



FAGROPEC

Facultad de Ciencias Agropecuarias

ISSN Impreso: 1692-9454 / ISSN (En línea): 2539-178X



2025

VOLUMEN 17 NÚMERO 1
ENERO - JUNIO

ISSN-Revista en Línea: 2539-178X

DOI: 10.47847/fagropec

FAGROPEC

REVISTA DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD DE LA AMAZONIA - FLORENCIA - CAQUETA



Contacto: rcagropecuarias@uniamazonia.edu.co

Página web OJS: <https://editorial.uniamazonia.edu.co/index.php/fagropec>

Esta publicación es apoyada por la:



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN
EDITORIAL UNIAMAZONIA

FAGROPEC

REVISTA DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD DE LA AMAZONIA - FLORENCIA - CAQUETA



Áreas temáticas

Ciencias Agrarias, Ciencias Naturales y de la Conservación

ISSN-Revista en Línea: 2539-178X
DOI: 10.47847/fagropec

PRESENTACIÓN

La Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FAGROPEC), es una publicación semestral, abierta a la difusión y discusión de trabajos en el área de la medicina veterinaria, la zootecnia, la biología, la salud pública, la epidemiología, la agronomía, la agroecología, y demás ciencias animales y agrarias, ofreciendo un espacio de discusión académico, fundamental para la formación de profesionales críticos y analíticos

OBJETIVO DE LA REVISTA

La Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FAGROPEC), de la Universidad de la Amazonia, tiene como objetivo divulgar los avances del conocimiento técnico y científico, generados en las universidades, centros y entidades de investigación en áreas relacionadas con los sistemas de producción agropecuarios y la conservación natural, mediante la publicación semestral de un volumen digital con documentos en español, portugués o inglés.

La publicación está dirigida a estudiantes, profesionales y demás interesados en temas relacionados con la medicina veterinaria, la zootecnia, la biología, la salud pública, la epidemiología, la agronomía, la agroecología, y demás ciencias animales y agrarias, ofreciendo un espacio de discusión académico, fundamental para la formación de profesionales críticos y analíticos

Licencia Creative Commons Atribución
4.0 Internacional (CC BY 4.0)





ISSN-Revista en Línea: 2539-178X
DOI: 10.47847/fagropec

EQUIPO

EDITORIAL

EDITOR GENERAL

Yury Tatiana Granja Salcedo, PhD
Investigadora Asociada,
Agrosavia

COMITÉ EDITORIAL

Hugo Mantilla-Meluk, Ph.D.

Universidad del Quindío

Luis Gabriel Rivera Calderón Ph.D.

Universidad de los Llanos

Pablo Andrés Motta Delgado, M.Sc.

AGROSAVIA

Juan Camilo Cardona Castaño, Ph.D.

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Naudin Alejandro Hurtado Lugo, Ph.D.

Universidad Francisco de Paula Santander

Johann Fernando Hoyos Patiño M.Sc.

Universidad Francisco de Paula Santander sede ocaña

Nancy Rodríguez Colorado, Ph.D.

Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia

Giancarlos Basto Basto

Corporación autónoma regional de la Frontera

Nororiental - CORPONOR, Colombia

COMITÉ ARBITRAJE

Nancy Rodríguez Colorado

Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia

Juan Camilo Cardona Castaño

Universidad Autónoma de Guerrero, México

Álvaro Javier Ceballos Freire

Universidad de Nariño, Colombia

Naudin Alejandro Hurtado Lugo

Universidad Francisco de Paula Santander Sede Ocaña

Nivis del Carmen Torres Fuentes

Universidad de la Amazonia, Colombia

Yulfreiler Garavito David

Asociación de Jóvenes del Encanto Fraguero, Colombia

Giancarlos Basto Basto

Corporación autónoma regional de la Frontera Nororiental

- CORPONOR, Colombia

José Alfredo Orjuela Chávez

AGROSAVIA - Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Liceth Natalia Cuellar Álvarez

Universidad de la Amazonia, Colombia

José Florez Gélvez

Universidad de Pamplona, Colombia

Nicolas Ernesto Baldrich Romero

Universidad de la Amazonia, Colombia

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Karol Andres Suarez Castro, Esp. TIC

FOTOGRAFÍA DE PORTADA

Juan Pablo Parra

EQUIPO EDITORIAL

Beatriz Elena Patiño Quiroz

Universidad de la Amazonia

Julio César Blanco Rodríguez

Universidad de la Amazonia

Nicolas Ernesto Baldrich Romero

Universidad de la Amazonia

César Augusto Zapata Ortiz

Universidad de la Amazonia



TABLA DE CONTENIDO

	Página
Nota del Editor <i>Yury Tatiana Granjas Salcedo, PhD.</i>	5 - 6
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA	
SOBERANÍA ALIMENTARIA EN MÉXICO: UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUS DETERMINANTES. FOOD SOVEREIGNTY IN MEXICO: A COMPARATIVE ANALYSIS OF ITS DETERMINANTS. <i>Victoria Martínez Martínez, Abel Pérez Zamorano, Juan Hernández Ortíz, Gerónimo Barrios Puente</i>	7 - 27
APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA CUANTIFICACIÓN DE CADMIO EN CACAO DE LOS DEPARTAMENTOS DE CAQUETÁ Y SANTANDER POR VOLTAMPEROMETRÍA DE REDISOLUCIÓN ANÓDICA APPLICATION OF THE RESPONSE SURFACE METHODOLOGY FOR THE OPTIMIZATION OF CADMIUM QUANTIFICATION IN COCOA SAMPLES FROM THE CAQUETÁ AND SANTANDER DEPARTMENTS USING ANODIC STRIPPING VOLTAMMETRY <i>Jefferson Aristizábal Tierradentro, Andres Felipe Lugo Vargas, Francis Stiven Sanchez García, Jaime Fernando Martínez Suárez</i>	28 - 48
EVALUACIÓN DEL NDVI EN CAFÉ COFFEA ARABICA A TRAVÉS DE DIFERENTES SENSORES EVALUATION OF NDVI IN COFFEA ARABICA THROUGH THE USE OF DIFFERENT SENSORS <i>Carlos Andrés Benavides Cardona, David Andrés Calvache Muñoz, Jorge Fernando Navia Estrada, Javier García Álzate</i>	49 - 62
EL EFECTO DE LA MEZCLA DE FERTILIZANTES MINERALES COMPUESTOS CON FERTILIZANTES ORGÁNICOS SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ THE EFFECT OF MIXING COMPOUND MINERAL FERTILIZERS WITH ORGANIC FERTILIZERS ON THE GROWTH AND YIELD OF MAIZE <i>Raji Ali Awadi</i>	63 - 82
COMPORTAMIENTO EPIDEMIOLÓGICO DEL ACCIDENTE OFÍDICO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ, COLOMBIA (2015-2019) THE EPIDEMIOLOGICAL BEHAVIOUR OF OPHIDIAN ACCIDENTS IN THE DEPARTMENT OF CAQUETÁ, COLOMBIA (2015-2019) <i>Edgar Martínez Moyano, Anyi Paola Gómez Martínez, Sonia Patricia Sánchez Ortíz, Mónica Yaneth Gómez-Romero, Cesar Augusto Zapata Ortíz</i>	83 - 96
ARTÍCULOS DE REPORTE DE CASO	
REPORTE DE CASO: PLACENTITIS EN YEGUA CRIOLLA COLOMBIANA. DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO CASE REPORT: PLACENTITIS IN A COLOMBIAN CREOLE MARE. DIAGNOSIS AND TREATMENT <i>Sebastián Danilo Galindo Osorio, Yessica Andrea Noriega Vargas, Andrés Felipe Valencia Hernández</i>	97 - 107



NOTA DEL EDITOR

Estimados lectores,

Es un honor presentar este nuevo volumen de la Revista FAGROPEC, publicación científica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de La Amazonía, que reúne investigaciones nacionales e internacionales con impacto directo en el sector agropecuario. Los trabajos que conforman esta edición abordan problemáticas urgentes desde técnicas innovadoras, combinando el rigor científico con aplicaciones prácticas para el desarrollo sostenible y desafíos globales desde perspectivas locales.

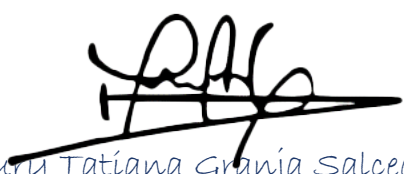
Entre las contribuciones con enfoque regional, destacamos el estudio pionero sobre cuantificación de cadmio en cacao mediante voltamperometría de redisolución anódica, que ofrece herramientas valiosas para monitorear la seguridad alimentaria en los departamentos de Caquetá y Santander. Este trabajo adquiere especial relevancia considerando la importancia económica del cacao para la región y los estándares internacionales de calidad de este producto. En el ámbito veterinario, presentamos un valioso aporte al diagnóstico y tratamiento de placentitis en yeguas criollas colombianas. Complementando estos estudios, el análisis epidemiológico del accidente ofídico en Caquetá entre 2015-2019 proporciona datos fundamentales para diseñar estrategias de prevención en zonas rurales, donde este problema de salud pública requiere atención prioritaria.

Por otro lado, las investigaciones de alcance global incluidas en este volumen enriquecen el debate académico con perspectivas comparativas. El análisis sobre soberanía alimentaria en México ofrece lecciones aplicables a nuestro contexto latinoamericano, mientras que el estudio del NDVI en café arábica mediante diferentes sensores demuestra cómo las tecnologías de monitoreo remoto pueden optimizar el manejo de cultivos en la región amazónica. Finalmente, la investigación sobre efectos de fertilizantes orgánico-minerales en maíz presenta alternativas sostenibles que podrían adaptarse a los suelos tropicales, contribuyendo así a prácticas agrícolas más eficientes y amigables con el medio ambiente.

Destacamos la labor de los revisores pares nacionales e internacionales que garantizaron la calidad de los artículos, así como el apoyo de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de La Amazonía. Este volumen refleja nuestro compromiso con la ciencia abierta, disponible en

acceso libre para impulsar el desarrollo agropecuario. Esperamos que esta cuidadosa selección de investigaciones no solo enriquezca el conocimiento académico, sino que también sirva como puente entre la teoría y la práctica en el campo agropecuario. Cada artículo publicado en este volumen representa un valioso aporte al desarrollo sostenible de nuestra región y al diálogo científico global.

Que la lectura de estos trabajos inspire nuevas investigaciones, colaboraciones interdisciplinarias y soluciones innovadoras para los desafíos que enfrenta el sector. Invitamos a nuestros lectores - académicos, profesionales y estudiantes - a aprovechar estos conocimientos y aplicarlos en sus respectivos ámbitos de acción. Les deseamos una lectura provechosa y les animamos a sumarse a este esfuerzo colectivo por avanzar en la construcción de un futuro más sostenible para el campo y la sociedad.



Yury Tatiana Granja Salcedo
Editora General, Revista FAGROPEC
Investigadora PhD asociada, Agrosavia



SOBERANÍA ALIMENTARIA EN MÉXICO: UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUS DETERMINANTES

Food sovereignty in Mexico: a comparative analysis of its determinants

Victoria Martínez Martínez¹

 <https://orcid.org/0000-0001-7793-6956>

 vickimamv@gmail.com

Juan Hernández Ortiz²

<https://orcid.org/0000-0001-5957-594X> 

jhdzo@yahoo.com.mx 

Abel Pérez Zamorano²

 <https://orcid.org/0000-0001-7699-9453>

 cemeesabelpz@gmail.com

Gerónimo Barrios Puente²

<https://orcid.org/0000-0002-5285-9445> 

gbarriospuente@gmail.com 

¹Estudiante de Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, km.38.5 Carretera México- Texcoco, Chapingo, México.

²Profesor investigador de la División de Ciencias en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN

Actualmente, la soberanía alimentaria juega un papel importante dentro de los 17 objetivos de la agenda 2030, como alternativa a problemas de hambre, pobreza y bienestar. Se analizó la situación actual de 16 variables que caracterizan a la soberanía alimentaria para identificar la relación entre éstas. Se profundizó el análisis de las variables comparándolas con variables de países similares a México, con la finalidad de seleccionar las variables más significativas para un estudio posterior respecto a una medición cuantitativa del término en un periodo de 1995 a 2023. Se trata de una investigación cuantitativa exploratorio, los datos se tomaron del Banco Mundial. A través del coeficiente de correlación y análisis exploratorio, se verifica la confiabilidad y relación entre los datos. Se encontró que, de las 16 variables, 12 son estadísticamente significativas y cuatro no lo son. Los resultados, al ser comparados con las variables de países similares, se observó que las variables fueron superadas.

Cómo citar:

Fecha recepción: 24 de Marzo de 2025 / Fecha Aprobación: 23 de Junio 2025 / Fecha Publicación: 27 de Agosto 2025

Martínez Martínez, V., Pérez Zamora, A. Hernández Ortiz, J. & Barrios Puente, G.(2025). *Soberanía alimentaria en México: un análisis comparativo de sus determinantes*. Revista. FAGROPEC. Vol. 17(1), ppt 7-27. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v17n1a1>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

Rev. FAGROPEC Vol. 17 Num. 1, enero - junio de 2025

PALABRAS CLAVE:

Coeficientes de correlación, política agrícola, dependencia alimentaria, seguridad alimentaria, autosuficiencia alimentaria.

ABSTRACT

Currently, food sovereignty plays an important role within the 17 objectives of the 2030 agenda, as an alternative to the problems of hunger, poverty and well-being. The current situation of 16 variables that characterize food sovereignty was analyzed to identify the relationship between them. The analysis of the variables was deepened by comparing them with variables from countries similar to Mexico, in order to select the most significant variables for a later study regarding a quantitative measurement of the term in a period from 1995 to 2023. This is a quantitative research, the data was taken from the World Bank. Through the evaluation coefficient and exploratory analysis, the reliability and relationship between the data is verified. It was found that, of the 16 variables, 12 are statistically significant and four are not. And the comparison of the results with similar countries, the variables were surpassed.

KEYWORDS:

Determination coefficients, agricultural policy, food dependency, food security, food self-sufficiency.

INTRODUCCIÓN

La preocupación por brindar alimentos a una nación cobró importancia desde la teoría de Malthus en que la población se multiplicaba, la producción de alimentos era más lenta, en consecuencia, la humanidad sufriría escasez, sin embargo, aquella teoría ha quedado atrás desde que la humanidad evolucionó su sistema alimentario.

No obstante, en la actualidad, a pesar de las innovaciones tecnológicas, el sistema alimentario mundial enfrenta desafíos considerables ante el crecimiento demográfico y cambio climático (Galanakis, 2023, 2024). Por más que, el sistema alimentario ha tratado de sustentar a una población en rápido crecimiento (Ghosh et al. 2024) persiste el hambre generalizada y la desnutrición. Pareciera que la agricultura actual no se da abasto ante la demanda de alimentos: “alrededor de 258 millones de personas en 58 países y territorios se enfrentan a un nivel de inseguridad alimentaria de crisis” (Naciones Unidas, 2023) en tanto que, en América Latina “la mayor prevalencia de desnutrición infantil se encuentra en Ecuador 68.9%” (Merchán et al. 2024, p. 1).

Además, se pronostica que, para el 2050, se deberá alimentar a alrededor de 10 mil millones de personas (Naciones Unidas, 2022) lo que generará una mayor demanda en producción de alimentos sanos, nutritivos, sostenibles (Galanakis, 2024; McKay 2020) con un sistema alimentario resiliente (Von Braun et al. 2023; Boyaci et al. 2021) sin dañar a la ecología (Ghosh et al. 2024).

En este contexto, el abastecimiento mundial de alimentos y los problemas que éste presenta, muestran la importancia del derecho de cada economía en mantener, producir y desarrollar sus capacidades de producción al menos de su alimentación básica (Alteri, 2009; Al Shamsi et al. 2018), propiciando una expresión de independencia en la producción (Reyes y Sánchez, 2024) lo que daría pauta al término soberanía alimentaria.

Para comprender mejor, el término soberanía alimentaria que se ha desarrollado a través de la historia con cambios importantes en su dimensión, a pesar de que aún “no existe una conceptualización uniforme de lo que constituye” (Edelman, 2016, p. 3), conviene resaltar que existen múltiples enfoques (Al Shamsi et al. 2018; Bustos et al. 2022). Algunos autores lo han concebido como “componente integral de la transformación de los sistemas alimentarios hacia la sostenibilidad” (Byaruhanga & Isgren, 2023, p. 4), con producción sostenible de alimentos (Keske, 2021; Wald y Hill, 2016), a través del apoyo a la agricultura (Medina et al. 2021). Además, se ha presentado como herramienta política (Ningrum & Subroto, 2020; López & Franco, 2015) y como un modelo alternativo a la alimentación y agricultura (Nava, 2010).

Por ende, la soberanía alimentaria ha sido un tema relevante que ha llamado la atención de diferentes organismos internacionales y gubernamentales, centrando su estudio en la producción, abasto y consumo de alimentos saludables, como alternativa para brindar alimentos a la población “independientemente de su ubicación geográfica” (Byaruhanga & Isgren, 2023, p. 9), además de considerar otros términos como la seguridad alimentaria o

autosuficiencia alimentaria a modo de condición necesaria para alcanzar la soberanía alimentaria. En este contexto, diversos autores han abordado los componentes para explicar la soberanía alimentaria (Bird Jernigan, 2021; Binimelis et al. 2014). Por ejemplo, en el caso de México, se ha mencionado que un aumento de las importaciones de aguacate puede causar una disminución de la soberanía alimentaria (Silva et al. 2024). Aunque la idea anterior puede ser equívoca, puesto que, el aumento de las exportaciones sería en que sí afectaría la disponibilidad de tierra para el cultivo de alimentos básicos.

En ese sentido, el panorama de las importaciones en México es deprimente, ya que algunas variables significativas para alcanzar la soberanía alimentaria mostraron datos que alejan al país de alcanzar dicho objetivo, por ejemplo, en granos básicos se depende más del exterior (alrededor de 49% de las importaciones): se importa “más de 56% de trigo que se consume, alrededor de 96% de la soya y 86% de arroz” (Muñoz, 2023). Además, México es el segundo importador de cereales en todo el mundo y el primer comprador de maíz a Estados Unidos.

En el periodo de 2019 a diciembre de 2023, la Organización Mundial de Comercio reportó que “el valor de la importación ha aumentado en 11.7% un alza de 46.2% sobre el nivel de 2019, año previo a la pandemia Covid 19” (OMC, 2023, p. 1) y en febrero de 2024, los bienes de consumo presentaron un aumento de 13.9% y con datos desestacionalizados hubo un incremento mensual de 5.01 % (INEGI, 2024).

Por otro lado, Rubio (2015) argumenta que un país debería producir cuando menos el 75% de granos que consume, de lo contrario se considera que se encuentra en dependencia alimentaria (Rubio, 2015; FAO, 2014), aunque, en 2021 México tuvo un índice de dependencia alimentaria cercano al 40% de maíz (García et al. 2023).

En suma, la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) subraya que cerca de 41.0% de los hogares tiene inseguridad alimentaria y que la desnutrición aún persiste en niños y niñas menores de cinco años de edad lo cual se ve reflejado en varias insuficiencias físicas del contingente infantil: en talla el 13.9%, en peso 4.4% y la de emaciación de 1.5% (ENIGH, 2020).

Por lo tanto, el primer reto para el país sería disminuir la inseguridad alimentaria y la desnutrición por mencionar algunos, para dar paso a la soberanía alimentaria. En este contexto, resalta la importancia de revisar la tendencia de cada uno de los componentes del concepto soberanía alimentaria, por ello, el objetivo fue revisar las tendencias de cada variable que dimensionen la soberanía alimentaria a partir de 16 variables en un periodo de 1995 a 2023: exportación de alimentos, importación de alimentos, rentas totales de los recursos naturales (% del PIB), crecimiento poblacional, alimentos, bebidas y tabaco (% del valor agregado en la industrialización), agricultura (valor agregado % PIB), rendimiento de los cereales (kg por hectárea), emisión agrícola de Óxido nitroso, índice de producción, tierras cultivables (% del tierra), tierras agrícolas (% tierras), maquinaria agrícola, empleos agrícolas, prevalencia de desnutrición, disposición de tierra per cápita. Además, se agregó la variable extracción del agua para dar respuesta a la interrogante

¿Qué variables tienen relaciones estadísticamente significativas para su posterior evaluación como indicador en la medición de la soberanía alimentaria en México? también, se compararon los resultados con países similares a México.

Materiales y métodos

Se realizó un análisis teórico documental, con información de fuentes nacionales e internacionales para analizar variables de la soberanía alimentaria. Para ello, se analizaron datos históricos de las variables relacionadas con el término antes mencionado, con la finalidad de ahondar en los cambios de los datos a través de los años, mediante el uso del programa RStudio para el análisis exploratorio de los datos (EDA, por sus siglas en inglés) mediante un análisis de coeficientes de correlación.

