



JOURNAL OF THE
Selva Andina
Animal Science
Official Journal of the Selva Andina Research Society

ISSN 2311-3766 (print edition)
JSAAS
ISSN 2311-2581 (online edition)

Journal of the Selva Andina Animal Science
ISSN: 2311-3766
ISSN: 2311-2581
directoreditoranimalscience@gmail.com
Selva Andina Research Society
Bolivia

Núñez-Torres, Oscar Patricio; Rodríguez-Barros, Marcos Antonio
Subproductos agrícolas, una alternativa en la alimentación de rumiantes ante el cambio climático
Journal of the Selva Andina Animal Science, vol. 6, núm. 1, 2019, pp. 24-37
Selva Andina Research Society
Bolivia

DOI: <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2019.060100024>

- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org





Subproductos agrícolas, una alternativa en la alimentación de rumiantes ante el cambio climático Agricultural by-products, an alternative in the feeding of ruminants in the face of climate change

Núñez-Torres Oscar Patricio¹, Rodríguez-Barros Marcos Antonio^{1,2}

Datos del Artículo

¹ Universidad Técnica de Ambato.
Facultad de Ciencias Agropecuarias.
Cantón Cevallos.
Tungurahua - Ecuador.
Casilla postal: 18-01-334.
Telf: (+593) 032746151 – 032746171.

² Universidad Nacional de Trujillo.
Facultad de Ciencias Agropecuarias.
Diego de Almagro 344.
Trujillo-Perú. Tel: +51 44 209020

*Dirección de contacto:

Universidad Técnica de Ambato.
Facultad de Ciencias Agropecuarias.
Cantón Cevallos.
Tungurahua - Ecuador.
Casilla postal: 18-01-334.
Telf: (+593) 032746151 – 032746171.

Oscar Patricio Núñez-Torres
E-mail address : op.nunez@uta.edu.ec

Palabras clave:

Sub productos,
producción,
digestibilidad,
dietas,
gases efecto invernadero,
rumiantes,
calidad de forrajes,
sistemas silvopastoriles,
metabolitos secundarios.

J. Selva Andina Anim. Sci.
2019; 6(1):24-37.

Historial del artículo.

Recibido diciembre, 2018.
Devuelto enero 2019
Aceptado febrero, 2019.
Disponible en línea, abril, 2019.

Editado por:
**Selva Andina
Research Society**

Key words:

Byproducts,
production,
digestibility,
diets,
greenhouse
effect gases ruminants,
forage quality,
silvopastoral systems,
secondary metabolites.

Resumen

La producción de rumiantes, principalmente el ganado vacuno se estima crecerá de 1500 a 2600 millones, así como la población de caprinos y ovinos (1700 a 2700 millones), en los años 2000 y 2050. En el Ecuador la producción de rumiantes es limitada, por baja disponibilidad y mala calidad de recursos forrajeros, problema que se acrecienta en regiones secas y tropicales, por la escasa disponibilidad de gramíneas para cubrir sus necesidades nutricionales, no obstante, en la actualidad el reto es incrementar el rendimiento del ganado que incrementar la cantidad de animales, con el fin de disminuir las extensas áreas de pastoreo utilizadas para su alimentación. Los sistemas silvopastoriles, el aprovechamiento de residuos poscosecha de cultivos agrícolas de origen vegetal, se presentan como una alternativa rentable para la producción ganadera sostenible, por la gran cantidad y calidad de biomasa forrajera aprovechable, durante todo el año, inclusive en épocas secas. La masa foliar de los árboles, arbustos y residuos poscosecha se caracterizan por ser ricos en nutrientes, no obstante, este uso se restringe, por la presencia de metabolitos secundarios, especialmente taninos, que disminuyen el consumo voluntario, la digestibilidad de los nutrientes y la producción de los animales, efectos que se asocian a la concentración en la dieta y la cantidad consumida, así como el estado de salud del animal. Estudios indican que en proporciones moderadas (20-45 g kg⁻¹ de materia seca) han manifestado mejoras en el rendimiento productivo de los animales al reducir la metanogénesis ruminal y la degradación de la proteína del forraje en el rumen. Los (GEI), el CO₂ es el que se encuentra en cantidades más altas y que en la actualidad es el responsable del aumento al calentamiento global en comparación a los demás gases de efecto invernadero. El objetivo de la investigación es la contribución al conocimiento actualizado del uso de subproductos agrícolas, así como la implementación de sistemas alternativos en la alimentación y producción de rumiantes.

© 2019. Journal of the Selva Andina Animal Science. Bolivia. Todos los derechos reservados.

Abstract

The production of ruminants, mainly cattle is estimated to grow from 1500 to 2600 million, as well as the population of goats and sheep (1700 to 2700 million), in the years 2000 and 2050. In Ecuador the production of ruminants is limited, availability of resources for education, learning problems in dry and tropical regions, the availability of grasses to cover nutritional needs, not for animal information, in order to reduce the extensive grazing areas for feeding. The silvopastoral systems, the use of post-harvest residues of crops of plant origin, are presented as a cost-effective alternative for sustainable livestock production, due to the large quantity and quality of the biomass for use, throughout the year, even in times dry. The foliar mass of trees, shrubs and residues are characterized by being rich in nutrients, however, as regards the presence of metabolites, especially tannins, which decrease voluntary consumption, the digestibility of nutrients and the Production of the animals, effects that are associated to the concentration in the diet and the quantity consumed, as well as the state of health of the animal. Studies indicate that in moderate proportions (20-45 g kg⁻¹ of dry matter) improvements in animal performance have been shown by reducing ruminal methanogenesis and degradation of forage protein in the rumen. The (GHG), CO₂ is the one that is in the highest amounts that currently is responsible for the increase in global warming compared to other greenhouse gases. The objective of the research is the contribution to knowledge, the use of agricultural by-products, as well as the implementation of alternative systems in feeding and production of ruminants.

