

Huella de carbono en la cadena de valor del queso tipo paria de la zona lago de la cuenca Titicaca

Carbon footprint in the value chain of Paria cheese from the Lake Titicaca basin area

Rubén Condori Cusi^{1,*} y Eduardo Fuentes Navarro²

Resumen

El objetivo del estudio fue calcular y analizar la huella de carbono (HC) en el contexto de la cadena de valor del queso paria producido en cuatro plantas de la zona lago de la cuenca del Titicaca en Perú. Para determinar el valor agregado (VA) se consideró al precio de mercado como valor bruto de la producción (VBP), compuesto por VA y consumo intermedio (CI). El VA se desagregó en trabajo, capital, tierra e impuestos; y, el CI en nacional (N) e importado (M). Para calcular la HC se utilizó la metodología del panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC) a Nivel uno, complementado con un análisis del ciclo de vida del producto (ACV). El VA, por kilogramo de producto final queso, a precios de abril del 2020, se determinó en 10.68 nuevos soles en Ácora, 9.30 en Platería, 11.51 en Huata y 10.31 en Taraco; limitado principalmente por el precio. En cuanto a HC se determinó 10.54 kg de CO₂eq por kilogramo de producto queso en Ácora, 10.98 en Platería, 9.98 en Huata y 9.41 en Taraco; observándose que la mayor parte de la HC se emite en la ganadería. Asimismo, se determinó que la HC es variable, que la mayor HC en la ganadería corresponde a emisiones de CH₄ por fermentación entérica y en la agricultura al N₂O. Finalmente, se vinculó el VA con la HC mediante un indicador de rentabilidad ambiental destacando la planta de Huata con 1.15 nuevos soles por kilogramo de CO₂eq de queso.

Palabras clave: queso tipo paria, lago Titicaca, valor agregado, huella de carbono.

Abstract

The objective of this study was to calculate and analyze the carbon footprint (CF) in the context of the value chain of Paria cheese produced in four plants in the Lake Titicaca basin area in Peru. To determine the value added (VA), the market price was considered as the gross value of production (GVP), composed of VA and intermediate consumption (IC). The VA was disaggregated into labor, capital, land, and taxes; and the IC into domestic (D) and imported (I). The CF was calculated using the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Level one methodology, complemented with a product life cycle analysis (PLCA). The VA, per kilogram of final cheese product, at April 2020 prices, was determined to be 10.68 soles in Acora, 9.30 in Platería, 11.51 in Huata, and 10.31 in Taraco; mainly constrained by the market price. Regarding CF, it was determined to be 10.54 kg of CO₂eq per kilogram of cheese product in Acora, 10.98 in Platería, 9.98 in Huata, and 9.41 in Taraco; with the majority of CF emissions occurring in the livestock phase. It was also determined that CF varies among plants, with the highest CF in livestock attributed to CH₄ emissions from enteric fermentation, and in agriculture to N₂O. Finally, the VA was linked to CF through an environmental profitability indicator, highlighting the Huata plant with 1.15 soles per kilogram of CO₂eq of cheese product.

Keywords: paria cheese, Lake Titicaca, value added, carbon footprint.

Recibido: 11/08/2023

Aceptado: 30/10/2023

Publicado: 04/11/2023

Sección: Artículo original

***Autor correspondiente:** rcondori@unap.edu.pe

Introducción

El V Informe del IPCC (2014) indica que, las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero se han incrementado peligrosamente, principalmente desde la llamada revolución industrial. En el caso de la crianza de vacas lecheras se conoce que los principales GEI provienen de emisiones de CO₂, CH₄ y el N₂O, cada uno de ellos con diferente potencial de calentamiento global (PCG). Según el MINAM (2021), en el Perú, las emisiones de la ganadería dentro del sector agricultura representan el 8.7 por ciento; siendo la crianza de vacunos la principal responsable de las emisiones de CH₄ debido a las características de su aparato digestivo, así como por su mayor tamaño y número respecto a otras especies domesticadas. Respecto al contexto nacional, Puno posee el 13 por ciento del plantel de vacunos, 11 por ciento de vacas en ordeño; y, produce el cinco por ciento de la leche fresca y el 16 por ciento de los quesos

(MINAGRI 2017). Por su parte, Roque (2019) considera que la región Puno ha experimentado un crecimiento importante en las últimas décadas, existiendo alrededor de 550 plantas de lácteos entre artesanales, pequeñas y medianas empresas que producen 50 toneladas diarias de queso. Tal crecimiento es generado principalmente por microempresas familiares, asociaciones de productores y cooperativas; sin embargo, dichos actores se caracterizan por realizar un manejo ineficiente de sus recursos, reflejado en una baja productividad y una

¹Facultad de Ingeniería Económica, Universidad Nacional del Altiplano, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5484-5648>

²Facultad de Zootecnia, Universidad Agraria La Molina, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9351-9853>

Como citar: Condori Cusi, R., & Fuentes Navarro, E. (2023). Huella de carbono en la cadena de valor del queso tipo paria de la zona lago de la cuenca Titicaca. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 25(4), 213-223. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.565>



alteración negativa de la cadena de valor del producto queso.

En ese sentido, el presente artículo calcula y analiza la HC del producto queso tipo paria en el contexto de su cadena de valor en la zona lago de la cuenca del Titicaca en Perú (Figura 2), estudio que pueda ser

utilizado como insumo para otros estudios que busquen incrementar la producción y el bienestar social, pero que a la vez sean económica y ambientalmente sostenibles