El análisis presentado a través de figuras es descriptivo, no argumenta causalidad, pero presenta cambios relevantes en las variables a través de los años. Para la selección de las variables se apoyó de la revisión de artículos y libros a nivel nacional e internacional propuestos por diversos autores y de acuerdo a la disponibilidad de datos para el caso de México.

Para este estudio, la selección del análisis descriptivo se justifica por su relevancia para la investigación exploratoria y su eficacia para presentar de forma accesible y clara las tendencias de datos (Babbie, 2020), así como la comprensión preliminar de un tema (Sánchez & Murillo, 2021).

Asimismo, la elección del análisis correlacional se justifica cuando el propósito es determinar la existencia de relación estadística entre variables, sin pretender demostrar la existencia de una relación causa - efecto (Bilbao & Escobar, 2020). En el mismo sentido el coeficiente de correlación se justifica al tratarse de una herramienta en investigaciones correlacionales que mide la fuerza y dirección de la relación entre variables, y puede variar de -1 (correlación negativa perfecta) y a 1 (correlación positiva perfecta), con 0 indicando ausencia de correlación” (Bilbao & Escobar, 2020), lo anterior ya sea a través del coeficiente de correlación de Pearson o el coeficiente de correlación de Spearman.

El estudio trabajó con 16 variables sobre una base anual desde 1995 a 2023 y fueron extraídos principalmente del Banco Mundial, Banco de México, FAO y SIAP:

La primera variable incluida fue la exportación de alimentos (% de las exportaciones de mercaderías alimenticias con respecto al total de las exportaciones por país): al respecto el Banco Mundial (2023) define que “representa el porcentaje de ventas de bienes que México realiza al exterior y son importantes porque constituyen una fuente de divisas que a su vez permiten hacer frente a la deuda y a las importaciones y que incrementan los ingresos per cápita y su clave es TX.VAL.FOOD.ZS. UN”.

La segunda variable fue importación de alimentos (% de importación de mercaderías): “porcentaje de compra de bienes provenientes del exterior para el consumo interno de un

país y su clave es TM.VAL.FOOD.ZS.UN” (Banco Mundial, 2023).

La tercera variable corresponde a rentas totales de los recursos naturales (% del PIB): es la “suma de la renta del petróleo, la renta del gas natural, la renta del carbón duro y blando, la renta mineral y la renta forestal y su clave es NY.GDP.TOTL.RT.ZS” (Banco Mundial, 2023).

La cuarta variable se refiere al crecimiento poblacional: “cambio en el número de la población a través del tiempo y se identifica con la clave SP.POP.GROW” (Banco Mundial, 2023).

La quinta variable incluye alimentos, bebidas y tabaco (% del valor agregado en la industrialización): representa al “valor agregado en la industria manufacturera. Es la suma de la producción bruta menos el valor de los insumos intermedios utilizados en la producción de las industrias clasificadas en la categoría D de la clasificación industrial internacional uniforme (CIIU) y su clave es NV.MNF.FBTO.ZS.UN” (Banco Mundial, 2023).

La sexta variable considera el concepto de Agricultura, valor agregado (% PIB): “es la producción neta de un sector después de sumar todos los productos y restar los insumos intermedios. Se calcula sin hacer deducciones por depreciación de bienes manufacturados o por agotamiento y degradación de recursos naturales” y se idéntica a través de la clave NV.AGR.TOTL.ZS (Banco Mundial, 2023).

La séptima variable incluida fue el rendimiento de los cereales, medido de kilogramos por hectárea de tierra cosechada, incluye trigo, arroz, maíz, cebada, avena, centeno, mijo, sorgo, trigo sarraceno y mezcla de cereales y se idéntica a través de AG.YLD.CREL.KG” (Banco Mundial, 2023).

La octava variable mide, prevalencia de desnutrición, “presenta la población ubicada por debajo del nivel mínimo de consumo alimenticio de energía” y “muestra el porcentaje de la población cuya ingesta de alimentos no alcanza para satisfacer sus requisitos alimenticios de energía de manera continua y se identifica como SN.ITK.DEFC.ZS” (Banco Mundial, 2023).

La novena variable corresponde al índice de producción: “abarca los productos alimentarios que se consideran comestibles y que contienen nutrientes. Se excluyen el café y el té porque, si bien son comestibles, carecen de valor nutritivo, se identifica a través de AG.PRD.FOOD.XD” (Banco Mundial, 2023).

La décima variable se refiere a la emisión agrícola de Óxido Nitroso “procedentes de la actividad agrícola son las originadas por el uso de fertilizantes (abono sintético y animal), el tratamiento de desechos animales, la quema de residuos agrícolas (no energéticos, in situ) y la quema de sabanas y se identifica a través de EN.ATM.NOXE.AG.KT.CE.” (Banco Mundial, 2023).

La undécima variable es la superficie de Tierras agrícolas “Se denomina tierra agrícola a la porción del área de tierra cultivable, afectada a cultivo permanente y a pradera permanente” y se identifica con la clave AG.LND.AGRI.ZS (Banco Mundial, 2023).

El duodécimo factor fue la Maquinaria agrícola, tractores por cada 100 kilómetros cuadrados de tierra cultivable, “cantidad de tractores de oruga y de ruedas (excluidos los motocultivadores) que se encuentran en uso en la agricultura al finalizar el año calendario especificado o durante el primer trimestre del año siguiente” y se identifica con AG.LND.TRAC.ZS. (Banco Mundial, 2023).

La décima tercera variable considerada es el empleo en la agricultura (% del total de empleos) “personas en edad de trabajar que se dedicaban a cualquier actividad para producir bienes o prestar servicios a cambio de una remuneración o beneficio, ya sea que estuvieran trabajando durante el período de referencia o no estuvieran trabajando debido a una ausencia temporal de un trabajo o a una disposición del tiempo de trabajo”, se identifica con la clave SL.AGR.EMPL.ZS. (Banco Mundial, 2023).

A diferencia de otros autores, se agregaron dos variables de suma importancia:

La décima cuarta variable fue extracción anual de agua dulce y se refiere “al total de extracción de agua, sin contar las pérdidas por evaporación de las cuencas de almacenamiento. La extracción incluye además el agua de las plantas de desalinización en países donde estas son una fuente importante. La extracción para la agricultura es el total de extracción para riego y para la producción animal” y su clave de identificación es ER.H2O.FWAG.ZS (Banco Mundial, 2024).

La décimo quinta variable, tierras cultivables (% del área de tierra), “incluye aquellos terrenos definidos por la FAO como afectados a cultivos temporales (las zonas de doble cosecha se cuentan una sola vez). Se excluyen las tierras abandonadas a causa del cultivo migratorio y su clave es AG.LND.ARBL.ZS” (Banco Mundial, 2023).

Asimismo, se observó la disponibilidad de tierra per cápita en un periodo de 1995 a 2023, para este indicador, se dividió el área sembrada de millones de hectáreas entre el número de habitantes, la información se tomó de SIAP.

Además, se compararon los índices seleccionados con 10 países similares a México (Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Venezuela, República Dominicana, Honduras, Panamá, Guatemala y Perú), para conocer su situación respecto de soberanía alimentaria, si aún es alcanzable o es meramente utopía.

Los países se eligieron de acuerdo al reporte del Índice de Similitud de Países (ISP) de los cuales se tomaron los más parecidos a México, en base a ciertas variables económicas y el índice integra 60 variables geográficas, demográficas, culturales, políticas y tecnológicas para establecer qué tan parecidos son los países, por ejemplo: balanza comercial de bienes y servicios (%PIB), desempleo (% de la PEA), exportaciones de bienes

y servicios (% PIB), exportaciones de productos de alta tecnología (% de las exportaciones de productos manufacturados), formación bruta de capital (% PIB), industria, valor agregado (% PIB), inversión extranjera directa, entradas netas (% PIB), PIB per cápita, paridad del poder adquisitivo (PPA) en dólares constantes de 2011, población y superficie (Mariana, 2021).

Resultados y discusión

La primera variable “exportación de alimentos” tuvo una tendencia al alza muy lenta desde 2014 a 2023 en un 1.5% y se observó la misma tendencia en una proyección a 2023 con apenas un crecimiento de 2.3%, como se aprecia en la figura 1. Al comparar los datos de exportación con Ecuador, país que tiene estudios sobre el término soberanía alimentaria, se encontró que desde 2012 hasta el 2021 hubo un incremento en exportación de alimentos en un 20%, lo que reflejó una diferencia muy notable entre ambos países. Se revisó esta variable por su importancia en la industria agroalimentaria y papel para la soberanía alimentaria (Binimelis et al. 2014).

Además, se observó que la variable Exportación (Exp) es estadísticamente significativa con cinco variables: Emisión agrícola de Óxido Nitroso (Ox) con un coeficiente de 0.96, índice de producción (Prod) (0.92), prevalencia de desnutrición (Des) (0.93), rendimiento de cereales (Cer) (0.89) y maquinaria agrícola (Magr) (0.90), (véase figura 3).

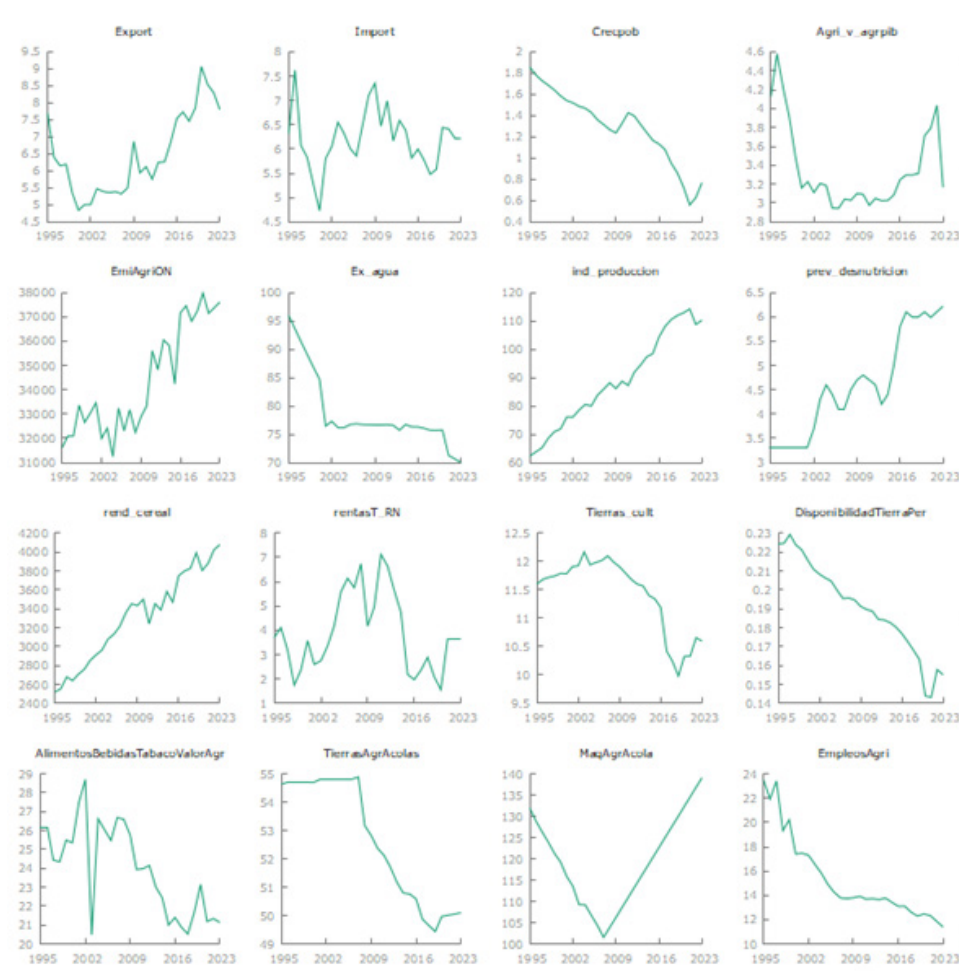
La segunda variable “importación de alimentos” se ha mantenido en porcentajes que oscilan entre 5% a 6%, sin embargo, en 2020 aumentó marginalmente en 0.9% no obstante en granos básicos las importaciones han desplazado la producción nacional en la oferta, por ejemplo, en “1994, la producción nacional de arroz, frijol, maíz y trigo representaban el 55.77%, 95.95%, 86.91% y 74.59% de la oferta respectivamente” (Valencia, 2019). En la actualidad, se tiene una dependencia de granos de alrededor de 40%.

En esta variable, los países Benin, Santo Tomé y Príncipe, han importado un porcentaje mayor a 27%, el primero importa el 31.4 % y el segundo el 27.4%, en suma, los países con menor porcentaje de importación fueron Singapur y Hong Kong, el primero con un 3.66% y el segundo con un 3.48% respectivamente. Esta variable es relevante por su papel en la dependencia alimentaria del exterior (Martin & Wagner, 2018) y de acuerdo al análisis de coeficiente de correlación, la variable importación (Imp) es estadísticamente significativa solamente con la variable rentas totales de los recursos naturales (RTR), aunque la relación no es muy fuerte, (véase figura 3).

En cuanto al porcentaje de crecimiento poblacional de México, ronda entre 0.56 a 0.77% después de 2020, disminuyó en 1.09% desde 1995, a pesar de que ha disminuido en su crecimiento, aún tiene un porcentaje alto, porcentaje que tuvo China en el año 2000 quien ahora en 2022 reportó (-0.0130995). De los países con menor crecimiento poblacional fueron: Ucrania, desde 1994 reportaba un crecimiento negativo (-0.4952) y en 2022 reportó (-14.1884), lo anterior podría explicarse a las constantes guerras al que se ha enfrentado.

Por otro lado, están los países que reportan altos porcentajes de crecimiento poblacional: Níger (3.7129), República Árabe Siria (3.6869). Según un reporte de ACCIÓN CONTRA EL HAMBRE (2023), del país, los nigerianos viven más tiempo ya que se ha reducido sus tasas de mortalidad por enfermedades prevenibles debido a las mejoras en el acceso a los servicios de salud, aunque actualmente sus niños se encuentran entre los más desnutridos en el mundo (18% de los niños menores de 5 años reportan peso insuficiente) (ACCIÓN CONTRA EL HAMBRE, 2023). Se revisó la tendencia de esta variable por la relación entre el crecimiento agrícola con el desarrollo, así como con la reducción de la migración principalmente en zonas rurales (Ambalam, 2014). Asimismo, es estadísticamente significativa la correlación de la variable población (Pob) con seis variables: extracción de agua (H2o) (0.92), tierra cultivada (Tcul) (0.95), disposición de tierra per cápita (DTP) (0.100), Alimentos, bebidas, tabaco (ABT) (0.96), tierra agrícola (Tagr) (0.99), Empleos en la agricultura (MO) (0.95), como se aprecia en la figura 3.

Figura 1:
Gráficos de series de las dieciséis variables.



Elaboración propia con datos del Banco Mundial (2024).

Con respecto a la variable “Agricultura, valor agregado (% PIB)”, México se ubica con apenas el 4.14%, mientras que en 2021 siete países se ubican por arriba de 30%: Etiopía, Liberia, Níger, Malí, Comoras, Afganistán, República Centroafricana y en 2022 fueron: Etiopía con 37.63%, Malí (36.42%), Comoras (36.41), Liberia (36.19%) y Sierra Leona con 57.44%; el país con menor porcentaje fue Singapur (0.028%). En esta variable lo ideal sería que México estuviera cerca de Sierra Leona, aunque a pesar de sus grandes riquezas “es uno de los países más pobres con inmensa desigualdad en la distribución de la renta a nivel mundial y su economía se basa en la agricultura de subsistencia” (Crea África, 2023) y es su “mayor sector económico” (world trade organization).

Y el resultado del coeficiente de correlación reportó que agricultura valor agregado (AV) no tuvo relación con ninguna otra variable, por lo que pudiera descartarse para un posterior análisis en relación a la soberanía alimentaria, situación similar se observó en rentas totales de los recursos naturales.

De manera semejante fueron los resultados de la variable rentas totales de los recursos naturales, esta variable se ha mantenido en 3.64 desde 2021, sin embargo, en 2011 representaba el 7.13, al realizar una comparación del porcentaje de México con otros países, se observó; Libia más del 61.03% de sus rentas totales es representada por el PIB, lo anterior se podría explicar la existencia de grandes reservas de petróleo y gas natural en este último país. Y, por otro lado, Islandia tiene el menor porcentaje de rentas totales en 0.00010%. Se estudió esta variable porque es un factor de la pérdida de biodiversidad y el hambre dada las políticas en generar ganancias a costa de los recursos (Moreno-Calles et al. 2016). Y cuatro países comparables lo superan: Perú (12.72%), Ecuador (6.69%), Colombia 5.32%, Panamá 3.66. En cuanto al análisis de correlación, esta variable no tuvo correlación con otra variable.

A continuación, la variable emisión agrícola de óxido nitroso, tuvo una tendencia al alza, no obstante, al compararlo con otros países como Colombia, Venezuela, Perú, Ecuador, Guatemala, República Dominicana, Honduras, Costa Rica, Panamá y El Salvador, México tiene la mayor emisión de este contaminante, superando a los diez países que son “similares al país mexicano” (Mariana, 2021), pero al compararlo con países de similar crecimiento económico (Australia, 1.62%; México, 1.58%; España 1.42% e Indonesia 1.32% (Rao, 2023). México (37980.994) se posiciona por debajo de Indonesia (65560.447) y Australia (44205.0518), (véase figura 2). Se estudió esta variable por los costos medioambientales en la agricultura e industrialización (Bernstein, 2015).

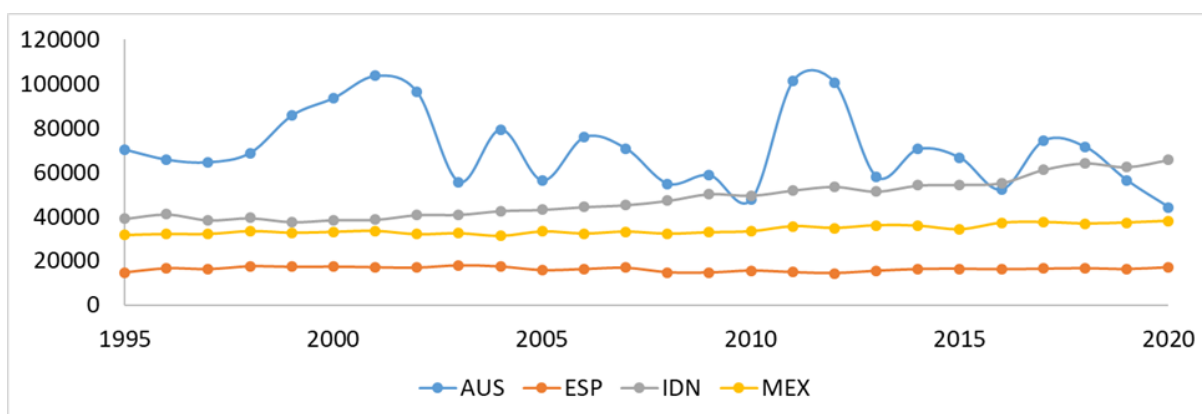
Además, la correlación de la variable emisión agrícola de óxido nitroso (Ox) es estadísticamente significativa con cuatro variables: el índice de producción (Prod) (0.99), prevalencia de desnutrición (Des) (0.99), rendimiento de cereales (Cer) (0.98) y maquinaria agrícola (Magr) (0.78).

Se encontró también, que la “extracción anual de agua dulce para uso agrícola” fue de 75.74%, según los datos se ha mantenido sin rebasar al 90% a excepción de 1995 a 1997, sin embargo, al compararse con algunos países latinos, el mayor extractor de

agua fue Colombia (85.98%), Perú (85.08%), República Dominicana (83.31%) y Ecuador (81.42%), no obstante, al compararse con economías de similar crecimiento se obtuvo, Indonesia (85.20%) como mayor extractor de agua, superando así a México a pesar de tener un crecimiento de 1.32%, por debajo de México y España. A nivel mundial, en 2020, el país con mayor extracción de agua fue Somalia 99.48%, esto se podría explicar por el porcentaje que representa el sector primario (60%) del PIB y lo que explica la crisis de agua que está viviendo el país.

Figura 2.

Emisión agrícola de óxido nitroso (México, España, Indonesia y Australia: 1995-2020).



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (2024).

De acuerdo a la figura 3, la relación de la variable extracción del agua (H_2O) es estadísticamente significativa con cinco variables: tierra cultivada (0.76), disponibilidad de tierra per cápita (0.93), alimentos, bebidas y tabaco (0.81), tierra agrícola (0.88) y empleos en la agricultura (0.99).