© 2019. Journal of the Selva Andina Animal Science. Bolivia. All rights reserved.

Introducción

La producción de rumiantes (PR) en el trópico y altiplano andino del Ecuador se ve limitada por escasa disponibilidad y mala calidad de recursos forrajeros (altos en fibra y bajos en proteína), además de generar problemas, como la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) promoviendo pérdidas energéticas considerables en el animal (2-12% de su energía disponible).¹ Los rumiantes son los mayores contaminadores del planeta, avivando cada día la destrucción de ecosistemas, fundamentalmente la capa de ozono, por la elevada generación de GEI, primordialmente metano (CH₄), seguido por dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O).²

Una alternativa frente a esta problemática, es la formulación de dietas nutritivas en base a productos no convencionales (PNC) (especies forrajeras arbóreas, arbustivas y residuos pos-cosecha de cultivos agrícolas), que representan una valiosa fuente de biomasa disponible para su alimentación³, su utilización ha confirmado reducir la generación de GEI, por la presencia de metabolitos secundarios (MS) (taninos, saponinas y aceites esenciales)⁴⁻⁶ que han señalado efectos benéficos en la disminución de CH₄ ruminal *in vitro*⁷⁻⁹ e *in vivo*.¹⁰⁻¹² Además, está claro que los MS tienen actividad antimicrobiana, favoreciendo la disminución de CH₄, al reducir el número de microorganismos metanógenos en el rumen.¹³

Diferentes estudios señalan que la manipulación de dietas en la alimentación de rumiantes (AR) disminuye la formación de GEI, bajo este contexto han reportado que la mezcla de plantas con alto contenido de MS (principalmente: taninos) en la AR reducen las emisiones de CH₄ sin alterar la fermentación ruminal.¹⁴ Lo que sugieren combinar gramíneas (*Pennisetum purpureum*) 25 % de cualquier legumi

nosa (*Trichanthera gigantea*, *Morus alba*), debido a que esto optimiza el uso de la energía en los rumiantes disminuyendo la producción de CH₄ en un 27-31%.¹⁵

Otra alternativa es la utilización de subproductos agrícolas, como pienso animal, no obstante, el contenido nutricional de estos, debe ser conocido antes de incorporarlos en dietas animales balanceadas, a las elaboradas en base de subproductos libres de tratamientos químicos o biológicos, pudiendo ser utilizadas en la etapa de mantenimiento.¹⁶ Los piensos elaborados a partir de plantas no forrajeras tienen variados orígenes y procedencia, tan diversos como los destilados de cereales, salvado de trigo, pulpa de remolacha, cáscara de soja, pulpa desecada de cítricos, manzanas ricas en pectinas, hasta incluso frutos tropicales como la lima, cacao, pieles de plátano, piñas, cualquiera de estas se usan solas o mezcladas.¹⁷

Una alternativa excelente como material de relleno para la elaboración de bloques multinutricionales por su contenido en fibra, son los subproductos del cacao (cáscara de cacao) al ser suministrada fresca o ensilada, seca y molida.¹⁸ En la investigación realizada del G36 *Theobroma cacao* L., cacao “cocoa”, señala que las almendras y cascarón de cacao contienen teobromina, toxico para los animales, lo que restringe su uso como fuente de alimentación, aunque señala que la cantidad de teobromina presente en las mazorcas es muy bajo, además su cáscara ricas en potasio.¹⁹ Por ello se recomienda implementar tecnologías para el aprovechamiento de los desechos agrícolas de la actividad cacaotera, por ser la cáscara de cacao sumamente alimenticia, no presentan elementos nocivos en semillas y cascarilla de granos de cacao, además de la teobromina, otras

investigaciones señalan que este alimento puede constituir 20% de una ración para aves de corral, 30-50% para cerdos, 50% para ovejas, cabras y ganado lechero, siendo su aceptación por los animales satisfactoria.²⁰ Por lo anteriormente señalado, el uso de subproductos agrícolas, podría utilizarse como sustituto parcial de un cereal en la dieta del cerdo, por su excelente contenido nutricional (ácidos grasos esenciales, carbohidratos no estructurales, aminoácidos esenciales, y bajos niveles de fibra).²¹ La cáscara de cacao se convierte en una alternativa para la AR, por su composición química: 3.2% de potasio, 6.25% de proteína cruda y 27% de fibra cruda.²² En base a estos antecedentes, la presente revisión bibliográfica tiene como objetivo contribuir al conocimiento actualizado del uso de subproductos agrícolas, así como la implementación de sistemas alternativos en la alimentación y producción de rumiantes.

Desarrollo

Producción de rumiantes

El constante crecimiento de la población humana en la mayor parte del mundo está impulsando una alta demanda de alimentos de origen animal, especialmente en países en vías de desarrollo, que la ONU-FAO²³ (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) plantea que para el 2050 la demanda mundial de carne se elevara, principalmente en las regiones del Caribe, Latinoamérica, Asia Oriental y Meridional, además la reciente actualización de poblaciones ganaderas por la FAO y el Banco Mundial indican un rápido incremento en la PR, estimando que esta población mundial aumentara de 1500 a 2600 millones de animales, mientras la población de caprinos y ovinos se

incrementará de 1700 a 2700 millones entre los años 2000 y 2050, no obstante, en la actualidad el reto es elevar el rendimiento productivo del ganado en lugar de incrementar el número de animales, sin embargo, hay limitantes por los constantes cambios climáticos, como sequías repetitivas y prolongadas, cambios bruscos de temperatura, precipitaciones irregulares perturban los sistemas tradicionales de PR exigiendo a los productores adoptar prácticas de manejo diferentes.²⁴