Materiales y métodos

Ámbito de estudio

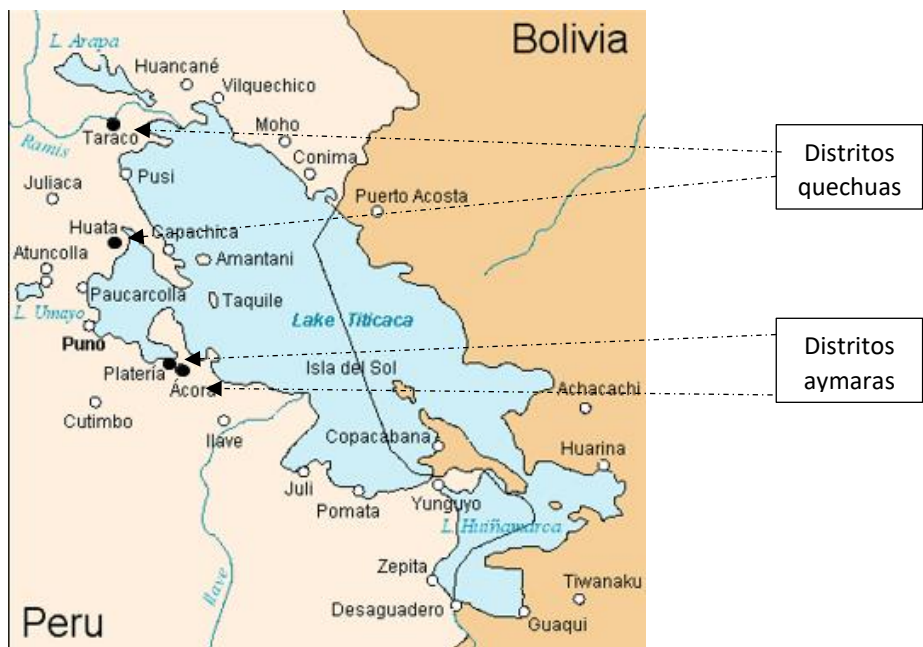


Figura 1. Localización del ámbito de estudio

El estudio se realizó en la zona lago de la cuenca Titicaca (Figura 1). Se identificó, de forma no probabilística y discrecional, cuatro plantas productoras localizadas en cuatro distritos del área de estudio

(Tabla 1), En cada ámbito de influencia se consideró principalmente a los ganaderos que proveen leche a las plantas y a los agricultores vinculados a esta actividad.

Tabla 1. Las plantas de producción de queso tipo paria estudiadas

	ECO AROMA CARITAMAYA	ECO ANDINA PLATERIA	ECOLÁCTEOS HUATA	IMA SUMAC SIACHI TARACO
Latitud sur	15.9736	15.9475	15.6144	15.2978
Longitud oeste	69.7978	69.8356	69.9722	69.9792
Organización	Cooperativa de mujeres	Asociación de productores	Empresa Municipal	Empresa privada

Acopio de información

Para el recojo de información, se aplicó: *sondeo de aproximación* para la identificación y caracterización de las plantas productoras de queso y su entorno, *guías de entrevista* a personas reconocidas en el ámbito de estudio, a profesionales y técnicos vinculados al ámbito, a ganaderos y agricultores vinculados a las plantas productoras de leche y al personal técnico de las plantas productoras de leche. Adicionalmente, se recopiló *historias de vida* de personalidades representativas. Asimismo, se participó en algunas sesiones de la mesa de lácteos implementada en la región Puno.

Metodología para cadena de valor del producto

Se consideró que en el precio de mercado de todo bien está contenido el costo del consumo intermedio (CI) de materias primas, insumos o energía y valores de uso y de cambio denominados valor agregado (VA) como resultado del proceso productivo de obtención de nuevos y mejores bienes. Asimismo, cada consumo intermedio de bienes (CI_v) para la obtención de nuevos productos es de origen nacional (CI_{YN}) o importado (CI_{YM}). Adicionalmente, cada bien que se consume contiene también CI anterior y VA que, a su vez, es resultado de procesos productivos anteriores. En el

VA del producto se consideró aquellos denominados “factores de producción”, que no se incorporan al nuevo producto ni se consumen íntegramente en el proceso productivo por lo que adoptan la forma de compensaciones, como ser: remuneraciones al factor trabajo (R_w), al factor capital (R_k), depreciación lineal (Dx) por uso de activos (infraestructura, maquinarias, equipos y activo biológico), remuneraciones al factor tierra (R_t) e impuestos y subsidios vinculados al gobierno (T). Finalmente, todos los precios de mercado se homogenizaron mediante el índice de precios al consumidor (IPC).

Metodología para huella de carbono del producto

Para los cálculos de HC se consideraron a los principales GEI, priorizados por la FAO (2010) para

las cadenas alimentarias de los animales y la IDF (2015) para el rubro lácteo (CO_2 , N_2O y CH_4), con sus correspondientes potenciales de calentamiento global (PCG). Para determinar los factores de emisión (FE) y las ecuaciones de Nivel 1 se siguió las pautas proporcionadas por las directrices del IPCC (2006) e IPCC (1996) y MINAM (2019). En lo que respecta al alcance, mapa de procesos, balance de masas, flujograma de materiales y energía, datas de actividad, métodos de asignación en caso de coproductos y subproductos y contabilidad de emisiones, se emplearon las normas PAS 2050:2011, elaborado por el British Standard Institute (BSI 2011) con el apoyo de Carbon Trust y Department for Environment, Food and Rural Affairs; y, GHG Protocol, Greenhouse Gas Protocol (2001).

