



Original

La cromatografía gaseosa y la cromatografía líquida de alta resolución en la rama agropecuaria

Gas Chromatography and High-Performance Liquid Chromatography in Agriculture

Marianelys Hernández Martínez *, Maryen Alberto Vazquez *

*Instituto de Ciencia Animal (ICA). Carretera Central km 47 ½, San José de las Lajas, CP 32700, Apartado postal 24, Mayabeque, Cuba.

Correspondencia: marianelysh96@gmail.com y mhmartinez@ica.co.cu

Recibido: Marzo, 2023; Aceptado: Abril, 2023; Publicado: Mayo, 2023.

RESUMEN

Antecedentes: La cromatografía es un método que permite la separación, identificación y cuantificación de los componentes químicos en mezclas complejas. Las aplicaciones de los métodos cromatográficos son muy amplias, van desde la determinación del porcentaje de solvente en un producto agroquímico hasta su empleo en las fábricas de alimentos. La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y la cromatografía gaseosa (CG) tienen un rol importante en el desarrollo de la rama agropecuaria. En la actualidad, ambos tipos de cromatografía, se utilizan en numerosas investigaciones a causa de su gran versatilidad, sensibilidad, reproducibilidad y rapidez. **Objetivo.** discutir los principales resultados de estudios que utilizan la CG y la HPLC en la rama agropecuaria. **Materiales y métodos:** Para ello se realizó una recopilación de estudios que se publicaron en los últimos años donde estas técnicas juegan un papel primordial en esta rama de la ciencia. **Resultados:** El uso de la CG y la HPLC, en la rama agropecuaria, permitió la obtención de resultados relevantes que van desde el análisis del perfil de ácidos grasos en estudios referentes a la formulación de una dieta para la alimentación de animales de interés productivo, hasta la determinación y cuantificación de residuos agroquímicos en las plantas, la detección de contaminantes en las dietas y residuos medicamentosos que comprometen la vida del animal, entre otros. **Conclusiones:** Se puede concluir que el uso de la cromatografía constituye una metodología imprescindible en estudios bioquímicos, toxicológicos, estructurales, agroindustriales, etc., de ahí su importancia.

Palabras clave: análisis cromatográfico, agricultura, cuantificación, identificación (*Fuente: AGROVOC*)

Como citar (APA)

Hernández Martínez, M., & Alberto Vazquez, M. (2023). La cromatografía gaseosa y la cromatografía líquida de alta resolución en la rama agropecuaria. *Revista de Producción Animal*, 35(1). <https://rpa.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4474>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

ABSTRACT

Background: Chromatography permits chemical components' separation, identification, and quantification in complex mixtures. Chromatographic methods have various applications, which include the determination of an agrochemical solvent percentage and its utilization in the food-processing industry. High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) and Gas Chromatography (GC) are essential for agriculture. Both types are used in numerous research studies today thanks to their versatility, sensitivity, reproducibility, and quickness. **Aim:** To discuss the main results of studies that include GC and HPLC in agriculture. **Materials and methods:** The study relied on a compilation of recent papers, where these techniques play a critical role in this area of science. **Results:** The utilization of GC and HPLC in agriculture contributed to relevant results, from the analysis of fatty acids profile in the formulation of a diet for animal nutrition, to the determination and quantification of agrochemical residues in plants, the detection of contaminants in the diets, and drug residues that compromise the lives of animals. **Conclusions:** The use of chromatography is an essential methodology for biochemical, toxicological, structural, and agro-industrial studies.

Keywords: chromatographic analysis, agriculture, quantification, identification (Source: AGROVOC)

INTRODUCCIÓN

Las cromatografías son procesos que abarcan varias técnicas separativas, basadas en propiedades físicas de ciertos materiales, que, en interacción con sustancias o mezclas de sustancias, la/s cual/es guarda/n relación con las propiedades químicas de éstas, permite descomponer una mezcla y analizar sus constituyentes. Con el desarrollo de la tecnología, las técnicas cromatográficas se diversificaron y mejoraron sensiblemente su capacidad para resolver mezclas de distinta naturaleza. Ningún otro método de separación es tan potente y de aplicación tan general.