Los rumiantes son una fuente importante de proteína en las dietas humanas a nivel mundial, no obstante, el crecimiento constante de la población conlleva la producción de CH₄ entérico, principalmente en aquellos animales que se alimentan de forrajes de mala calidad, de ahí, una forma de aminorar este problema es diseñar dietas que permitan disminuir las emisiones de este gas por unidad de carne o leche producida, por tanto el manejo de praderas en los sistemas de PR alimentados a base de forrajes pueden contribuir a su reducción al mejorar las reservas de carbono del suelo, lo que evitaría el CO₂ en el aire, así como la reducción del uso de fertilizantes químicos, al remplazarlos con estiércol y plantas fijadoras de nitrógeno, reduciendo de igual manera las emisiones de N₂O.²⁵

Optimizar el uso de recursos forrajeros es un factor determinante para mejorar y disminuir los costos de PR²⁶, por lo que el aprovechamiento de subproductos agrícolas (SA) se plantea como una alternativa en su alimentación, dada su excelente calidad nutricional (ácidos grasos esenciales, carbohidratos no estructurales, aminoácidos esenciales y bajos niveles de fibra).²⁷ En la alimentación del ganado bovino y ovino principalmente, las leguminosas por sí solas o en asociación con gramíneas forrajeras presentan una serie de beneficios que incrementan la producción y mejoran la eficiencia reproductiva de los rebaños, puesto que los sistemas de explotación de

bovinos van desde la producción en traspatio hasta el pastoreo en todos los diferentes pisos climáticos, con su diversidad de componentes: raza, clima, manejo, sanidad etc., así como la ganadería de doble propósito, sistema que basa su alimentación principalmente al pastoreo.²⁸

La alimentación de bovinos a pastoreo, los animales seleccionan a voluntad su dieta, una tarea compleja para los herbívoros, que al elegir de un conjunto de alimentos difieren en el tiempo, espacio, accesibilidad, valor nutritivo y eventual toxicidad.²⁹ Así, las gramíneas tienen alta preferencia al inicio del pastoreo, pero cuando estas disminuyen, el consumo de arbustos y otras herbáceas tienden a incrementarse.³⁰ Igual sucede en espacios amplios (potreros con baja carga animal), los animales, al tener poca competencia, tienen mayor oportunidad de seleccionar los sitios según sus necesidades y preferencias.²⁹

En la actualidad más del 27% de las tierras rurales de América Latina están siendo utilizadas en la producción ganadera (PG) extensiva, acción que se encuentra en constante crecimiento, que requiere un cambio inmediato, por el gran impacto que tiene sobre el medio ambiente, para ello se plantean soluciones como: sistemas silvopastoriles (SS), en el que convergen árboles y arbustos autóctonos que sirven como fuente de alimento para el ganado.³¹

Sistema silvopastoril

Los SS pueden ser una alternativa rentable para la PG sostenible, al prestar posiblemente servicios ecosistémicos y mejorar el bienestar del animal, el cual hace hincapié en el uso de técnicas y tecnologías en las que se realizan manejos armónicos del suelo y los recursos vegetales.³² La presencia de especies arbóreas en los pastizales contribuye la formación de microclimas (sombra), los que pro-

porcionan confort al disminuir el estrés calórico en los animales, especialmente en regiones secas y tropicales, al incrementar el tiempo de pastoreo, mejorando el rendimiento de los animales.³³

La selección de árboles destinados a la AG se ha llevado a cabo durante el pastoreo, catalogando las especies palatables para el animal, haciendo énfasis en la cantidad de nutrientes y MS como taninos, saponinas y aceites esenciales, determinantes en el consumo y conversión alimenticia.³⁴

Forrajes arbóreos y arbustivos

La baja disponibilidad y mala calidad de los forrajes en los sistemas de explotación de rumiantes limitan su producción, problema con mayor frecuencia en regiones secas y tropicales, donde la disponibilidad de gramíneas resulta escasa, para cubrir sus necesidades alimenticias, el uso de especies arbóreas y arbustivas leguminosas⁵, así como los residuos poscosecha de cultivos agrícolas⁶, se presentan como alternativa en la formulación de dietas en base de pastos, que han tomado gran interés en América Latina, África y Australia.³⁵ Debido a la gran cantidad de nutrientes que poseen, su elevada aceptación por los animales al ingerirlos, muchas de estas especies tienen cualidades nutricionales superiores a los pastos comúnmente utilizados y pueden generar cuantiosas cantidades de biomasa consumible, duraderas en el tiempo, en relación con los pastos tradicionales sin fertilizar³⁶, e incluso en épocas de sequía.³⁷

La masa foliar de árboles, arbustos se caracterizan por su riqueza en proteína cruda (PC), siendo muy útiles en épocas secas, al contar con pastos maduros y de baja calidad.³⁸ Así se señala que las leguminosas, persistentes durante las épocas de escasez de pastos, son fuente muy buena de proteínas, vitami-

nas y minerales para la suplementación del ganado.³⁹ No obstante, hay limitantes en el uso de plantas arbóreas, arbustivas y residuos pos-cosecha de cultivos agrícolas como piensos para la alimentación animal, principalmente por la presencia de MS (taninos, saponinas, aceites esenciales), que en cantidades excesivas pueden afectar la fermentación ruminal.⁴⁰

Metabolitos secundarios

Son sustancias químicamente diversas, han formado parte de la dieta humana y animal por mucho tiempo, sin embargo, se ha considerado que tienen efectos benéficos y adversos sobre los animales cuando las consumen, sus efectos dependen de la composición química, su concentración y cantidad consumida, así como estado de salud de los animales.⁴¹ Los taninos, metabolitos con frecuencia presentes en plantas, siendo estos, compuestos polifenólicos complejos contenidos en alrededor del 80% de plantas leñosas y el 15% de plantas herbáceas dicotiledóneas.⁴²

Efectos nutricionales adversos de los taninos

Los polifenoles están distribuidos considerablemente en el reino vegetal y comúnmente presentes en la dieta de los herbívoros, dos grupos principales de compuestos polifenólicos vegetales, taninos condensados (TC) y taninos hidrolizados (TH), compuestos que pueden tener efectos tóxicos o antinutricionales sobre el animal, aunque está bien establecido que dichos efectos están relacionados con la cantidad que el animal consume en la dieta, ya que el exceso (>55 g TC kg^{-1} de MS) disminuye el consumo voluntario del alimento, la digestibilidad de los nutrientes y deprimen su tasa de producción.^{43,44}