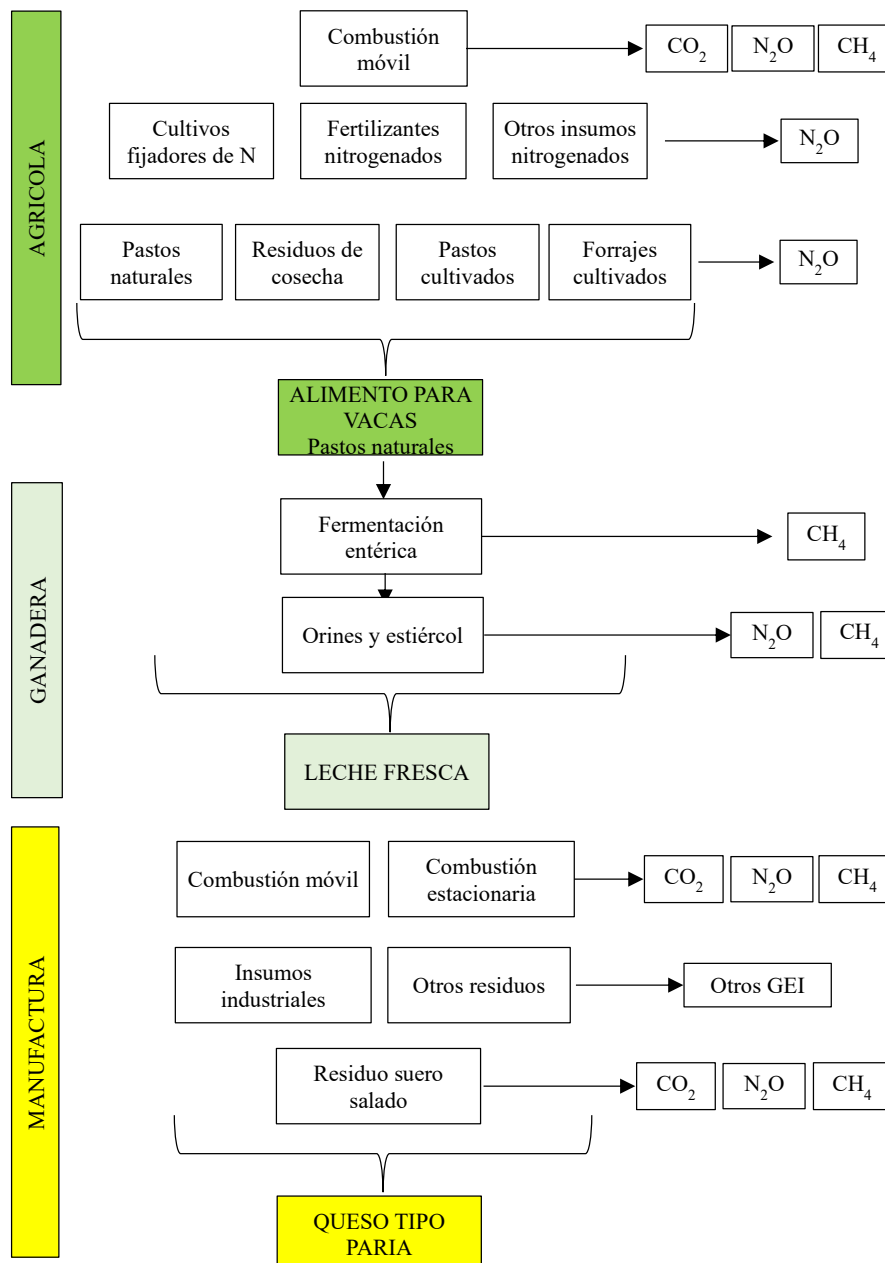


Figura 2. Relación entre VA y HC del queso tipo paria

Resultados y discusión

Valor agregado en el queso tipo paria

El concepto de valor agregado implica añadir valor en la producción, transformar insumos en productos intermedios y finales más valiosos (Coltrain et al 2000). La Tabla 2 muestra que el VA total fluctúa entre S/. 9.30 en Platería y S/.11.51 en Huata, por kilogramo de queso, lo que representa más del 77.5 por ciento del VBP. La proporción de VA respecto al VBP refleja el nivel de desagregación de los precios del producto final en precios de los productos intermedios más relevantes. Eso significa que, si se identifica y desglosa los otros insumos locales y extra locales la proporción de VA local se incrementaría y, el CI tendería a un valor cercano a cero (Castro y Mokate 2013), debido a que, en esencia, todo es VA.

Nuestro VA expresa el nivel de transformación en origen, posibilita dinamismo en la economía local, integración de tipo vertical y desarrollo con inclusión social (Bragachini 2010). En la perspectiva de región geográfica (Kraybill y Jhonson 1989) la alta proporción de VA local expresa el nivel de ventas de un territorio respecto a sus compras, lo que se traduce en mayores ingresos para el ámbito y beneficio para el conjunto de familias involucradas en toda la cadena.

La remuneración al factor trabajo es la parte más significativa del VA ya que representa más del 72.4 por ciento de lo obtenido en dicho rubro por concepto de quesos, lo que ratifica el concepto de que la mano de obra es la fuente de creación de valor porque tiene la virtud de transformar la naturaleza y las materias primas en bienes para la satisfacción de necesidades humanas. Gracias al trabajo que se realiza en la zona, una parte del VA se destina al pago de impuestos en beneficio de los sectores de población que considere el gobierno, mientras que otra parte puede disponerse a la renovación

del capital. Además, considerando que la tierra es propiedad del ganadero, que no paga renta a otro, el beneficio vinculado a la población rural involucrada asciende a más del 76.0 por ciento del VA.

El VA es objeto de apropiación; sin embargo, generalmente hay problemas de inequidad intersectorial (Gaudin y Padilla 2020). Si bien en todos los eslabones se genera VA se percibe relativa ventaja del sector agrícola, de 35.8 (Huata) a 43.3 por ciento (Platería), seguido de la fase ganadera y la manufactura. Entre la fase ganadera y manufactura se percibe cierta equidad lo que de alguna forma expresa competencia intersectorial, que las tasas de ganancias en mercados más competitivos tienden a la convergencia. La particularidad es en Platería, donde la fase manufacturera participa en menor proporción en la distribución del VA porque los ganaderos y agricultores controlan para si la fase de manufactura mediante su asociación lo que les posibilita un control más directo, aunque no necesariamente más eficiente.

En términos absolutos el VA está limitado por el precio. El mayor VA se da en Huata (S/. 11.51) y el menor en Platería (S/. 9.30); esto se explica, en parte por el mayor precio de colocación en Huata (S/. 14.00) que en Platería (S/.12.00). El mayor precio en Huata se debe, en parte, a su mayor cercanía a los mercados urbanos, Puno y Juliaca. Esta situación ocurre también en Taraco donde el punto de venta de la empresa se encuentra a pie de carretera. El posicionamiento en el mercado es otra variable que explica el mayor precio. En Huata, la empresa, al ser estatal, indirectamente respalda a su producto ya que los consumidores lo perciben como serio y de calidad; algo parecido ocurre en Caritamaya, donde su producto está posicionado pero la mayor distancia respecto a la carretera y a los mercados urbanos le resta ventaja. Lo opuesto ocurre en Platería, donde al tratarse de negocio nuevo el producto aún no se posiciona en el mercado.

