

Calidad composicional y concentración de ácidos grasos omega-3 (alfa-linolénico) y omega-6 (linoleico) presentes en leche bovina de tres regiones naturales del Ecuador

D. C. Alvear^{1*}, J. D. Guerrero², N. F. Bonifaz³, P. F. Noriega⁴

Artículo recibido: 12 de octubre de 2020 - Aprobado: 1 de marzo de 2021

RESUMEN

La leche de vaca es un componente importante en la dieta humana y uno de sus aportes nutricionales es la fracción lipídica formada por diversos ácidos grasos, entre ellos, el ácido linoleico (AL) de familia omega-6 y el ácido alfa-linolénico (AAL) de familia omega-3, ambos constituyentes estructurales de membranas de tejidos celulares y reguladores metabólicos. Por su importancia, el objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de ácidos grasos omega-3 (alfa-linolénico) y omega-6 (linoleico) mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), en relación con la influencia de los factores región (Costa, Sierra y Amazonía) y época (lluviosa y seca) sobre la concentración de dichos ácidos. Se trabajó con 30 centros de acopio y se recolectó según el protocolo LCL-INS-01. El análisis composicional se realizó bajo el método ISO 9622-IDF 141/2013 /LCL-PE-01 y el análisis del perfil lipídico mediante GC-MS. Los resultados obtenidos mostraron concentraciones (%) promedio de 2,72 y 0,06 para AL y AAL, respectivamente, en el perfil lipídico. En cuanto al factor región, Costa presentó 2,07%, Sierra 3,03% y Amazonía 3,06%, por lo que se evidenció alta diferencia significativa ($p \leq 0,01$) para el AL, mientras que el AAL no mostró variación. En el factor época, el AL presentó 2,63% en época seca y 3,03% en época lluviosa, y el AAL 0,14 y 0,06%, respectivamente. Los resultados permitieron concluir que el factor región influye en la concentración del AL, pero no en el AAL, y el factor época no es influyente en la concentración del AL ni en la del AAL.

Palabras clave: ácidos grasos, leche, vacas, cromatografía.

Compositional quality and concentration of omega-3 (alpha-linolenic) and omega-6 (linoleic) fatty acids present in bovine milk from three natural regions of Ecuador

ABSTRACT

Cow's milk is an important component in human diet and one of its nutritional contributions is the lipid fraction formed by various fatty acids, including linoleic acid (AL)

¹ Ingeniería en Biotecnología de los RRNN. Universidad Politécnica Salesiana, Avenida 12 de octubre, N 2422 y Wilson, Quito, 170109, Ecuador. d.dennise.c@hotmail.com

² Ingeniería en Biotecnología de los RRNN. Universidad Politécnica Salesiana, Avenida 12 de octubre, N 2422 y Wilson, Quito, 170109, Ecuador.

³ Grupo de Investigación Nunkui Wakan. Universidad Politécnica Salesiana, Avenida 12 de octubre, N 2422 y Wilson, Quito, 170109, Ecuador.

⁴ Grupo de investigación y desarrollo en Ciencias Aplicadas a los Recursos Biológicos. Universidad Politécnica Salesiana, Avenida 12 de octubre, N 2422 y Wilson, Quito, 170109, Ecuador.

of the omega-6 family and alpha-linolenic acid (AAL) of the omega-3 family, both structural constituents of cell tissue, membranes, and metabolic regulators. Due to its importance, the purpose of this research was to determine the concentration of omega-3 (alpha-linolenic) and omega-6 (linoleic) fatty acids present in bovine milk, by gas chromatography coupled to mass spectrophotometry (GC-MS), establishing a relation between the influence of the region (Costa, Sierra and Amazonía) and the season (rainy and dry), and the concentration of these acids. 30 collection centers were analyzed and collected, according to the LCL-INS-01 protocol. The compositional analysis was carried out under the method ISO 9622-IDF 141/2013 /LCL-PE-01, and the analysis of the lipid profile was made by GC-MS. The results obtained show average concentrations (%) of 2,72 and 0,06 for AL and AAL respectively on the lipid profile. Regarding the region factor, Costa presented 2,07%, Sierra 3,03% and Amazonía 3,06%, showing significant difference ($p \leq 0,01$) in AL, while the AAL showed no variation. With reference to the season factor, AL showed 2,63% in the dry season and 3,03% in the rainy season, and AAL 0,14 and 0,06% respectively. The results allowed to conclude that the region factor influences AL concentration but does not influence in AAL, and the season factor is not influential neither on AL nor on AAL concentration.

Keywords: fatty acids, milk, cows, chromatography.

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, en las últimas décadas, la producción lechera ha tenido un constante avance debido al incremento del consumo de lácteos, y a cambios en la alimentación de la población (Zambrano *et al.* 2017). Por consiguiente, es uno de los sectores económicamente más influyentes, dentro del cual se dedican aproximadamente 3.500.000 de hectáreas para su producción. La región a la que pertenecen estas hectáreas, principalmente, es Sierra (75%), la cual es seguida por la Costa y Galápagos (14%), y, finalmente, con el 11% restante, por la región Amazónica (Torres 2018).

La leche de vaca es un componente importante en la dieta humana y 2 de sus aportes nutricionales son la fracción lipídica formada por ácidos grasos saturados (AGS), monoinsaturados (AGM) y poliinsaturados (AGP) (presentes en un 70, 26 y 4% [g AG/100g AG totales], respectivamente), y la fracción proteica

(García *et al.* 2014). De acuerdo con Castro (2014) la fracción lipídica está constituida por alrededor de 400 ácidos grasos (AG) libres o unidos al glicerol. Un importante grupo de AG son los poliinsaturados, debido a que son considerados ácidos grasos esenciales (AGE). Entre ellos se encuentran el ácido linoleico (AL) de familia omega-6 y el ácido alfa-linolénico (AAL) de familia omega-3 (Siurana 2015). Tanto el AL como AAL son constituyentes estructurales de membranas de diversos tejidos celulares, precursores del ácido araquidónico —indispensable para darle rigidez a la mitocondria—, y precursores de mediadores lipídicos bioactivos; además, intervienen en la síntesis de prostaglandinas y regulan el metabolismo del colesterol, la contracción muscular y presión arterial (Badui 2011; Delage 2019).

Estos AGE son indispensables en la dieta del ser humano; sin embargo, el cuerpo carece de la enzima desaturasa

delta (Δ) 12 y 15 para sintetizarlos (Baidu 2011). No obstante, con límites, el organismo es capaz de convertirlos, por lo que deben obtenerse directamente de alimentos (Cabezas *et al.* 2016). Tal motivo ha generado gran interés científico en el desarrollo de estrategias que faciliten la modificación de la composición química y la concentración de la grasa láctea (García *et al.* 2014). Entre de estas estrategias, destacan la manipulación nutricional, el efecto de la raza (Hershberger 2012), la modificación del ambiente ruminal, la influencia de variantes genéticas y la influencia de estaciones y localidades (Prieto *et al.* 2016).

Para el desarrollo de dichas estrategias existen varios factores implicados en un estudio del perfil de AG en leche bovina, que incluyen raza, suplementación alimenticia, edad vacuna, etapa de lactancia, genética bovina y factor climático (Conte *et al.* 2018; Kebede 2016). Este último ha sido uno de los más influyentes, ya que la fracción grasa varía de 0,3 a 0,5% de acuerdo con la estación climática anual, lo que ocasiona cambios en la concentración grasa y en la calidad de la leche y, por tanto, en la relación de la ingesta de AG en el consumo humano (Hershberger 2012; Kebede 2016).