Bajo este contexto la digestibilidad y flujo duodenal de la proteína microbiana de una dieta basal mixta (34% de ensilaje de pasto, 32% de ensilaje de maíz y 34% de pienso concentrado) se redujo por la adición de taninos de quebracho.⁴⁵ Además, en rumiantes, los efectos antinutricionales se asocian a los TC, mientras que la toxicidad se atribuye a los TH.⁴⁶

Efectos benéficos de los taninos

Por mucho tiempo estos compuestos han sido utilizados primordialmente en la fabricación de medicamentos, conservación de alimentos, no obstante, se ha indicado su utilidad para manipular algunos procesos metabólicos en rumiantes y sobre el control selectivo de los microorganismos ruminales, permitiendo mejorar la fermentación, el metabolismo del nitrógeno y disminuir la producción de metano.⁴⁷ Motivos que, en la actualidad se valora su incidencia en la PR, especialmente en aquellos sistemas basados en el aprovechamiento de pastos y subproductos de origen vegetal.

Se han descrito ciertos efectos benéficos de los TC sobre parámetros productivos en rumiantes, al alimentarlos en concentraciones moderadas (20-45 g kg^{-1} de MS), puesto que reducen la degradación de la proteína del forraje en el rumen, se ha señalado que los TC de algunas plantas forrajeras (*Lotus corniculatus* L. y *Sulla*) provocan efectos positivos en los rumiantes, dando como respuesta un aumento en la producción de leche, crecimiento de lana, tasa de ovulación y porcentaje de partos, efectos relacionados a la capacidad de los TC en aumentar el flujo de la proteína hacia las partes bajas del tracto gastrointestinal, para ser absorbidas como proteína pura.^{42,44} La reducción de la degradación proteica ruminal se debe a la formación de complejos tanino-proteína en

el rumen, pH, inhibición del crecimiento y actividades de las poblaciones bacterianas proteolíticas, tanto los TC, como los TH se unen a las proteínas formando enlaces de hidrógeno entre grupos fenólicos de taninos y grupos carboxilo de cadenas laterales alifáticas y aromáticas de las proteínas por interacción hidrófoba, la unión de las interacciones tanino-proteína determina las respuestas de los taninos sobre la digestibilidad de las proteínas en el tracto digestivo.⁴⁸ Además de la formación de complejos de tanino-proteína, la reducción de la proteólisis puede atribuirse a efectos directos de los TC sobre la actividad enzimática o los efectos indirectos sobre la concentración de metabolitos en el rumen que pueden regular la actividad proteolítica de algunas bacterias.⁴⁹ También, se indica que en proporciones más amplias del complejo tanino-proteína, la inhibición de la proteólisis se debe quizá a los compuestos polifenólicos que recubren la superficie de las proteínas, que dificultan la interacción de enzima-sustrato, estudios *in vitro* sugieren que la concentración mínima de taninos condensados (proteína) necesaria para reducir la proteólisis tienen una relación de entre 1:10 a 1:12.⁵⁰

Efectos de los taninos sobre el metabolismo del nitrógeno

Los pastizales alrededor del mundo aglomeran numerosas variedades de arbustos forrajeros importantes que tienen cantidades altas de proteínas y carbohidratos fácilmente fermentables.⁵¹ La cantidad de proteína que atraviesa el rumen es un factor importante que determina la productividad en los rumiantes, esta pasa hacia el abomaso, consiste en una mezcla de proteína dietética y microbiana, el aumento del flujo de proteína del rumen depende de la reducción de la proteólisis por los microorganismos

ruminales y el aumento del poder de síntesis de la proteína microbiana, cuando los rumiantes son alimentados con forrajes frescos de alta calidad, con concentraciones elevadas de nitrógeno [25-35 g kg⁻¹ materia seca], gran parte de las proteínas se solubilizan velozmente durante la masticación, liberando alrededor del 56-65% de su concentración en el rumen como proteína soluble, por consiguiente, gran cantidad de esta proteína se degrada por acción de microorganismos ruminales, lo que resulta en niveles excesivos de amoníaco (20-35%) que se absorbe desde el rumen y se excreta en la orina.^{52,53}

La reducción considerable en la excreción urinaria de nitrógeno, con incorporaciones ruminales ascendentes de extracto de taninos de quebracho (ETQ), en vaquillas.⁵⁴ De igual forma, sucedió en estudios realizados al suplementar vacas lecheras en producción con una mezcla de taninos de Quebracho y Chestnut.⁵⁵ El descenso en la excreción urinaria de nitrógeno después de la alimentación con ETQ está relacionada especialmente con la menor degradación de la proteína cruda en el rumen que pasa al duodeno como proteína pura donde se absorbe y es aprovechada de mejor manera.⁵⁶ Además, se informaron que las concentraciones de amoníaco ruminal (3.7-9.9 mg dL⁻¹) fueron inferiores en cabras alimentadas con TC de pasto *Sericea lespedeza*, quizá debido también a la reducción de la degradación proteica en el rumen.⁵⁷

Producción de gases de efecto invernadero (GEI).