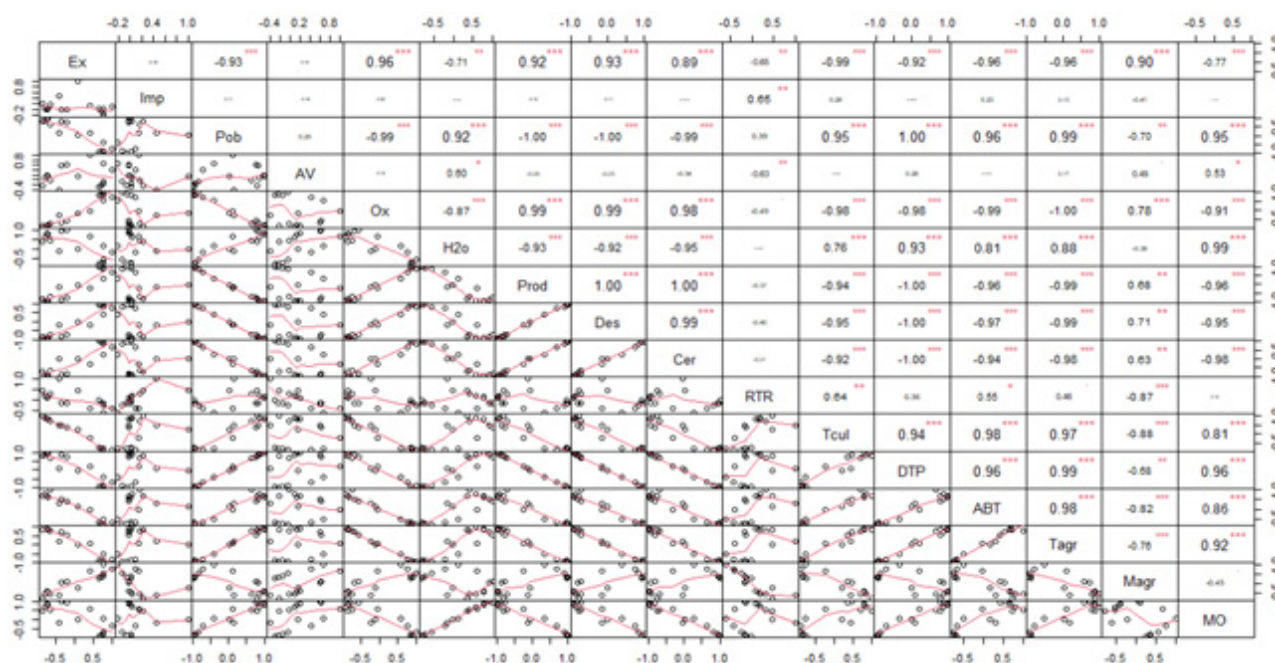
La tendencia de la variable índice de producción fue bajista y en comparación con otros países España supera a México en 2.7% aunque en crecimiento de PIB México supera al país antes mencionado (1.58% y 1.42% respectivamente), sin embargo, al ser comparado con países latinos similares, se obtuvo que República Dominicana y Perú tienen un mayor índice de producción que el país mexicano (122.48 y 115.77 respectivamente). En consecuencia, la variable “prevalencia de desnutrición” aumentó en 6.3%, un incremento paulatino de 3.0% en un periodo de dos décadas, desde el año 2001 a 2023, mostrando resultados desfavorables hacia la soberanía alimentaria, a diferencia de algunos países como Azerbaiyán, China, Argelia, Croacia, Montenegro y Uzbekistán por mencionar algunas de las economías que han reducido notablemente su porcentaje de población en prevalencia de desnutrición.

Por ejemplo, Uzbekistán disminuyó esta variable en 15.4% al pasar de 17.9% a 2.5%, del mismo modo se aprecia a Azerbaiyán, otro país que solamente tiene a 2.5% una reducción en 14.5% de su población en esta situación, en la misma sintonía se encuentran China, Montenegro, Argelia y Croacia, cada uno con una reducción en 7.5%, 7.1%, 5.5%

y 4.3% respectivamente. Por lo tanto, lo ideal sería que México alcance al menos estos porcentajes al tratarse del mínimo que tienen 48 países mientras que el resto se ubica por arriba de este porcentaje.

Por otro lado, aunque la tendencia de la variable rendimiento de los cereales ha sido al alza, México se ubica en 3,878.9 kg por hectárea, mientras que el país con mayor kg por hectárea fue San Vicente y las Granaditas (30,313.8 g/ha), lo que representa apenas el 12.79% de rendimiento del país mexicano en comparación con el país de mayor rendimiento a nivel mundial. No obstante, el país con menor rendimiento fue Cabo Verde (16.3 kg por hectárea), convirtiéndose en un país “altamente dependiente de las importaciones de cereales, especialmente en arroz y trigo que no cultiva” (FAO, 2015), y en la actualidad forma parte de los países con “crisis alimentaria” (el país, 2023).

Figura 3
Correlación entre variables.



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (2024).

De las tres variables antes mencionadas, en el análisis del coeficiente de correlación (figura 3) se encontró que el índice de producción (Prod) es estadísticamente significativo con prevalencia de desnutrición (0.100) y rendimiento de cereales (0.100). Mientras que, la relación del índice de prevalencia de desnutrición (Des) es estadísticamente significativa con el rendimiento de cereales (0.99). En el mismo sentido, la relación entre el rendimiento de cereales (Cer) y cuatro variables fue estadísticamente significativas: prevalencia de desnutrición (0.99), índice de producción (0.100), emisión agrícola de óxido nítrico (0.98) y exportación (0.89).

Dos variables presentaron tendencias a la baja (Tierras cultivables (% del área de tie-

rra) y alimentos, bebidas y tabaco), al primero lo supera España (23.11%) e Indonesia el 13.89%, mientras que México tuvo al (10.33%) del área cultivada. El panorama de la segunda variable fue similar, el valor de la industria manufacturera fue de 21%, mientras que hay países por arriba del 50%: Mongolia con (64.2022), Rwanda (57.87), Tanzania (57.56), Armenia (57.17), Panamá (56.56), Fiji (55.69), Ecuador (54.39), Kenia (54.21), Islandia (51.84), y Nicaragua (50.69). Por otro lado, Singapur es uno de los países con menor porcentaje en valor agregado de la industria manufacturera (4.45%), de la mano con Qatar (4.45%).

De las dos variables, en el análisis en el coeficiente de correlación se encontró que, la variable tierra cultivable (Tcul), es estadísticamente significativa con cuatro variables: disponibilidad de tierra per cápita (0.94), alimentos, bebidas y tabaco (0.98), tierra agrícola (0.97), empleos en la agricultura (0.81). Y por su parte, alimentos, bebidas y tabaco (ABT) es estadísticamente significativa con tierra agrícola (0.98) y con empleo en la agricultura (0.86) (Véase figura 3).

En la variable Tierras agrícolas (Tagr), se revisaron datos de algunos países y los resultados mostraron a Burundi con mayor porcentaje de tierras agrícolas (81.89%), sin embargo, parece que esta variable no influye en alcanzar la soberanía alimentaria porque a pesar de los datos, el país enfrenta a una extrema crisis alimentaria. En comparación con países de similar PIB, España (52.48%) supera a México (49.96%), lo que explica que en índice de producción y en tierras cultivables también supere al país mexicano. Por su parte, Indonesia tiene el 34.13% de tierras agrícolas. Durante un periodo de 1995 a 2021 el porcentaje de tierras agrícolas se ha reducido en 4.7%. Además, esta variable tuvo una tendencia a la baja y es estadísticamente significativo con la variable empleos en la agricultura (0.92) (Véase figura 3).

Del mismo modo, la variable empleos en agricultura (% del total de empleos) tuvo una tendencia a la baja y su comparación con países latinos, en 2021, Ecuador se destacó con 32.17% y su porcentaje de empleos en la agricultura ha aumentado en 4.91%, por su parte, Indonesia decreció en (-14.99%), caso similar se observó en México con una baja en (-11.15%), la tendencia de esta variable es a la baja. Igualmente, la variable disponibilidad de tierra per cápita (DTP) presentó tendencia a la baja y los resultados de coeficiente de correlación mostraron que es estadísticamente significativa con alimentos, bebidas y tabaco (0.96), tierra agrícola (0.99) y empleos en la agricultura (0.96).

Del análisis de las 16 variables revisadas y comparadas con las de otros países, además del análisis estadístico se obtuvo que la significancia de la primera variable (exportaciones) es débil ante otras economías ya que aumentó marginalmente en 1.5%, es decir, hubo una baja entrada de divisas, lo que impide financiar importación de tecnologías avanzadas y especializadas, dado que “una mayor exportación significa aumento del ingreso nacional” (Kaldor, 1970), algo que le hace falta al país, por lo tanto, para el análisis estadístico se tomará esta variable.

En la segunda variable no se observó mucho aumento (0.9%), sin embargo, existe una

alta importación de granos básicos principalmente, por lo tanto, “la producción en el sector agropecuario se estancaría con una agricultura atrasada respecto a otras economías” (Gómez, 2008) y se estaría lejos de tener una soberanía alimentaria, por lo tanto, para un posterior análisis estadístico se esperaría un signo negativo en esta variable.

La variable rentas totales de los recursos naturales (% del PIB), sufrió una caída de 7.13% del PIB en 2011 a 3.63% en 2023, lo que limita en cierto modo el crecimiento económico de manera indirecta, para el análisis estadístico se esperaría un signo negativo en esta variable.

La siguiente variable (alimentos, bebidas y tabaco (% del valor agregado en la industrialización)) también tiene una tendencia a la baja, por lo tanto, si se supone que “las industrias manufactureras son el motor del crecimiento económico...” “...existe una insuficiencia dinámica de las manufactureras” (Sánchez y Moreno, 2016).

Con respecto a la variable (Agricultura, valor agregado (% PIB) también mostró un panorama triste para el caso mexicano al tener una tendencia a la baja o podría explicar “existencia de inseguridad alimentaria y un bajo crecimiento económico en México” (FAO, 2003). Por su parte, la variable rendimiento de los cereales (kg por hectárea) figura apenas con el 12.79% entre los países con mayor rendimiento, esta variable refleja que podría “aumentar la seguridad y la desigualdad” (Hans, 2022) en la economía mexicana. En consecuencia, la variable “prevalencia de desnutrición” refleja un retroceso del país, ya que aumentó escasamente en 6.3% durante el periodo analizado, y esta variable es clave en el concepto de soberanía alimentaria en México.

Por su parte, la variable emisión agrícola de óxido nitroso, en el periodo analizado aumentó en 59.89%, misma situación presentó Indonesia y España, un aumento en 258% y 11% respectivamente, España a pesar de superar en índice de producción a México emite menos óxido nitroso, sin embargo, Australia quien superó a México en PIB, redujo su emisión en (-11%). Cabe desatacar que en el último año México bajó su emisión en 2.3%. La tendencia de la variable extracción anual de agua dulce para uso agrícola, disminuyó en 20% al pasar de 95% a 75%, además conforme aumenta la extracción del agua, aumenta la disponibilidad de tierra per cápita, empleos en la agricultura, número población, el uso de tierra agrícola, la producción de alimentos, bebidas y tabaco, y finalmente, aumenta el porcentaje de uso de tierra cultivada.

Asimismo, el índice de producción aumentó en 51.96% y su correlación es estadísticamente significativa con dos variables (prevalencia de desnutrición y rendimiento de cereales) ambas con el 1%, no obstante, los datos mostraron que conforme aumenta el número poblacional, el índice de producción disminuye, existe una relación inversa significativa al (0.99%) entre estas dos variables. En contraste, conforme aumenta el índice de producción aumenta también el rendimiento de cereales. Así también, la variable tierra cultivable, ha disminuido marginalmente en 0.29%, y de igual forma tiene una relación positiva con las variables alimentos, bebidas y tabaco, tierra agrícola, empleos en la agricultura, disponibilidad de tierra per cápita.

La dinámica del estudio de la soberanía alimentaria ha sido desde diferente perspectiva, y este estudio ha contribuido a la identificación de variables asociados al concepto soberanía alimentaria, que se correlacionan de manera negativa o positiva, se evidenció cuantitativamente la relación entre 16 variables, como lo mostró también Sosa (2017) quien demostró el crecimiento de exportación de alimentos e índice de producción agrícola, mostrando una relación positiva entre estas variables, en un periodo de 1980 a 2015, la exportación ha incrementado, así como el índice de producción agrícola en 117% (Sosa, 2017).

Así también, el resultado de la tendencia a la baja de la variable disponibilidad de tierra per cápita, Sosa (2017), demostró que entre 1980 a 2015 éste disminuyó en un 31% y el crecimiento poblacional tuvo una tendencia al alza en 67 por ciento entre 1980 a 2015. Del mismo modo, Guilcaso (2022) analizó la relación entre las variables hectáreas cultivadas y crecimiento poblacional, destacó que existe una relación negativa y significativa en corto plazo entre estas variables, y en este estudio, el crecimiento poblacional tiene relación negativa con Tierra cultivable, Tierra agrícola, disponibilidad de tierra per cápita y empleos en la agricultura. Por su parte, Berroterán & Zinck (2000), evidenció que existe una relación negativa entre el índice de producción y crecimiento poblacional, es decir, aunque la población incrementó, el índice de producción no aumentó, dado que “las tierras de cultivo están siendo utilizadas cada vez más para producir biocombustible, en lugar de producir alimentos para consumo humano” (Soria & Palacios, 2014, p. 128).

En cuanto a la emisión de óxido nitroso, González Estrada (2017), puso en relieve que esta emisión representó el 50.4% de las emisiones del sector agricultura, con tendencias al alza, como se mostró en esta investigación, y que no se toman en cuenta los costos de estas emisiones a la hora de aplicar cantidad de nitrógeno por hectárea.

De igual modo, la correlación entre las variables rendimientos de cereales y prevalencia de desnutrición en un 100%, Vergara (2022) puso en relieve que estas variables en conjunto con el valor agregado agrícola tienen efectos sobre la soberanía alimentaria y sus relaciones con prevalencia de desnutrición, exportación e importación (Vergara, 2022). Así mismo la correlación de tierras agrícolas y empleos en la agricultura fueron similares a los encontrados por Sánchez et al. (2023), manifestando que continuará la disminución de personas dedicadas a las actividades agrícolas y el valor agregado por la agricultura en el mediano y largo plazo.

Conclusiones

Del análisis previo se desprenden algunas conclusiones relevantes que muestran las tendencias de las principales variables asociadas a la soberanía alimentaria y por tanto, cual podría ser su comportamiento futuro y qué podría esperarse en relación a la evolución del concepto central de este estudio.

Debe destacarse que, doce de las 16 variables analizadas tiene alguna correlación entre ellas y con la soberanía alimentaria (exportación, población, emisión agrícola de óxido ni-

troso, extracción del agua, índice de producción, prevalencia de desnutrición, rendimiento de cereales, tierra cultivable, disponibilidad de tierra per cápita, alimentos, bebidas y tabaco, tierra agrícola, empleos en la agricultura y maquinaria agrícola), sin embargo de la última variable no hubo datos desde 2008 a la fecha, por lo que se consideró descartarla para un estudio posterior.

En caso contrario, hubo tres variables sin relación significativa: Agricultura valor agregado (aunque muestra una relación negativa en -6.63, con rentas totales de los recursos naturales). Asimismo, la variable importación, estadísticamente no registró relación alguna con las otras quince variables durante el periodo de análisis considerado, pero a nivel concepto es una de las variables de mayor importancia en la medición de la soberanía alimentaria en una economía.

Y la comparación de los resultados con otros países evidenció la situación actual del país mexicano en su búsqueda de alcanzar la soberanía alimentaria, de acuerdo al resultado de la tendencia de sus variables, se esperaría que es razón suficiente para replantear políticas y prestar mayor atención en las variables más débiles.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca doctoral otorgada al primer autor

Referencias

- ACCIÓN CONTRA EL HAMBRE (2023). Nigeria: ahora y en 2023-Acción contra el Hambre <https://www.accioncontraelhambre.org/es/te-contamos/actualidad/nigeria-ahora-y-en2030#:~:text=%C2%BFPor%20qu%C3%A9%20la%20poblaci%C3%B3n%20nigeriana,salud%2C%20especialmente%20en%20las%20ciudades>.
- Al Shamsi, K.B.; Compagnoni, A.; Timpanaro, G.; Cosentino, S.L.; Guarnaccia, P. A (2018). Sustainable Organic Production Model for “Food Sovereignty” in the United Arab Emirates and Sicily-Italy. Sustainability 10, 620. <https://doi.org/10.3390/su10030620> [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
- Alteri, M. A. (2009). Escalonando la propuesta agroecológica para la soberanía alimentaria de América Latina. Agroecología “4, 39-48. De <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117171>.
- Ambalam, K. (2014). Food sovereignty in the era of land grabbing: an African perspective. Journal of Sustainable Development, 7(2), 121. doi: <http://dx.doi.org/10.5539/jsd.v7n2p121>

- Ghosh, A., Kumar, A., Biswas, G., Chapter 1 - Exponential population growth and global food security: challenges and alternatives, Editor(s): Prasann Kumar, Arun Lal Srivastav, Veena Chaudhary, Eric D. van Hullebusch, Rosa Busquets, Bioremediation of Emerging Contaminants from Soils, Elsevier, 2024, Pages 1-20, ISBN 9780443139932, <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13993-2.00001-3>.
- Babbie, E. R. (2020). *The Practice of Social Research*. Bemont, CA: Cengage Australia. Google escolar
- Berroterán, J., & Zinck J. (2000). Indicadores de la sostenibilidad agrícola cerealera. Caso de estudio: Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía* 17(2), 139-155.
- Bilbao, J. L., & Escobar, P.H. (2020). *Investigación y educación superior*. LULU.COM. <https://books.google.com.pe/books?id=W67WDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Binimelis, R., Rivera-Ferre, M. G., Tendero, G., Badal, M., Heras, M., Gamboa, G., et al. (2014). Adapting established instruments to build useful food sovereignty indicators. *Dev. Stud. Res.* 1, 324-339. DOI: 10. 1080/ 21665095. 2014. 973527
- Bird Jernigan Valarie Blue, Maudrie Tara L., Nikolaus Cassandra Jean, Benally Tia, Johnson Selisha , Teague Travis , Mayes Melena , Jacob Tvli , Taniguchi Tori. (2021). Food Sovereignty Indicators for Indigenous Community Capacity Building and Health. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. Vol. 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.704750>
- Boyaci-Gündüz, C.P.; Ibrahim, S.A.; Wei, O.C.; Galanakis, C.M. (2021). Transformation of the Food Sector: Security and Resilience during the COVID-19 Pandemic. *Foods*, 10, 497. <https://doi.org/10.3390/foods10030497>
- Bustos, S., Sáez, L., Martínez, H., Lutz, M., Huenchuleo, C., Cid, F., et al. (2022). Definición de un marco conceptual, análisis crítico de la situación nacional, gobernanza y líneas de acción en seguridad y soberanía alimentaria para avanzar en la elaboración de una estrategia nacional. Santiago: Oficina de Estudios Políticas Agrarias-Ministerio de Agricultura de Chile.
- Byaruhanga, R., Isgren, E. (2023). Rethinking the Alternatives: Food Sovereignty as a Prerequisite for Sustainable Food Security. *Food ethics* 8, 16. <https://doi.org/10.1007/s41055-023-00126-6>
- Edelman, M. (Ed.). (2016). *Critical Perspectives on Food Sovereignty: Global Agrarian Transformations*, Volume 2 (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315689562>
- FAO (2003). el sector agrícola y el crecimiento económico. Disponible en <https://www.fao.org/3/y5673s/y5673s05.htm>

- Galanakis, C.M. The “Vertigo” of the food sector within the triangle of climate change, the post-pandemic world, and the Russian-Ukrainian war. *Foods* 2023, 12, 721. DOI: 10.3390/foods12040721 [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- Galanakis, Charis M. 2024. “The Future of Food” *Foods* 13, no. 4: 506. <https://doi.org/10.3390/foods13040506>
- García-Salazar, J. A, Ramírez-Jaspeado R, Ávila-Soler, E, Ramírez-Barraza, B. A. (2023). ¿Es posible disminuir la dependencia alimentaria de maíz en México? *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 46 (3): 299-307, 2023
- González Estrada, A., & Camacho Amador, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero de la fertilización nitrogenada en México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1733–1745. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.698>
- Guilcaso, Reinoso, E. (2022). La soberanía alimentaria y el crecimiento poblacional en los países de américa Latina, periodo 2000-2019. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Hans, E., (2022). El bajo rendimiento del trigo en países del sur aumentará la inseguridad alimentaria y la desigualdad. Disponible en <https://www.agenciasinc.es/Noticias/El-bajo-rendimiento-del-trigo-en-paises-del-sur-aumentara-la-inseguridad-alimentaria-y-la-desigualdad>
- Indexmundi. (2023). Alimentos, bebidas y tabaco (% del valor agregado en la industrialización) por país. (S.F.). En línea <https://www.indexmundi.com/es/datos/indicadores/NV.MNF.FBTO.ZS.UN>. 20 de octubre de 2023: 10.53).
- Inegi. 2024. INFORMACIÓN OPORTUNA SOBRE LA BALANZA COMERCIAL DE MERCANCÍAS DE MÉXICO Febrero de 2024. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpc-glclefndmkaj/https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/balcom_o/balcom_o2024_03.pdf
- Keske, C. (2022). Boreal agriculture cannot be sustainable without food sovereignty. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:673675. Doi 10.3389/fsufs.2021.673675
- López-Giraldo, LA., y Franco-Giraldo, Á. (2015). Revisión de enfoques de políticas alimentarias: entra la seguridad y la soberanía alimentaria (2000-2013). *Cadernos de Saúde Pública*, 31(7), 1355-1369. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00124814>
- Gómez Luis, O., (2008). La crisis alimentaria mundial y su incidencia México. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S187054722008000200006
- Mariana (2021, 16 noviembre). Los 10 países más similares a México. *Líder Empresarial*.