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés) y la cromatografía gaseosa (CG) tienen un rol importante en el alcance de resultados significativos en la rama agropecuaria. La CG es un método de separación cromatográfica que se aplica a compuestos que puedan volatilizarse directamente o transformarse en un derivado volátil. Mientras que la HPLC es una técnica que permite la separación cromatográfica de compuestos con baja presión de vapor, termolábiles o que requieren de un tratamiento químico previo (derivatización) (Sgariglia *et al.*, 2010).

Las aplicaciones de los métodos cromatográficos, en la actualidad, son muy amplias. Van desde la determinación del porcentaje de solvente en un producto agroquímico, el control de calidad de pureza de solventes que entran como materias primas a una planta, la determinación del contenido de principio activo de un medicamento, hasta su empleo en las fábricas de alimentos para control de calidad de un producto y materias primas, tales como proteínas, aromatizantes y la determinación de colorantes (Sgariglia *et al.*, 2010).

En la rama agropecuaria, se incrementa su utilización a causa de las ventajas y la versatilidad de aplicación que presentan estos métodos. El presente artículo tiene como objetivo discutir los principales resultados de estudios que utilizan la CG y la HPLC en la rama agropecuaria.

Desarrollo

Utilización de la HPLC y la CG como métodos de análisis en la rama agropecuaria

Los científicos en su labor diaria descubren nuevas técnicas y procedimientos que hacen más eficiente, sencillo y preciso su trabajo en los laboratorios. En la actualidad, muchos de los análisis tradicionales son superados por técnicas novedosas capaces de obtener resultados igual de satisfactorios y en un menor tiempo. Tal es el caso de la CG y la HPLC, las cuales constituyen un pilar fundamental en estudios de diversa índole, sobre todo en la rama agropecuaria. En los últimos años estas técnicas juegan un papel protagónico en cada investigación que se realiza, ya sea su utilización en el estudio de alternativas para la alimentación de animales de interés productivo, evaluación de indicadores de salud, control de calidad de productos, entre otros.

Utilidad en estudios de alimentación de animales de interés productivo

La aparición y la evaluación de resistencias antibióticas hacia bacterias patógenas estimulan la prohibición del uso de antibióticos en la alimentación animal y la búsqueda de alternativas para reemplazarlos. Entre las diferentes alternativas se encuentran el uso de probióticos, prebióticos, estimuladores de la inmunidad y el empleo de extractos vegetales. Los extractos esenciales y sus compuestos se plantean como una vía para mejorar la eficiencia de utilización de alimentos y reducir las pérdidas de nutrientes, así mismo optimizar los parámetros productivos de cerdos en la fase de precebos. Guerra *et al.* (2008) realizaron un estudio en el que evaluaron el efecto del extracto de orégano (*Oreganum vulgare*) sobre algunos parámetros productivos de cerdos destetos. Para la evaluación de la composición química del aceite esencial una de las herramientas que se utilizó fue la HPLC acoplada a detector de masas. Se utilizaron treinta y tres lechones cruzados para determinar los efectos del uso del aceite esencial como suplemento en el crecimiento. Los resultados mostraron que el aceite de orégano produce mejores efectos en ganancia de peso y peso final, comparado con el tratamiento control, sin embargo, es menor el efecto al compararlo con el tratamiento antibiótico.