Los rumiantes son grandes contribuyentes al calentamiento global y deterioro de la capa de ozono, por la liberación de altas cantidades de gases a la atmósfera, entre ellos, el gas carbónico y metano, siendo este muy significativo por producir entre un 15 y

20%, el metano producido se genera principalmente por los procesos fermentativos del alimento que ingresa al rumen. El principal factor biótico a nivel del rumen en la producción de metano son las bacterias anaerobias metanógenas. Estas bacterias utilizan diferentes sustratos para la producción de metano, pero los principales son el H₂ y el CO₂. La eliminación de estos gases, especialmente del H₂ implican la remoción de un factor relacionado en la estabilidad del pH ruminal siendo este esencial para una óptima fermentación.²

Por otra parte, se considera la producción de metano como una pérdida de energía potencialmente utilizable. Los efectos de las bacterias metanógenas son dependientes principalmente de los sustratos presentes en la dieta, y de las interacciones con otras poblaciones. Intervenciones en la alimentación ofrecida a los animales, orientadas hacia optimizar el proceso de fermentación ruminal, generalmente producen una mejora en los parámetros productivos y reproductivos, debido a que se produce una mejor utilización de la energía. La disminución de las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera cobra gran importancia en la protección del medio ambiente.²

Diversas evidencias muestran que la tasa de emisión de metano por fermentación ruminal, está relacionada con las características físico-químicas de la dieta, las cuales afectan el nivel de consumo y la frecuencia de alimentación. Por esto, una subnutrición contribuye a incrementar las emisiones de metano. La posibilidad de limitar las emisiones de metano por el ganado en sistemas de producción tropical, provee beneficios económicos y medioambientales. Una opción para la reducción de gases, consiste en la sustitución de tecnologías convencionales por nuevas alternativas que generen una adecuada producción y mínimos efectos medioambientales. Dentro de estas alternativas de potencial uso

en el trópico está el manejo de pasturas, con el fin de mejorar su calidad, una opción que hasta el momento ha tomado fuerza por sus múltiples beneficios son los sistemas silvopastoriles, pero poco se ha investigado su efecto sobre la producción de metano ruminal. Para la determinación de emisiones y la eficiencia de las alternativas implementadas, se debe recurrir a metodologías apropiadas que permitan extrapolar los resultados a las condiciones reales *in vivo*.

Ensayos realizados en Costa Rica, concluyen que la emisión total anual de metano que se produce como consecuencia del consumo y del proceso digestivo del pasto, independiente de la especie forrajera, varía en función de los días de rebrote que presenta la pradera. La magnitud de la emisión es diferente según la especie ofrecida. Así, se ha determinado que cuando la dieta de los bovinos en pastoreo se dispone de leguminosas, se mejoran los parámetros productivos concomitantes con una disminución en las producciones de metano que permite visualizar a los sistemas silvopastoriles como una buena alternativa⁵⁸. Se ha señalado, que los procesos de reducción de componentes nitrogenados pueden competir por disminución de sustratos, y desviar la biosíntesis de metano. Es factible pensar que el efecto de las leguminosas forrajeras en la dieta de los rumiantes es positivo, por su aporte de nutrientes, y por la disminución de metanogénesis.

Trabajos reportados, en la producción de metano, en lugar de representar ineficiencia para el rumiante, promueve una fermentación más eficaz y mayores rendimientos en la síntesis de ATP al mantener baja la concentración de H₂.⁵⁹ Esto implica que mayores rendimientos de ATP determinan la formación de más células microbianas con lo que aumenta la proteína disponible para el rumiante.

Discusión

A nivel mundial se se ha incrementado el consumo de alimentos de origen animal, es por esta razón que bebemos producir productos de excelente calidad utilizando como materias primas ingredientes de origen agrícola, y ganadería aportan ampliamente en las emisiones antropogénicas del GEI, dentro de las cuales se destaca el metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera.⁶⁰ El calentamiento de la superficie terrestre y pérdida de la capa de ozono de la atmosfera es ocasionado por el aumento de las acumulaciones de estas emanaciones. Por otro lado es importante considerar y analizar normativas y solventar técnicas que colaboren a identificar y disminuir los efectos de la producción pecuaria, en exclusivo la ganadería, en el cambio climático.⁶¹

En países en vías de desarrollo, por lo que la ONU-FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) programa que para el 2050 la demanda mundial de carne se elevara, principalmente en las regiones del Caribe, Latinoamérica, Asia Oriental y Meridional, además la reciente actualización de las poblaciones de ganado por la FAO y el Banco Mundial indican un rápido incremento en la PR, estimando que esta población mundial aumentara de 1500 a 2600 millones de animales, mientras que la población de caprinos y ovinos a nivel mundial se incrementará de 1700 a 2700 millones entre los años 2000 y 2050, no obstante, en la actualidad el reto es elevar el rendimiento productivo del ganado en lugar de incrementar el número de animales, sin embargo, hay limitantes por los constantes cambios climáticos, como sequias repetitivas y prolongadas, cambios bruscos de temperatura y precipitaciones irregulares que perturban

los sistemas tradicionales de PR y exigen a los productores adoptar prácticas de manejo diferentes.

Las emisiones de (CH₄) por el ganado bovino, aproximadamente están calculadas en 58 MMt/año, lo que corresponde al 73% del total de emisiones (80 millones) equivalente a la especies domésticas.^{62,63} Por otro lado, los principales animales domésticos responsable de la producción aproximada del 15% de (CH₄) global, se encuentra el ganado bovino.^{64,65} Entre otros contribuyentes representativos tenemos, el (10%) de combustión de biomasa, el (14%) de pérdidas por combustión de hidrocarburos, (20%) de cultivos de arroz, y el (21%) de los pantanos naturales.

Los rumiantes son una fuente importante de proteína en las dietas humanas a nivel mundial, no obstante, el crecimiento constante de la población conlleva la producción de CH₄ entérico, principalmente en aquellos animales que se alimentan de forrajes de mala calidad, de ahí, una forma de minorar este problema es diseñar dietas que permitan disminuir las emisiones de CH₄ por unidad de carne o leche producida, por tanto el manejo de praderas en los sistemas de PR alimentados a base de forrajes pueden contribuir a la reducción de CH₄. Al mejorar las reservas de carbono del suelo, lo que evitaría el CO₂ en el aire, así como la reducción del uso de fertilizantes químicos, al remplazarlos con estiércol y plantas fijadoras de nitrógeno, reduciendo de igual manera las emisiones de N₂O.²⁵ Entre la variedad de GEI, se concuerda que se debe tener en cuenta al CO₂ el de mayor proporción y el que hoy en día tiene una importante contribución al acrecentamiento del calentamiento global.⁶⁶ Actualmente las concentraciones de CH₄ son menores a las de CO₂, a pesar que el CH₄, está aumentando vertiginosamente y también tiene un impacto (21-30) con una alteración de mayor grado de contaminación con res-

pecto al CO₂ tomando en cuenta que con el lapso de los años el metano pudiera ser dominante.