Por la relevancia que presentan en el cuerpo humano el AL y AAL de leche bovina, algunos investigadores han realizado estudios de la concentración y contenido de estos AGE. Por ejemplo, en Estados Unidos la Academia de Ciencias de Nueva York menciona que un exceso de AL con una deficiencia de AAL puede producir una resistencia a la insulina (Guzmán 2011). En España, Carrero *et al.* (2005) en la Revista de Nutrición Hospitalaria estudiaron los efectos cardiovasculares de los AG omega-3 en alimentos funcionales

de base láctea. En México, Martínez *et al.* (2010) llevaron a cabo el estudio del contenido de ácido linoleico conjugado (CLA) de la familia del AL en leche de ganado lechero Holstein sometido a una dieta rica en AG precursores del CLA. Por tanto, los estudios realizados han tenido como objeto obtener alimentos con mejores componentes microbeneficiosos para la salud humana (Gebreyowhans *et al.* 2019).

El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad composicional y la concentración de ácidos grasos omega-3 (alfa-linolénico) y omega-6 (linoleico) presentes en leche bovina de 3 regiones naturales del Ecuador. Este objetivo fue logrado por medio de la caracterización de la calidad composicional de muestras provenientes de centros de acopio bajo el método espectrofotometría de infrarrojo, de la determinación del perfil lipídico mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, y del establecimiento de la influencia del factor región (Costa, Sierra y Amazonía) y del factor época (lluviosa y seca) en la región Sierra sobre la concentración de los ácidos grasos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en los Laboratorios de Ciencias de la Vida (sede Quito, Campus Girón) y en el Laboratorio de Calidad de la Leche (LCL) (Centro de apoyo Cayambe) de la Universidad Politécnica Salesiana. Se trabajó con treinta (30) centros de acopio, en su mayoría proveedores de leche de la empresa Ecuajugos-Nestlé, de las regiones Costa, Sierra y Amazonía del Ecuador. Se obtuvieron diez (10) muestras para cada región en época lluviosa y diez (10) muestras adicionales en época seca para los centros de acopio de la región Sierra.

Factores en estudio

Se consideraron los siguientes factores: 3 regiones del Ecuador (Costa, Sierra, Amazonía) y 2 épocas (lluviosa y seca). Para el factor época, se consideró la región Sierra debido a que es en la que se produce mayor cantidad de leche, y se realizó muestreo para época lluviosa (mes de mayo) y época seca (mes de julio), según lo señalado por Cañadas (1983).

Toma muestras de leche cruda de vaca

Para la recolección de muestras se utilizaron frascos plásticos estériles de 50 ml y 100 ml identificados y codificados como se señala en la tabla 1. La recolección se realizó según el protocolo LCL-INS-01 del *Instructivo de toma de muestras de leche* del LCL.

Para medir los parámetros de calidad de la leche (análisis composicional) se emplearon los frascos de 50 ml con conservante bronopol en tableta y se almacenó en un *cooler* con bloques de gel refrigerantes hasta el traslado al LCL. Mientras que las muestras de 100 ml (sin conservante) se emplearon en el proceso de identificación y cuantificación de AG (perfil lipídico). Estas fueron transportadas cuidadosamente en un *cooler* con bloques de gel refrigerante al Laboratorio de Ciencias de la Vida bajo cadena de frío (4 a 6°C).

Trabajo de laboratorio

Análisis composicional

El análisis composicional de la leche —que incluye determinación del porcentaje de grasa, de proteína, de sólidos totales y de sólidos no grasos— se realizó en los LCL con el equipo de espectrofotometría infrarroja de gama media bajo el método ISO 9622-IDF 141/2013 “Guía para la

aplicación de espectrofotometría media infrarroja para leche/LCL-PE-01”.

Extracción de la fracción grasa

La extracción de la fracción grasa se realizó con base en el procedimiento descrito por Martínez *et al.* (2013), añadiendo ciertas modificaciones. El método se basó en una doble centrifugación, para lo cual se tomaron 50 ml de muestra en tubos Falcon con los que se procedió a la primera centrifugación a 3000 rpm, durante 10 minutos. La fracción grasa obtenida se pasó a tubos Eppendorf de 1,5 ml y se añadió una solución de cloruro de hidrógeno (ácido clorhídrico [HCl]) 1% V/V con el objetivo de regular el pH (hasta llegar a pH 4,6). La segunda centrifugación se realizó a 10.000 rpm por 10 minutos. Con este procedimiento se logró precipitar las proteínas que no eran de interés para la investigación; entre ellas se destaca la caseína, que posee la característica de precipitar y desnaturalizarse a pH de 4,6. Finalmente, la fracción grasa se depositó en tubos Eppendorf de 1,5 ml debidamente etiquetados y codificados. Las muestras procesadas en esta etapa se conservaron en congelación a -8°C hasta su análisis.

Identificación y cuantificación de AG

La fracción grasa sufrió un proceso de derivatización química mediante metilación de los ésteres metílicos por catálisis ácida con una solución metanólica de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 1 M (Marrero 2006). Esta derivatización se realizó con 0,1 g de la fracción grasa obtenida que se depositaron en tubos de ensayo de 10 ml; luego, se añadieron 2 ml de H₂SO₄ 1 M. Posteriormente, las muestras se colocaron en una estufa a 80°C durante 2 h para la volatilización de ésteres. Finalmente se dejó enfriar las muestras, se añadieron 5 ml de

TABLA 1. Localidades consideradas en la investigación y su codificación

N.º	Región Costa				Región Sierra				Región Amazónica			
	Cód.	Provincia	Cantón	Sector	Cód.	Provincia	Cantón	Sector	Cód.	Provincia	Cantón	Sector
1	C01	Manabí	Chone	Eloy Alfaro	S01	Carchi	Espejo	La Libertad	A01	Napo	Quijos	Papallacta
2	C02	Manabí	Chone	Convento	S02	Imbabura	Ibarra	Zuleta	A02	Napo	Quijos	Baeza
3	C03	Manabí	Pedernales	El Carmen	S03	Tungurahua	Píllaro	Guapante	A03	Napo	Quijos	Baeza
4	C04	S. D. de los de los Tsáchilas	Santo Domingo	Roca Fuerte	S04	Pichincha	Rumiñahui	Sangolquí	A04	Napo	Quijos	Cosanga
5	C05	S. D. de los de los Tsáchilas	Santo Domingo	Alluriquín	S05	Imbabura	Ibarra	Salinas	A05	Napo	Quijos	Borja
6	C06	Manabí	Montecristi	S. Omar Vera	S06	Pichincha	Mejía	El Chaupi	A06	Napo	Quijos	Borja
7	C07	Manabí	Baizar	Morenita	S07	Pichincha	Mejía	Tambillo	A07	Napo	El Chaco	Linares
8	C08	Manabí	Chone	S. Antonio	S08	Imbabura	Cotacachi	Cotacachi	A08	Napo	El Chaco	El Chaco
9	C09	S. D. de los de los Tsáchilas	La Concordia	Flor de Lina	S09	Pichincha	Mejía	Pedregal	A09	Morona Santiago	San Juan Bosco	San Juan
10	C10	Manabí	Pedernales	Baren	S10	Pichincha	Cayambe	Cayambe	A10	Napo	El Chaco	G. Díaz de Pineda

Cód.: Código.w
Fuente: elaboración propia.

Continúa

hexano (C₆H₁₄) y se centrifugó a 8000 rpm durante 10 minutos (Rodríguez 2017). El sobrenadante resultante se filtró en viales ámbar de 1,5 ml con filtros PVDF *membrane, pore size* 0,45 µm, marca Sigma Aldrich, para evitar la obstrucción del equipo y ser analizados por el cromatógrafo de gases (Cheng *et al.* 2008).

Para obtener el perfil de AG con la concentración del AL y AAL, se empleó cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas, con el equipo marca Bruker Scion 436-GC acoplado a un espectrómetro de masas marca Bruker EVOQ (GC-MS) y una columna capilar Bruker BR-5 ms, de 30 m, 0,25 mm de diámetro, 0,25 µm de espesor de película y con un flujo de 1 ml/min en un tiempo de estabilización de 2 min.