Parra *et al.* (2016) realizaron un estudio con el fin de evaluar el valor nutritivo de materias primas no convencionales en la elaboración de concentrado animal, de bajo coste y que no compitan con la alimentación del hombre. En esta investigación se analizó el contenido nutricional de las vísceras abdominales de cuy (*Cavia porcellus*) y de su harina, a través del análisis proximal y determinación del perfil de ácidos grasos mediante cromatografía de gases. Los resultados indican que la harina de vísceras de cuy puede competir con harinas de diversas procedencias dadas sus cualidades nutricionales. El análisis cromatográfico permitió identificar la composición de ácidos grasos en las vísceras frescas de cuy. Se identificaron ácidos grasos poliinsaturados tipo omega 3, 6 y 9, siendo relevante el contenido de ácido linolénico, los cuales en la dieta de los animales son escasos y de alto costo. Por tanto, esta técnica cromatográfica, unida al resultado del

análisis proximal, permitió concluir que los componentes nutricionales de las vísceras de cuy la convierten en una materia prima promisoría en alimentación animal (aves, cerdos y ganado de doble propósito), lo cual estimula el aprovechamiento de estos residuos.

Valverde (2020) realizó un estudio sobre el efecto de la inclusión de subproductos de pulpa de cítricos en dietas de cerdos en etapa de ceba para evaluar los rendimientos productivos y la salud intestinal del animal. Se analizó el efecto de ese tratamiento en la microbiota intestinal y el perfil de ácidos grasos mediante cromatografía de gases. Los resultados no mostraron diferencias significativas en ninguno de los grupos de microorganismos analizados, aunque el aumento de los niveles de pulpa cítrica en las dietas disminuye las enterobacterias fecales, los anaerobios totales y el recuento de lactobacilos en las heces, y aumenta la cantidad de bifidobacterias. La técnica cromatográfica permitió analizar el perfil de ácidos grasos con la inclusión de subproductos de pulpa de cítricos en las dietas, el cual mostró una menor concentración de ácidos grasos totales, de ácidos grasos saturados y ácidos grasos poliinsaturados, y mayor concentración de ácidos grasos monoinsaturados (24% de inclusión de pulpa cítrica). En conclusión, con este estudio es posible modificar la composición de los piensos de cerdos de engorde con la inclusión de un 24% de pulpa cítrica sin efectos negativos sobre la salud intestinal, calidad de la carne y la canal y perfil de ácidos grasos de la grasa subcutánea.

González-Torres *et al.* (2021) también utilizaron la cromatografía gaseosa acoplada a un detector de ionización de llama para determinar el perfil de ácidos grasos en dietas de cerdos en fase de ceba donde incluyen el boniato (30 %) y así evaluar la calidad nutricional de la carne. Seperiza *et al.* (2021) determinaron la composición en ácidos grasos de los huevos de gallinas criollas por cromatografía gaseosa para evaluar el efecto de la inclusión de materias primas que contienen compuestos bioactivos en la alimentación de estas aves.

Utilidad en el análisis de plantas

Dentro de la alimentación de las especies de animales de interés productivo, la utilización de fuentes alternativas constituye una de las tecnologías que más se emplean actualmente, pues proporcionan gran cantidad de nutrientes digestibles que contribuyen a la disminución de las importaciones de un país. Desafortunadamente, las plagas son un enemigo que afecta este tipo de alimentación y, por ello, se hace necesario el uso de plaguicidas para controlarlas e incrementar la producción de alimentos de origen agrícola. En consecuencia, resulta necesario aumentar el control sobre la presencia de residuos de plaguicidas en los productos agrícolas para garantizar la seguridad alimentaria y reducir los riesgos que su posible ingestión puede causar a los consumidores. La HPLC y la CG constituyen técnicas fundamentales para este tipo de investigaciones. Arrieta-Viquez (2016) realizó un estudio por cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas/masas para la determinación de residuos de: aldrín, dieldrín, deltametrina, diclorán, endosulfán, clorpirifós, cipermetrina, lambda cihalotrina, pendimentalina y lindano, en frutas y vegetales del grupo de alto contenido de agua. Los resultados evidenciaron que del total de muestras que se analizaron a nivel nacional, el 5 % sobrepasó su Límite Máximo de Residuos de Plaguicidas (LMRP) en alimentos, siendo la cipermetrina la que presentó mayor

cantidad de incumplimientos, mientras que a nivel de importación el 1 % de los incumplimientos se debió a endosulfán en manzanas.