Conclusiones

La formulación de dietas alimenticias en base a subproductos agrícolas (especies forrajeras arbóreas, arbustivas y residuos pos-cosecha de cultivos agrícolas), para la alimentación de rumiantes se presenta como una alternativa viable para optimizar la producción, la utilización y manipulación de las dietas en la alimentación de rumiantes disminuye la formación de gases efecto invernadero. Los GEI, el CO₂ es el que se encuentra en cantidades más altas y que en la actualidad es el responsable del aumento al calentamiento global en comparación a los demás gases de efecto invernadero y que en un futuro no muy lejano el metano será el mayor contaminante del planeta.

Los SS pueden ser una alternativa rentable para la PG sostenible, al prestar posiblemente servicios ecosistémicos y mejorar el bienestar animal. Los MS, dependen de su composición química, concentración en la dieta, la cantidad consumida, y del estado de salud de los animales para su efecto. El efecto de los taninos sobre el metabolismo del nitrógeno reduce la degradación proteica en el rumen, esto a la vez proporciona un suministro adicional de proteína digerible hacia las partes bajas del tracto gastrointestinal de los rumiantes.

Conflictos de intereses

La presente investigación no presenta conflictos de interés.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Facultad Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato por el apoyo prestado para la realización de este trabajo.

Literatura citada

1. Abarca D, Martinez R, Muñoz J, Torres M, Vargas G. Residuos de café, cacao y cladodio de tuna: Fuentes promisorias de fibra dietaria. Rev Tecnol 2010;23(2):63-9.
2. Carmona JC, Bolívar DM, Giraldo LA. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Rev Col Cienc Pec 2005;18(1):49-63.
3. Ajila CM, Brar SK, Verma M, Tyagi RD, Godbout S, Valéro JR. Bio-processing of agrobyproducts to animal feed. Crit Rev Biotechnol 2012;32(4):382-400. DOI: <http://doi.org/10.3109/07388551.2012.659172>
4. Ortiz DM, Posada SL, Noguera RR. Effect of plant secondary metabolites on methane enteric emission in ruminants. LRRD 2014;26(11):E211.
5. Barros Rodríguez M, Rovalino Núñez V, Núñez Torres O, Mera Andrade R, Artieda Rojas J, Vacca Freire L et al. Composición química, cinética de degradación ruminal y producción de gas *in vitro* de arvenses con potencial forrajero. LRRD 2017a; 29(4):E71.
6. Barros Rodríguez M, Oña Rodríguez J, Mera Andrade R, Artieda Rojas J, Curay Quispe S, Avilés Esquivel D et al. Degradación ruminal de dietas a base de biomasa pos-cosecha de *Amaranthus cruentus*: Efecto sobre los protozoos del rumen y producción de gas *in vitro*. Rev Investig

- Vet Perú 2017b;28(4):812-21. DOI: <http://doi.org/10.15381/rirep.v28i4.13931>
7. Goel G, Makkar HP, Becker K. Changes in microbial community structure, methanogenesis and rumen fermentation in response to saponin-rich fractions from different plant materials. *J Appl Microbiol* 2008;105(3):770-7. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03818.x>
 8. Tan HY, Siew CC, Abdullah N, Liang JB, Huang XD, Ho YW. Effects of condensed tannins from *Leucaena* on methane production, rumen fermentation and populations of methanogens and protozoa *in vitro*. *Anim Feed Sci Technol* 2011;169(3-4):185-93. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.07.004>
 9. Denek N, Aydin SS, Can A. The effects of dried pistachio (*Pistachio vera* L.) by-product addition on corn silage fermentation and *in vitro* methane production. *J Appl Anim Res* 2017;45(1):185-9. DOI: <http://doi.org/10.1080/09712119.2016.1141778>
 10. Grainger C, Clarke T, Auldred MJ, Beauchemin KA, McGinn SM, Waghorn GC et al. Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. *Can J Anim Sci* 2009;89(2):241-51. DOI: <http://doi.org/10.4141/CJAS08110>
 11. Jensen TL. Livestock foraging behavior in response to sequence and interactions among alkaloids, tannins, and saponins [doctoral thesis]. [Utah]: Utah State University; 2012. Recuperado a partir de: <https://digitalcommons.usu.edu/etd/1217/>
 12. Malik PK, Kolte AP, Baruah L, Saravanan M, Bakshi B, Bhatta R. Enteric methane mitigation in sheep through leaves of selected tanniniferous tropical tree species. *Livest Sci* 2017;200:29-34. DOI: <https://www.dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2017.04.001>
 13. Stoldt AK, Derno M, Das G, Weitzel JM, Wolfram S, Metges CC. Effects of rutin and buckwheat seeds on energy metabolism and methane production in dairy cows. *J Dairy Sci* 2016;99(3):2161-8. DOI: <http://doi.org/10.3168/jds.2015-10143>
 14. Jayanegara A, Marquardt S, Wina E, Kreuzer M, Leiber F. *In vitro* indications for favourable non-additive effects on ruminal methane mitigation between high-phenolic and high-quality forages. *Br J Nutr* 2013;109(4):615-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0007114512001742>
 15. Delgado DC, González R, Galindo J, Cairo J, Almeida M. Potencialidad de *Trichanthera gigantea* y *Morus alba* para reducir la producción ruminal de metano *in vitro*. *Rev Cub Cien Agric* 2007;41(4):339-42.
 16. Broudiscou LP, Papon Y, Broudiscou AF. Effects of dry plant extracts on fermentation and methanogenesis in continuous culture of rumen microbes. *Anim Feed Sci Technol* 2000;87(3.4):263-77. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00193-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00193-0)
 17. Borroto A, Cruz D, Pérez C, Molina A. Potencial alimentario de dos subproductos agrícolas de cítricos: Hierbas bajo corte mecanizado y podas para la producción de carne ovina. *Rev Prod Anim* 1989;5(2):131-6.
 18. Trujillo Lancheros GA. Guía para la utilización de recursos forrajeros tropicales en la alimentación de bovinos. Unidad técnica Comité Ganaderos del Huila 2009 [Internet]. Colombia. [citado 26 de octubre de 2018]. Recuperado a partir de <https://docplayer.es/17636668-Guia-para-la->