Condiciones programadas: temperatura de inyección en el cromatógrafo: 250°C. En la columna, temperatura inicial de 60°C hasta alcanzar los 220°C a una velocidad de 6°C/min. En el espectrómetro de masas una energía de ionización de 70 eV, energía de filamento de 40 µA y un rango de masas de 4-400 m/z. Como fase móvil, se utilizó gas helio (1 ml/min) y como tiempo de análisis para cada muestra, 40 minutos. La identificación de AG se realizó con base en el cromatograma y tiempo de retención del estándar de AG marca Sigma Aldrich Supelco 37 Component FAME Mix.

Análisis estadístico

Se realizaron 3 análisis de varianza (anova): el primero para determinar la influencia del factor región sobre la calidad composicional láctea, el segundo acerca de la influencia del factor región sobre la concentración de AG del perfil lipídico y el tercero sobre la influencia del factor época sobre la concentración de los AG de la región Sierra; todos ellos, con la

finalidad de realizar la prueba de hipótesis de las medias. La separación de medias se realizó mediante prueba de Tukey con 5% de significancia ($p \leq 0,05$) para obtener un nivel de confianza de los datos del 95% y con 1% de significancia ($p \leq 0,01$) para un nivel de confianza del 99%. El análisis estadístico se realizó con la ayuda del *software* Infostat V2019.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad composicional de la leche de vaca

Se analizó la calidad composicional de 10 muestras de leche cruda de cada región en estudio (Costa, Sierra y Amazonía). A partir de estos datos se obtuvo un promedio general de 3,86; 3,18; 4,67; 12,50 y 8,66 (% g/100 ml) de grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y sólidos no grasos, respectivamente; promedios que se encuentran dentro de la normativa establecida para leche cruda del Ecuador (Inen 2012).

Los resultados obtenidos son próximos a los expuestos en el estudio realizado en Cuenca, Ecuador, por Abril *et al.* (2013) quienes obtuvieron datos de 3,50 y 3,00 (% g/100 ml) de grasa y proteína, respectivamente, en el análisis de leche bovina en diferentes localidades de la ciudad mencionada. De forma similar, datos recolectados por Cruz *et al.* (2017) en el país vecino de Colombia exponen 3,05; 2,86 y 4,11 (% g/100 ml) para grasa, proteína y lactosa.

Análisis composicional de la leche de vaca

La tabla 2 muestra las significancias estadísticas obtenidas mediante el análisis de varianza, realizado con el fin de determinar la influencia de las 3 regiones estudiadas en

los parámetros de calidad (grasa, proteína total, lactosa, sólidos totales y sólidos no grasos). De acuerdo con los resultados, al no existir diferencia significativa ($p \leq 0,05$), no existe influencia del factor región sobre la concentración de los diferentes parámetros de calidad. Estos resultados son contradictorios, con respecto a lo expuesto por Abril *et al.* (2013) que mencionan que la leche posee variación en los parámetros de calidad de una región a otra y, adicionalmente, Echeverri y Restrepo (2009) comprobaron que en Colombia tanto la composición como la calidad de la leche son influenciadas por las áreas geográficas y por los cambios meteorológicos.

En cuanto al parámetro grasa, esta investigación presenta datos contrarios a los mencionados por Liang *et al.* (2017), ya que establece que la composición grasa en leche se muestra afectada por factores tanto endógenos como exógenos, entre ellos la región en la que se encuentran los bovinos. Además, según McGuffey (2017), este porcentaje cambia entre estaciones y se calcula un aumento del 0,2% en grasa por cada 10°F disminuidos en la temperatura ambiental.

De modo complementario, se reportó la región Costa como aquella que posee los valores más bajos en los parámetros de calidad (grasa, proteína total, lactosa, sólidos totales y sólidos no grasos); esto, debido a que las vacas pueden sufrir estrés por calor cuando la temperatura corporal es más alta que el rango tolerado por el bovino (Conte *et al.* 2018). De igual manera, Pragna *et al.* (2017) mencionan que cuando la temperatura sube por encima de la zona de neutralidad térmica, los animales intentan mantener la temperatura corporal mediante el aumento de pérdida de calor. A su vez, esta zona de neutralidad térmica varía en función de factores de la región como la humedad ambiental, la velocidad del aire y la temperatura (McGuffey 2017). Estudios recientes afirman que la zona de neutralidad térmica que no induce cambios fisiológicos ni de comportamiento en las vacas es de 0,5 a 20°C y de 60 a 80% de humedad relativa (Herbut *et al.* 2018).

Das *et al.* (2016) y Guo *et al.* (2018) establecen que los cambios en el comportamiento de los bovinos son el incremento de la frecuencia respiratoria, temperatura

TABLA 2. Análisis de varianza y coeficiente de correlación de la calidad composicional de leche de vaca

Parámetros de calidad	Significancia	Costa		Sierra		Amazonía	
		\bar{X} (%g/100mL)	Rango	\bar{X} (%g/100 mL)	Rango	\bar{X} (%g/100 mL)	Rango
Grasa	NS	3,55	A	3,90	A	4,13	A
Proteína total	NS	3,15	A	3,22	A	3,20	A
Lactosa	NS	4,49	A	4,76	A	4,78	A
Sólidos totales	NS	11,90	A	12,69	A	12,91	A
Sólidos no grasos	NS	8,40	A	8,79	A	8,78	A

NS: no significancia.

rectal y frecuencia cardiaca, y estos afectan directamente el consumo de alimento, lo que disminuye la producción de leche, el contenido graso, el contenido de proteínas, el rendimiento y la materia seca. Lo expuesto anteriormente justifica los valores resultantes de la presente investigación.

Por otra parte, en la Sierra y la Amazonía —que poseen una menor temperatura promedio anual y, en el caso de la Amazonía, una mayor humedad relativa—, se obtuvieron resultados mayores frente a la región Costa. Esto se justifica con lo mencionado por Echeverri y Restrepo (2009), quienes resaltan que al existir una menor temperatura y una mayor precipitación, mejora tanto el consumo alimenticio como el comportamiento del bovino, y esto produce efectos positivos en los parámetros de calidad de la leche. Del mismo modo Kebede (2016) expresa que a temperaturas más altas se reduce el consumo de alimento y la tasa de conversión alimenticia disminuye; por tanto, es lógico que los resultados obtenidos en la región Costa sean menores a los del resto de regiones en estudio.

Perfil lipídico de la leche de vaca

El perfil de AG provenientes de la fracción lipídica resulta importante al determinar la calidad de la leche debido a que los AG regulan las propiedades físicas y nutricionales de esta (Herrera *et al.* 2015). Por tanto, en el perfil lipídico del presente estudio se analizaron 15 AG en cada muestra, entre ellos los de AL y AAL de específico interés, cuya identificación y contenido se muestran en la tabla 3.

El promedio de los AGS fue de 61,64% (g AG/100g AG totales) del total de los AG analizados. La información recopilada por Ortega *et al.* (2013) indica que dichos AG son los más abundantes en leche de vaca ya que alcanzan concentraciones del 70 al

75% y están relacionados con el aumento de la concentración del colesterol y de lipoproteínas de baja densidad, los mismos que repercuten en la salud humana. Los AGS del presente estudio son menores a los datos expresados bibliográficamente, lo que se asume como un resultado favorable, considerando las repercusiones mencionadas.

Por otra parte, el total de AGP fue de 2,78% lo que concuerda con los datos reportados por Gil y Ruiz (2015), los cuales mencionan que la grasa láctea es muy pobre en AGP, estos no sobrepasan el 4% del total de AG, a consecuencia del fenómeno de hidrogenación del rumen. Adicionalmente, Calvo *et al.* (2014) mencionan que este tipo de AG en la leche cruda de vaca se encuentra en porcentajes de hasta 5%.