Tabla 2. VA contenido en un kg de producto queso según factor productivo, productos intermedios, planta de queso y precios de abril del 2020

	Ácora	Platería	Huata	Taraco
	S/.	S/.	S/.	S/.
Impuestos	0.61	0.34	0.48	0.21
Factor trabajo	7.80	6.73	9.20	8.13
Factor capital	1.04	0.87	0.63	0.70
Factor tierra	1.23	1.37	1.21	1.26
VA total queso	10.68	9.30	11.51	10.31
VA pastos y forrajes	4.14	4.03	4.12	4.12
VA leche fresca	3.22	3.67	3.86	3.13
VA queso fresco	3.31	1.61	3.53	3.06
VA total queso	10.68	9.30	11.51	10.31
CI total	2.53	2.70	2.49	2.42
VBP = Precio del queso	13.21	12.00	14.00	12.73

El VA en la manufactura del queso podría incrementarse en Ácora y Platería si se considera el aporte de sub productos (mantequilla y yogurt) que no se incluyeron en el cálculo, que no requieren necesariamente más insumo leche sino proceso adicional. Sin embargo, estos productos, a la fecha, no tienen mucha demanda en la zona por lo que su producción es eventual y a pedido. Al respecto, sería importante desarrollar mercado para estos sub productos ya que incrementarían el VA y reducirían el impacto ambiental de la actividad. El suero dulce es un residuo aprovechable, que mayormente se regala y se devuelve a los proveedores que lo prefieren para la crianza de cerdos y mezcla con el forraje.

El CI también explica el monto del VA. El CI expresa que las compras de origen extra local están en el rango del 17.8 (Huata) al 22.5 por ciento (Platería) respecto al VBP del producto queso. Eso significa que hay un margen significativo para reducir esas compras a favor del desarrollo local; compras que no son fáciles de reducir como es el caso de semillas certificadas, SFT, combustibles fósiles y pajillas de semen; sin embargo, estratégicamente corresponde reducir ese CI ya que involucra independencia tecnológica y seguridad alimentaria.

Otra perspectiva de la importancia del VA del producto queso es su capacidad multiplicadora ya que el modelo insumo – producto posibilita analizar el impacto de la actividad dentro de la economía regional (Cabrera et al 2008). Al respecto, se encontró valores en el rango de 2.3 (Huata) a 2.6 (Platería) lo cual indica que el incremento de un nuevo sol en la demanda de queso tiene una alta capacidad de arrastre directo de los sectores ligados a él. Es decir, si la producción de queso dinamiza el mercado de la leche, ésta a su vez dinamiza el mercado de pastos y forrajes y también el de semillas y otros productos en un monto mayor a 1.3 nuevos soles por kilogramo de queso; lo cual muestra que el sector agrario es altamente inclusivo e intensivo en mano de obra. Adicionalmente, el MINAGRI (2017) identificó que el coeficiente técnico de la leche fresca es 36.1 por ciento; eso significa que la industria láctea del Perú, por cada 100 nuevos soles de venta de sus productos procesados (queso, yogurt y leche) retribuyen sólo 36.1 nuevos soles a sus proveedores, apropiándose para sí el 63.9 por ciento del VBP.

Estos resultados nos hacen cuestionar la idoneidad de un análisis rentista simple de beneficio – costo, limitado a ingreso y gasto, como indicador de beneficio social. Obviamente, en la actualidad la actividad tiene limitaciones; sin embargo, el reto técnico y económico es, justamente, hacerla mucho más beneficiosa socialmente.

Huella de carbono del producto queso tipo paria

El Tabla 3 muestra los resultados de la HC del producto final queso, en términos de CO₂eq por kilogramo de producto final queso. En él se observa que la más alta HC se genera en Platería (10.96 kg CO₂eq) y la más baja en Taraco (9.41 kg CO₂eq). Desde el punto de vista de los GEI involucrados observamos que el mayor causante es el CH₄ seguido del N₂O, CO₂ y otros GEI no identificados. La prelación de GEI es concordante con lo encontrado en diferentes estudios (Batalla et al. 2015, Dalgaard et al. 2014). Respecto a cadena de valor se observa que la fase ganadera genera mayor HC, seguido de la agrícola y la manufacturera. En cuanto GEI relevantes, se observa que la mayor preocupación en la agricultura es el N₂O en el rango del 83.5 (Ácora) al 85.0 por ciento (Huata), el CH₄ en la ganadería en el intervalo 92.9 al 93.4 por ciento; y, el CO₂ en la manufactura del queso.

Las mayores emisiones de la agricultura corresponden a N₂O y marginalmente al CO₂. Las emisiones de N₂O, en orden de magnitud son indirectas, directas y del pastoreo. Las emisiones indirectas y del pastoreo corresponden esencialmente a la mayor cantidad de N excretado por los animales que, por menor productividad de leche, requieren mayor número de vacas para cubrir la demanda de leche de la planta. Las emisiones directas corresponden a los residuos de las cosechas y al estiércol utilizado en el cultivo de avena forrajera, no correspondió atribuir emisiones por otras fuentes directas ya que no es habitual la fertilización sintética nitrogenada, los cultivos fijadores de N ni la presencia de suelos orgánicos.

Al respecto, se conoce que las emisiones de N₂O atribuibles al manejo de estiércol requieren la presencia de nitritos y de nitratos en un entorno apropiado. Zamora (2013) indica que las mayores emisiones de N₂O provienen del estiércol manejado en sistemas líquidos o recolectados y almacenados en forma sólida; adicionalmente, Constantini et al. (2018) refiere que las mayores emisiones de N₂O por manejo del estiércol corresponden al sistema de manejo líquido. Estos puntos de vista divergen del IPCC (1996) al considerar un mayor FE a los sistemas almacenamiento sólido y praderas y pastizales respecto a los sistemas de tipo líquido, por tanto, menor impacto ambiental. Al margen de las divergencias teóricas, la práctica exige abordar apropiadamente el sistema de manejo del estiércol por su alta importancia en las emisiones de N₂O. Y, desde el punto de vista teórico, corresponde indagar mejor las causalidades en las emisiones de N₂O por gestión del estiércol.