- [utilizacion-de-recursos-forrajeros-tropicales-para-la-alimentacion-de-bovinos.html](#)
19. Food and Agriculture Organization of the United Nations [Internet]. Livestock Sector Brief; 2005 [citado 26 de octubre de 2018]. Recuperado a partir de: http://www.fao.org/Ag/againfo/resources/en/publications/sector_briefs/lbECU.pdf
 20. Toxopeus H, Wood GAR, Lass RA. (1985). Botany, types and populations. In Book: Cocoa, Forth Edition, 11-37. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470698983.ch2>
 21. Titiloye JO, Abu Bakar MS, Odetoeye TE. Thermochemical characterisation of agricultural wastes from West Africa. *Ind Crops Prod* 2013;47:199-203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.03.011>
 22. Brenes Gómez O. Posibilidades de la utilización de los subproductos del beneficio del cacao. En: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) Memoria Seminario Regional Sobre Tecnología Poscosecha Y Calidad Mejorada del Cacao. 20-21 de Julio. 1989. Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); 1989. p. 141-6. Recuperado a partir de: <https://books.google.com.bo/books?id=UHPptC7HNEC>
 23. Food and Agriculture Organization of the United Nations [Internet]. Enfrentando el cambio climático a través de la Ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Roma; 2013. p. 153. Recuperado a partir de: www.fao.org/docrep/019/i3437s/i3437s00.htm
 24. Turk J. Meeting projected food demands by 2050: Understanding and enhancing the role of grazing ruminants. *J Anim Sci* 2016;94(Suppl 6):S53-62. DOI: <https://www.doi.org/10.2527/jas.2016-0547>
 25. Guyader J, Janzen HH, Kroebel R, Beauchemin KA. Forage use to improve environmental sustainability of ruminant production. *J Anim Sci* 2016;94(8):3147-58. DOI: <http://doi.org/10.2527/jas.2015-0141>
 26. Ehrhardt R. Contribution of forage production systems to small ruminant profitability. *J Anim Sci* 2016;94(Suppl 5):842. DOI: <https://doi.org/10.2527/jam2016-1729>
 27. Romero Huelva M, Ramirez Fenosa MA, Planelles González R, García Casado P, Molina Alcaide E. Can by-products replace conventional ingredients in concentrate of dairy goat diet? *J Dairy Sci* 2017;100(6):4500-12. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11766>
 28. Magaña Monforte JG, Luis López E, Segura Correa JC, Aké López JR, Montes Pérez RC, Aguilar Pérez CF. Productive performance of cows in a dual purpose system in Yucatan, Mexico. *LRRD* 2016;28(9):156.
 29. Vásquez F, Pezo D, Mora Delgado J, Skarpe C. Selectividad de especies forrajeras por bovinos en pastizales seminaturales del trópico centroamericano: un estudio basado en la observación sistemática del pastoreo. *Zootec Trop* 2012;30:63-80.
 30. Chávez Silva AH, Pérez García A, Sánchez Granillo EJ. Intensidad de pastoreo y esquema de utilización en la selección de la dieta del ganado bovino durante la sequía. *Rev Mex de Cienc Pecuarias Méx* 2000;38:19-34.
 31. Murgueitio E, Calle Z, Uribe F, Calle A, Solorio B. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *For Ecol Manage* 2011;261(10):1654-63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>

32. Améndola L, Solorio FJ, Ku Vera JC, Améndola Massiotti RD, Zarza H, Galindo F. Social behaviour of cattle in tropical silvopastoral and monoculture systems. *Animal* 2016;10(5):863-7. DOI: <http://doi.org/10.1017/S1751731115002475>
33. Souza LAS, Matarazzo SV, Carnevalli RA, de Toledo LM. Physiological and behavioral responses of dairy heifers in an integrated-crop-livestock-forestry system. *Afr J Agric Res* 2017;12(15):1278-85. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11918>
34. García DE, Medina MG. Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. *Zootec Trop* 2006;24:233-50.
35. Flores OI, Bolivar DM, Botero JA, Ibrahim MA. Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajero para la suplementación de rumiantes en el trópico. *LRR* 1998;10(1): Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd10/1/cati101.htm>
36. Mahecha L, Rosales M. Valor nutricional del follaje de botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. *LRRD* 2005;17(9):100.
37. Topps JH. Potential, composition and use of legume shrubs and trees as fodders for livestock in the tropics. *J Agric Sci* 1992;118(1):1-8. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600067940>
38. Degen AA, El-Meccawi S, Kam M. Cafeteria trials to determine relative preference of six desert trees and shrubs by sheep and goats. *Livest Sci* 2010;132(1-3):19-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.04.016>
39. Hove JR, O'Bryan LM, Gordon MS, Webb PW, Weihs D. Boxfishes (Teleostei: Ostraciidae) as a model system for fisher swimming with many fins: Kinematics. *J Exp Biol* 2001;204(Pt 8):1459-71.
40. Lefroy EC, Dann PR, Wildin JH, Wesley Smith RN, McGowan AA. Trees and shrubs as sources of fodder in Australia. *Agroforest Syst* 1992;20(1-2):117-39. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00055307>
41. Acamovic T, Brooker JD. Biochemistry of plant secondary metabolites and their effects in animals. *Proc Nutr Soc* 2005;64(3):403-12. DOI: <https://doi.org/10.1079/PNS2005449>
42. Papanastasis VP, Yiakoulaki MD, Decandia M, Dini Papanastasi O. Integrating woody species into livestock feeding in the Mediterranean areas of Europe. *Anim Feed Sci Technol* 2008;140(1-2):1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.03.012>
43. McSweeney CS, Palmer B, McNeill DM, Krause DO. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Anim Feed Sci Technol* 2001;91(1-2):83-93. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00232-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00232-2)
44. Min BR, Barry TN, Attwood GT, McNabb WC. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Anim Feed Sci Technol* 2003;106(1-4):3-19. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00041-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00041-5)
45. Henke A, Dickhoefer U, Westreicher Kristen E, Knappstein K, Molkenkin J, Hasler M et al. Effect of dietary Quebracho tannin extract on feed intake, digestibility, excretion of urinary purine derivatives and milk production in dairy cows. *Arch Anim Nutr* 2017;71(1):37-53. DOI: <http://doi.org/10.1080/1745039X.2016.1250541>
46. Kumar R, Vaithyanathan S. Occurrence, nutritional significance and effect on animal productivity of tannins in tree leaves. *Anim Feed Sci*