Como se muestra en la figura 1, desde una perspectiva global, los promedios demuestran que los AG que presentaron mayor concentración son el palmítico (C16:0), el oleico (C18:1n9) y el esteárico (C18:0), lo que concuerda con lo hallado por García *et al.* (2014), quienes exponen que los ácidos palmítico y esteárico son 2 de los 3 AG más abundantes en la fracción lipídica de la leche. Por otro lado, los AG que presentaron menor concentración son el caproico (C6:0), caprílico (C8:0) y el alfa-linolénico (C18:3n3), los mismos que se encuentran debajo de los rangos establecidos por Ruano (2005), que van del 1 al 5% para C6:0, del 1 al 3% para el C8:0 y del 0,5 al 2% para el C18:3n3.

Se destacan los 2 ácidos de interés para el estudio, con promedios de 2,72 y 0,06% de AL y AAL, respectivamente. Estos resultados son similares a los expresados por Badui (2011), quienes determinan que la concentración de AL es 2,1% y de AAL 0,7%. Toyas (2011) expresa 2,2 y 1,4%

TABLA 3. Perfil lipídico de leche de vaca en 3 regiones del Ecuador

N. científico	Ácido hexanoico	Ácido octanoico	Ácido canoico	Ácido dodecanoico	Ácido tetradecanoico	Ácido pentadecanoico	Ácido hexadecanoico	Ácido 9-cis hexadecanoico	Ácido 9-cis heptadecanoico	Ácido 9,12-cis octadecadienoico	Ácido 9-trans octadecenoico	Ácido 11 octadecenoico	Ácido 9,12,15-cis octadecatrienoico		
N. común	Ácido capríico	Ácido caprílico	Ácido capríco	Ácido láurico	Ácido mirístico	Ácido pentadecanoico	Ácido 9-cis hexadecanoico	Ácido 9-cis heptadecanoico	Ácido 9-cis octadecanoico	Ácido 9,12-cis octadecadienoico	Ácido 9-trans octadecenoico	Ácido 11 octadecenoico	Ácido 9,12,15-cis octadecatrienoico		
Fórmula	C6:0	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C15:0	C16:1	C16:0	C17:0	C18:2n6	C18:1n9	C18:1n9t	C18:3n3		
Clase	AGS	AGS	AGS	AGS	AGS	AGS	AGM	AGS	AGS	AGP	AGM	AGT	AGS		
Código	Contenido (%)														
C01	0,47	0,62	1,82	2,53	11,18	1,52	1,57	30,92	0,73	1,69	26,78	1,25	5,18	13,71	0,04
C02	0,37	0,49	1,40	2,30	10,98	1,19	2,30	36,13	0,65	1,57	25,81	1,27	3,98	11,52	0,04
C03	0,29	0,46	1,47	2,14	8,91	1,24	2,05	27,36	0,65	2,86	35,48	1,17	4,30	11,60	0,02
C04	0,33	0,43	1,42	2,35	10,80	1,38	1,69	31,60	0,73	1,56	26,97	1,56	5,86	13,28	0,03
C05	0,50	0,55	1,66	2,47	11,46	1,41	1,50	33,73	0,67	1,32	25,22	1,16	4,36	13,95	0,05
C06	0,85	0,66	1,50	2,01	9,52	1,76	1,49	30,43	0,97	2,02	26,57	1,22	4,99	15,91	0,10
C07	0,51	0,46	1,28	2,01	11,08	1,58	1,59	29,92	0,74	2,39	27,54	0,15	5,97	14,69	0,10
C08	0,60	0,49	1,30	2,16	10,65	1,52	1,56	31,45	0,71	2,14	26,68	1,27	6,05	13,34	0,08
C09	0,60	0,46	1,24	1,97	9,17	1,41	1,57	31,70	0,89	3,28	27,80	0,15	5,00	14,66	0,10
C10	0,93	0,68	1,69	2,75	11,64	1,19	1,29	32,27	0,64	1,90	23,02	1,11	5,03	15,77	0,09
S01	0,43	0,65	2,29	3,53	12,03	1,35	4,26	26,88	0,59	3,26	23,99	1,36	5,43	13,89	0,07
S02	0,43	0,54	1,79	2,82	11,00	1,25	1,40	29,37	0,55	2,60	26,66	1,45	5,64	14,45	0,05

Código	Contenido (%)														
	0,28	0,45	1,72	2,95	10,70	1,18	4,87	30,24	0,50	4,35	24,89	1,83	4,67	11,31	0,06
S03	0,28	0,45	1,72	2,95	10,70	1,18	4,87	30,24	0,50	4,35	24,89	1,83	4,67	11,31	0,06
S04	0,32	0,41	1,53	2,30	10,14	1,29	1,58	30,05	0,65	3,52	26,71	1,88	7,04	12,54	0,06
S05	0,33	0,45	1,51	2,49	10,67	1,61	1,25	30,75	0,83	2,61	23,66	1,78	7,65	14,36	0,06
S06	0,29	0,41	1,60	2,63	10,58	1,14	1,30	28,83	0,53	3,47	25,61	1,55	6,35	15,65	0,05
S07	0,51	0,56	1,84	2,91	9,93	0,96	1,42	29,88	0,46	3,64	28,15	1,63	4,00	14,06	0,06
S08	0,60	0,62	1,89	2,75	10,48	1,12	1,28	33,53	0,51	2,27	24,28	1,44	5,96	13,21	0,06
S09	0,52	0,63	2,05	3,10	11,52	1,31	1,24	29,03	0,56	2,51	25,48	1,44	6,51	14,08	0,02
S10	0,44	0,54	1,81	2,71	11,13	1,55	1,36	29,72	0,76	2,01	27,92	0,19	5,83	13,95	0,06
A01	0,23	0,27	0,95	2,04	8,98	0,98	1,25	28,99	0,67	2,60	28,31	1,56	5,47	17,65	0,03
A02	0,40	0,46	1,46	2,01	9,15	1,14	1,15	29,10	0,60	3,29	25,83	1,40	7,23	16,72	0,06
A03	0,43	0,43	1,24	2,11	8,57	1,19	1,15	28,53	0,73	2,74	27,23	1,57	6,85	17,20	0,04
A04	0,35	0,36	1,15	1,80	8,52	1,30	0,95	27,49	0,87	2,52	26,36	1,69	7,77	18,82	0,06
A05	0,33	0,31	0,89	1,25	6,09	1,01	1,11	30,87	0,46	3,34	27,91	1,61	7,98	16,76	0,08
A06	0,32	0,33	1,04	1,71	8,45	1,05	1,08	30,86	0,64	2,83	26,19	1,54	6,87	17,05	0,06
A07	0,35	0,37	1,05	1,50	7,61	1,19	1,18	30,44	0,64	3,57	26,90	1,79	7,44	15,94	0,05
A08	0,46	0,44	1,30	1,78	7,62	1,18	1,04	27,43	0,65	3,36	27,13	1,64	7,00	18,89	0,06
A09	0,27	0,34	1,20	1,78	8,02	1,05	1,20	28,99	0,51	3,82	27,23	1,52	7,44	16,55	0,08
A10	0,29	0,35	1,10	1,90	8,77	1,00	1,09	31,22	0,55	2,53	24,93	1,62	8,18	16,42	0,06
Promedio	0,43	0,47	1,47	2,29	9,84	1,27	1,59	30,26	0,65	2,72	26,57	1,36	6,07	14,93	0,06

AGS: ácido graso saturado. AGM: ácido graso monoinsaturado. AGT: ácido graso trans. AGP: ácido graso poliinsaturado.