- <https://www.liderempresarial.com/los-10-paises-mas-similares-a-México/>. Consultado 20 de agosto 2024.
- Martin, W., Wagner, L. How to grow a city: cultivating an urban agriculture action plan through concept mapping. *Agric & Food Secur* 7, 33 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0186-0>
- Moreno-Calles, A. I., A. Casas, V. M. Toledo y M. Vallejo-Ramos. 2016. "Etnoagroforestería en México, los proyectos y la idea del libro". En: Moreno-Calles, A. I, A. Casas, V. M. Toledo y M. Vallejo-Ramos (comp.). *Etnoagroforestería en México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad. México. pp. 10-26.
- McKay, Ben M. 2020. Food sovereignty and neo-extractivism: Limits and possibilities of an alternative development model. *Globalizations* 17: 1386–1404. <https://doi.org/10.1080/14747731.2019.1691798>
- Medina Rey, J. M., Ortega Carpio, M. L., & Martínez Cousinou, G. (2021). ¿Seguridad alimentaria, soberanía alimentaria o derecho a la alimentación? Estado de la cuestión. *Cuadernos De Desarrollo Rural*, 18. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr18.sasa>
- Merchán-Villafuerte, K. M., Sánchez-Pijal, K. D., & Toala-Pincay, M. G. (2024). Impacto de la desnutrición en el desarrollo infantil de América Latina: implicaciones para la salud y el desarrollo integral. *MQRInvestigar*, 8(1), 3566–3586. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.1.2024.3566-3586>
- Naciones Unidas (3 de mayo de 2023). El hambre aumenta por cuarto año consecutivo y azota ya a más de 250 millones de personas. Consultado en <https://news.un.org/es/story/2023/05/1520632#:~:text=El%20documento%20concluye%20que%20alrededor,a%C3%B1os%20de%20historia%20del%20informe> (11:04)
- Ningrum, V.; Subroto, A (2020). Do the state and market affect the farmer's sovereignty? Study of organic agriculture in indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; IOP Publishing: Bristol, UK; Volume 436, p. 012011. DOI:10.1088/1755-1315/436/1/012011 [Google Scholar]
- Rao, P. (2023, 25 octubre). Visualizing the \$105 trillion world economy in one chart. *Visual Capitalist*. <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-105-trillion-world-economy-in-one-chart/>
- Reyes, Benavides Herlinton Alejandro., & Sánchez Castillo, V. (2024). Design of a local strategy for strengthening food sovereignty: the case of the el Pedregal municipal property of Villagarzón Putumayo. *Southern Perspective Perspectiva Austral*, 2, 25.

<https://doi.org/10.56294/pa202425>

- Rubio B. (2015) La soberanía alimentaria en México: una asignatura pendiente. *Mundo Siglo XXI* 36. Vol. X :55-70.
- Sánchez, A., & Murillo, A, (2021). Enfoques metodológicos en la investigación histórica: cuantitativa, cualitativa y comparativa. *Debates por la historia*, 9 (2), 147-181. <https://doi.org/10.54167/debates-por-la-historia.v9i2.792>
- Sánchez Gómez, C., Caamal Cauich, I., Bautista Hernández, B., & López José, C. C. (2023). Análisis de la situación agrícola de la República Mexicana. *Revista De La Universidad Del Zulia*, 15(42), 8-36. <https://doi.org/10.46925//rdluz.42.02>
- Sánchez Juárez, I., Moreno Brid, J., (2016). El reto del crecimiento económico en México: industrias manufactureras y política industrial. Disponible en <https://revfinypolecon.ucatolica.edu.co/article/view/1158/2250>
- Silva A, Barrera A, Ribera L and del Valle M (2024). Food sovereignty, food security, and international trade: evidence from Chile. *Front. Sustain. Food Syst.* 8:1388498. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1388498>
- Soria, S.G. y Palacios, V.H., 2014, “El escenario actual de la alimentación en México”, en *Textos y Contextos Porto Alegre*, núm. 13, pp.128-142. DOI:10.15448/1677-9509.2014.1.16223
- Sosa, Bldivia, A., & Ruíz Ibarra, G. (2017). La disponibilidad de alimentos en México: un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. *Papeles de población* 23(93), 207-230
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Population Prospects 2022: Ten Key Messages*. 2022. Available online: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd_2022_wpp_key-messages.pdf (accessed on 8 January 2024).
- Vergara, R., A, Jimber, J, A., y Márquez, S, F. (2022). Food Autonomy within Food Sovereignty: Evidence from a Structural Model. *Agronomy* 12, 1141. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051141>
- Von Braun, Joachim, Kaosar Afsana, Louise Fresco, Mohamed Hassan, and Maximo Torero. 2021. Food systems—definition, concept and application for the UN food systems summit. *Science and Innovation* 27.
- Wald, Navé, and Douglas P. Hill. 2016. ‘Rescaling’ alternative food systems: From food security to food sovereignty. *Agriculture and Human Values* 33: 203–213. <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9623-x>

World Bank Open Data. (s. f.). World Bank Open Data. Agricultura, valor agregado (% de crecimiento anual). En línea <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.KD.ZG?locations=MX> (20 octubre de 2023: 11.14).



APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA CUANTIFICACIÓN DE CADMIO EN CACAO DE LOS DEPARTAMENTOS DE CAQUETÁ Y SANTANDER POR VOLTAMPEROMETRÍA DE REDISOLUCIÓN ANÓDICA

Application of the response surface methodology for the optimization of cadmium quantification in cocoa samples from the Caquetá and Santander departments using anodic stripping voltammetry

Jefferson Aristizábal Tierradentro¹

 <https://orcid.org/0000-0001-6063-9533>

 je.aristizabal@udla.edu.co

Francis Stiven Sanchez García³

 <https://orcid.org/0000-0001-6579-4815>

 fr.sanchez@udla.edu.co

Andres Felipe Lugo Vargas²

 <https://orcid.org/0000-0002-4633-7173>

 alugov@unal.edu.co

Jaime Fernando Martínez Suárez⁴

 <https://orcid.org/0000-0003-2381-3509>

 jai.martinez@udla.edu.co

¹Químico, Programa de Química, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de la Amazonia.

³Químico, Programa de Química, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de la Amazonia.

²Magister, Maestría en toxicología, Universidad Nacional de Colombia.

⁴Doctor, Programa de Química, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de la Amazonia.

RESUMEN

Se estudió el comportamiento electroquímico del ion bismuto (Bi^{3+}) en electrodos de carbón vitreo (GC) y oro (Au) por voltamperometría cíclica (CV). Para ambos electrodos el proceso redox del ion Bi^{3+} es cuasireversible, con una potencial de pico catódico 0,10 V y -0,16 V para reducción de Bi^{3+} a Bi^0 sobre los electrodos de Au y GC, respectivamente. Para el electrodo de GC la relación de corriente de pico (I_{pa}/I_{pc}) es cuatro veces mayor con respecto electrodo Au en ácido clorhídrico (HCl) 0,1 M. Además, se realizaron un diseño Box-Behnken y compuesto central para optimizar la película de bismuto sobre GC y parámetros electroanalíticos por voltamperometría de redisolución anódica de pulso diferencial (DPASV) para la determinación de cadmio (Cd^{2+}). Se evaluó la influencia de $[\text{Bi}^{3+}]$, $E_{\text{depósito}}$ y $t_{\text{depósito}}$ para la película de bismuto, y E_{pulso} y t_{pulso}

Cómo citar:

Fecha recepción: 14 de Febrero de 2025 / Fecha Aprobación: 12 de Marzo 2025 / Fecha Publicación: 27 de Agosto 2025

Aristizábal Tierradentro, J., Lugo Vargas, A. F., Sanchez Garcia, F. S. & Martínez Suárez, J. F. (2025). *Aplicación de la metodología de superficie de respuesta en la cuantificación de cadmio en cacao de los departamentos de caquetá y santander por voltamperometría de redisolución anódica*. Revista. FAGROPEC. Vol. 17(1), ppt 28-48. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v17n1a2>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

Rev. FAGROPEC Vol. 17 Num. 1, enero - junio de 2025

para los parámetros electroanalíticos. Los parámetros optimizados fueron $[Bi^{3+}] = 5 \text{ mg/L}$, $E_{\text{depósito}} = -1100 \text{ mV}$, $t_{\text{depósito}} = 650 \text{ s}$, $E_{\text{pulso}} = 160 \text{ mV}$ y $t_{\text{pulso}} = 20 \text{ ms}$. Bajo la combinación óptima de parámetros se realizó una curva de calibración en un rango de concentraciones de 0,05 a 0,4 mg/L con un límite de detección (LOD) y cuantificación (LOQ) de 0,032 y 0,099 mg/L. El procedimiento analítico propuesto se aplicó para cuantificar Cd^{2+} en muestras de semilla de cacao de los departamentos de Caquetá y Santander, y fue comparado por espectroscopia de absorción atómica (AAS) con resultados satisfactorios.

PALABRAS CLAVE:

Box-Behnken, compuesto central y película de bismuto.

ABSTRACT

The electrochemical behavior of the bismuth ion (Bi^{3+}) was studied on glassy carbon (GC) and gold (Au) electrodes using cyclic voltammetry (CV). For both electrodes, the redox process of Bi^{3+} was found to be quasi-reversible, with cathodic peak potentials of 0.10 V and -0.16 V for the reduction of Bi^{3+} to Bi^0 on Au and GC electrodes, respectively. For the GC electrode, the peak current ratio (I_{pa}/I_{pc}) was four times higher than that of the Au electrode in 0.1 M hydrochloric acid (HCl). Additionally, a Box-Behnken design and a central composite design were implemented to optimize the bismuth film deposition on GC and the electroanalytical parameters for cadmium (Cd^{2+}) determination using differential pulse anodic stripping voltammetry (DPASV). The influence of $[Bi^{3+}]$, deposition potential ($E_{\text{deposition}}$), and deposition time ($t_{\text{deposition}}$) on the bismuth film was evaluated, along with pulse amplitude (E_{pulse}) and pulse duration (t_{pulse}) for the electroanalytical parameters. The optimized parameters were $[Bi^{3+}] = 5 \text{ mg/L}$, $E_{\text{deposition}} = -1100 \text{ mV}$, $t_{\text{deposition}} = 650 \text{ s}$, $E_{\text{pulse}} = 160 \text{ mV}$, and $t_{\text{pulse}} = 20 \text{ ms}$. Under the optimal parameter combination, a calibration curve was constructed in a concentration range of 0.05 to 0.4 mg/L, achieving a limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) of 0.032 mg/L and 0.099 mg/L, respectively. The proposed analytical procedure was applied for Cd^{2+} quantification in cocoa seed samples from the Caquetá and Santander departments and was validated through atomic absorption spectroscopy (AAS), yielding satisfactory results.

KEYWORDS:

Box-Behnken, central composite, and bismuth film.

Introducción

El cacao, originario de la selva amazónica, se planta en todos los climas tropicales y su consumo, aunque sigue dominado por Europa y América del Norte, aumenta rápidamente en las economías emergentes de Asia, América Latina y Oriente Medio. El sector mundial del cacao tuvo un valor de 44.000 millones de dólares estadounidenses en 2019 y la producción de granos de cacao se ha duplicado en los últimos treinta años. En Colombia cuenta con una producción promedio anual de 57.000 toneladas, en donde el departamento del Caquetá aporta 3006 toneladas de esta producción, implementando diversas estrategias para incrementar producción a través de la promoción del cultivo de cacao como sustituto a los cultivos ilícitos y programas de agricultura sostenible. A pesar de su importancia, el desarrollo de estos cultivos y la exportación de los granos de cacao ha presentado ciertas limitantes debido principalmente a la acumulación de metales pesados como el Cadmio (Cd). El Cd, es uno de los tres metales más abundante en el suelo, agua y aire, su concentración puede aumentar por actividades antropogénicas e industriales. El metal es absorbido por las plantas inhibiendo procesos fisiológicos, reduciendo su crecimiento, actividad fotosintética, transpiración y contenido de clorofilas. En las plantas el Cd se moviliza a las hojas y tejidos de almacenamiento como las semillas del cacao por lo que presenta disponibilidad para animales y humanos directamente o a través de la cadena trófica. Por esta razón, el monitoreo de los metales pesados, en especial el Cd en los alimentos es de vital importancia debido a su alta toxicidad, naturaleza ubicua y bioacumulación. El Cd se bioacumula en riñones, huesos, tracto respiratorio, aparato digestivo y sistema nervioso central. En las mujeres y lactantes pueden generar daños estructurales y funcionales. Además, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IACR, por siglas en inglés) clasificó el Cd y sus componentes como carcinógenos del grupo 1. Como respuesta a este riesgo se han implementado regulaciones para garantizar las concentraciones de Cd en productos derivados del cacao. Por ejemplo, la Unión Europea a través del reglamento N° 488/2014 que tiene por objetivo regular el contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios.

Entre las técnicas analíticas para la determinación de Cd se encuentran la Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS), Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS), Espectroscopia de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente inductivamente (ICP-OES), Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X (XFS), y Espectrometría de Fluorescencia Atómica (AFS). las cuales son herramientas analíticas costosas, con tiempos de análisis prolongados y requieren personal altamente cualificado. En este sentido, surgen las técnicas electroquímicas como opción adecuada debido a su bajo costo, alta sensibilidad, equipos portátiles y tiempos cortos de análisis. Una común técnica para el análisis de metales en alimentos es la voltamperometría de redisolución anódica (ASV) en electrodos de carbón vitreo (GC), oro (Au), entre otros. Además, de la modificación de la superficie del electrodo con película de mercurio (MFE) que permite mejorar los límites de detección (LOD) y cuantificación (LOQ). Sin embargo, su principal inconveniente es el empleo de mercurio, un elemento de altamente tóxico. De este modo, se requiere metales ambientalmente amigables y con propiedades electroanalíticas similares al mercurio. Aunque el bismuto es un metal pesado, presenta una

baja toxicidad, una amplia ventana de potencial, una preparación sencilla, insensibilidad parcial al oxígeno disuelto y capacidad para formar aleaciones con diferentes metales. Aunado a esto, se requieren diseños experimentales que permitan optimizar condiciones sin tener que realizar un gran número de experimentos, con lo cual se tenga una reducción del tiempo experimental, así como de los costos de reactivos y el uso de equipos. Dentro de este tipo de diseño se encuentran los basados en la metodología de superficie de respuesta, donde se pueden mencionar el diseño tipo Box Behnken y el Diseño de Compuesto Central (CCD), los cuales permiten encontrar valores óptimos de las variables de control para obtener las respuestas deseadas como máximos o mínimos.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es estudiar el comportamiento electroquímico del ion bismuto en electrodos de GC y Au, optimizar la película de bismuto y parámetros electroanalíticos empleando diseños Box Behnken y compuesto central, para la determinación de cadmio en muestras de cacao obtenidas de los departamentos de Caquetá y Santander.

Metodología

Reactivos

Todos los reactivos utilizados fueron grado analítico. El ácido clorhídrico (HCl, Merck) se utilizó para preparar el medio electrolítico. El nitrato de bismuto pentahidratado ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, Sigma Aldrich) se empleó para formación in-situ de la película de bismuto. El nitrato de cadmio tetra hidratado ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Sigma Aldrich) se utilizó para la preparación de soluciones estándar de 4000 mg/L. El HCl y ácido nítrico (HNO_3 , PanReac) se emplearon para la digestión del material vegetal. El cloruro de lantano (LaCl_3 , Sigma Aldrich) se utilizó para evitar interferencias de calcio y magnesio en la de determinación por espectroscopia de absorción atómica. Todas las soluciones fueron preparadas en agua desionizada. El material de vidrio se limpió con una solución de HNO_3 10%, y posteriormente fue lavado con agua desionizada.

Equipos

Las medidas electroquímicas se realizaron por voltamperometría cíclica (CV) y voltamperometría de redisolución anódica de pulso diferencial (DPASV) en un potenciostato/galvanostato 797 VA Computrace (Metrohm, Suiza). Se utilizó una celda convencional de tres electrodos: un electrodo axilar de varilla de platino, un electrodo de referencia de doble unión $\text{Ag}|\text{AgCl}|\text{KCl}$ 3 M y electrodos de trabajo de oro (Au) y carbono vítreo (GC). Los electrodos se limpiaron mediante pulido mecánico sobre un paño de microfibra recubierto con una suspensión de alúmina de tamaño de partícula $0,3 \mu\text{m}$ y posteriormente se colocó durante 90 s en un limpiador ultrasónico DK-1000PF (DK SONIC, China). Antes de cada determinación se realizó a los electrodos de trabajo una limpieza electroquímica (Eaplicado= 0,3 V durante 60 s). Además, los electrodos se activaron mediante CV mediante 50 ciclos a una velocidad de barrido de 20 mV/s, aplicando un barrido de potencial de -1V a 1V en el medio electrolítico. Antes de cada determinación la solución se burbujeo con nitrógeno gaseoso (N_2) durante 60 s. Todos los experimentos electroquímicos se realizaron a temperatura ambiente. Las medidas de absorción atómica se realizaron en

un espectrofotómetro Shimadzu AA-7000 (Shimadzu, Japón).

Efecto del material de electrodo

La determinación se realizó por CV en una solución que contenía 0,43 mg/L de Bi^{3+} en 0,1 M de HCl para los electrodos de GC y Au. El CV se realizó en una ventana de potencial de 0,5 a -0,4 V a una velocidad de barrido de 100 mV/s.

Optimización de la película de bismuto

Para la optimización de la película de bismuto se realizó un diseño Box Behnken, utilizando la voltamperometría de redisolución anódica de pulso diferencial (DPASV) como técnica analítica. El diseño se empleó para determinar el efecto de la concentración de Bi^{3+} (2.0 a 8.0 mg/L), potencial de depósito (-1100 a 200 mV) y tiempo de depósito (200 a 800 s), en la corriente de pico anódico del cadmio (mA).

Optimización de los parámetros electroanalíticos de Cd^{2+}

La optimización de los parámetros electroanalíticos de Cd^{2+} se realizó por DPASV aplicando un diseño de compuesto central, evaluando el efecto del tiempo de pulso (200 a 800 s) y la amplitud de pulso (20 a 200 mV), sobre la corriente de pico anódico del cadmio.

Análisis Estadístico

Para los procesos de optimización se eligieron los modelos matemáticos que más se ajustaron a los valores experimentales, a través de la estimación del R^2 , R^2 ajustado y la no significancia de la falta de ajuste del modelo, incluyendo los términos significativos ($p < 0.05$) según el análisis de varianza (ANOVA). Adicionalmente se construyeron superficies de respuesta para observar los valores máximos de corriente de acuerdo con las variables independientes seleccionadas. Todos los análisis estadísticos fueron realizados a través del programa Design Expert 11.

Cuantificación de Cd^{2+} en semillas de cacao

Preparación de la muestra de cacao

Los frutos maduros de cacao (*Theobroma cacao L*) se obtuvieron de la parcela el “El Limón” en el Centro de Investigaciones Amazónicas “Cesar Augusto Estrada González”-MACAGUAL, Florencia-Colombia. Se recolectaron 3 mazorcas de los clones LUKER 40, CCN 51 y ICS, y luego se abrieron evitando el daño mecánico de las semillas (Figura 1). Posteriormente, se desgranaron las mazorcas y se almacenaron en refrigeración a -40 °C. Todas las semillas de un mismo clon se homogenizaron y se separaron en tres muestras. Cada fracción se sometió a un proceso de secado a 105 °C durante 12 h y se trituraron. Posteriormente, 10 g de cada fracción se colocaron en una mufla a 200 °C, y se incrementó la temperatura hasta 450 °C a una velocidad de 50 °C/h por periodo de 8 h. Luego, las cenizas obtenidas se le adicionaron 5 mL de HCl 6 M, y se evaporó el ácido en una plancha de calentamiento. Posteriormente, el residuo se agregó 10 mL de HNO_3 al 0.1 M, se tapó, y se dejó reposar por 1,5 horas. Finalmente, se filtró y se aforo a 25 mL con HNO_3 al 1%. El contenido se trasvasó a botellas de plásticas para su posterior análisis.

