dairy animals and buffalos breeds: a diversity perspective *journal of the science of food an agricultura*. (92):445-474.
- Meribal, A., Meklati, R.M., Kouidri, A., Nouani, A. (2018). Fatty acid profile comparison and hygienic quality of cow and camel (*Camelus dromedarius*) milk in Algeria. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 30(5): 413-420.
- Moreno, A.L.A., Cervera, R.P., Ortega, A.R.M, Díaz, M.J.J., Baladia, E., Basulto, J., Bel Serrat, S., Iglesia, A.I., López, S.A.M., Manera, M., Rodríguez, R.E., Santaliestra, P.A.M., Babio, N. y Salas, S.J. (2013). Evidencia científica sobre el papel del yogur y otras leches fermentadas en la alimentación saludable de la población española. *Nutrición Hospitalaria*, 28(6):2039-2089.
- Murtaza, M.A., Pandya, A.J., Khan, M.M.H., 2017. Buffalo milk utilization for dairy products. In Y. W. Park, G. F. W. Haenlein, & W. L. Wendorff (Eds.), *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*, 2nd ed., Wiley-Blackwell, pp. 284-342.
- Patiño, E.M. (2004). Factores que afectan las propiedades físicas y la composición química de la leche de búfalas (*Bubalus bubalis*) en Corrientes, Argentina. *Revista veterinaria*. 15(1): 21–25.
- Patiño, E.M. (2011a). Producción y calidad de la leche bubalina. *Tecnología en Marcha*. 24 (5): 25-35.
- Patiño, E.M., Crudeli, G.A., Couto A.G., Mendes J.A. (2008) *Lechería Bubalina*. Moglia S.R.L. Corrientes, Argentina. 197 págs.
- Patiño, E.M., Mendez, F.I., Faisal, E.L., Cedres, J.F., Gomez, L.G., and Guanziroli, S.M.C. (2003). Buffalo milk composition of Murrah and half-bred Murrah x Mediterraneo in Corrientes, Argentina. *The Buffalo News* (18):8–10.
- Patiño, E.M.; Crudeli, G.A.; Mitad Valdes, A.; Simplicio de Oliveira, J.E.; Gusmao Couto A.de.; Jacobo, R.A.; Lopez, O.C.; Sanchez Negrette, M.; Almiron, R.L.; Rebak, G. (2011b). *Bubalinocultura de las Américas*. Edit. Moglia S.R.L. Corrientes, Argentina. ISBN 978-987-619- 118-0. 273. p. 2011.
- Pegolo, S., Stocco, G., Mele, M., Schiavon, S., Bittante, G., and Cecchinato, A. (2017). Factors affecting variations in the detailed fatty acid profile of Mediterranean buffalo milk determined by 2-dimensional gas chromatography. *Journal of Dairy Science*. (100):2564–2576.

- Penchev, IP., Ilieva, Y., Ivanova, T., Kalev, R. (2016). Fatty acid composition of buffalo and bovine milk as affected by roughage source – SILAGE VERSUS HAY. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(4), 264-270.
- Pérez, Y, A. (2007). El búfalo, una opción de la ganadería. *Revista electrónica de Veterinaria*. 8 (8): 1-23.
- Pietrzak, F.R., and Kamelska, S.A.M. (2020). The Comparison of Nutritional Value of Human Milk with Other Mammals' Milk. *Nutrients*. 12(5):1-18.
- Pignata, M.C., Fernandes, A.S. de A., Ferrao, S.P.B., Faleiro, A.S., Conceicao, D.G., 2014. Estudo Comparativo Da Composição Química, Ácidos Graxos E colesterol de leites de búfala e vaca. *Rev. Caatinga*. 27(4), 226–233.
- Plana, T. (2005). *Bubalus bubalis*, una especie salvajemente dócil y útil. *Revista Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA)*. (1):41-43.
- Rafiq S, Huma N, Pasha I, Sameen A, Mukhtar O, Khan MI. (2016). Chemical composition, nitrogen fractions and amino acids profile of milk from different animal species. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*. (29):1022–1028.
- Ramya, P., Babu, A., Reddy, E., Reddy, Y., Rao, L., 2016. Analysis of various physico chemical properties of raw buffalo milk samples marketed in and around Proddatur town, YSR Kadapa district, Andhra Pradesh, India. *J. Livestock Sci*. 7, 30–34.