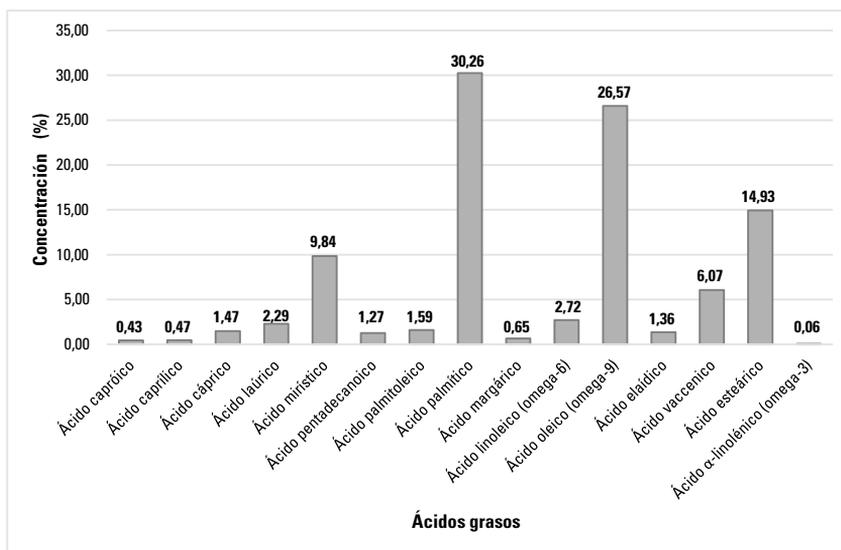


FIGURA 1. Porcentaje promedio de ácidos grasos encontrados en leche cruda de vaca de 3 regiones del Ecuador

para AL y AAL, respectivamente, mientras que un estudio en leche sueca realizado por Lindmark (2008) menciona 1,6% para AL y 0,7% para AAL.

Análisis de la influencia de la región sobre el perfil lipídico

La tabla 4 expone las significancias estadísticas obtenidas del análisis de varianza realizado para determinar la influencia del factor región sobre la concentración (expresada en porcentaje) de cada uno de los AG del perfil lipídico, incluidos los 2 de interés para el estudio (AL y AAL).

Los resultados obtenidos demostraron que las concentraciones (%) de la mayoría de los AG poseen una diferencia altamente significativa. En este contexto, O'Donnell *et al.* (2011) mencionan que se evidencia diferencia estadística ($p \leq 0,05$) en casi todo el perfil de AG frente al factor región geográfica. Por otro lado, Larsen *et al.*

(2010) indican que en todo perfil lipídico analizado existe variación de al menos un tercio de los AG. Dicha variación se atribuye a la influencia de la región, debido a que las condiciones ambientales, incluida la altitud, afectan la composición de los AG en la leche. Además, Liang *et al.* (2017) afirman que las diferencias en la composición de los AG son probables, dadas las distintas especies de plantas de las que se alimentan los bovinos presentes en las diferentes altitudes de las regiones. En la misma línea, Kebede (2016) menciona la existencia de factores influyentes tanto en la calidad de la leche como en el perfil lipídico, entre ellos el clima y la ubicación del ganado. Del mismo modo, Kadzere *et al.* (2002) y Yang *et al.* (2013) manifiestan que el ambiente cálido y húmedo que varía entre las regiones influyen en las funciones fisiológicas de los bovinos, y esto afecta directamente a la calidad del perfil lipídico.

Análisis de la influencia de la región sobre AL y AAL

Los resultados obtenidos en cuanto a AL y AAL son expuestos en la tabla 4. El análisis de AL evidencia que este AGP posee una alta diferencia significativa ($p \leq 0,01$). La región Costa se diferencia de las otras regiones y se destaca la región Amazónica como aquella que posee la mayor concentración (%) del AGP, lo que alude a la existencia de influencia del factor región sobre la concentración de

AL. En el mismo contexto, Larsen *et al.* (2010) también encontraron diferencia en la concentración de este AG frente a distintas localidades en Suecia. A su vez, O'Donnell *et al.* (2011) obtuvieron diferencia significativa al analizar la interacción de la concentración del AL con el factor región de distintas localidades de Estados Unidos. Finalmente, Yang *et al.* (2013), estadísticamente, evidenciaron diferencia significativa del ácido en estudio frente a 6 diferentes localidades de China.

TABLA 4. Análisis de variancia y coeficiente de correlación del perfil lipídico de leche de vaca

Ácido graso	Significancia	Costa		Sierra		Amazonía	
		\bar{X} (%)	Rango	\bar{X} (%)	Rango	\bar{X} (%)	Rango
C6:0	*	0,55	B	0,42	AB	0,34	A
C8:0	**	0,53	B	0,53	B	0,37	A
C10:0	**	1,48	B	1,80	C	1,14	A
C12:0	**	2,27	B	2,82	C	1,79	A
C14:0	**	10,54	B	10,82	B	8,18	A
C15:0	**	1,42	B	1,28	AB	1,11	A
C16:1	NS	1,66	A	2,00	A	1,12	A
C16:0	*	31,55	B	29,83	AB	29,39	A
C17:0	*	0,74	B	0,59	A	0,63	AB
C18:2n6 ^a	**	2,07	A	3,03	B	3,06	B
C18:1n9	NS	27,19	A	25,73	A	26,8	A
C18:1n9t	**	1,03	A	1,45	AB	1,59	B
C18:1 11t	**	5,06	A	5,91	A	7,22	B
C18:0	**	13,84	A	13,75	A	17,20	B
C18:3n3 ^b	NS	0,07	A	0,06	A	0,06	A

^a: AL. ^b: AAL. *: diferencia significativa ($p \leq 0,05$). **: alta diferencia significativa ($p \leq 0,01$); NS: no significativo.

Los resultados obtenidos en cuanto al AAL no presentaron diferencia significativa ($p \leq 0,05$), manteniéndose constantes en las 3 regiones analizadas. Esto se resume en que el factor región no influye en la concentración de este AGP. Resultado que difiere de lo expuesto por Liang *et al.* (2017), quienes revelan que este ácido, junto con otros de la familia omega-3, se ve afectado por el factor región y, por tanto, presenta diferencias significativas en su contenido. A su vez, Larsen *et al.* (2010) también evidenciaron una influencia de este factor sobre el AAL. Este fenómeno se atribuye a la variación en la alimentación.

Adicionalmente, en la figura 2 se presenta la relación existente entre el AL y AAL en cuanto al factor región. Se evidencia que la relación de la región Costa es la más baja (29,6:1), la misma no se encuentra dentro de los rangos establecidos por Yang *et al.* (2013) en diferentes localidades de China, los cuales van de 7,4:1 a 13,8:1. A su vez, tampoco se muestra similitud con el país vecino de Colombia, ya que un

estudio realizado por Prieto *et al.* (2016) en diferentes localidades reveló que la relación AL:AAL tuvo un rango de 4,1:1 a 9,24:1.

Análisis de la influencia de la época sobre el perfil lipídico

La época se puede considerar como un factor externo sustancial de variación en la composición de los AG en leche de vaca (Hanuš *et al.* 2016). Por ello, la tabla 5 expone la significancia estadística de los resultados obtenidos del análisis de varianza de la influencia del factor época (seca y lluviosa) en la región Sierra sobre el perfil lipídico de leche cruda de vaca, incluidos los 2 AG de interés para el estudio (AL y AAL).