En la fase ganadera, las mayores emisiones de GEI corresponden al CH_4 y marginalmente al N_2O . Las mayores emisiones de CH_4 corresponden a fermentación entérica y marginalmente a gestión del estiércol. Los resultados encontrados son concordantes con Beltrán et al (2016) quienes encontraron que las emisiones de CH_4 por fermentación entérica constituyen el 99.6 por ciento y por manejo de estiércol 0.4 por ciento. Además, se conoce que, la fermentación entérica está relacionada, además del peso vivo del ganado, con su edad, desplazamiento diario, consumo de materia seca y calidad de la dieta. Al respecto, Alvarado et al (2021), encontraron que, para ecosistemas de altura propios de los andes peruanos, el sistema de pastos cultivados genera menor CH_4 entérico por unidad de ingesta de alimento siendo indiferente los altibajos estacionales. Adicionalmente, Cambra et al. (2008) y Bart et al. (2008) consideran que generalmente hay correlación negativa entre digestibilidad de las dietas y emisión de CH_4 . En el caso de manejo de estiércol, en forma sólida o sobre pasturas y el suelo, la tendencia es a la descomposición aeróbica produciendo muy poco o nada de CH_4 (Zamora 2013). Es así que, los esfuerzos por reducir las emisiones de CH_4 en la fase ganadera deben centrarse en la fermentación entérica y marginalmente en el manejo del estiércol.

Por otro lado, si bien el sistema de manejo del estiércol es poco importante en cuanto a emisiones de CH_4 , la situación cambia radicalmente en cuanto a emisiones de N_2O ya que el total de emisiones de esta fase provienen exclusivamente de cómo se maneja el estiércol.

Respecto al rol de la orina sobre los pastizales, García (2019) considera que las emisiones de N_2O por deposición indiscriminada de orina de los animales

sobre los suelos puede incrementarse hasta en 4.6 veces respecto a sin orina. Para la época seca, Suquisupa (2019) concluye que el flujo de emisiones de $\text{N-N}_2\text{O}/\text{m}^2$ fue 2.16 veces mayor con la aplicación de orina. Esto se explica ya que las emisiones por deposición de orines sobre los pastizales dependen de la temperatura, la densidad y humedad del suelo, lo que condiciona la velocidad de nitrificación del N contenido en la orina.

En la fase de manufacturera del queso, las mayores emisiones de GEI le corresponden al CO_2 , le siguen otros GEI y marginalmente CH_4 y N_2O . Las emisiones de CO_2 corresponden mayormente a la combustión móvil y estacionaria en el acopio de leche y en el procesamiento del queso respectivamente. La menor HC de Taraco (1.407 kg de CO_2eq), se explica en parte por la menor combustión de energía fósil en el acopio de leche dada la cercanía de los proveedores y el uso de vehículos más livianos al contrario de lo que ocurre en Ácora (2.607 kg de CO_2eq) donde hay mayor dispersión y distancia de los productores respecto a la planta de lácteos. Los otros GEI sin identificación específica, representan una fracción importante de la HC, entre 1.165 a 1.257 kg de CO_2eq y corresponden exclusivamente al conjunto diverso de insumos requeridos en la manufactura del queso. Si se excluye de este conjunto los GEI no priorizados para el sector agricultura por la FAO (2010) y la IDF (2015), la HC se reduciría sustantivamente. No obstante, en este grupo de GEI sin identificación específica el agua potable es responsable de más del 93 por ciento del impacto, lo cual revela que los otros insumos contribuyen poco a la HC. Aparte, en el agua potable hay diversidad de calidades, costos y fuentes de aprovisionamiento por lo que las emisiones de GEI deben ser ajustadas con FE aplicables al contexto local.

Tabla 3. HC de un kilogramo del producto final queso tipo paria según cadena de valor, GEI y planta productora de quesos

Categoría	kg CO_2eq por kg de queso			
	Ácora	Platería	Huata	Taraco
Dióxido de carbono (CO_2)	1.823	1.140	0.601	0.575
Metano (CH_4)	5.002	5.636	5.385	4.927
Óxido nitroso (N_2O)	2.550	2.931	2.751	2.671
Otros GEI	1.165	1.257	1.242	1.239
HC producto queso	10.540	10.964	9.978	9.412
Agrícola: pastos y forrajes	2.614	2.957	2.768	2.715
Ganadera: leche	5.319	6.007	5.763	5.290
Manufactura: queso	2.607	2.000	1.448	1.407

En cuanto al suero, las emisiones de GEI se acotaron al suero salado por ser menos disponible para su aprovechamiento, se le trató propiamente como residuo y se calcularon las correspondientes emisiones de GEI. Se encontró que el CH_4 es responsable del 72.9 por ciento

de emisiones de GEI en Ácora, 71.6 en Platería, 71.0 en Huata y 71.1 en Taraco; la diferencia, le corresponde al N_2O . Respecto al suero dulce se le consideró como sub producto por ser más disponible para su aprovechamiento en otros procesos productivos como la crianza de cerdos

y la alimentación del ganado vacuno al mezclarlo con el forraje; por lo que, su evaluación corresponde a otro proceso productivo.

Comparación de HC relativas al producto queso tipo paria

El Tabla 4 muestra las diversas HC del producto queso, para fines de comparación. El más bajo lo muestra Vergé et al. (2013) para Canadá con 5.3 kg de CO₂eq y el más alto Canellada (2017) para España con 10.2 kg de CO₂eq luego de descontar remociones en 8.8 kg de CO₂eq. Vergé et al. (2013) trabajó con el enfoque del ACV, desde la cuna hasta la puerta de salida de las plantas de procesamiento de queso, con uso de la calculadora del Sistema Unificado de Industria Ganadera

y Estimación de Emisiones de Cultivos (ULICEES) para la realidad de ganado Holstein en Canadá. Por su parte, Canellada (2017) también trabajó el enfoque del ACV del producto con el software SimaPRO encontrando emisiones por 19.8 kg de CO₂eq y remociones de 8.8 kg de CO₂eq. La particularidad de su método es que calcula las remociones en forma explícita las remociones.

En lo que se refiere a nuestros cálculos, estos sugieren que la HC del queso es cercano a la HC del queso fresco estimado por Bravo (2016) en España y Suni (2018) para un queso similar fresco tipo paria en Arequipa. Además, nuestra HC es superior a lo estimado por Aguirre et al. (2011) y Castro (2014) y muy superior a Vergé et al. (2013).