Valentín *et al.* (2021) utilizaron la HPLC para analizar la residualidad de plaguicidas en cultivos de tomate e identificar dichos residuos y determinar su grado de toxicidad. Gracias al empleo de esta técnica se pudo identificar cierto grado de residualidad del plaguicida *Chlorpirifos* y pequeñas cantidades de Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn) en las muestras que se analizaron. Sin embargo, el promedio de residualidad de plaguicidas y metales pesados que se encontraron en tomate no supera los límites permisibles de acuerdo con lo determinado por el *Codex Alimentarius* y otras normas internacionales. No obstante, se debe tener en consideración que los plaguicidas son compuestos que pueden alterar el funcionamiento normal de un organismo, por lo tanto, se debe garantizar la inocuidad del producto.

Dussac-Moreno (2021) utilizó la cromatografía líquida y la gaseosa en un mismo estudio para analizar y detectar residuos de plaguicidas en frutas y verduras de consumo en fresco. Con el uso de ambas técnicas pudo establecer los niveles residuales de estos productos y los cocientes de riesgo por ingestión. Los resultados evidenciaron que la probabilidad de que los consumidores se expongan a niveles de residuos de plaguicidas que podrían conducir a resultados negativos para la salud es baja, aunque es un tema que se debe seguir muy de cerca, pues la salud de los consumidores podría comprometerse.

La cromatografía gaseosa también se utiliza para analizar e identificar metabolitos secundarios de plantas que se destacan en la literatura por su uso tradicional, pero que estudios científicos aún no lo demuestran. Se conoce que el ácido piroleñoso tiene diversas aplicaciones en la industria forestal como preservante de la madera, biorrepelente, biofungicida, abono foliar y constituye una alternativa en la obtención de productos orgánicos. Catacora *et al.* (2019) utilizaron la cromatografía de gases para caracterizarlos componentes químicos y principios activos del ácido piroleñoso obtenido de bambú leñoso (*Guadua sarcocarpa*), pisonay (*Erythrina ulei*) y cetico (*Cecropia sciadophylla*), con fines agrícolas. Con el empleo de esta técnica cromatográfica se hallaron en el ácido piroleñoso del bambú leñoso 12 compuestos químicos orgánicos. En pisonay, se encontraron 19 compuestos y, en cetico, se detectaron 23 compuestos. La identificación y caracterización de estos compuestos permiten explicar las propiedades que posee este ácido piroleñoso en la industria forestal.

Utilidad en la salud animal

La utilización de fármacos en animales de interés productivo es un tema polémico, porque muchas veces estos medicamentos se acumulan y no solo afectan la salud animal, sino también que compromete la salud del consumidor. Dentro de los medicamentos más discutidos en la literatura científica se encuentran los agentes antitiroideos, los cuales, si bien producen un aumento de peso de los animales debido a la retención de agua, son capaces de causarles enfermedades como el hipotiroidismo. Los cócteles de hormonas que se administran como inyectables o en forma de parches se suelen utilizar con frecuencia y tienen un efecto cancerígeno. Los antibióticos se utilizan ampliamente en la producción animal en forma

terapéutica, preventiva y como promotores del crecimiento. A pesar de los beneficios que supone su uso para la salud animal, se conoce que su utilización en la producción animal produce una pérdida de su eficiencia con el tiempo y el desarrollo de resistencias bacterianas que se transmiten a los humanos.

Los residuos de estos fármacos tanto en carne como en muestras biológicas (heces, orina), se analizan mediante diferentes técnicas. Existen métodos rápidos de detección de residuos medicamentosos en animales de granja, dentro de los cuales se encuentran los métodos inmunológicos tipo ELISA. Sin embargo, la HPLC también constituye una herramienta muy eficaz para la detección de estas sustancias, pues posee alta especificidad, rapidez y se analizan gran número de muestras de forma simultánea. Actualmente, es una de las técnicas que más se utiliza para este tipo de investigaciones (Moudgil *et al.*, 2019).