Figura 1.

Clones de cacao: a) LUKER 40, b) ICS y c) CCN 51



Voltamperometría de redisolución anódica de pulso diferencial (DPASV)

Se realizó la preparación de 10 mL de cada solución de Cd^{2+} en el rango de 0,05 a 0,4 mg/L + 5,0 mg/L de Bi^{3+} en 0,1 M de HCl. La cuantificación de Cd^{2+} se realizó a partir de la optimización de película de bismuto y parámetros electroanalíticos. Para las muestras de cacao se tomaron 1 mL de la muestra pretratada en digestión ácida, se adicionó 9,0 mL de 5,0 mg/L de Bi^{3+} en 0,1 M de HCl.

Espectroscopia de absorción atómica (AAS)

Se realizó la preparación de 10 mL de cada solución de Cd^{2+} en el rango de 0,05 a 0,4 mg/L, con adicción 2 mg/L de LaCl_3 , las medidas se realizaron a una longitud de onda de 228,8 nm. Para las muestras de cacao se tomaron 5 mL de la muestra pretratada en digestión ácida, se adicionó 2 mg/L LaCl_3 , y se aforó a 10 mL con HCl 0,1 M. Posteriormente, se colocó 1 mL de solución para su posterior lectura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

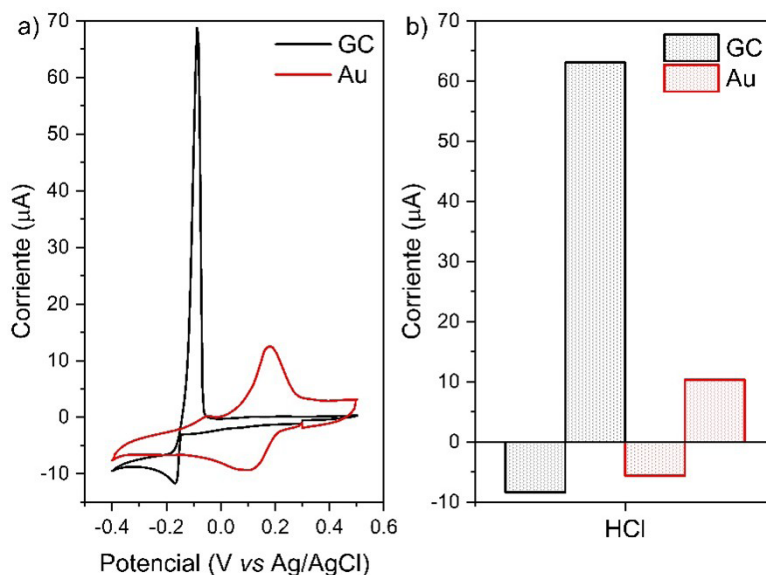
Efecto del material de electrodo

Los materiales de electrodo como GC y Au se estudiaron para la preparación de la película de bismuto debido a sus propiedades electroanalíticas (estabilidad química, baja porosidad y sobrepotencial de hidrógeno relativamente alto) y a razones prácticas (amplia disponibilidad y simplicidad de renovación de la superficie). La Figura 2a muestra los CVs de 0,43 mg/L de Bi^{3+} en 0,1 M de HCl para los electrodos de Au y GC, respectivamente. Varios aspectos interesantes son observados. Por ejemplo, para el electrodo GC

se observaron corrientes de pico (I_p) más altas con respecto al electrodo de Au (Figura 2b). Así, la relación de corriente de pico (I_{pa}/I_{pc}) resulto ser aproximada cuatro veces mayor para el electrodo de GC (7,56) con respecto Au (1,84). Por otro lado, para el electrodo de Au el potencial de pico catódico ($E_{pc} = 0,10$ V) se encuentra desplazado a potenciales menos catódicos con respecto a electrodo de GC ($E_{pc} = -0,16$ V), indicando la reducción de Bi^{3+} a Bi^0 se encuentra electrocalizada por el material de electrodo. Estos resultados se encuentran en concordancia con lo reportado por otros autores. Para el proceso de reducción de Bi^{3+} en ambos electrodos se observó una cuasireversible cupla redox con un ΔE_p ($E_{pa} - E_{pc}$) de 80 y 78 mV para el electrodo de GC y Au, respectivamente. Además, no se observaron otros procesos redox para bismuto en los electrodos de GC y Au en solución de HCl como se ha reportado para otros medios electrolíticos. A partir de los resultados obtenidos, el GC es material de electrodo seleccionado para nuestros experimentos posteriores.

Figura 2.

a) CVs de 0,43 mg/L de Bi^{3+} en 0,1 M de HCl para los electrodos de Au y GC a una velocidad de barrido 100 mV/s. b) Corriente de pico a partir de los CVs.

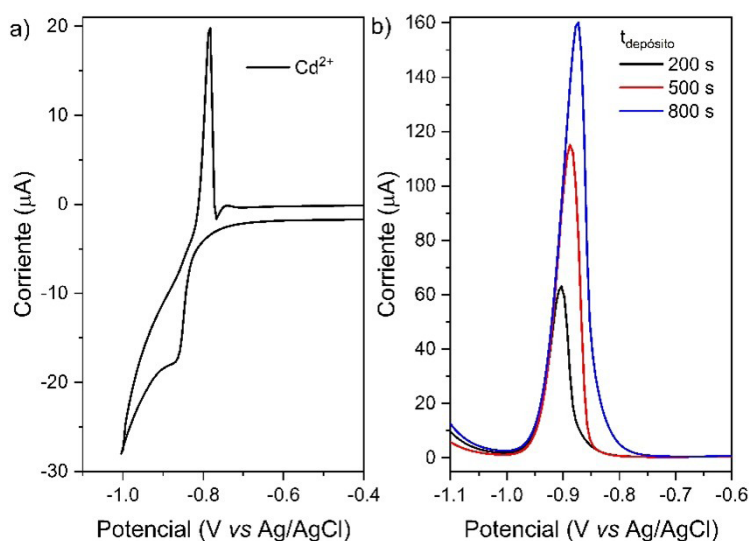


Optimización de la película de bismuto

La Figura 3a presenta el CV de una solución de 0,45 mg/L de Cd^{2+} en 0,1 M de HCl para el electrodo de GC. Un potencial de pico catódico a -0,87 V puede ser asignado a la reducción de Cd^{2+} a Cd^0 , y un potencial de pico anódico a -0,78 V puede ser asignado a la oxidación de Cd^0 a Cd^{2+} . Por otro lado, la Figura 3b muestra un DPASV de una solución de 0,45 mg/L de Cd^{2+} + $[Bi^{3+}] = 4,5$ mg/L en 0,1 M de HCl, bajo las condiciones de $E_{deposición} = -1100$ mV y variando el $t_{deposición}$ en 200, 500 y 800 s. Una señal es observada a -0,82 V característica de la oxidación de cadmio. A partir de la información suministrada por CV y los parámetros evaluados ($[Bi^{3+}]$, $E_{deposición}$ y $t_{deposición}$) en el DPASV se realizó el diseño Box Behnken para la optimización de la película de bismuto.

Figura 3.

a) CV de 0,45 mg/L de Cd^{2+} en 0,1 M de HCl para el electrodo de GC a una velocidad de barrido 100 mV/s. b) DPASV de 0,45 mg/L de Cd^{2+} + $[\text{Bi}^{3+}] = 4,5$ mg/L en 0,1 M de HCl, bajo las condiciones de Edepósito = -1100 mV y variando el tdepósito.



Se procedió a efectuar el diseño experimental planteado y se reporta en la Tabla 1 las respuestas obtenidas para las variables independientes evaluadas en los siguientes rangos fijados: $[\text{Bi}^{3+}] = 1, 4,5$ y 8 mg/L; Edepósito = -1100, -450 y 200 mV y tdepósito = 200, 500 y 800 s.

Tabla 1.

Resultados obtenidos de las variables de respuesta en corriente para $[\text{Bi}^{3+}]$, Edepósito y tdepósito

Ensayo	Variables Independientes			Variable de Respuesta
	$[\text{Bi}^{3+}]$ (mg/L)	$E_{\text{depósito}}$ (mV)	$t_{\text{depósito}}$ (s)	Corriente (A)
1	8	-450	200	1,0E-12
2	8	-450	800	1,9E-06
3	4,5	200	800	6,0E-09
4	1	-1100	500	1,1E-04
5	1	-450	200	7,5E-07
6	8	200	500	1,0E-12
7	4,5	-450	500	9,8E-06
8	4,5	-450	500	9,8E-06
9	4,5	200	200	1,0E-12
10	4,5	-1100	200	6,2E-05
11	4,5	-1100	800	1,6E-04
12	4,5	-450	500	9,8E-06
13	8	-1100	500	5,7E-05
14	4,5	-450	500	9,8E-06

15	1	200	500	9,3E-07
16	1	-450	800	3,0E-07
17	4,5	-450	500	9,8E-06

A continuación, se procedió a seleccionar el modelo que mejor se ajustara a los resultados de la variable respuesta, considerando los modelos evaluados en la Tabla 2, y se seleccionó el modelo cuadrático conforme a su $p < 0,05$

Tabla 2.

Modelos evaluados para la optimización de la película de bismuto

Fuente variación	Suma cuadrados	Cuadrados medios	F	P*
Lineal	4,75E+02	1,58E+02	9,617	0,0530
Interacción	1,17E+02	3,89E+01	3,994	0,0515
Cuadrático	9,08E+01	3,03E+01	32,235	0,0002

Nota: Modelos significativos ($p < 0,05$)

Considerando el modelo cuadrático se procede a revisar la significancia y la falta de ajuste en relación con el intervalo de confianza del 95% mediante la prueba F que se observa en la Tabla 3.

Tabla 3.

Análisis de varianza del modelo ajustado a la variable de respuesta corriente

Fuente variación	Suma cuadrados	Cuadrados medios	F	P	R2		% CV
Modelo	682,4	75,8	80,8	3,1E-06	0,9905	Significativo	2,6
Residual	6,6	0,9	-	-	-		-
Falta de ajuste	6,6	2,2	6,3	0,10	-	No significativo	-

Nota: $p < 0,05$ indica un modelo significativo, $p > 0,05$ indica una falta de ajuste no significativa, R2: Coeficiente de determinación, % CV: Coeficiente de variación

El análisis de varianza manifiesta que el modelo ajustado para la corriente de respuesta fue significativo, debido a su valor $p < 0,05$, además el modelo presentó una falta de ajuste no significativa $p > 0,05$. Además, el coeficiente de variación fue de tan solo 2,6 %, lo cual indica una mínima dispersión de los datos entre sí y con respecto a la media. El coeficiente de determinación fue de 0,9905 lo cual señala que el modelo cuadrático puede predecir el 99,05% de la variación de los datos. Una vez identificado el modelo adecuado, se procedió a realizar el análisis estadístico para evaluar la significancia y el efecto de los componentes del modelo (Tabla 4). Considerando los resultados obtenidos en la Tabla 4, se observa que el Edepósito es el factor que más influye en la variable de respuesta, presentando un efecto negativo, debido a que un menor Edepósito (potenciales negativos) el sistema tiene un mayor sobrepotencial y reduce la barrera energética para la transferencia de electrones, acelerando la cinética del proceso de depósito. Asimismo, la interacción $[Bi^{3+}]/t_{depósito}$ fueron el segundo factor más influyente en la variable de respuesta, presentando un efecto positivo, debido a que a mayor $t_{depósito}$ permite un

mayor paso de carga a través del sistema, lo que resulta en una mayor cantidad de metal (Bi) depositado. 48,50,51 Además, la interacción Edepósito/tdepósito presentó un menor efecto en el sistema estudiado. Por otro lado, se identifica que los factores $[Bi^{3+}]$, tdepósito, Edepósito, y las interacciones $[Bi^{3+}]/t_{depósito}$, $[Bi^{3+}]/E_{depósito}$, $E_{depósito}/t_{depósito}$, $[Bi^{3+}]/[Bi^{3+}]$, $E_{depósito}/E_{depósito}$ y $t_{depósito}/t_{depósito}$ son significativas con un nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$).

Tabla 4.

Efecto y grado de significancia de los factores del modelo aplicado a la optimización de la película de bismuto

Factor	Efecto	Error Estándar	P*
A	-3,2649	0,3426	2,9E-05
B	-6,3488	0,3426	3,3E-07
C	2,8982	0,3426	6,4E-05
AB	-3,2610	0,4844	2,7E-04
AC	3,8434	0,4844	9,6E-05
BC	1,9386	0,4844	5,2E-03
A ²	-2,3963	0,4722	1,4E-03
B ²	-1,1647	0,4722	4,3E-02
C ²	-3,5524	0,4722	1,3E-04

Nota: A: $[Bi^{3+}]$ (mg/L) y), B: $E_{depósito}$ (mV); C: $t_{depósito}$ (s). *Variables significativas ($p < 0,05$).

La Figura 4 muestra la distribución de los valores residuales, la cual se define como la diferencia entre los valores ajustados (modelo) y los valores experimentales. Como se puede evidenciar, los residuos siguen una distribución normal, donde la mitad de los valores son positivos (sobre la línea), y la otra mitad son valores negativos (bajo la línea). A su vez, la desviación máxima y mínima de estos valores es de ± 4 , indicando que el modelo presenta una desviación mínima entre el valor ajustado y el valor experimental. Por otro lado, En la Tabla 5 se observan los valores óptimos para $[Bi^{3+}]$, Edepósito, tdepósito que fueron 5 mg/L, -1100 mV y 650 s, respectivamente.

Figura 4.

Distribución de probabilidad normal de los residuos

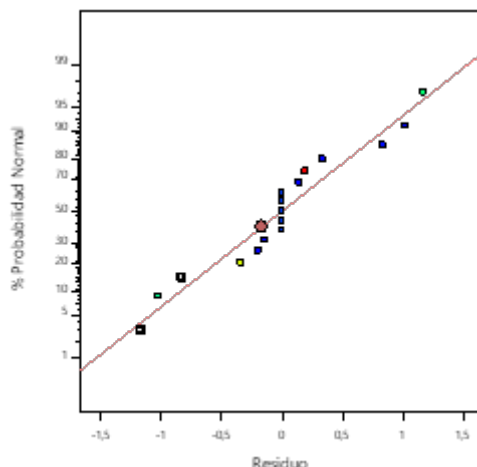


Tabla 5.

Parámetros optimización de la película de bismuto por Box Behnken

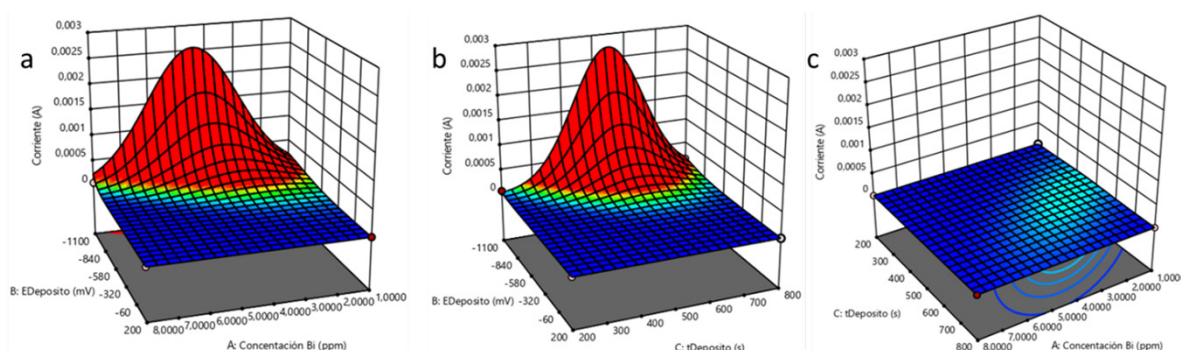
Parámetro	Valor óptimo
[Bi ³⁺] (mg/L)	5,0
Edepósito (mV)	-1100
tdepósito	650

En la Figura 5 se observa el efecto de cada una de las interacciones y su relevancia sobre el método. Así, el orden decreciente del efecto de cada parámetro fue $E_{\text{depósito}} > [\text{Bi}^{3+}] > t_{\text{depósito}}$.

La Figura 5a y 5b muestra la gráfica de superficie respuesta para la corriente como una función de $[\text{Bi}^{3+}]$ y $t_{\text{depósito}}$, respectivamente. Para ambos parámetros se puede observar que $E_{\text{depósito}}$ entre -1100 a 600 mV presenta un crecimiento de la corriente. Sin embargo, para el rango de potencial entre 600 a 200 mV se observa la disminución de la corriente. Además, en la Figura 5c se observa un mínimo incremento de la corriente para la $[\text{Bi}^{3+}]$ y $t_{\text{depósito}}$, debido que estos parámetros presentan un menor efecto en el método con respecto al $E_{\text{depósito}}$.

Figura 5.

Superficie de respuesta Box Behnken para las interacciones entre los parámetros: a) $[\text{Bi}^{3+}]/E_{\text{depósito}}$, b) $t_{\text{depósito}}/E_{\text{depósito}}$, c) $[\text{Bi}^{3+}]/t_{\text{depósito}}$.



La optimización de la película de bismuto se ajusta al diseño estadístico a partir de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Óptimo} = & -11,53 - (3,26 \times A) - (6,35 \times B) + 2,90 \times C - (3,26 \times AB) + 3,84 \times AC + 1,94 \times BC - (2,40 \times A^2) \\ & - (1,16 \times B^2) - (3,55 \times C^2) \end{aligned}$$

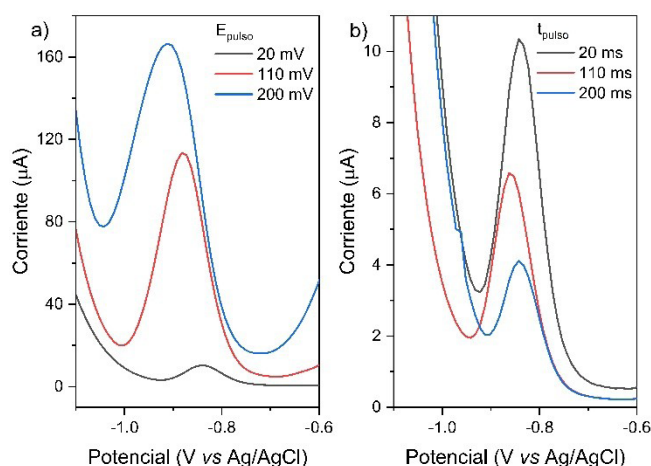
Donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. La anterior ecuación es válida para $[\text{Bi}^{3+}]$ entre 1-8 mg/L (A), Edepósito entre -1100 a 200 mV (B) y tdepósito en el intervalo 200-800 s (C).

Optimización de los parámetros electroanalíticos de Cd^{2+}

A partir de la optimización de la película de bismuto, se procedió a optimizar los parámetros electroanalíticos de Cd^{2+} . La Figura 6a y 6b muestra los DPASV para una solución de 0,45 mg/L de Cd^{2+} + 5,0 mg/L de Bi^{3+} en 0,1 M de HCl evaluando E_{pulso} y t_{pulso} , respectivamente. Cuando se incrementa E_{pulso} de 20 a 200 mV a un t_{pulso} de 20 ms se observa un incremento de la corriente de pico de aproximadamente 14,5 veces, y un desplazamiento catódico del potencial de pico asignado a la oxidación de Cd. Así, para 20, 110 y 200 mV los potenciales de pico anódico fueron -0,84; -0,88 y -0,91 V, respectivamente (Figura 6a). Por otro lado, cuando el E_{pulso} permanece constante a 20 mV, el t_{pulso} presenta una relación inversa con el corriente de pico (Figura 6b). Por ejemplo, para 20 ms se obtuvo una corriente de 8,04 μA , y para 200 ms fue 2,60 μA . A partir de los parámetros evaluados E_{pulso} y t_{pulso} en el DPASV se realizó un diseño de compuesto central para la optimización de los parámetros electroanalíticos.

Figura 6.

DPASV de 0,45 mg/L de Cd^{2+} + 5,0 mg/L de Bi^{3+} en 0,1 M de HCl: a) t_{pulso} de 20 ms y variando el E_{pulso} . b) E_{pulso} 20 mV y variando el t_{pulso} .



Luego de optimizar la película de bismuto sobre el electrodo GC, se procedió a efectuar el diseño experimental planteado para la optimización de los parámetros electroanalíticos para la determinación de Cd^{2+} , los cuales se reportan en la Tabla 6 las respuestas obtenidas para las variables independientes evaluadas en los siguientes rangos fijados de t_{pulso} 20, 110 y 200 ms, y E_{pulso} 20, 110 y 200 mV.

Tabla 6.