- Technol 1990;30(1-2):21-38. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(90\)90049-E](https://doi.org/10.1016/0377-8401(90)90049-E)
47. Patra A, Park T, Kim M, Yu Z. Rumén methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *J Anim Sci Biotechnol* 2017;8:23 <http://doi.org/10.1186/s40104-017-0145-9>
48. Mueller Harvey I. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *J Sci Food Agr* 2006;86(13):2010-37. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2577>
49. Nikmaram N, Leong SY, Koubaa M, Zhu Z, Barba FJ, Greiner R et al. Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food Control* 2017;79:62-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.027>
50. Patra AK, Saxena J. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *J Sci Food Agr* 2011;91(1):24-37. DOI: <http://doi.org/10.1002/jsfa.4152>
51. Estell RE. Coping with shrub secondary metabolites by ruminants. *Small Rumin Res* 2010;94(1-3):1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.09.012>
52. Ulyatt MJ, Macrae JC, Clarke RTJ, Pearce PD. Quantitative digestion of fresh herbage by sheep: IV. Protein synthesis in the stomach. *J Agric Sci* 1975;84(3):453-8. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600052655>
53. Dschaak CM, Williams CM, Holt MS, Eun JS, Young AJ, Min BR. Effects of supplementing condensed tannin extract on intake, digestion, ruminal fermentation, and milk production of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2011;94(5):2508-19. DOI: <http://doi.org/10.3168/jds.2010-3818>
54. Ahnert S, Dickhoefer U, Schulz F, Susenbeth A. Influence of ruminal Quebracho tannin extract infusion on apparent nutrient digestibility, nitrogen balance, and urinary purine derivatives excretion in heifers. *Livest Sci* 2015;177:63-70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.04.004>
55. Aguerre MJ, Capozzolo MC, Lencioni P, Cabral C, Wattiaux MA. Effect of quebracho-chestnut tannin extracts at 2 dietary crude protein levels on performance, rumen fermentation, and nitrogen partitioning in dairy cows. *J Dairy Sci* 2016;99(6):4476-86. DOI: <http://doi.org/10.3168/jds.2015-10745>
56. Castillo AR, Kebreab E, Beever DE, Barbi JH, Sutton JD, Kirby HC et al. The effect of energy supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *J Anim Sci* 2001;79(1):240-6. DOI: <http://doi.org/10.2527/2001.791240x>
57. Puchala R, Min BR, Goetsch AL, Sahlú T. The effect of condensed tannin-containing forage on methane emission by goats. *J Anim Sci* 2005;83(1):182-6. DOI: <https://doi.org/10.2527/2005.831182x>
58. Montenegro J, Abarca S. Los sistemas silvopastoriles y el calentamiento global: un balance de emisiones. *Agr Costarr* 2002;26(1):17-24.
59. Yokohama M, Johnson K. (1988, 11 de septiembre). Microbiología del rumen e intestino. En: El rumiante, fisiología digestión y nutrición. Church DC. Recuperado de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/123456789/13715/1/402992.pdf>
60. Primavesi O, Frighetto RTS, Pedreira MDS, Lima MAD, Berchielli TT, Barbosa PF. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais. brasileiras. *Pesq Agropec Bras* 2004;39(3):277-83. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300011>
61. Lal R, Delgado JA, Gulliford J, Nielsen D, Rice CW, Van. Pelt RS. Adapting agriculture to

- drought and extreme events. *J Soil Water Conserv* 2012;67(6):162A-6. DOI: <http://doi.org/10.2489/jswc.67.6.162A>
62. Kurihara M, Magner T, Hunter RA, McCrabb GJ. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *Br J Nutr* 1999;81(3):227-34. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114599000422>
63. Johnson KA, Johnson DE. Methane emissions from cattle. *J Anim Sci* 1995;73(8): 2483-92. DOI: <https://dx.doi.org/10.2527/1995.7382483x>
64. McCaughey WP, Wittenberg K, Corrigan D. Methane production by steers on pasture. *Can J Anim Sci* 1997;77(3):519-24. DOI: <https://doi.org/10.4141/A96-137>
65. Moss AR, Jouany JP, Newbold J. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann Zootech* 2000;49(3):231-53. DOI: <http://doi.org/10.1051/animres:200011>
66. Reyes Sánchez AI. Estrategia de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Estudio de caso: Instituto Politécnico Nacional [tesis de Maestría en Internet]. [México]: Instituto Politécnico Nacional; 2012. [citado 20 de octubre de 2018]. Recuperado a partir de: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/8622?show=full>
-