Tabla 4. Comparativo de diferentes huellas de carbono del producto queso

Kg de CO ₂ eq	Tipo de queso	Ámbito	Autor
9.1526	Queso fresco	España	Bravo 2016
11.8	Queso fresco	Perú	Suni 2018
19.0	Queso madurado	España	Canellada 2017
8.377	Queso cheddar	Global	Aguirre et al. 2011
5.3	Varios quesos	Canadá	Vergé et al. 2013
8.788	Queso fresco	Argentina	Castro 2014
11.46	Queso fresco	Perú	Gonzales 2019

Sin embargo, la comparación de resultados con otros estudios tiene limitaciones ya que, además de ser pocos, encontramos las siguientes particularidades:

- Algunos asumen FE por defecto del IPCC; en cambio, otros, consideran los obtenidos para el país en particular.
- Hacen referencia generalmente a vacas Holstein y poco a Brown Swiss como fuente del insumo leche.
- Los diversos análisis están centrados esencialmente en el enfoque ACV y pocos siguen el procedimiento HC del IPCC.
- Los estudios muestran diferentes alcances, extensiones y análisis a lo que es o no controlable o atribuible a las unidades productivas agrícolas y pecuarias locales.
- Pueden incluir GEI no priorizados para el sector agricultura.
- El queso no es un producto homogéneo, hay quesos frescos y también madurados, el tipo paria es fresco y muy particular de Puno.

Rentabilidad ambiental del producto queso tipo paria

La integración de VA y HC para el producto queso se estableció mediante un indicador denominado rentabilidad ambiental entendida como la relación entre el VA y la HC, análoga a beneficio – efectividad por cuanto valora los ingresos de la actividad económica (en términos de VA, entendido como beneficio) respecto al impacto ambiental de esa actividad (en términos de HC, entendido como eficiencia, eficacia y efectividad). Así, se considera que la relación VA/HC es mejor cuanto más elevada es su valor absoluto.

Las mejores rentabilidades ambientales se dan en Huata y en la fase agrícola; y, en oposición, las peores rentabilidades se perciben en Platería y en la fase ganadera (Tabla 5). Para mejorar los indicadores de rentabilidad ambiental se requiere ser más eficientes en términos económicos y ambientales. Si definimos la eficiencia económica como maximización de la utilidad, dado una restricción de ingresos (primal) o minimización de costos dado un nivel de utilidad (dual); y, la eficiencia ambiental como reducir el desperdicio, la dispersión de la materia, la degradación de la energía, la irreversibilidad y la entropía (Georgescu 1996) podemos concluir que la eficiencia implicaría obtener mayor nivel de producto

por unidad de insumo y mayor productividad con menor impacto ambiental. Por tanto, la eficiencia económica no debería discrepar de lo ambiental si se entiende que el costo económico es mucho más que gasto y costo de oportunidad; y que, que el VA en esencia es bienestar,

más amplio que solo ingreso monetario. Por tanto, la búsqueda de crecimiento económico implica también reconocer que hay crecimiento no económico, que toda actividad económica genera impacto ambiental negativo; y, lo que corresponde es minimizar dicho impacto.

Tabla 5. Rentabilidad ambiental de un kilogramo de producto queso en términos de VA respecto a HC, eslabón de la cadena de valor y ámbito

Eslabones de la cadena de valor	Nuevos soles /kg CO ₂ eq			
	Ácora	Platería	Huata	Taraco
Fase agrícola: pastos y forrajes	1.59	1.36	1.49	1.52
Fase ganadera: leche fresca	0.61	0.61	0.67	0.59
Fase manufactura: queso fresco	1.27	0.80	2.44	2.17
Ratio VA/HC producto queso	1.01	0.85	1.15	1.09
VA total	10.68	9.30	11.51	10.31
HC total	10.54	10.96	9.98	9.41
Precio del queso	13.21	12.00	14.00	12.73

En la fase agrícola, la avena forrajera y la alfalfa constituyen los principales cultivos con mayor impacto en el ámbito (Vilca 2010). Las productividades de estos cultivos son similares pero bajas porque son cultivos de secano, corresponden mayormente a ecosistemas de puna húmeda (Cuesta et al. 2009) y tecnología intermedia (Mamani 2016). Sin embargo, en cada uno de los ámbitos del presente estudio se aprecian diferencias en cuanto a dotación de recursos y disponibilidad de pastos naturales, mucho más frescos en Taraco por su mayor humedad y cercanía al lago Titicaca. Eso explica, en parte, las diferencias de rentabilidad ambiental agrícola: Diversidad de raciones para las vacas, mayores proporciones de pastos naturales respecto a pastos y forrajes cultivados en Platería y Huata y menores en Ácora y Taraco. Las emisiones de GEI atribuidos a los suelos agrícolas corresponden esencialmente al N₂O debido al estiércol animal (MINAM 2010). El agua se contamina por estiércol y orines del ganado vía escurrimiento, infiltración y percolación en los galpones no protegidos y en las áreas de pastoreo; pero, también genera beneficios ya que contiene N y P (Pinos et al (2012). Al respecto, la FAO (2010) concluye que los sistemas de pastizales emiten más GEI por kg de leche corregida con grasa y proteína (FPCM) en comparación a los sistemas mixtos. El valor estimado por la FAO para pastizales es de 2,7 kg de CO₂eq por kg de FPCM y en sistemas agrícolas mixtos es 1,8 kg de CO₂eq por kg de FPCM.

En la fase ganadera, la mayor productividad se observó en Taraco con 13.8 kilos en el tercer mes de la tercera lactancia, seguido de Ácora, Huata y Platería. El mayor nivel tecnológico en Taraco es resultado de la mayor experiencia de los productores en cuanto a manejo de animales mejorados, cultivo de pastos y forrajes y dosificación alimentaria, además de localizarse en zona más húmeda. A la inversa, el menor nivel tecnológico

se percibe en Platería por su reciente incorporación a la crianza de vacas lecheras, menor nivel de “mejoramiento” del ganado y menores proporciones de pastos y forrajes cultivados en la alimentación del ganado.