Resultados obtenidos de las variables de respuesta en corriente para t_{pulso} y E_{pulso} .

Ensayo	Variables Independientes		Variable de Respuesta
	t_{pulso} (ms)	E_{pulso} (mV)	Corriente (A)
1	20	20	8,04E-06
2	110	110	2,25E-05
3	110	200	1,06E-05

4	200	20	2,68E-06
5	110	20	5,21E-06
6	20	200	1,17E-04
7	110	110	2,25E-05
8	110	110	2,25E-05
9	20	110	9,98E-05
10	200	110	1,26E-05
11	110	110	2,25E-05
12	200	200	2,48E-06
13	110	110	2,25E-05

A continuación, se procedió a seleccionar el modelo que mejor se ajustara a los resultados de la variable respuesta, considerando los modelos evaluados en la Tabla 7, se seleccionó el modelo cuadrático conforme a su $p < 0,05$.

Tabla 7.

Modelos evaluados para la optimización de los parámetros electroanalíticos

Fuente de variación	Suma cuadrados	Cuadrados medios	F	P*
Lineal	10,04	5,02	7,79	9,1E-02
Interacción	1,90	1,90	3,76	8,5E-02
Cuadrático	4,33	2,16	2,16	2,6E-05

Nota: Modelos significativos ($p < *0,05$)

Considerando el modelo cuadrático se procede a revisar la significancia y la falta de ajuste en relación con el intervalo de confianza del 95% mediante la prueba F que se observa en la Tabla 8.

Tabla 8.

Análisis de varianza del modelo ajustado a la variable de respuesta corriente

Fuente de variación	Suma cuadrados	Cuadrados medios	F	P	R2		% CV
Modelo	16,268	3,254	101,924	2,21E-06	0,9865	Significativo	1,61
Residual	0,223	0,032	-	-	-		-
Falta de ajuste	0,223	0,075	5,300	0,58	-	No significativo	-

Nota: $p < 0,05$ indica un modelo significativo, $p > 0,05$ indica una falta de ajuste no significativa, R2: Coeficiente de determinación, % CV: Coeficiente de variación

El análisis de varianza manifiesta que el modelo ajustado para la corriente de respuesta fue significativo, debido a su valor $p < 0,05$. Además, el modelo presentó una falta de ajuste no significativa $p > 0,05$. El coeficiente de variación fue de 1,61 %, lo cual indica una mínima dispersión de los datos entre sí y con respecto a la media. El coeficiente de determinación fue de 0,9865 lo cual señala que el modelo cuadrático puede predecir el 98,65 % de la variación de los datos. Una vez identificado el modelo adecuado, se procedió a realizar el análisis estadístico para evaluar la significancia y el efecto de los

componentes del modelo (Tabla 9)

Tabla 9.

Efecto y grado de significancia de los factores del modelo aplicado a la optimización de los parámetros electroanalíticos

Factor	Efecto	Error estándar	P*
A	-1,17	0,073	8,87E-07
B	0,55	0,073	1,30E-04
AB	-0,69	0,089	1,15E-04
A ²	0,32	0,108	2,01E-02
B ²	-0,34	0,108	8,26E-06

Nota: A: t_{pulso} (ms) y B: E_{pulso} (mV). *Variables significativas ($p < 0,05$).

Considerando los resultados obtenidos en la Tabla 9, se observa que el t_{pulso} es el factor que más influye en la variable de respuesta, presentando un efecto negativo. Luego se encuentran las interacciones $t_{\text{pulso}}/E_{\text{pulso}}$ y $E_{\text{pulso}}/E_{\text{pulso}}$. Además, la interacción $t_{\text{pulso}}/t_{\text{pulso}}$ fue la que presentó un menor efecto. Por otro lado, se identifica que todos los factores t_{pulso} , E_{pulso} , $t_{\text{pulso}}/E_{\text{pulso}}$, $t_{\text{pulso}}/t_{\text{pulso}}$ y $E_{\text{pulso}}/E_{\text{pulso}}$ son significativas con un nivel de confianza del 95 % ($p < 0,05$). En la Tabla 10 se observan los valores óptimos para t_{pulso} y E_{pulso} que fueron 20 ms y 160 mV, respectivamente.

Tabla 10.

Optimización de los parámetros electroanalíticos por diseño de compuesto central

Parámetro	Valor óptimo
t_{pulso} (ms)	20
E_{pulso} (mV)	160

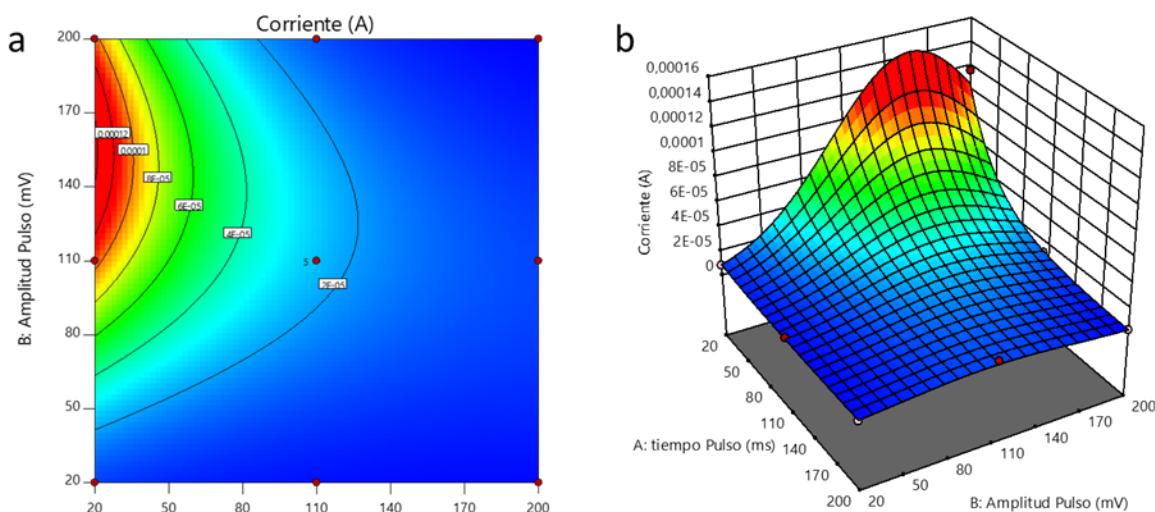
La Figura 7a y 7b se puede observar el diagrama de contorno y la superficie de respuesta para la corriente en función de la interacción $t_{\text{pulso}}/E_{\text{pulso}}$, y confirma los valores óptimos presentados en la Tabla 10. Además, se observa una relación inversa entre t_{pulso} y E_{pulso} . Al incrementar el t_{pulso} y disminuir E_{pulso} la corriente se hace mínima. También se presenta una disminución de la corriente para E_{pulso} superiores a 170 mV y t_{pulso} mayores a 50 ms. La optimización de los parámetros electroanalíticos por diseño de compuesto central se ajusta a la siguiente ecuación:

$$\text{Óptimo} = -10,66 - (1,17 \times A) + 0,5517 \times B - (0,688 \times AB) + 0,3219A^2 - (0,34 \times B^2)$$

Donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. La anterior ecuación es válida para t_{pulso} entre 20-200 ms y E_{pulso} entre 20-200 mV.

Figura 7.

a) Diagrama de contorno y b) Superficie de respuesta para la corriente en función de t_{pulso} y E_{pulso} .



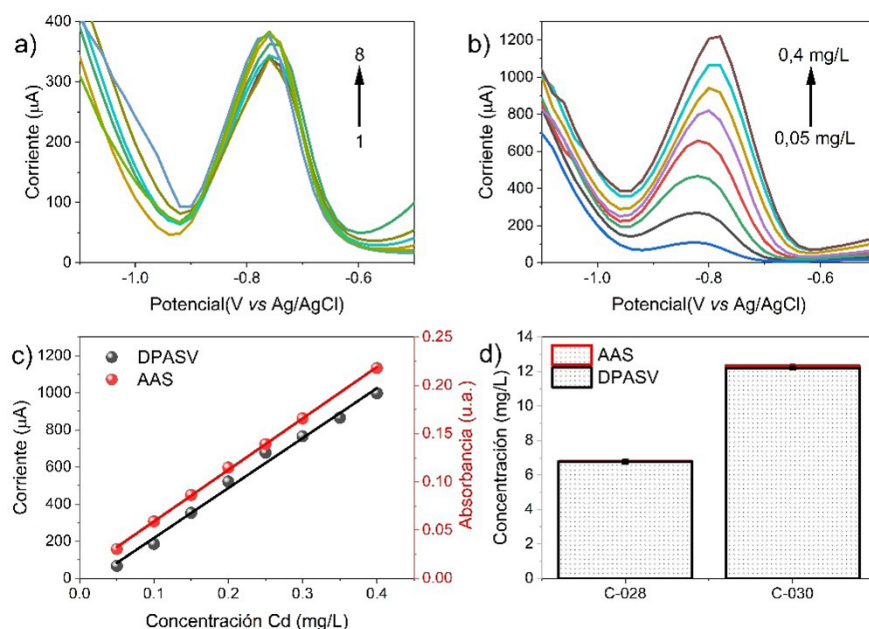
Repetibilidad y curva de calibración

Además, se evaluó la repetibilidad del análisis en las condiciones óptimas, se aplicaron ocho mediciones continuas por DPASV a una solución de 0,5 mg/L de Cd^{2+} + 5,0 mg/L de Bi^{3+} en 0,1 M de HCl (Figura 8a). El valor de desviación estándar relativa (RSD) fue de 7,2%, indicando una repetibilidad aceptable. Posteriormente, se realizó una curva de calibración de Cd^{2+} en el rango de concentraciones de 0,05 a 0,4 mg/L (Figura 8b). La corriente de pico anódico presentó un comportamiento lineal con el incremento de la concentración de Cd^{2+} (Corriente (μA) = 2,690 (mg L⁻¹) - 51,328), con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,989 (Figura 7c). Los límites de detección (LOD) y cuantificación (LOQ) fueron 0,032 y 0,099 mg/L, respectivamente. Finalmente, se realizó el análisis de las semillas de cacao de los clones LUKER 40, ICS y CCN 51, pero no se obtuvo señal analítica para ninguno de los tres clones, posiblemente las muestras presentan una concentración de Cd^{2+} por debajo del LOD. Con el objetivo de corroborar lo anteriormente mencionado, se realizó una curva de calibración en mismo rango de concentraciones de Cd^{2+} por AAS (Figura 8c, rojo). La ecuación lineal fue Absorbancia (u.a.) = 0,5335 (mg L⁻¹) + 0,0056 con R^2 , LOD y LOQ de 0,999; 0,007 y 0,023 mg/L, respectivamente. Sin embargo, tampoco fue posible detectar una señal analítica. Estos resultados se pueden interpretar a partir de las prácticas agrícolas que se han empleado en la parcela “El Limón”, dado que, es mínimo el uso de agroquímicos para el mantenimiento de la plantación de cacao. Además, la zona nunca ha sido empleada para realizar minería o alguna otra actividad antropogénica, que son algunas fuentes de disponibles de cadmio. En este sentido, se adquirió dos muestras de cacao (C-028 y C-030) procedentes del departamento de Santander donde se han reportado 1,8 hasta 74 mg/kg de cadmio en suelo. Las muestras se prepararon y midieron en las mismas condiciones que los clones de la parcela el “El Limón”. La concentración de Cd^{2+} para las muestras C-028 y C-030 fue 6,80 y 12,34 mg/L por AAS, respectivamente. Por otro lado, para DPASV fue 6,77 y 12,21 mg/L para C-028

y C-030, respectivamente. Los resultados obtenidos por AAS y DPASV fueron similares (Figura 8d), indicando que la técnica electroquímica es adecuada para la determinación de cadmio en muestras de cacao.

Figura 8.

a) Repetibilidad. b) DPASV en el rango de 0,05 a 0,4 mg/L de Cd^{2+} + 5,0 mg/L de Bi^{3+} en 0,1 M de HCl. c) Curva de calibración por DPASV y AAS. d) Comparación muestras de cacao de Santander.



Conclusiones

El electrodo de GC presenta características adecuadas para generación de la película de bismuto. El diseño de superficie de respuesta Box Behnken determinó que el orden creciente de influencia en el proceso de optimización de la película de bismuto es $E_{\text{depósito}} > [\text{Bi}^{3+}] / t_{\text{depósito}}$, se obtuvieron como condiciones óptimas un $E_{\text{depósito}}$ de -1100 mV, $[\text{Bi}^{3+}]$ de 5,0 mg/L y $t_{\text{depósito}}$ de 650 s. Para la optimización de parámetros electroanalíticos para cuantificación de Cd a través de un diseño de superficie de respuesta de compuesto central se obtuvo que el t_{pulso} y E_{pulso} son igualmente de relevantes, como parámetros óptimos se obtuvo t_{pulso} de 20 ms y E_{pulso} de 160 mV. Por otro lado, las muestras de cacao (clones LUKER 40, ICS y CCN 51) obtenidas de la parcela "El Limón" de CIMAZ- MACAGUAL no presentaron señal analítica de Cd por DPASV y AAS, debido a las condiciones de cultivo con mínima utilización de agroquímicos. Además, la zona no sea a empleado para ningún tipo de explotación antropogénica. Sin embargo, las muestras obtenidas de Santander (C-028 y C-030) presentaron concentraciones similares por DPASV y AAS, indicando que GC modificado con película de bismuto es adecuada para determinación de Cd en muestras de cacao.

Referencias

- Sousa Filho, H. R., de Jesus, R. M., Bezerra, M. A., Santana, G. M. & de Santana, R. O. History, dissemination, and field control strategies of cocoa witches' broom. *Plant Pathol* 70, 1971–1978 (2021).
- Beg, M. S., Ahmad, S., Jan, K. & Bashir, K. Status, supply chain and processing of cocoa - A review. *Trends Food Sci Technol* 66, 108–116 (2017).
- Parra-Paitan, C., zu Ermgassen, E. K. H. J., Meyfroidt, P. & Verburg, P. H. Large gaps in voluntary sustainability commitments covering the global cocoa trade. *Global Environmental Change* 81, 1–15 (2023).
- Cadena de Cacao. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 27 Preprint at [https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf) (2021).
- Gobernación del Caquetá. Plan de desarrollo departamental 2020 - 2023. Pacto social por el desarrollo de nuestra región. Plan de desarrollo departamental del Caquetá. 1–171 Preprint at (2020).
- Guarin, D. et al. Cadmium contamination in cacao farms of Piura, North Peru: A comprehensive assessment of geogenic and anthropogenic sources and implications for future production. *Environmental Challenges* 1–20 (2023) doi:<https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100765>.
- Kubier, A., Wilkin, R. T. & Pichler, T. Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied Geochemistry* 108, 1–16 (2019).
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R. & Sadeghi, M. Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Frontiers in Pharmacology* vol. 12 1–19 Preprint at <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972> (2021).
- Liu, X., Cai, Y., Ni, P., Liu, B. & Tang, X. The Effect of Atmospheric Carbon Dioxide Concentration on the Growth and Chlorophyll Fluorescence Characteristics of Hazelnut Leaves under Cadmium Stress. *Forests* 14, 1–16 (2023).
- Haider, F. U. et al. Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Eco-toxicol Environ Saf* 211, 1–22 (2021).
- Waheed, A. et al. Impact of Cadmium Stress on Growth and Physio-Biochemical Attributes of *Eruca sativa* Mill. *Plants* 11, 1–14 (2022).
- Rosales-Huamani, J. A. et al. Study to Determine Levels of Cadmium in Cocoa Crops Applied to Inland Areas of Peru: "The Case of the Campo Verde-Honorio Tournavista

- Corridor". *Agronomy* 10, 1–14 (2020).
- Wade, J. et al. Drivers of cadmium accumulation in *Theobroma cacao* L. beans: A quantitative synthesis of soil-plant relationships across the Cacao Belt. *PLoS One* 17, 1–18 (2022).
- Barati, E. et al. An investigation of zinc isotope fractionation in cacao (*Theobroma cacao* L.) and comparison of zinc and cadmium isotope compositions in hydroponic plant systems under high cadmium stress. *Sci Rep* 13, 1–12 (2023).
- Biswas, A., Pal, S. & Paul, S. Silicon as a powerful element for mitigation of cadmium stress in rice: A review for global food safety. *Plant Stress* 1–20 (2023) doi:<https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100237>.
- Castro-Bedriñana, J. et al. Lead, Cadmium, and Arsenic in Raw Cow's Milk in a Central Andean Area and Risks for the Peruvian Populations. *Toxics* 11, 1–15 (2023).
- Mishra, S., Singh, G., Gupta, A. & Tiwari, R. K. Heavy Metal/Metalloid Contamination: Their Sources in Environment and Accumulation in Food Chain. in *Heavy Metal Toxicity: Environmental Concerns, Remediation and Opportunities* (eds. Singh, R. P., Singh, P. & Srivastava, A.) 19–47 (Springer Nature Singapore, Singapore, 2023). doi:10.1007/978-981-99-0397-9_2.
- Suhani, I., Sahab, S., Srivastava, V. & Singh, R. P. Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Curr Opin Toxicol* 27, 1–7 (2021).
- Ma, Y., Ran, D., Shi, X., Zhao, H. & Liu, Z. Cadmium toxicity: A role in bone cell function and teeth development. *Science of The Total Environment* 769, 1–9 (2021).
- Branca, J. J. V et al. Cadmium-Induced Oxidative Stress: Focus on the Central Nervous System. *Antioxidants* 9, 1–20 (2020).
- Al-Saleh, I. Health Risk Assessment of Trace Metals Through Breast Milk Consumption in Saudi Arabia. *Biol Trace Elem Res* 199, 4535–4545 (2021).
- Ebrahimi, M. et al. Effects of lead and cadmium on the immune system and cancer progression. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* vol. 18 335–343 Preprint at <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00455-2> (2020).
- Reglamento (UE) No 488/2014, Comisión Europea. *EFSA Journal* vol. 9 75–79 (Wiley-Blackwell Publishing Ltd, 2011).
- Rodríguez Giraldo, Y., Rodríguez Sánchez, E., Torres, L. G., Montenegro, A. C. & Pichimata, M. A. Development of validation methods to determine cadmium in cocoa almond from the beans by ICP-MS and ICP-OES. *Talanta Open* 5, 1–6 (2022).