Se resalta que en la mayoría de los AG analizados no existió diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$), lo que implica que la época no es un factor influyente en la concentración de los AG. Estos resultados son opuestos a los obtenidos por O'Donnell *et al.* (2011), ya que su investigación, realizada en 48 estados de

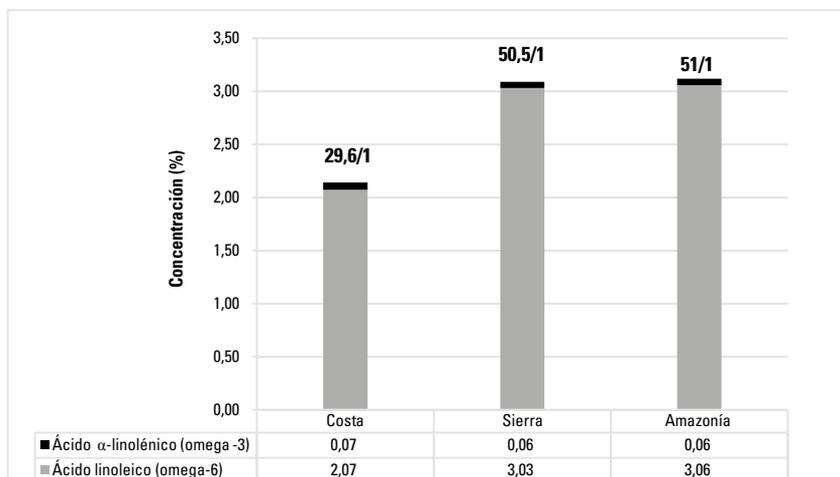


FIGURA 2. Relación AL:AAL encontrada en leche cruda de vaca en 3 regiones de Ecuador

TABLA 5. Análisis de variancia y coeficiente de correlación del perfil lipídico de leche de vaca en 2 épocas en la región Sierra

Ácido graso	Significancia	Seca		Lluviosa	
		\bar{X} (%)	Rango	\bar{X} (%)	Rango
C6:0	**	0,63	B	0,42	A
C8:0	NS	0,61	A	0,53	A
C10:0	NS	1,80	A	1,83	A
C12:0	NS	2,85	A	2,82	A
C14:0	NS	11,21	A	10,82	A
C15:0	NS	1,34	A	1,28	A
C16:1	NS	1,67	A	2,00	A
C16:0	NS	31,23	A	29,83	A
C17:0	NS	0,58	A	0,59	A
C18:2n6 ^a	NS	2,63	A	3,03	A
C18:1n9	**	23,52	A	25,73	B
C18:1n9t	**	3,74	B	1,45	A
C18:1 11t	NS	5,95	A	5,91	A
C18:0	NS	12,07	A	13,75	A
C18:3n3 ^b	NS	0,14	A	0,06	A

^a: AL. ^b: AAL. *: diferencia significativa ($p \leq 0,05$). **: alta diferencia significativa ($p \leq 0,01$). NS: no significante.

los Estados Unidos, evidenciaron diferencia estadística ($p \leq 0,05$) de más del 85% del perfil de AG frente al factor época. En el mismo contexto, Martínez *et al.* (2010) mencionan que en el sur de Estados Unidos se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas, ya que destacan que la producción de leche y calidad del perfil lipídico es baja en verano, o época cálida-seca, comparada con la del invierno, o época de lluvia, esto debido a que en las sequías o épocas veraniegas las vacas sufren estrés por calor, patología asociada a temperaturas ambientales superiores a 25°C, lo que indirectamente afecta la producción y calidad de la leche en cuanto al contenido de AG.

Investigaciones realizadas en China por Yang *et al.* (2013) indican que los AG láurico (C12:0), mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0) presentan mayor concentración y diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) en época seca. Estos resultados difieren de los presentados, ya que estos AG se encuentra en mayor concentración en la época seca, pero no poseen una diferencia estadística frente a la época lluviosa.

En cuanto al ácido oleico (C18:1n9), Lindmark (2008) y Martínez *et al.* (2010) encontraron diferencia significativa al analizarlo en distintos meses con características climáticas diferentes. Adicionalmente,

los resultados del análisis estadístico para el ácido eláidico (C18:1n9t) también mostraron diferencia significativa. Este resultado es similar a lo expuesto por Lindmark (2008) y Larsen *et al.* (2010), y es consistente con la variación del ácido oleico debido a la transformación química que este sufre, ya que pasa de forma “cis” a forma “trans”, lo que resulta en ácido eláidico. Esta transformación se da mediante la biohidrogenación ruminal y por la acción de bacterias en el rumen (Guzmán 2011).

Análisis de la influencia de la época sobre AL y AAL

En cuanto a los 2 ácidos en estudio, la tabla 5 señala que el AL y el AAL no poseen una diferencia estadística frente al factor época, lo que expresa que este factor no influye sobre la concentración de estos AGP. Dichos resultados coinciden con investigaciones realizadas por Lindmark *et al.* (2003), O'Donnell *et al.* (2011) y Ozcan *et al.* (2015), las cuales revelaron que la época no es considerado un factor que altere la concentración de AL y AAL. No obstante, los resultados obtenidos también son contrarios a los mencionados por Frelich *et al.* (2012) y Larsen *et al.* (2010), quienes señalaron que la concentración de estos ácidos si se vio afectada por el factor época, ya que los mismos presentaron un aumento en verano. Cabe mencionar que estas investigaciones fueron realizadas en República Checa y Suecia, países con estaciones climáticas marcadas.

Lo expuesto se fundamenta en que existen oscilaciones periódicas del perfil de AG en la leche de vaca debidas a que las variaciones climáticas estacionales van de la mano de cambios en la alimentación del ganado (Roca y González 2005). Este es uno de los factores más influyentes en

la variación del contenido de AG, dado que el clima afecta las especies de plantas cultivadas para ganadería y esto genera una variación en la composición del perfil lipídico de los vegetales y, por ende, en el de la leche de los rumiantes (Larsen *et al.* 2010). Por esta razón, la composición de la dieta suministrada a los bovinos puede ocasionar cambios en la diversidad microbiana y en los procesos metabólicos del rumen y, por consiguiente, cambios en el flujo duodenal y en la concentración de cada AG presente en la leche (Hanus *et al.* 2016).

En cuanto al AL, los resultados son similares a los del estudio realizado por Hanuš *et al.* (2016), en la República Checa, los cuales muestran que la concentración de este ácido no se vio afectada por la época, y su menor concentración se dio en época seca. Del mismo modo en leche de Alemania tampoco se evidenció influencia de este factor sobre la concentración de AL, según estudios presentados por Ruano (2005).

Los resultados de la concentración del AAL concuerdan con los reportados en una investigación de granjas influenciadas por la época de invierno y verano realizado por Frelich *et al.* (2012) y con estudios realizados en Turquía por Ozcan *et al.* (2015), en los que no se encontró ningún efecto de la época sobre el contenido de AAL.

Cabe destacar que, numéricamente, el AL presentó menor concentración (%) en época seca y mayor concentración en época lluviosa, mientras que en el AAL los datos son opuestos. Por lo mencionado, los resultados obtenidos poseen concordancia con lo expuesto por Ruano (2005), quien señala que el porcentaje en peso del AAL es mayor en el verano, o época seca, que en el invierno, o época lluviosa, en el cual cambió de 0,61 a 0,42%. En

la misma línea, los resultados con mayor concentración de AAL se dieron en verano o época seca, de acuerdo con las investigaciones realizadas por Hanuš *et al.* (2016) y Lindmark *et al.* (2003).

Con base en la importancia del AL y AAL, Katdare *et al.* (2019) y McGuffey (2017) mencionan que son constituyentes de membranas celulares y controladores de transcripción, puntos primordiales en una serie de procesos que aseguran el adecuado funcionamiento del cuerpo humano; sin embargo, este adecuado funcionamiento se basa en la relación existente entre estos 2 AGP. Por lo detallado, la figura 3 muestra la relación existente de AL y AAL en cuanto al factor época. Se destaca la época seca como aquella que posee una menor relación de AL:AAL, información similar a la de los resultados expuestos por Frelich *et al.* (2012), en Polonia, ya que su investigación reveló un aumento estacional del AAL frente al AL, lo que genera una relación más baja en verano o época seca. Indiscutiblemente esta relación es sumamente interesante ya que,

como mencionan Ortega *et al.* (2013), en la leche cruda de vaca se busca una relación AL:AAL (omega-6:omega-3) lo más baja posible.

En el presente estudio, la relación resultante en la época seca se acerca al rango de relación 15:1 a 16,7:1 expuesto en las dietas lácteas occidentales, las cuales se caracterizan por poseer una evidente ventaja del suministro de AL (Cholewski *et al.* 2018).