Muchos países continúan el desarrollo de tratamientos alternativos, que no utilicen fármacos, sino el empleo de fuentes vegetales que no solo contienen los factores nutritivos que se requieren para el animal, sino también otros metabolitos secundarios que contribuyen a eliminar la colonización de bacterias patógenas y prevenir la contaminación de carne. Tal es el caso del extracto de hojas de guayaba (*Psidium guajava*) que tiene actividad antibacteriana de amplio espectro, debido al principio activo quercetina. Silva-Vega *et al.* (2021) realizaron un estudio con el objetivo de caracterizar y determinar el efecto inhibitorio de la movilidad de *Escherichia coli* O157:H7 en extractos de hojas de guayaba, pues se conoce que los rumiantes son el principal hospedero de *E. coli* O157:H7, causante del síndrome urémico hemolítico en estos animales. La composición química de estos extractos se analizó por cromatografía gaseosa, a través de la cual se evidenció que el compuesto en mayor proporción (quercetina) en el extracto alcohólico de hojas de guayaba resulta efectivo en la inhibición de la movilidad de *E. coli* O157 H7.

Los contaminantes constituyen otras de las sustancias que afectan tanto la salud de los animales de interés productivo, como del consumidor de estos productos. Dichos contaminantes pueden estar presentes en el alimento que se le suministra al animal, pero también en los productos que provienen de estos animales, como es el caso de la leche.

Una de las técnicas que más se utilizan en la detección de estas sustancias dañinas es la HPLC. Bernate-Bobadilla *et al.* (2021) realizaron un estudio en el cual utilizaron esta técnica de avanzada para determinar la presencia de aflatoxina M1 en algunos predios productores de leche en la zona sur de Bogotá, pues la leche es un alimento de alta comercialización y consumo que necesita un especial cuidado. Este producto puede contaminarse con aflatoxinas, las cuales generan efectos adversos en los seres humanos y animales, en especial, se observa un efecto cancerígeno en el hígado, y la exposición puede causar la degeneración del parénquima, seguido de carcinoma y cirrosis.

Utilidad en estudios ambientales

Las excretas de los animales se acumulan en el suelo y forman parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La cromatografía gaseosa acoplada a diferentes detectores es una

herramienta para detectar y cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (CH₄, CO₂ y N₂O) en diferentes etapas de la producción pecuaria. Saynes-Santillan (2018) realizó una investigación en la cual utilizó este tipo de cromatografía para medir las concentraciones de CH₄ (metano) en rumiantes, ya que a nivel global la cría de estos animales constituye la mayor fuente de emisiones antropogénicas de CH₄ (Ripple *et al.*, 2014). Existen también estudios en los que la cromatografía gaseosa juega un papel imprescindible y es en las mediciones de CH₄ y N₂O (óxido nitroso) en excretas de animales. La mayor parte de las investigaciones se enfocan en las emisiones generadas por la fermentación entérica. Sin embargo, la generación de estiércol y orín que se acumula en las granjas es una consecuencia inevitable de la producción pecuaria y, a la vez, una fuente importante de emisiones de GEI. El orín, lodos y estiércol contienen nitrógeno inorgánico, carbono y agua disponible para los microorganismos, los cuales son sustratos necesarios para la producción microbiana de CH₄ y N₂O. De acuerdo con Jungbluth *et al.* (2001), del 0.05 al 0.7 % del nitrógeno que se excreta en el estiércol se emite como N₂O en el caso de las vacas, aunque las emisiones pueden ser hasta de 50-60 % en el caso de los cerdos que son criados con camas gruesas de paja.