- Araujo-Abad, S., Tapia, W. & Villamarín-Ortiz, A. Verification of the atomic absorption spectroscopy with graphite furnace analytical method for the quantification of cadmium in cocoa almonds (*Theobroma cacao*). *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida* 31, 59–73 (2020).
- Mohamed, R., Zainudin, B. H. & Yaakob, A. S. Method validation and determination of heavy metals in cocoa beans and cocoa products by microwave assisted digestion technique with inductively coupled plasma mass spectrometry. *Food Chem* 303, 1–6 (2020).
- Förste, F. et al. Quantitative Analysis and 2D/3D Elemental Imaging of Cocoa Beans Using X-ray Fluorescence Techniques. *Anal Chem* 95, 5627–5634 (2023).
- He, Q. et al. Research on the construction of portable electrochemical sensors for environmental compounds quality monitoring. *Mater Today Adv* 17, 1–17 (2023).
- Baranwal, J., Barse, B., Gatto, G., Broncova, G. & Kumar, A. Electrochemical Sensors and Their Applications: A Review. *Chemosensors* 10, 1–22 (2022).
- Hassan, M. H., Khan, R. & Andreescu, S. Advances in electrochemical detection methods for measuring contaminants of emerging concerns. *Electrochemical Science Advances* 2, 1–15 (2022).
- Tesfaw, B., Mehretie, S. & Admassie, S. Quantification of lead in cooking utensils and vegetables using square wave anodic stripping voltammetry. *Heliyon* 4, 1–14 (2018).
- Alghamdi, A. H. Applications of stripping voltammetric techniques in food analysis. *Arabian Journal of Chemistry* 3, 1–7 (2010).
- Giacomino, A. et al. Anodic stripping voltammetry with gold electrodes as an alternative method for the routine determination of mercury in fish. Comparison with spectroscopic approaches. *Food Chem* 221, 737–745 (2017).
- Lee Ying-Hui and Hu, C.-C. Mercury Drop Electrodes. in *Encyclopedia of Applied Electrochemistry* (ed. Kreysa Gerhard and Ota, K. and S. R. F.) 1233–1240 (Springer New York, New York, NY, 2014). doi:10.1007/978-1-4419-6996-5_68.
- Wygant, B. R. & Lambert, T. N. Thin Film Electrodes for Anodic Stripping Voltammetry: A Mini-Review. *Frontiers in Chemistry* vol. 9 1–8 Preprint at <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.809535> (2022).
- Economou, A. & Fielden, P. R. Mercury film electrodes: Developments, trends and potentialities for electroanalysis. *Analyst* 2, 814–815 (2003).
- Keramari, V., Karastogianni, S. & Girousi, S. New Prospects in the Electroanalysis of

- Heavy Metal Ions (Cd, Pb, Zn, Cu): Development and Application of Novel Electrode Surfaces. *Methods and Protocols* vol. 6 1–15 Preprint at <https://doi.org/10.3390/mps6040060> (2023).
- Da Silva Santos, F. et al. Review—Recent Advances of Electrochemical Techniques in Food, Energy, Environment, and Forensic Applications. *ECS Sensors Plus* 1, 1–13 (2022).
- Szpisják-Gulyás, N. et al. Methods for experimental design, central composite design and the Box–Behnken design, to optimise operational parameters: A review. *Acta Alimentaria* vol. 52 Preprint at <https://doi.org/10.1556/066.2023.00235> (2023).
- Zhao, G., Wang, H., Liu, G. & Wang, Z. Box-Behnken response surface design for the optimization of electrochemical detection of cadmium by Square Wave Anodic Stripping Voltammetry on bismuth film/glassy carbon electrode. *Sens Actuators B Chem* 235, (2016).
- Tarley, C. R. T. et al. Chemometric tools in electroanalytical chemistry: Methods for optimization based on factorial design and response surface methodology. *Microchemical Journal* vol. 92 Preprint at <https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.02.002> (2009).
- Dobrowolska-Iwanek, J. et al. Determination of Essential Minerals and Trace Elements in Edible Sprouts from Different Botanical Families—Application of Chemometric Analysis. *Foods* 11, 1–13 (2022).
- Uskoković, V. A historical review of glassy carbon: Synthesis, structure, properties and applications. *Carbon Trends* 5, 100116 (2021).
- Zamani, M., Klapperich, C. M. & Furst, A. L. Recent advances in gold electrode fabrication for low-resource setting biosensing. *Lab Chip* 23, 1410–1419 (2023).
- Du, X. et al. Preparation of bismuth film-modified gold electrodes for the determination of trace level of heavy metals in vegetables. *Sens Lett* 5, 1–6 (2007).
- Shen, Y., Zhang, H., Cao, H., Wu, L. & Zheng, G. Efficient extraction of bismuth from hydrochloric acid solution by copper powder. *Hydrometallurgy* 189, 1–8 (2019).
- V, C., G., V., M., S., R., H. & K., S. Fabrication of Arsenic (III) Nano Sensor After Optimising by Glassy Carbon Electrode. in 2022 International Conference on Computer, Power and Communications (ICCCP) 179–186 (2022). doi:10.1109/ICCCP55978.2022.10072293.
- Welch, C. M. & Compton, R. G. The use of nanoparticles in electroanalysis: A review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* vol. 384 Preprint at <https://doi.org/10.1007/s00216-005-0230-3> (2006).

- Kilani, M. et al. Toward Precision Deposition of Conductive Charge-Transfer Complex Crystals Using Nanoelectrochemistry. *Small Methods* 7, (2023).
- Lee, S., Park, S. K., Choi, E. & Piao, Y. Voltammetric determination of trace heavy metals using an electrochemically deposited graphene/bismuth nanocomposite film-modified glassy carbon electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 766, (2016).
- Lin, C. H., Li, P. H., Yang, M., Ye, J. J. & Huang, X. J. Metal Replacement Causing Interference in Stripping Analysis of Multiple Heavy Metal Analytes: Kinetic Study on Cd(II) and Cu(II) Electroanalysis via Experiment and Simulation. *Anal Chem* 91, (2019).
- Suárez, L. R., Suárez Salazar, J. C., Casanoves, F. & Ngo Bieng, M. A. Cacao agroforestry systems improve soil fertility: Comparison of soil properties between forest, cacao agroforestry systems, and pasture in the Colombian Amazon. *Agric Ecosyst Environ* 314, 107349 (2021).
- Salazar, J. C. S. et al. Photosynthesis limitations in cacao leaves under different agroforestry systems in the Colombian Amazon. *PLoS One* 13, e0206149 (2018).
- Joya-Barrero, V., Pearse, J. & Huguet, C. Natural and Anthropogenic Sources of Cadmium in Cacao Crop Soils in Santander, Colombia. (2021) doi:10.21203/rs.3.rs-1055771/v1.



EVALUACIÓN DEL NDVI EN CAFÉ *COFFEA ARABICA* A TRAVÉS DE DIFERENTES SENSORES

Evaluation of NDVI in Coffea arabica Through the Use of Different Sensors

Carlos Andrés Benavides Cardona¹

 <https://orcid.org/0000-0002-9144-6168>

 cabenavides@udenar.edu.co

Jorge Fernando Navia Estrada³

<https://orcid.org/0000-0002-2441-2400> 

jornavia@udenar.edu.co 

David Andrés Calvache Muñoz²

 <https://orcid.org/0000-0003-1975-9343>

 dacalvache@udenar.edu.co

Javier García Álzate⁴

<https://orcid.org/0000-0002-2506-4030> 

javier@udenar.edu.co 

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, Colombia.

³Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, Colombia.

²Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, Colombia.

⁴Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, Colombia.

RESUMEN

La agricultura enfrenta actualmente desafíos cada vez mayores para garantizar su sostenibilidad y productividad. En este contexto, la gestión eficiente de la información se consolida como una herramienta fundamental para optimizar la toma de decisiones. En el presente estudio se evaluó la eficiencia de dos tipos de sensores en la recolección de datos en un cultivo de café (*Coffea arabica*), mediante la estimación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en distintas etapas fenológicas. Se compararon un sensor de contacto (PlantPen NDVI 310) y un sensor remoto acoplado a un vehículo aéreo no tripulado (High Precision Single Sensor NDVI - Sentera). El experimento se desarrolló en un lote de café de la variedad Cenicafe 1, ubicado en el municipio de Consacá, departamento de Nariño, considerando tres momentos de evaluación durante la fase reproductiva. Se aplicaron análisis descriptivos, de distribución de frecuencias e interpolación espacial para comparar los resultados obtenidos por ambos métodos. Los datos revelaron que ambos sensores registraron tendencias similares en las variaciones del NDVI

Cómo citar:

Fecha recepción: 17 de Junio de 2025 / Fecha Aprobación: 24 de Junio 2025 / Fecha Publicación: 27 de Agosto 2025

Benavides Cardona, C. A., Calvache Muñoz, D. A., Navia Estrada, J. F. & García Álzate, J. (2025). *Evaluación del ndvi en café coffea arabica a través de diferentes sensores*. Revista. FAGROPEC. Vol. 17(1), ppt 49-62. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v17n1a3>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

asociadas al desarrollo y vigor del cultivo. No obstante, se evidenció la necesidad de utilizar ambos métodos de manera complementaria para mejorar la interpretación del estado fisiológico del cultivo, dado que cada tecnología presenta ventajas y limitaciones específicas en términos de eficiencia y aplicabilidad.

PALABRAS CLAVE:

agricultura de precisión, *Coffea arabica*, percepción remota, sensores, teledetección.

ABSTRACT

Agriculture is currently facing increasingly significant challenges to ensure its sustainability and productivity. In this context, efficient information management has become a fundamental tool for optimizing decision-making. This study evaluated the efficiency of two types of sensors in data collection within a coffee crop (*Coffea arabica*), through the estimation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) at different phenological stages. A contact sensor (PlantPen NDVI 310) and a remote sensor mounted on an unmanned aerial vehicle (High Precision Single Sensor NDVI – Sentera) were compared. The experiment was conducted in a plot of the Cenicafé 1 coffee variety, located in the municipality of Consacá, Nariño department, considering three evaluation points during the reproductive phase. Descriptive analyses, frequency distribution, and spatial interpolation were applied to compare the results obtained by both methods. The data revealed that both sensors recorded similar trends in NDVI variations associated with crop development and vigor. However, the results highlighted the need to use both methods complementarily to enhance the interpretation of the crop's physiological status, as each technology presents specific advantages and limitations in terms of efficiency and applicability.

KEYWORDS:

precision agriculture, *Coffea arabica*, remote sensing, sensors, telemetry

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la agricultura constituye un pilar esencial para la seguridad alimentaria, pero enfrenta actualmente una disminución en la productividad de cultivos estratégicos como el café, arroz y maíz, situación que ha impulsado la necesidad de adoptar herramientas tecnológicas que optimicen la toma de decisiones en el manejo agrícola (Herrera, 2019). Es evidente que la gestión de procesos y proyectos que ayuden a enfrentar este importante desafío, requiere del concurso de prácticas innovadoras que involucren tanto acciones de intervención en los sistemas productivos, como también el acceso eficiente a la información, aspecto en cual, el uso de sensores remotos, vehículos aéreos no tripulados, minería de datos, entre otras herramientas se constituyen como un eje de gran importancia para ser considerados dentro de las ciencias agrarias para afrontar estos nuevos retos (Sishodia et al., 2020).

Los avances en cámaras multispectrales y sensores ópticos permiten recopilar datos precisos y de alta resolución sobre el estado fisiológico de los cultivos, superando las limitaciones de la observación convencional (Rossius, 2012; Schiaffino, 2006). La teledetección, especialmente mediante imágenes multispectrales, ha demostrado ser eficaz en el monitoreo de grandes extensiones agrícolas, facilitando la implementación de prácticas más sostenibles y resilientes (Ángeles et al., 2020; Cuervo, 2016).

Gracias a esta tecnología, la identificación de posibles riesgos en la producción agrícola puede abarcar grandes extensiones de terreno (Cuervo, 2016). La teledetección a partir de imágenes multispectrales contribuye así en la toma de decisiones y la implementación de medidas preventivas o correctivas de forma eficiente (Parlamento Europeo, 2021). Promoviendo de esta manera una agricultura más eficiente, sostenible y resiliente, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y al bienestar de la sociedad (FAO, 2015).

Entre los métodos más utilizados para el análisis del estado de la vegetación se destacan los índices espectrales, como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), ampliamente reconocido por su sensibilidad al vigor vegetal y facilidad de interpretación (Fuentes et al., 2019; Muñoz, 2013; Soubry et al., 2017). Este índice permite cuantificar biomasa, actividad fotosintética y distribución espacial de la vegetación. Otros índices complementarios como GNDVI, SAVI y AMTCI, ofrecen información adicional sobre la clorofila y la estructura del dosel (Zúñiga, 2018).

En el cultivo de café, se ha demostrado que la teledetección multispectral permite diagnosticar de forma temprana el estado nutricional y fenológico, agilizando la toma de decisiones agronómicas (Rivera et al., 2019). En el departamento de Nariño, donde el café representa la principal fuente de ingresos para más de 54.000 familias en 41 municipios (FNC, 2022), su monitoreo eficiente es prioritario para mejorar la productividad local (CENICAFÉ, 2022).

Por tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de dos tecnologías de captura de datos; un sensor remoto acoplado a un dron (High Precision Single Sensor

NDVI - Sentera) y un sensor de contacto (PlantPen NDVI 310), para estimar el NDVI en distintas etapas del desarrollo reproductivo del café (*C. arabica*) bajo condiciones ambientales del sur de Colombia.

METODOLOGÍA

Área de estudio.

La zona de estudio se localizó en la finca Villa Lola en la vereda Paltapamba, municipio de Consacá, Nariño, con una altura aproximada de 1.830 msnm, una temperatura promedio de 22 °C y humedad relativa promedio del 69% (Alcaldía municipal de Consacá, 2020), con coordenadas 77°28'00" Oeste y 1°12'55" Norte y con un área aproximada de 2806 m².

Material vegetal.

Con el objetivo de evaluar el índice NDVI en función del desarrollo fenológico del cultivo, se seleccionó un lote de café de la variedad registrada Cenicafé 1, con 18 meses de edad y un marco de siembra de 2 m entre surcos por 1 m entre plantas. El monitoreo se realizó en tres momentos estratégicos: el primero al inicio de la floración, el segundo a los 78 días y el tercero a los 179 días posteriores a la primera evaluación. Estos tiempos fueron establecidos para corresponder con las fases fenológicas I (floración), II (llenado de fruto) y IV (maduración) del desarrollo del fruto, según la clasificación propuesta por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé, 2014), correspondiente al ciclo productivo del primer semestre del año.

Equipos.

Para la captura de imágenes aéreas se utilizó un dron Mavic Pro (DJI) equipado con un sensor multiespectral NDVI High Precision Single Sensor (SENTERA), con resolución de 1248 × 950 píxeles. Este sensor registró bandas específicas para NDVI (625 nm y 850 nm) y NDRE (720 nm y 840 nm). Los vuelos fueron planificados mediante el software FieldAgent, que permitió delimitar el área de estudio y generar una grilla de vuelo automatizado.

A nivel de planta, se empleó el medidor portátil PlantPen NDVI 310, basado en la fórmula de Tucker (1979), usando lecturas en las bandas de 660 y 740 nm. Se realizaron tres lecturas promedio por planta en hojas de los tres estratos del dosel foliar. Cada medición fue georreferenciada gracias al GPS incorporado en el sensor.

Captura de imágenes y obtención del NDVI

Las fechas de vuelo se establecieron considerando la proyección de la curva de desarrollo del fruto mencionadas previamente y usando los sensores mencionados agendando fechas cada tres meses aproximadamente y se estableció el mismo horario (10:00 am – 12:00 m), con el fin de garantizar una radiación fotosintéticamente activa homogénea. Para el caso del sensor de contacto, se establecieron muestreos periódicos que coincidirían con los momentos mencionados y ejecutados a través de lectura directa sobre plantas marcadas en la ruta que posteriormente sería considerada en los planes de vue-

lo para el vehículo soporte del sensor remoto en el cual se consideró una velocidad de ascenso y desplazamiento de 2 m/s, inclinación de la cámara de 90°, número de fotos y solape frontal y lateral del 80%.

Empleando el software FieldAgent se trazó el polígono del área de influencia y la grilla del vuelo. Posteriormente, se escribió el vuelo programado en el computador/piloto automático del vehículo aéreo no tripulado para que este lo siguiera durante los vuelos.

Análisis de la información

Para el caso de los datos derivados del sensor de contacto Plantpent, se consideró inicialmente, un proceso descriptivo a través de un análisis de tendencia central en cada momento de evaluación. Posteriormente, se realizó un análisis de distribución de frecuencias que permitió en cada momento, la obtención de rangos de NDVI característicos y diferenciales dentro del lote. Para el sensor remoto se establecieron parámetros básicos descriptivos gráficos a través de un proceso de álgebra de mapas. Finalmente, con el objetivo de realizar la comparación de imágenes obtenidas con los dos sensores, se estableció una interpolación a partir de las coordenadas consideradas en la evaluación de contacto versus imagen derivada del sensor remoto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis descriptivo

En primera instancia, la Tabla 1 presenta el análisis de tendencia central correspondiente a los datos obtenidos mediante el sensor de contacto. Los resultados indican un comportamiento estadísticamente homogéneo, evidenciado por la proximidad entre los valores de los parámetros calculados y la media, así como por rangos de dispersión reducidos. En particular, parámetros como la desviación estándar, la curtosis, la varianza y el coeficiente de variación reflejaron una baja dispersión y sugieren una distribución de datos próxima a la normalidad.

Durante el primer momento de evaluación correspondiente a la fase de floración, se registró una media de NDVI de 0,62, una moda de 0,64, una curtosis de 1,959 y un coeficiente de variación de 8,172. Estos indicadores no solo evidencian un estado fisiológico vigoroso y saludable del cultivo en esta etapa, sino que además constituyen una línea base de referencia para el análisis comparativo del comportamiento del NDVI en los momentos fenológicos subsiguientes.

Tabla 1.

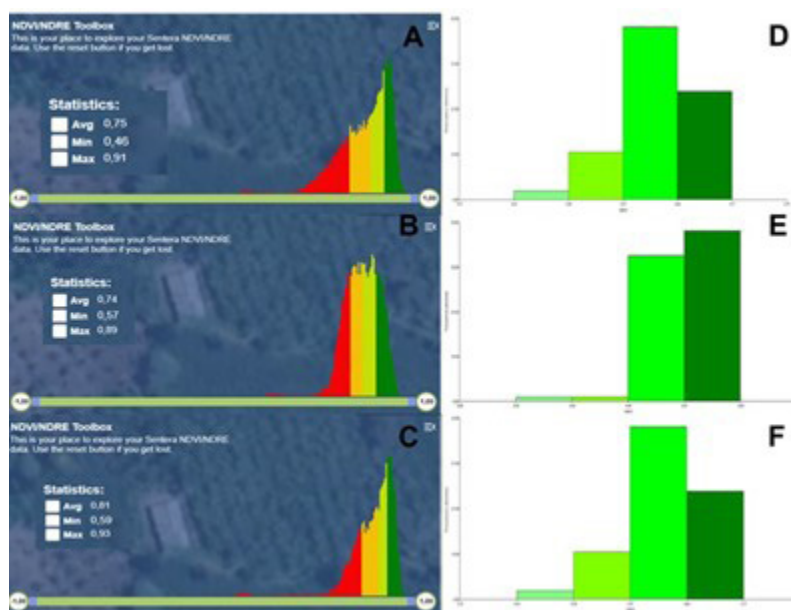
Análisis de tendencia central primer, segundo y tercer momento de evaluación – Sensor de contacto.

Primer momento			
Estadístico	NDVI	Estadístico	NDVI
Media	0,62	Coefficiente de asimetría	-1,160
Error típico	0,006	Rango	0,275
Mediana	0,62	Mínimo	0,434
Moda	0,64	Máximo	0,709
Desviación estándar	0,051	Cuenta	78
Varianza de la muestra	0,003	Coefficiente de variación	8,172
Curtosis	1,959	Nivel de confianza (95,0%)	0,011
Segundo momento			
Estadístico	NDVI	Estadístico	NDVI
Media	0,56	Coefficiente de asimetría	-1,700
Error típico	0,005	Rango	0,294
Mediana	0,57	Mínimo	0,348
Moda	0,58	Máximo	0,642
Desviación estándar	0,044	Cuenta	78
Varianza de la muestra	0,002	Coefficiente de variación	7,731
Curtosis	6,852	Nivel de confianza (95,0%)	0,010
Tercer momento			
Estadístico	NDVI	Estadístico	NDVI
Media	0,63	Coefficiente de asimetría	-2,193
Error típico	0,005	Rango	0,302
Mediana	0,64	Mínimo	0,403
Moda	0,64	Máximo	0,705
Desviación estándar	0,046	Cuenta	78
Varianza de la muestra	0,002	Coefficiente de variación	7,300
Curtosis	8,403	Nivel de confianza (95,0%)	0,010

En el caso del sensor remoto, el análisis de la imagen obtenida durante la evaluación del NDVI arrojó una media de 0,75, con un valor mínimo de 0,46 y un máximo de 0,91. Aunque la media y el valor mínimo son consistentes con los registrados por el sensor de contacto, el valor máximo fue considerablemente superior. Esta discrepancia puede atribuirse a la naturaleza del sensor remoto, cuya resolución espacial (tamaño del píxel) abarca un área mayor que el dosel individual de las plantas de café. En consecuencia, es posible que la señal registrada incluyera la reflectancia de especies arvenses presentes en el sistema productivo, las cuales presentan índices NDVI más altos, afectando así la estimación puntual del índice (Figura 1A).

Figura 1.

Análisis multitemporal del índice NDVI en C. arabica mediante sensores remoto y de contacto.



Nota: A) Mapa de NDVI correspondiente al primer momento de evaluación, obtenido mediante sensor remoto (Sentra NDVI), B) Mapa de NDVI correspondiente al segundo momento de evaluación, capturado con sensor remoto, C) Mapa de NDVI del tercer momento de evaluación, generado por el sensor remoto, D) Histograma de distribución de frecuencias del NDVI para el primer momento, registrado con sensor de contacto (PlantPen NDVI 310), E) Histograma de distribución de frecuencias del NDVI para el segundo momento, sensor de contacto, F) Histograma de distribución de frecuencias del NDVI para el tercer momento, sensor de contacto.

Para el sensor remoto, el análisis del NDVI arrojó una media de 0,75, con valores extremos de 0,46 (mínimo) y 0,91 (máximo). Aunque la media y el mínimo coinciden con los obtenidos mediante el sensor de contacto, el valor máximo fue superior. Esta diferencia podría explicarse por la resolución espacial del sensor remoto, que abarca áreas más amplias y posiblemente incluye vegetación arvense con mayor vigor fotosintético, elevando así los valores NDVI detectados (Figura 1A).

En la segunda evaluación, los valores obtenidos con el sensor de contacto mostraron una disminución del NDVI respecto al primer momento, con una media de 0,56 y una moda de 0,58. La curtosis aumentó a 6,852, lo que indica una mayor concentración de valores extremos, a pesar de conservar una distribución aproximadamente normal. Esta variación puede atribuirse a un incremento en el gasto energético del cultivo durante esta fase fenológica (Tabla 1).