CONCLUSIONES

En el análisis de cromatografía acoplada a espectrometría de masas, se encontraron 15 AG en cada muestra, con mayor concentración de los ácidos palmítico (C16:0), oleico (C18:1n9) y esteárico (C18:0); además, se revelaron las concentraciones promedio de AL 2,72% y AAL 0,06%, con una relación AL:AAL de 45,3:1.

Se determinó la influencia del factor región sobre la concentración (%) de AL; sin embargo, no se evidenció influencia en la concentración de AAL. La relación

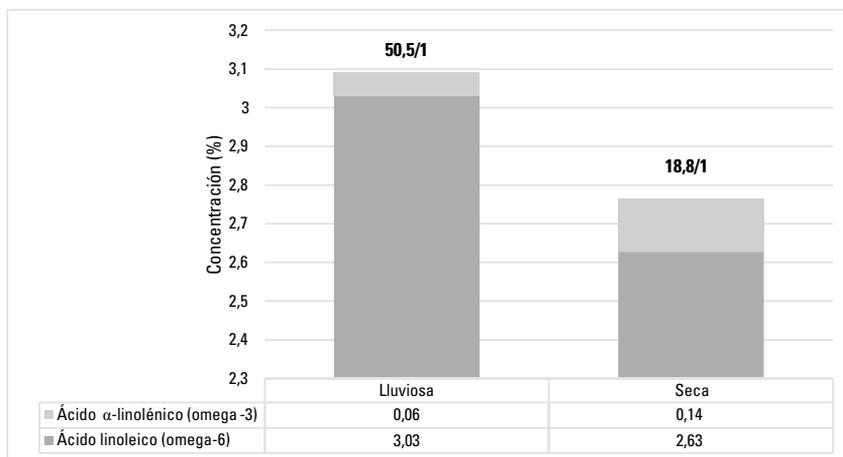


FIGURA 3. Relación AL:AAL encontrada en leche cruda de vaca en época seca y lluviosa de la región Sierra de Ecuador

de estos AG en la Sierra y Amazonía presentaron valores próximos, y la relación encontrada en la Costa (29,6:1) fue la más apropiada para el consumo humano. En cuanto al factor época se concluye que no existe una influencia del mismo sobre la concentración del AL y AAL. Adicionalmente, la relación de estos AG se redujo de 50,5:1, en época lluviosa, a 18,8:1 en época seca. Esta última presenta mejor relación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Fuentes de financiación

Este trabajo se llevó a cabo con el apoyo financiero de la Universidad Politécnica Salesiana.

Agradecimientos

Se expresa agradecimiento con el grupo de Investigación Nunkui Wakan, el Laboratorio de Calidad de Leche-Cayambe y Ecuajugos-Nestlé por el apoyo técnico proporcionado.

REFERENCIAS

- Abril A, Pillco V, Torres A. 2013. Calidad fisicoquímica de la leche cruda que ingresa a la ciudad de Cuenca, para su comercialización. [Trabajo de pregrado]. [Cuenca, Ecuador] Universidad de Cuenca. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4825/1/TESIS.pdf>
- Badui S. 2011. Química de los alimentos. 7.^a ed. México: Pearson Educación de México S. A.
- Cabezas C, Hernández B, Vargas M. 2016. Aceites y grasas: Efectos en la salud y regulación mundial. *Rev Fac Med.* 64(4):761-768. Doi: 10.15446/revfacmed.v64n4.53684.
- Calvo M, Castro M, García A, Rodríguez L, Juárez M, Fontecha J. 2014. Grasa láctea: una fuente natural de compuestos bioactivos. *Alim Nutri Salud.* 21(3):57-63. Doi: 1136-4815/14/57-63.
- Cañadas L. 1983. El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Quito: MAG-PRONAREG.
- Carrero J, Martín E, Baró L, Fonollá J, Jiménez J, Boza J, López E. 2005. Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. *Nutr Hosp.* 20(1):63-69. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112005000100010
- Castro H. 2014. Efecto de la estrategia de alimentación y el genotipo sobre la producción, composición y perfil de ácidos grasos de la leche de vacas en pastoreo en el Valle de Toluca. [Tesis de maestría]. [Toluca, México] Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/58799/MCARN-HCH-06-14.pdf?sequence=1&isAllowed=>
- Cheng J, Wang J, Bu D, Liu G, Zhang C, Wei H, Zhou L, Wang J. 2008. Factors affecting the lactoferrin concentration in bovine milk. *J Dairy Sci.* 91(3):970-976. Doi: 10.3168/jds.2007-0689.
- Cholewski M, Tomczykowa M, Tomczyk M. 2018. A comprehensive review of chemistry, sources and bioavailability of omega-3 fatty Acids. *Nutrients.* 10(11):1662. Doi: 10.3390/nu10111662.
- Conte G, Ciampolini R, Cassandro M, Lasagna E, Calamari L, Bernabucci U, Abeni F. 2018. Feeding and nutrition management of heat-stressed dairy ruminants. *Ital J Anim Sci.* 17(3):604-620. Doi: 10.1080/1828051X.2017.1404944.
- Cruz A, Lizarazo C, Porras J. 2017. Efecto de la suplementación con *Medicago sativa* (Alfalfa) sobre algunos parámetros de la leche bovina. *Rev Investig Vet del Perú.* 28(4):852-860. Doi: 10.15381/rivep.v28i4.13870.
- Das R, Sailo L, Verma N, Bharti P, Saikia J, Imtiwati, Kumar R. 2016. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Vet World.* 9(3):260-268. Doi: 10.14202/vetworld.2016.260-268.
- Delage B. 2019. Essential fatty acids. Instituto Linus Pauling. Oregon State University [Internet]. [citado 2019 Ago 28]. Disponible en: <https://lpi.oregonstate.edu/mic/other-nutrients/essential-fatty-acids#authors-reviewers>
- Echeverri J, Restrepo L. 2009. Efecto meteorológico sobre la producción y calidad de la leche en dos municipios de Antioquia-Colombia. *Lasallista*