Asimismo, en todos los ámbitos se observa menores rentabilidades ambientales debido esencialmente a la HC, principalmente a causa del CH₄ como fermentación entérica por menor digestibilidad y calidad proteica de los pastos naturales que constituyen parte de la dieta del ganado, además de la temperatura y el clima marcado del altiplano (frio y templado). La HC en Platería (6.007 kg de CO₂eq) expresa mayor ineficiencia en la provisión de alimentos para el ganado ya que en su ámbito hay mayor disponibilidad de pastos naturales (menos palatables) que pastos y forrajes cultivados; además, su menor experiencia en la crianza del ganado “mejorado”. Por el contrario, las menores HC en la fase agrícola se dan en Ácora y Taraco lo que refleja mayor disponibilidad de pastos y forrajes cultivados, experiencia en la crianza del ganado “mejorado” y mejor alimentación para el ganado; por tanto, mayor productividad de leche. En relación a este punto, Vilca (2015) señala que las vacas suplementadas emiten menos, que las leguminosas pueden reducir las emisiones de CH₄ comparado con las gramíneas debido a sus menores concentraciones de fibra. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que las emisiones dependen esencialmente de la cantidad y calidad de alimento ingerido por las vacas (Cambra et al. 2008) e incluso de la época del año, lluviosa o seca (Alvarado 2018 y Medrano 2019).

En la fase de manufactura, en términos de costo energético e irreversibilidad la planta de Caritamaya en Ácora es la más eficiente del ámbito, ya que para un kilogramo de queso fresco se requiere más de 7.83 kilos. Al respecto, en el valle del Mantaro, Gamboa (2012) y Fuentes et al. (2014) informan que las empresas formales

utilizan, en promedio, 7.44 litros de leche para la obtención de un kg de queso fresco. En cuanto a energía por combustión móvil, el mayor consumo se percibe en Ácora debido a la mayor distancia recorrida diariamente en el acopio de leche. Otra parte de la eficiencia está vinculada a la sub utilización y el desperdicio del suero del queso, tales proporciones deben ser objetos de monitoreo.

Conclusiones

El presente estudio determinó la HC del producto queso fresco tipo paria en cuatro plantas de la zona lago de la cuenca del lago Titicaca, bajo un enfoque de cadena de valor. El estudio incluyó la evaluación de tres eslabones y tres fuentes de emisión de GEI; para lo cual se vinculó el VA con la HC mediante un indicador de rentabilidad ambiental, en términos de nuevos soles de VA por kg de CO₂ eq de queso. Se encontró que la mejor rentabilidad ambiental se da en la planta de Huata (1.15) debido a un mayor precio de colocación; y, la menor rentabilidad en Platería (0.85) por su menor precio de colocación y baja efectividad en toda la cadena de valor.

En el análisis de la cadena de valor, se encontró un VA total bajo, con rango de 9.30 (Platería) a 11.51 (Huata) nuevos soles por kg. de producto, principalmente debido a limitaciones tecnológicas, de integración vertical y territorial circunscritas al mercado local. Del porcentaje total del VA, más del 35.8 por ciento del VA se genera en la fase agrícola y, al menos, el 72.4 por ciento está vinculado al factor trabajo. La relación proveedores de leche – queseros requiere mejor integración.

En el análisis de la HC, se encontró que la fase ganadera genera más del 50.5 por ciento del impacto ambiental con emisiones de 9.41 (Taraco) a 10.96 (Platería) kg de CO₂ eq por kilogramo de producto queso, siendo más del 47.5 por ciento de ellas correspondientes a emisiones de CH₄.

Referencias

Aguirre, H.; Kraatz, S. 2011; Milani, F.; Newenhouse, A.; Passos-Fonseca, T.; Reinemann, D. Understand the carbon footprint of cheese. Sustainable Cheese Production. 28 p. Disponible en: www.uwex.edu/ces/cty

Alvarado Bolovich, VI. 2018. Emisión de metano entérico de vacas en lactación con pastos cultivados en zona altoandina - estación lluviosa y seca. Tesis Magíster Scientiae en Nutrición, Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 90 p.

Alvarado, VI; Medrano, J; Haro, J; Castro, J; Dickhoefer, U; Gómez, C. 2021. Enteric methane emissions from lactating dairy cows grazing cultivated and native pastures in the high Andes of Peru. Journal Elsevier, Livestock Science 243 (2021) 104385.

Bartl, K; Gómez CA; Aufdermauer, T; Garcia, M; Kreuzer, M; Hess, HD; Wettstein, HR. 2008. Effect of diet type on performance and metabolic traits of Peruvian local and introduced cow types kept at 200 and 3,600 m of altitude. Livestock Production Science.122, 30-38.

Batalla, I; Trydeman K. M; Mogensen, L; del Hierro O; Pinto M; Hermansen JE. 2015. Carbon footprint of milk from sheep farming systems in Northern Spain including soil carbon sequestration in grasslands. Journal of Cleaner Production xxx (2015): 1-9.

Beltrán, S. MA; Alvarez-Fuentes, G; Pinos-Rodríguez, JM; Contreras-Servín, C. 2016. Emisión de metano en los sistemas de producción de leche bovina en el valle San Luis Potosí, México. Agrociencia April 2016: 297-304. Disponible en <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2016/abr-may/art-3.pdf>.

Bravo Fernández, E. 2016. Estudio de la huella de carbono de organización de una industria quesera y su proveedor lácteo mediante la norma ISO 14.064-1 en el año 2015. Tesis Mg. Valladolid, España, Universidad de Valladolid. 51 p.

Bragachini, M. 2010. VA a la producción ganadera. Nuevos paradigmas para los sistemas productivos agropecuarios. Agregar valor en origen. Memorias del X Congreso Nacional de Producción Porcina, Mendoza, Argentina, 2010 páginas del 49 al 66. 18p.

BSI (British Standards Institution). 2011. The Guide to PAS 2050: 2011. How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain. London W4 4AL. 74 p.

Cambra, M; García, P; Estellés F; Torres, A. 2008. Estimation of emissions from ruminants in Spain: the methane conversion factor. Arch. Zootec. 57 (R): 89-101. 2008.

Canellada Barbón, F. 2017. Análisis de ciclo de vida y huella de carbono de una quesería tradicional asturiana. Tesis Mg. Oviedo, España, Universidad de Oviedo. 91 p.