- Ren, D.X., Zou, C.X., Lin, B., Cheng, Y.L., Liang, X.W., Liu, J.X. (2015). A Comparison of Milk Protein, Amino Acid and Fatty Acid Profiles of River Buffalo and Their F1 and F2 Hybrids with Swamp Buffalo in China. *Pakistan Journal of Zoology*. 47(5):1459-1465.
- Rendón, J., Álvarez, G. Y Garcia, J. (2018). La huella hídrica de la producción de leche. *Universitarios Potosinos*. 2(18):12-15.
- Rodríguez, E. M., Sanz, A. M., Díaz, R. C. (2001). Mineral concentration in cows milk from the Canary Island. *The Journal of Food Composition and Analysis*. 14: 419-430.
- Rodríguez, Y. 2017. Evaluación de la tecnología del secado por aspersión para la obtención de leche en polvo de búfala (*bubalus bubalis*). Tesis Magíster en Ciencia y Tecnología de alimentos. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
- Romero S.D., y Pérez, L.A.A. (2014). Bubalinocultura en México: retos de industria pecuaria naciente. *Logros y Desafíos de la Ganadería Doble Propósito* (pp. 707-715). Maracaibo, Zulia, Venezuela. Fundación GIRARZ.
- Santillo, A., Caroprese, M., Marino, R., Sevi, A., Albenzio, M., 2016. Quality of buffalo milk as affected by dietary protein level and flaxseed supplementation. *J. Dairy Sci*. 99(10), 7725–7732.

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017). <https://www.gob.mx/agricultura>
- Shahzad, M.A., Sarwar, M., Nisa, M. (2008). Influence of altering dietary cation anion difference on milk yield and its composition by early lactating Nili Ravi buffaloes in summer. *Livestock Science* 113:133–143.
- Sharif, A., Ahmad, T., Umer, M., Bilal, M. Q., Muhammad, G., Sharif, M. A., 2009. Quarter Based Determination of Milk Lactose Contents and Milk. *Pakistan J. Zool. Suppl.* 9, 313–321.
- Sun, Q., Ping L.J., Liu, L., Zhang, S.W., Liang, X., Lu J. (2014). Comparison of milk samples collected from some buffalo breeds and crossbreeds in China, *Dairy Science and Technology.* 94:387-395
- Teixeira, L.V., Bastianetto, E., Oliveira, D.A.A., 2005. Leite de búfala na indústria de produtos lácteos. *Rev. Bras. Reprod. Anim.* 29(2), 96–100.
- Vale, G.W. (2017). Panorama de la cría de búfalos en el mundo. IX simposion de criadores de búfalo de América y Europa llevado a cabo en Campeche, México.
- Vidu, L., Chelmu, S., Băcilă, V., Maciuc, V., 2015. The content of minerals and fatty acids in buffalo milk, depending on the rank of lactation. *Rom. Biotech. Lett.* 20(1), 10076–10084.
- Wang, J., He, Y., Pang, K., Zeng, Q., Zhang, X., Rena, F., and Guoa, H. (2019). Changes in milk yield and composition of colostrum and regular milk from four buffalo breeds in China during lactation. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 99: 5799–5807.
- Yang, J., Zheng, N., Wang, J., and Yang, Y. (2018). Comparative milk fatty acid analysis of different dairy species. *International Journal of Dairy Technology.* 71(2): 544-550.
- Yang, T.X., Li, H., Wang, F., Liu, X.L., and Li, Q.Y. (2013). Effect of Cattle Breeds on Milk Composition and Technological Characteristics in China. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences.* 26 (6): 896-904.
- Yoganandi, J., Mehta, B.M., Wadhvani, K.N., Darji, V. B., Aparnathi, K.D., 2014b. Evaluation and comparison of camel milk with cow milk and buffalo milk for gross composition. *J. Camel Pract. Res.* 21(2), 259–265.
- Zava, M., Sansinena, M., 2017. Buffalo milk characteristics and byproducts. In G. A. Presicce (Ed.), *The Buffalo (Bubalus bubalis) - Production and Research*, Bentham Science Publishers, pp. 262-297.
- Zhou, L., Tang, Q., Iqbal, M.W., Xia, Z., Huang, F., Li, L., Liang, M., Lin, B., Qin, G., and Zou, C. (2018). A comparison of milk protein, fat, lactose, total solids and amino acid profiles of three different buffalo breeds in Guangxi, China. *Italian Journal of Animal Science.* 17(4):873-878.