- Investig. 6(1):50-57. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/695/69514350008.pdf>
- Frelich J, Šlachta M, Hanuš O, Špička J, Samková E, Węglarz A, Zapletal P. 2012. Seasonal variation in fatty acid composition of cow milk in relation to the feeding system. *Anim Sci Pap Reports*. 30(3):219-229. Disponible en: <http://archiwum.ighz.edu.pl/files/objects/7499/66/pp219-230.pdf>
- García C, Montiel R, Borderas T. 2014. Grasa y proteína de la leche de vaca: componentes, síntesis y modificación. *Arch Zootec*. 63:85-105. Disponible en: http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/19_10_27_3153REVISIONGrasaGarcia.pdf
- Gebreyowhans S, Lu J, Zhang S, Pang X, Lv J. 2019. Dietary enrichment of milk and dairy products with n-3 fatty acids: A review. *Int Dairy J*. 97:158-166. Doi: 10.1016/j.idairyj.2019.05.011
- Gil A, Ruiz M. 2015. Tratado de nutrición, composición y calidad nutritiva de los alimentos. 2.ª ed. Madrid: Panamericana. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=hcwBJ0FNvqYC&pgis=1>
- Guo J, Gao S, Quan S, Zhang Y, Bu D, Wang J. 2018. Blood amino acids profile responding to heat stress in dairy cows. *Asian-Australasian J Anim Sci*. 31(1):47-53. Doi: 10.5713/ajas.16.0428
- Guzmán A. 2011. Perfil lipídico y contenido de ácidos grasos trans en productos ecuatorianos de mayor consumo. [Trabajo de pregrado]. [Quito, Ecuador]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/3721/T-PUCE-3366.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hanuš O, Krížová L, Samková E, Špička J, Kucera J, Klimešová M, Roubal P, Jedelská R. 2016. The effect of cattle breed, season and type of diet on the fatty acid profile of raw milk. *Arch Anim Breed*. 59:373-380. Doi: 10.5194/aab-59-373-2016
- Herbut P, Angrecka S, Walczak J. 2018. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle-a review. *Int J Biometeorol*. 62(12):2089-2097. Doi: 10.1007/s00484-018-1629-9
- Herrera M, Flores M, Pámanes G, Rosales O, Pacheco J. 2015. Metodología para la extracción, identificación y cuantificación de ácidos grasos en la dieta y leche de cabras. *Inifap*. 74:3-24. Disponible en: <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/metoAcidosGLeche.pdf>
- Hershberger U. 2012. Producción y calidad de leche de vacas en pastoreo o en estabulación. [Trabajo de pregrado]. [Chapingo, México] Universidad Autónoma Chapingo. Disponible en: https://www.chapingo.mx/produccionanimal/administrador/components/com_jresearch/files/theses/PPA_MC_044_09_12_AGR_UHDA.pdf
- Inen. 2012. Norma Técnica Ecuatoriana 9:2012. Quito. Disponible en: https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_9-5.pdf
- Kadzere C, Murphy M, Silanikove N, Maltz E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest Prod Sci*. 77(1):59-91. Doi: 10.1016/S0301-6226(01)00330-X
- Katdare A, Thakkar S, Dhepale S, Khunt D, Misra M. 2019. Fatty acids as essential adjuvants to treat various ailments and their role in drug delivery: A review. *Nutrition*. 65:138-157. Doi: 10.1016/j.nut.2019.03.008
- Kebede D. 2016. Impact of climate change on livestock productive and reproductive performance. *Livest Res Rural Dev [Internet]*. [citado 2019 Jun 22]; 28(12). Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd28/12/kebe28227.htm>
- Larsen M, Nielsen J, Butler G, Leifert C, Slots T, Kristiansen G, Gustafsson A. 2010. Milk quality as affected by feeding regimens in a country with climatic variation. *J Dairy Sci*. 93(7):2863-2873. Doi: 10.3168/jds.2009-2953
- Liang K, Zhao Y, Han J, Liu P, Qiu J, Zhu D, Qin Y, Lu L, Wang X. 2017. Fatty acid composition, vitamin A content and oxidative stability of milk in China. *J Appl Anim Res*. 46(1):566-571. Doi: 10.1080/09712119.2017.1360186
- Lindmark H. 2008. Fatty acids in bovine milk fat. *Food Nutr Res*. 52(1):1821. Doi: 10.3402/fnr.v52i0.1821
- Lindmark H, Fondén R, Pettersson H. 2003. Composition of Swedish dairy milk. *Int Dairy J*. 13(6):409-425. Doi: 10.1016/S0958-6946(03)00032-3

- Marrero D. 2006. Obtención y determinación de ácidos grasos de muy elevada masa molecular. *Rev Cenic Ciencias Químicas*. 37(1):23-33. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1816/181620524007.pdf>
- Martínez A, Gómez P, Pérez L, Juárez M, Gómez A, Pérez M, De la Fuente M. 2013. Adición de aceites vegetales a la dieta de cabras lecheras: efecto sobre el contenido de ácidos grasos de la grasa láctea. *Arch Med Vet*. 45:259-266. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1730/173029279004.pdf>
- Martínez A, Moya S, González H, Hernández J, Pinelli A. 2010. Contenido de ácido linoleico conjugado (CLA) en leche de ganado lechero Holstein estabulado en el noroeste de México. *Rev Mex Ciencias Pecu*. 1(3):221-235. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242010000300003
- McGuffey R. 2017. A 100-year review: Metabolic modifiers in dairy cattle nutrition. *J Dairy Sci*. 100(12):10113-10142. Doi: 10.3168/jds.2017-12987
- O'Donnell A, Barbano D, Bauman D. 2011. Survey of the fatty acid composition of retail milk in the United States including regional and seasonal variations. *J Dairy Sci*. 94(1):59-65. Doi: 10.3168/jds.2010-3571
- Ortega R, Espinoza J, Palacios E, Palacios A, Arjona O, Murillo B, Rivera F. 2013. Perfil de ácidos grasos en leche de vacas Chinampas (*Bos taurus*) alimentadas con forraje fresco de matorral sarcocauléscente o heno de alfalfa. *Arch Med Vet*. 45(1):45-51. Doi: 10.4067/S0301-732X2013000100008
- Ozcan T, Yaslioglu E, Kilic I, Simsek E. 2015. The influence of the season and milking time on the properties and the fatty acid composition of the milk in different dairy cattle farms. *Mljekarstvo*. 65(1):9-17. Doi: 10.15567/mljekarstvo.2015.0102
- Pragna P, Archana P, Aleena J, Sejian V, Krishnan G, Manimaran A, Bagath M, Beena V, Kurien E, Varma G, et al. 2017. Heat stress and dairy cow: impact on both milk yield and composition. *Int J Dairy Sci*. 12(1):1-11. Doi: 10.3923/ijds.2017.1.11
- Prieto E, Mahecha L, Angulo J, Vargas J. 2016. Efecto de la suplementación lipídica sobre ácidos grasos en leche de vaca, énfasis en ácido ruménico. *Agron Mesoam*. 27(2):421-437. Doi: 10.15517/am.v27i2.22022
- Roca A, González A. 2005. Variación estacional en la composición química y en el perfil de ácidos grasos de la leche de vaca. *Ingacal*. 10:353-360. Disponible en: <http://ciam.gal/uploads/publicacions/731archivo.pdf>
- Rodríguez F. 2017. Identificación de los ácidos grasos presentes en la leche de cabra (*Capra hircus*), mediante el método de cromatografía gaseosa acoplada a masas. [Tesis de grado]. [Quito, Ecuador] Universidad Politécnica Salesiana. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13643>
- Ruano J. 2005. Cuantificación de isómeros trans de ácidos grasos en leche cruda de la planta láctea de Zamorano por cromatografía de gases. [Tesis de grado]. [Zamorano, Honduras] Universidad Zamorano. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5218/1/AGI-2005-T030.pdf>
- Siurana A. 2015. Obtención de una leche enriquecida de forma natural en ácidos grasos omega-3 y ácido conjugado linoleico (CLA) sin disminución de la cantidad de la grasa láctea. [Tesis de doctorado]. [Barcelona, España] Universitat Autònoma de Barcelona. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/328431/asm1de1.pdf?sequence=1>
- Torres X. 2018. Estudio de la producción de la industria láctea del cantón Cayambe en el período 2009-2015. [Tesis de maestría]. [Quito, Ecuador] Universidad Andina Simón Bolívar. Disponible en: <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6052/1/T2544-MAE-Torres-Estudio.pdf>
- Toyes E. 2011. Composición de la grasa láctea de cabras manejadas bajo tres sistemas de explotación en dos épocas del año. [Tesis de maestría]. [La Paz, México] Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Disponible en: https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/235/1/toyes_e.pdf
- Yang Y, Wang J, Yuan T, Bu D, Yang J, Zhou L, Sun P, Zhang J. 2013. Impact of region on

the composition of milk fatty acids in China.
J Sci Food Agric. 93(11):2864–2869. Doi:
10.1002/jsfa.5999

Zambrano D, Castillo E, Simbaña L. 2017. La
producción de leche en Ecuador y Chimborazo:
nuevas oportunidades e implicaciones ambientales.

Yura: Relaciones Internacionales. 10:270-289.
Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/322756060_La_produccion_de_leche_en_Ecuador_y_Chimborazo_nuevas_oportunidades_e_implicaciones_ambientales

Forma de citación del artículo:

Alvear DC, Guerrero JD, Bonifaz NF, Noriega PF. 2021. Calidad composicional y concentración de ácidos grasos omega-3 (alfa-linolénico) y omega-6 (linoleico) presentes en leche bovina de tres regiones naturales del Ecuador. Rev Med Vet Zoot. 68(2): 150-169. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v68n2.98027>