- Castro Seltzer, AL. 2014. Estimación de la huella de carbono en la producción de queso fresco para la eco-región pampeana, Argentina. Tesina Ing. La Pampa, Argentina, Universidad Nacional de la Pampa. 51 p.
- Costantini, A; Perez, MG; Busto, M; González, F; Cosentino, V; Romaniuk, R; Taboada, MA. 2018. Emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. Revista Ciencia e Investigación, tomo 68 N° 5 – 2018.
- Cuesta F. JC; Navarro, G; Barrena, V; Cabrera, E; Chacón M. E, Ferreira, W; Peralvo, M; Saito, J; Tovar, A. 2009. Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAVH, LTA-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL. Lima, Perú.
- Dalgaard, R; Schmidt, J; Flysjö, A. Generic model for calculating carbon footprint of milk using four different LCA modelling approaches. Journal of Cleaner Production xxx (2014): 1-8.
- FAO (Food and Agriculture Organization on the United Nations, Italy) Animal Production and Health Division. 2010. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector A Life Cycle Assessment. Rome, Italy, s.e. 98 p. Disponible en: http://www.foodsec.org/docs/GAUL_DISCLAIMER.pdf.
- Fuentes, N. E., Faure G., Cortijo E., De Nys E., Bogue J., Gómez C., Mercado W., Gamboa C., Le Gal P.Y. 2014. The impacts of differentiated markets on the relationship between dairy processors and smallholder farmers in the Peruvian Andes. Disponible en www.elsevier.com/locate/agsy.
- Gamboa Barraza, CD 2012. Producción y comercialización de la leche en el valle del Mantaro, provincia de Concepción – Junín. Tesis Economista, Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 148 p.
- García García, L. 2019. Emisión de óxido nitroso en suelos de pasturas cultivadas en estación seca en ganadería lechera altoandina, Tesis Magister Scientiae en Ciencias Ambientales, Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 94 p.
- Gaudin, Y; Padilla P. R. 2020. Los intermediarios en cadenas de valor agropecuarias. Un análisis de la apropiación y generación de VA. Serie Estudios y perspectivas N°186, Sede subregional de la CEPAL en México.
- Georgescu R, N. 1996. La ley de la entropía y el proceso económico (en línea). Madrid, España. 260 p. Consultado el 26 oct. 2016. Disponible en http://www.elsarbrdefahrenheit.net/documentos/obras/2401/ficheros/La_ley_de_la_Entropia_y_el_proceso_economico_red.pdf.
- Gonzales Salas, DP. 2019. Cálculo de la huella de carbono aplicando herramientas informáticas, Tesis Maestro en Ciencias: con mención en Seguridad y Medio Ambiente, Arequipa, Perú, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 152 p.
- IDF (International Dairy Federation, Belgium). 2015. A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology. Bulletin of the International Dairy Federation 479/2015. Brussels, Belgium, s.e. 70 P. Disponible en https://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/09/Bulletin479-2015_A-common-carbon-footprint-approach-for-the-dairy-sector.CAT.pdf
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos, Reino Unido). 1996. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996. v4 Agricultura. Londres, Reino Unido, s.e. 67 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos, Japón). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Program, s.l., s.e. v4, cap. 10. 87 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos, Suiza). 2014. Cambio climático 2014. Informe de síntesis: Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. s.e., Ginebra, Suiza. 157 p.
- Kraybill, S. D; Johnson, T. G. 1989. Value-added activities as a rural development strategy Southern Journal of Agricultural Economics. July, 1989; in Agecon Search. Research in agricultural & Applied Economic Digital Library.
- Mamani Paredes, Javier. 2016. Avena forrajera: rendimiento, valor nutricional, ventaja comparativa

- y competitiva en la región Puno. Tesis Doctoris Scientiae en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Puno, Perú, Universidad Nacional del Altiplano. 290 p.
- Medrano Tinoco, JL 2019. Emisión de metano entérico de vacas en lactación en pastizales altoandinos en estación lluviosa y seca. Tesis Magister Scientiae en Nutrición, Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 86 p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú); Viceministerio de Políticas Agrarias. 2017. Estudio de la Ganadería Lechera en el Perú. Análisis de su Estructura, Dinámica y Propuestas de Desarrollo. Lima – Perú.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). 2010. Huella de carbono del Ministerio del Ambiente (MINAM) Informe Final. Lima, Perú, s.e. 68 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). 2019. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2014 y actualización de las estimaciones de los años 2000, 2005, 2010 y 2012. Lima, Perú, s.e. 317 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). 2021. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2016 y actualización de las estimaciones de los años 2000, 2005, 2012 y 2014. Lima, Perú, s.e. 478 p.
- Pinos, R. JM; García, L. JC; Peña, A. LY; Rendón, H. JA; Gonzáles, G. C; Tristán, P. F. 2012. Environmental regulations and impact of manure generated by livestock operations in some American countries. Publicado como Ensayo en *Agrociencia* 46: 359-370, 2012.
- Roque Díaz, RE. 2019. Quesos del altiplano. Periódico *El Eco de Puno* 2019, IV época / año CXXI (15540), Puno, Perú; dic, 2019: 1 p.
- Suni Tunquipa, A. 2018. Cuantificación y determinación de la huella de carbono en la producción de queso artesanal en el pueblo de Chuquibamba. Tesis Ingeniero Ambiental, Arequipa, Perú, Universidad Nacional San Agustín. 105 p.
- Suquisupa Herrera, CT. 2019. Emisión de óxido nitroso en sistemas de producción lechera en praderas naturales altoandinas durante la época seca. Tesis Magister Scientiae en Producción Animal, Lima, Perú, Universidad Agraria La Molina. 98 p.
- Vergé, X, PC; Maxime, D.; Dyer, J.A.; Desjardins, R.L.; Arcand, Y.; Vanderzaag A. 2013. Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues. In American Dairy Science Association. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030213004797>.
- Vilca Castro, C. 2010. Factores limitantes en el desarrollo de las tecnologías en producción de leche de vaca en la región Puno. Tesis Magister Scientiae, Puno, Perú, Universidad Nacional del Altiplano. 118 p.
- Vilca Oblitas, G. 2015. Efecto del concentrado fibroso sobre las emisiones de metano entérico (CH₄) en vacas lecheras. Tesis Médico Veterinario y Zootecnista, Puno, Perú, Universidad Nacional del Altiplano. 62 p.
- Zamora Zamora, HD. 2013. Alternativas para mitigar emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas lecheras andinas del departamento de Nariño. Informe final Especialista en Gestión Ambiental Local, Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira. 106 p.