Si bien el estudio de los suelos muchas veces se enfoca en el análisis de su composición química (minerales), también otro tema de gran interés para los científicos hoy en día se relaciona con el estudio de la contaminación de los suelos con hidrocarburos, los cuales constituyen un fenómeno común y causan catástrofes ecológicas y sociales. Un derrame de petróleo crudo en la tierra introduce hidrocarburos a base de petróleo, que afectan negativamente las características biológicas, químicas y físicas del suelo. La contaminación con hidrocarburos provoca daños de sistema local, ya que la acumulación de contaminantes en animales y tejidos vegetales puede causar la muerte o mutaciones. Numerosos artículos de revisión científica cubren diversos factores que influyen en la velocidad de biodegradación del petróleo (Hassanshahian *et al.*, 2020). Sin embargo, existen pocas fuentes bibliográficas que compilen la diversidad de métodos analíticos aplicados en la cuantificación de la biodegradación de hidrocarburos. Precisamente, la cromatografía gaseosa y la HPLC constituyen métodos analíticos que se aplican en la cuantificación de la biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo, lo cual muestra una vez más la utilidad de estas técnicas cromatográficas.

Utilidad de la cromatografía en la rama agropecuaria en el Instituto de Ciencia Animal

En Cuba existen diferentes centros que se dedican a la investigación y superación posgraduada de la rama agrícola, cuya finalidad es generar y transferir conocimientos actualizados, tecnologías integrales y nuevos productos de biotecnología, ciencia vegetal y sistemas sostenibles, para elevar de forma eficiente la producción agroalimentaria. Un ejemplo de ello lo constituye el Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) y el Instituto de Ciencia Animal (ICA), pertenecientes a la provincia de Mayabeque. Estos centros utilizan este tipo de tecnologías de avanzada en sus investigaciones en la rama agropecuaria.

El Instituto de Ciencia Animal es un centro que estudia las cuestiones relacionadas con la nutrición animal y el desarrollo de la ganadería. La aspiración máxima de los que hoy laboran en el ICA es potenciar la producción de alimento animal y avanzar hacia la intensificación sostenible de la actividad ganadera.

En el ICA se desarrollan investigaciones que incluyen análisis por CG y HPLC. Rodríguez *et al.* (1998) realizaron determinaciones de ácidos grasos de cadena larga en plantas de morera. Según Pérez *et al.* (2005), se determinaron ácidos grasos de cadena corta (AGCC) totales (acético, propiónico, butírico y láctico) en muestras de ciegos en pollos de ceba con el uso de un cromatógrafo gas-líquido con detector de llama. En la evaluación de la ensilabilidad *in vitro* de granos de canavalia (*Canavalia ensiformis*) y vigna (*Vigna unguiculata*), solos o mezclados con granos de sorgo (*Sorghum bicolor*), González *et al.* (2012) analizaron azúcares monoméricos y diméricos en extractos de agua por HPLC acoplado a un detector de índice de refracción, ácido láctico por HPLC en el detector UV y cuantificaron por separado los ácidos grasos de cadena corta y el etanol mediante cromatografía gaseosa. En el estudio de metabolitos secundarios de *Leucaena leucocephala* y su relación con algunos elementos del clima, diferentes expresiones de digestibilidad y metabolitos primarios, Herrera *et al.* (2017) cuantificaron azúcares por HPLC acoplado a un detector de índice de refracción. García *et al.* (2020) determinaron la concentración de ácido láctico por HPLC y la concentración de ácidos grasos de cadena corta individuales (acético, propiónico, isobutírico, butírico, isovalérico y valérico) mediante cromatografía de gases durante el estudio de caracterización química, física y microbiológica de alimentos fermentados para su uso en la producción animal.

CONCLUSIONES

La cromatografía líquida de alta resolución y la cromatografía gaseosa constituyen dos pilares fundamentales para la investigación científica hoy en día. La diversidad de aplicaciones de ambas técnicas, versatilidad y rapidez permiten su utilización en numerosos campos de la ciencia. Específicamente, en la rama agropecuaria es una herramienta imprescindible para la obtención de resultados relevantes que van desde el análisis del perfil de ácidos grasos en estudios referentes a la formulación de una dieta determinada para la alimentación de animales de interés productivo, hasta la determinación y cuantificación de residuos agroquímicos en las plantas, la detección de contaminantes en las dietas y residuos medicamentosos que comprometen la vida del animal y del consumidor, así como el análisis de metabolitos secundarios en extractos como alternativas para reemplazar el uso de antibióticos en animales de granja.

La utilización de estas técnicas en el ICA permitirá profundizar en las investigaciones que se realicen en los departamentos de la ciencia y ampliar horizontes en el desarrollo de nuevas técnicas analíticas y en la búsqueda de compuestos de gran interés.

REFERENCIAS

- Arrieta-Viquez, K. M. (2016). Validación de la metodología de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas/masas empleando extracción con acetonitrilo y partición con sulfato de magnesio para la determinación de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/73557>
- Bernate-Bobadilla, A. V., Burgos Piña, J. H., Jiménez Espinosa, J., & García Martínez, K. T. (2021). Determinación de aflatoxinas M1 (AFM1) en leche bovina producida en cuatro predios de la sabana de Bogotá. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/5093>
- Catacora, M., Quispe, I., Julian, E., Zanabria, R., Roque, M., & Zevallos, P. (2019). Caracterización de los componentes químicos del ácido piroleñoso obtenido de 3 especies forestales, con fines agrícolas en San Gabán, Puno (PERÚ). *Ceprosimad*, 7(2), 06-16, ISSN: 2310-3485. https://www.researchgate.net/publication/339688672_Caracterizacion_de_los_componentes_quimicos_del_acido_piroleñoso_obtenido_de_3_especies_forestales_con_fines_agricolas_en_San_Gaban_Puno_Peru
- Dussac-Moreno, L. E. (2021). Residuos de plaguicidas en productos vegetales de la Región de Murcia: Evaluación de Riesgo. *Proyecto de investigación*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=290957>
- García, Y., Sosa, D., González, L., & Dustet, J.C. (2020). Caracterización química, física y microbiológica de alimentos fermentados para su uso en la producción animal. *Livestock Research for Rural Development*, 32(7). <http://www.lrrd.org/lrrd32/7/Yaneis32105.html>
- González, L.A., Hoedtke, S., Castro, A., & Zeyner, A. (2012). Evaluación de la ensilabilidad *in vitro* de granos de canavalia (*Canavalia ensiformis*) y vigna (*Vigna unguiculata*), solos o mezclados con granos de sorgo (*Sorghum bicolor*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(1), 55-62, ISSN: 0034-7485. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193024313009>
- González-Torres, I., González, P., Cobas, N., Barrio, J.C., Vázquez, L., Bermúdez, R., Pateiro, M., & Lorenzo, J.M. (2021). Inclusión de boniato en la dieta de finalización de cerdos de cebo. Efecto en la calidad de la carne. *ITEA- Información Técnica Económica Agraria*, 117(1), 52-63. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.021>
- Guerra, C. M., Galán, J. A., Méndez, J. J. & Murillo, E. (2008). Evaluación del efecto del extracto de orégano (*Oreganum vulgare*) sobre algunos parámetros productivos de cerdos destetos. *Revista Tumbaga*, 1(3), 16-29, ISSN-e 1909-4841. <https://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/84>
- Hassanshahian, M., Amirinejad, N., & Askarinejad-Behzadi, M. (2020). Crude oil pollution and biodegradation at the Persian Gulf: A comprehensive and review study. *Journal of environmental health science & engineering*, 18(2), 1415-1435. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00557-x>

- Herrera, R. S., Verdecia, D. M., Ramírez, J. L., García, M., & Cruz, A. M. (2017). Metabolitos secundarios de *Leucaena leucocephala*. Su relación con algunos elementos del clima, diferentes expresiones de digestibilidad y metabolitos primarios. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(1), 107-116, ISSN 2079-3480. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802017000100012&lng=es&tlng=en.
- Jungbluth, T., Hartung, E., & Brose, G. (2001). Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60, 133-145. <https://doi.org/10.1023/A:1012621627268>
- Moudgil, P., Bedi, J. S., Aulakh, R. S., Gill, J. P. S., & Kumar, A. (2019). Validation of HPLC multi-residue method for determination of fluoroquinolones, tetracycline, sulphonamides and chloramphenicol residues in bovine milk. *Food Analytical Methods*, 12, 338-346. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1365-0>
- Parra, A. S., Acosta, C. H., Andrade, J. J., & Guerra, M. C. (2016). Análisis proximal, perfil de ácidos grasos de las vísceras del cuy (*Cavia porcellus*) y su uso potencial en alimentación animal. *Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 63(2), ISSN: 0120-2952. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v63n1.59360>
- Pérez, M., Piad, R., Bocourt, R., Milian, G., Medina, E., Savón, L., Sarduy, L., & Laurencio, M. (2005). Actividad prebiótica y probiótica de un hidrolizado enzimático de crema de destilería en pollos de ceba. *Ciencia y tecnología alimentaria*, 5(001), 42-47. <https://doi.org/10.1080/11358120509487670>
- Ripple, W.J., Smith, P., Haberl H., Montzka, S. A., McAlpine, C., & Boucher, D. H. (2014). Ruminants, climate change and climate policy. *Nature Climate Change*, 4, 2-5. <https://doi.org/10.1038/nclimate2081>
- Rodríguez, J. R, Belarbi, E. L, García, J.L. S., & López, D. A. (1998). Rapid simultaneous lipid extraction and transesterification for fatty acid analyses. *Biotechnology Technique*, 12, 689 - 691. <https://doi.org/10.1023/A:1008812904017>
- Saynes-Santillan, V. (2018). El uso de la cromatografía de gases en investigaciones de emisiones de gases de efecto invernadero del sector pecuario. *Agro Productividad*, 11(2). <https://mail.revistaagroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article-/view/129>
- Seperiza, A., Flores, C., & Flórez-Méndez, J. (2021). Efecto en la composición nutricional de huevos azules de gallinas criollas Huilliches mediante la inclusión de compuestos naturales del sur de Chile ricos en antioxidantes y omega 3. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 16(2), 9–29, ISSN 1900-9607. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.6355>
- Sgariglia, M. A., Soberon, J. R., Sampietro, D. A., & Vattuone, M. A. (2010). Cromatografía: conceptos y aplicaciones. *Revista Arakuku*, 2(1), 1-6. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/75465/CONICET_Digital_Nro.3655a360

[-b03b-44c8-8519-bc747d073f7c_A.pdf?Sequence=2&isallowed=y](#)

Silva-Vega, M., Bañuelos-Valenzuela, R., Delgadillo-Ruiz, L., Gallegos-Flores, P., Meza-López, C., Valladares-Carranza, B., & Echavarría-Cháirez, F. (2021). Caracterización química de extracto alcohólico de hoja de guayaba (*Psidium guajava*) y su efecto como inhibidor de movilidad para *Escherichia coli* O157: H7. *Abanico Veterinario*, 10(1), 1-13, ISSN 2448-6132. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2020.26>

Valentín, T. A., Guerrero, A.M., & Condori, L. (2021). Identificación de residuos de contaminantes químicos en tomate para determinar su grado de toxicidad. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(Número Especial), 38-52, ISSN: 2075-8944. <https://doi.org/10.52428/20758944.v17iEspecial.5>

Valverde, V. (2020). Inclusión de subproductos de pulpa de cítricos en dietas de cerdos de cebo: rendimientos productivos y estudio de la salud intestinal. Trabajo de fin de grado en ciencia y tecnología de los alimentos. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/150936>

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: MHM, MAV; análisis e interpretación de los datos: MHM, MAV; redacción del artículo: MHM, MAV.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.