De forma paralela, el análisis mediante sensor remoto reflejó un patrón similar, con una

media de 0,74, un mínimo de 0,57 y un máximo de 0,89. Los datos también evidenciaron mayor dispersión respecto al primer momento (Figura 1B).

Durante la tercera evaluación, se observó una recuperación en los valores de NDVI con el sensor de contacto, alcanzando una media de 0,63, moda de 0,64, curtosis de 8,403 y un coeficiente de variación de 7,3. Estos valores reflejan una tendencia ascendente, concordante con los resultados obtenidos con el sensor remoto (Tabla 1, Figura 1C). Fisiológicamente, este comportamiento se asocia al avance del fruto hacia su fase final de maduración, caracterizada por una máxima acumulación de biomasa y una reactivación de la actividad fotosintética en el follaje, lo que se traduce en un incremento de la reflectancia y del NDVI en plantas sanas.

Análisis de distribución de frecuencias

La figura 1D muestra el histograma de frecuencia del índice NDVI, en el primer momento de evaluación, en la cual se observa que, poseen el 82.05% de datos agrupados con valores superiores a 0,57.

Tabla 2.

Distribución de frecuencias índice NDVI primera, segunda y tercera evaluación

Primer momento								
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
NDVI	1	0,43	0,50	0,465	2	0,026	2	0,026
NDVI	2	0,50	0,57	0,535	12	0,154	14	0,179
NDVI	3	0,57	0,64	0,605	42	0,538	56	0,718
NDVI	4	0,64	0,71	0,675	22	0,282	78	1
Segundo momento								
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
NDVI	1	0,35	0,42	0,386	1	0,013	1	0,013
NDVI	2	0,42	0,49	0,459	1	0,013	2	0,026
NDVI	3	0,49	0,57	0,531	35	0,449	37	0,474
NDVI	4	0,57	0,64	0,604	41	0,526	78	1
Tercer momento								
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
NDVI	1	0,40	0,47	0,438	1	0,013	1	0,013
NDVI	2	0,47	0,55	0,513	3	0,038	4	0,051
NDVI	3	0,55	0,63	0,588	19	0,244	23	0,295
NDVI	4	0,63	0,70	0,663	55	0,705	78	1

Nota: LI: límite inferior; LS: límite superior; MC: mediana de la clase; FA: frecuencia absoluta FR: frecuencia relativa FAA: frecuencia absoluta acumulativa; FRA: frecuencia relativa acumulativa

Los datos obtenidos reflejan una masa vegetal predominantemente sana, con valores de NDVI superiores a 0.33, umbral mínimo asociado a vegetación vigorosa. Aproximadamente un 25% de las observaciones se ubicaron en rangos indicativos de vegetación

muy saludable. En teledetección, estos valores implican que las plantas absorben más radiación roja y reflejan más radiación infrarroja cercana (NIR), lo cual es característico de tejidos activos fotosintéticamente. Este patrón puede variar según la edad foliar, la proximidad entre plantas y la época del año (Martin et al., 2005; Samborski et al., 2009). En este estudio, el comportamiento observado es coherente con dicha interpretación, indicando un manejo agronómico homogéneo y un estado sanitario favorable, tal como lo refleja la señal captada por el sensor.

La Figura 1E muestra el histograma de frecuencia del NDVI en el segundo momento de evaluación, correspondiente a la fase II de desarrollo del fruto. En esta etapa, los valores oscilaron entre 0.35 y 0.64, confirmando que el 100% de la vegetación permanecía en estado medianamente sano (Tabla 2). Esta disminución del NDVI sugiere un mayor consumo energético asociado a la alteración de la relación fuente-vertedero. Durante el crecimiento acelerado del fruto, una porción significativa de la energía es movilizad desde las hojas adyacentes, provocando su senescencia y caída, y reduciendo la reflectancia del tejido foliar (Valarini et al., 2005; Chaves et al., 1984).

En el tercer momento de evaluación (fase IV de fructificación), el histograma de frecuencia (Figura 1F, Tabla 2) mostró nuevamente homogeneidad en los valores NDVI. Esta estabilización puede estar relacionada con la recuperación del estado energético de las plantas, ya que el fruto alcanza su madurez fisiológica y la demanda de fotoasimilados comienza a disminuir. A medida que las hojas completan su desarrollo, actúan como fuentes de nutrimentos hacia los frutos y raíces, reduciendo su contenido interno (Sadeghian & Salamanca, 2015). En esta fase, disminuye la exportación de fotoasimilados desde órganos fotosintéticos hacia los frutos (Aluko et al., 2021), permitiendo la recuperación parcial de los niveles de azúcares solubles en las hojas, que representan hasta el 80% de los fotoasimilados transportados (Chang et al., 2017; Osorio et al., 2014; Rodrigues et al., 2019).

Se encontraron en su totalidad nuevamente datos correspondientes a vegetación medianamente sana y muy sana, este último estado con un aproximado de 65% de la totalidad de datos, como se indica en la tabla 2.

Análisis comparativo imágenes multiespectral

A partir de los datos capturados por el sensor remoto, se generaron polígonos de clasificación para cada uno de los momentos de evaluación, delimitando la cobertura espacial de las distintas clases de NDVI dentro del lote. Se establecieron cuatro clases diferenciadas por colores (rojo, naranja, amarillo y verde), asignadas de menor a mayor valor de NDVI. Cabe aclarar que dichos colores son contrastantes para facilitar la visualización, pero no representan cualitativamente el estado fisiológico del cultivo; este se interpreta directamente a partir del valor numérico del índice (Figura 2).

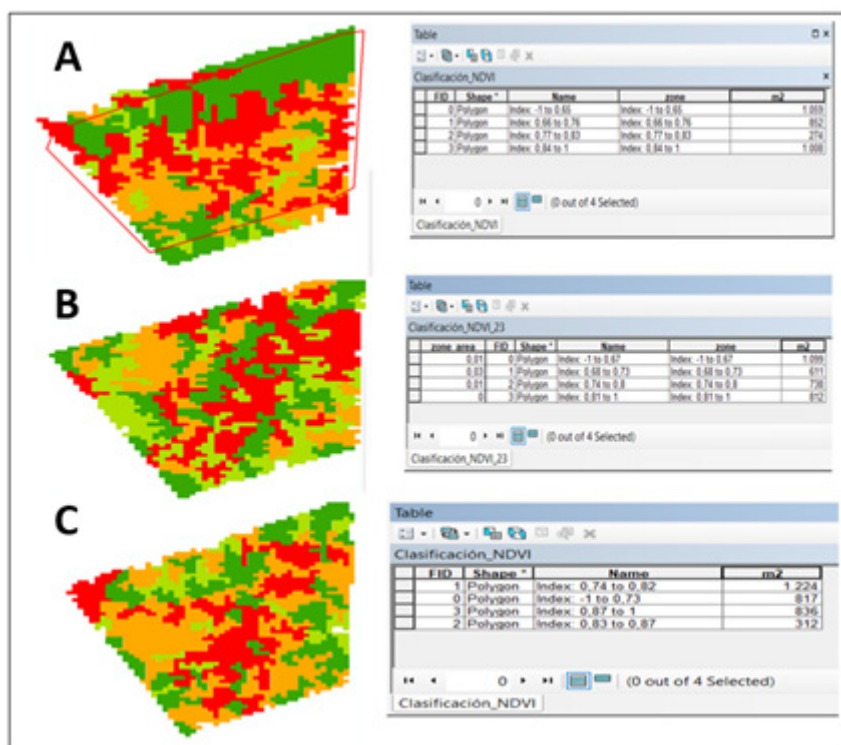
En el primer momento de evaluación (Figura 2A), los rangos de NDVI y sus respectivas áreas fueron los siguientes: clase 1 (NDVI: -1 a 0.65, rojo): 1,059 m², Clase 2 (NDVI: 0.66 a 0.76, naranja): 852 m², Clase 3 (NDVI: 0.77 a 0.83, amarillo): 274 m², Clase 4 (NDVI:

0.84 a 1.00, verde): 1,004 m².

Estos resultados coinciden con el análisis estadístico previo, en el cual más del 50% del lote presentó valores NDVI superiores a 0.60, lo que indica una distribución predominante de vegetación con vigor fisiológico moderado a alto (Tabla 2).

Figura 2.

Polígonos derivados del sensor remoto con representación gráfica NDVI. A) evaluación primer momento, B) segundo momento y C) tercer momento.



En el segundo momento de evaluación (Figura 2B), los valores de NDVI se clasificaron en cuatro rangos: clase 1 (NDVI: -1 a 0.67, rojo): 1,099 m², clase 2 (NDVI: 0.68 a 0.73, amarillo): 611 m², clase 3 (NDVI: 0.74 a 0.80, naranja): 738 m², clase 4 (NDVI: 0.81 a 1.00, verde): 812 m². En el tercer momento de evaluación, los rangos y áreas fueron: clase 1 (NDVI: -1 a 0.73, rojo): 817 m², clase 2 (NDVI: 0.74 a 0.82, naranja): 1,224 m², clase 3 (NDVI: 0.83 a 0.87, amarillo): 312 m², clase 4 (NDVI: 0.88 a 1.00, verde): 836 m². Estos resultados reflejan una redistribución progresiva de la biomasa y el vigor del cultivo a lo largo de su desarrollo fenológico.

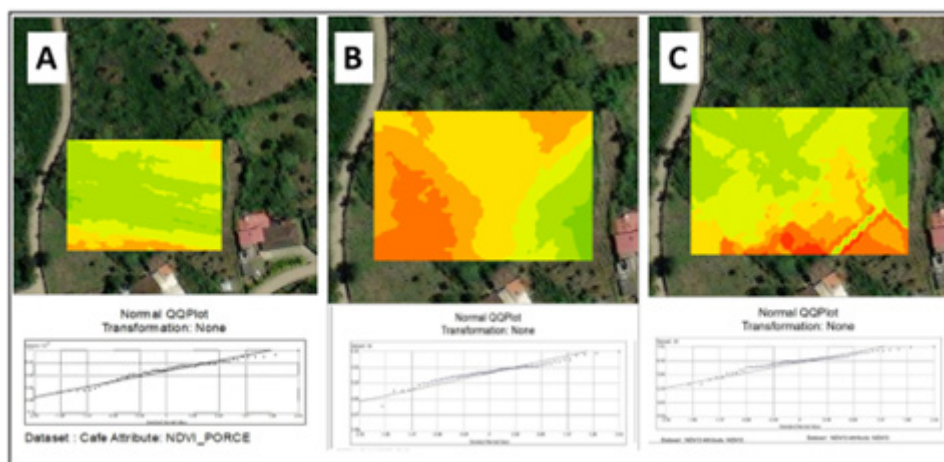
Complementariamente, el análisis de interpolación mediante el método de diagrama de Voronoi aplicado a los datos del sensor de contacto mostró una adecuada representación espacial de los valores de NDVI en todos los momentos evaluados, como se evidencia en la pendiente ajustada de la superficie interpolada (Figura 3). Aunque la cobertura espacial fue menor en comparación con el sensor remoto, debido a la naturaleza puntual

de los datos (valores foliares y buffers derivados), se observaron patrones similares de distribución.

Los rangos de NDVI interpolados por color para cada momento están detallados en la tabla 2 a partir de la cual se establecieron las categorías base utilizadas en los mapas de interpolación.

Figura 3.

Polígonos derivados de la interpolación con datos del sensor de contacto con representación gráfica NDVI. A) evaluación primer momento, B) segundo momento y C) tercer momento.



Las etapas I y IV del desarrollo del fruto presentaron los valores más altos de vigor vegetal, según los índices de NDVI. Este índice, como señalan Meneses et al. (2016), refleja el vigor de las plantas mediante la absorción de radiación roja por la clorofila y la reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) por la estructura celular foliar. Una vez que las hojas de café completan su expansión, se convierten en fuentes activas de fotoasimilados y nutrientes móviles, los cuales son redistribuidos hacia órganos de demanda como raíces y frutos.

Durante la fase II de fructificación, este proceso de movilización reduce la concentración de compuestos celulares en las hojas, disminuyendo su reflectancia NIR y aumentando la absorción de energía, lo que se traduce en valores más bajos de NDVI. Así, el desarrollo del fruto implica una dinámica fisiológica que altera la distribución de nutrientes y afecta la acumulación de biomasa (Laviola et al., 2007).

CONCLUSIONES

La evaluación comparativa de los dos sistemas de medición del NDVI evidenció una relativa homogeneidad en los resultados obtenidos. No obstante, la interpretación precisa del estado fitosanitario del cultivo no puede depender exclusivamente de la percepción remota, debido a limitaciones inherentes a su resolución espacial, que pueden introducir sesgos por heterogeneidad en la cobertura vegetal. Ambos sistemas demostraron ser he-

herramientas útiles para el diagnóstico del vigor y la sanidad del cultivo, al permitir detectar variaciones asociadas a los estados fenológicos del desarrollo del fruto. La sensibilidad del NDVI a los cambios estructurales y fisiológicos del dosel vegetal resalta su potencial como indicador clave en el monitoreo de café bajo un enfoque de agricultura de precisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alcaldía municipal de Consacá, (2020). Plan de desarrollo municipio de Consacá 2020–2023. https://alcaldiaconsacanarino.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldiaconsacanarino/content/files/000385/19246_plan-de-desarrollo-municipio-de-consaca-definitivo.pdf
- Aluko, J., Kumar, R., & Zhang, Y. (2021). Understanding source–sink dynamics in crop plants for improved productivity. *Physiologia Plantarum*, 173(2), 431–446. <https://doi.org/10.1111/ppl.13244>
- Ángeles, R., Geraldi, M., & Marini, F. (2020). Procesamiento digital de imágenes satelitales. Metodologías y técnicas. <http://hdl.handle.net/11336/135234>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café–Cenicafé. (2022). Informe Anual Cenicafé 2022. <https://doi.org/10.38141/10783/2022>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2014). La fenología del café, una herramienta para apoyar la toma de decisiones. <https://cenicafe.org/es/publications/avt0441.pdf>
- Chang, T. G., Zhu, X.-G., & Raines, C. A. (2017). Source–sink interaction: A century old concept under the light of modern molecular systems biology. *Journal of Experimental Botany*, 68(16), 4417–4431. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx002>
- Chaves, J., & Sarruge, J. R. (1984). Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 19(11), 1307–1312.
- Cuervo, F. (2016). Utilización de imágenes multiespectrales para el análisis del comportamiento de la firma espectral del lago de Tota y la influencia de los cultivos de cebolla. Universidad Militar Nueva Granada. <http://hdl.handle.net/10654/15602>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia–FNC (2022). Café de Nariño: Datos de interés. <https://narino.federaciondecafeteros.org/narino/>
- Fuentes, F., Ortega, S., Rivera, M., Bardeen, M., & Moreno, M. (2019). Comparison of vegetation indices acquired from RGB and multis-

- pectral sensors placed on UAV. IEEE Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1109/ICA-ACCA.2018.8609861>
- Herrera, E. (2019). La revolución tecnológica en el campo. Razón Pública. <https://razonpublica.com/como-promover-la-innovacion-tecnologica-en-el-campo-economia-naranja-rural-y-agrotech/>
- Laviola, B. G., Martinez, H. E. P., Salomão, L. C. C., Cruz, C. D., & Mendonça, S. M. (2007). Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. *Revista brasileira de ciência do solo*, 31, 1451-1462. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600022>
- Martin, K., Hodgen, P., Freeman, K., Melchiori, R., Arnall, D., Teal, R., ... & Raun, W. (2005). Plant-to-plant variability in corn production. *Agronomy Journal*, 97(5), 1603–1611. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0129>
- Meneses, V., Velásquez, D., & Téllez, J. (2016). Sistema de optimización de las técnicas de planificación en agricultura de precisión por medio de drones. Universidad Nacional de Colombia.
- Muñoz, P. (2013). Apuntes de teledetección: Índices de vegetación. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/26389>
- Parlamento Europeo. (2021). La inteligencia artificial y su uso. Construir un sistema alimentario sostenible: la estrategia de la UE. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20200827STO85804/que-es-la-inteligencia-artificial-y-como-se-usa>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>
- Osorio, S., Ruan, Y.-L., & Fernie, A. R. (2014). An update on source-to-sink carbon partitioning in tomato. *Frontiers in Plant Science*, 5, 516. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00516>
- Rivera, L., Montoya, B., & Obando, F. (2019). Procesamiento de imágenes multi-espectrales captadas con drones para evaluar el NDVI en plantaciones de café variedad Castillo. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 22(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1578
- Rodrigues, J., Inzé, D., Nelissen, H., & Saibo, N. J. M. (2019). Source–sink regulation in crops under water deficit. *Trends in Plant Science*, 24(7), 652–663. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.04.005>

- Rossius, S. (2012). Reconocimiento de objetos mediante webcam en tiempo real. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/29009>
- Sadeghian, S., & Salamanca, J. (2015). Micronutrientes en frutos y hojas de café. Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/5.Micronutrientes.pdf>
- Samborski, S. M., Tremblay, N., & Fallon, E. (2009). Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendation. *Agronomy Journal*, 101(4), 800–816. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0162Rx>
- Schiaffino, M. (2006). Navegación autónoma basada en visión estereoscópica y lógica difusa. Universidad Tecnológica Nacional. https://tesis.blanque.com.ar/tesis/Home_files/Tesis_Paula_Schiaffino.pdf
- Sishodia, R., Ram, R., & Ray, S. S. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing*, 12(19), 3136. <https://doi.org/10.3390/rs12193136>
- Soubry, I., Patias, P., & Tsioukas, V. (2017). Monitoring vineyards with UAV and multi-sensors for the assessment of water stress and grape maturity. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:131807485>
- Valarini, V., Bataglia, O., & Fazuoli, L. (2005). Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. *Bragantia*, 64(3), 333–340. <https://www.scielo.br/j/brag/a/yqjJcLv8xqkCjDjP4NBCrtP/>
- Zúñiga, J. (2018). Application of remote sensors for analysis of the vegetative state of oil palm cultivation by means of the NDVI and spectral signatures. Repositorio UNAD. <http://hdl.handle.net/10654/20387>



EL EFECTO DE LA MEZCLA DE FERTILIZANTES MINERALES COMPUESTOS CON FERTILIZANTES ORGÁNICOS SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ

The Effect Of Mixing Compound Mineral Fertilizers With Organic Fertilizers On The Growth And Yield Of Maize.

Raji Ali Awadi

 <https://orcid.org/0000-0002-0323-7957>

 raji_ali_1961@yahoo.co.uk

.....
University, Agriculture faculty, Soil department, Kayseri,
Turkey
.....

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de reemplazar una parte de fertilizantes minerales con fertilizantes orgánicos, mezclándolos en proporciones, sobre el crecimiento del maíz y algunas propiedades del suelo. Los fertilizantes químicos tienen efectos nocivos para el medio ambiente y los organismos vivos, y el fertilizante orgánico por sí solo se descompone lentamente y contiene pocos nutrientes.

Por lo tanto, se ha optado por mezclar fertilizante orgánico con fertilizante mineral para aumentar la fertilidad del suelo. El experimento se llevó a cabo en los campos del Departamento de Investigación Agrícola Iraquí, Estación Dabouni, en 2022, con los siguientes grupos de tratamiento:

1. Control, sin estiércol, sin fertilizantes... (T1)
2. Fertilizante orgánico (oveja) (SF) 20 ton | ha... (T2)
3. Fertilizante mineral (MF) 320 kg N, 100 kg P_2O_3 , 120 kg K_2O ha...(T3)
4. Estiércol de oveja + 25%, (MF).....(T4)
5. Estiércol de oveja + 50%, (MF) (T5)
6. Estiércol de oveja + 75%, (MF)..... (T6)
7. Estiércol de oveja +,100% (MF)..... (T7)

Cómo citar:

Fecha recepción: 18 de Mayo de 2025 / Fecha Aprobación: 11 de Julio 2025 / Fecha Publicación: 27 de Agosto 2025

AL-Awadi, R. A.(2025). *The effect of mixing compound mineral fertilizers with organic fertilizers on the growth and yield of maize*. Revista. FAGROPEC. Vol. 17(1), ppt 63-82. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v17n1a4>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia
Creative Commons (CC BY 4.0).

Rev. FAGROPEC Vol. 17 Num. 1, enero - junio de 2025

El experimento se realizó según un diseño de bloques completamente al azar con tres réplicas. Los resultados indicaron que la combinación de fertilizante orgánico y fertilizante mineral en proporciones de 25, 50, 75 y 100% produjo diferencias significativas en el crecimiento del maíz (altura, longitud de la raíz, longitud de la mazorca, área foliar, peso de la semilla de 500 gramos, rendimiento biológico y rendimiento) y algunas propiedades del suelo (MO, pH y CE) en comparación con el fertilizante mineral solo. Por lo tanto, recomendamos a los agricultores que implementen este estudio.

PALABRAS CLAVE:

Mineral, Fertilizantes, Orgánico, Mezcla, Maíz, Significativo

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of replacing a portion of mineral fertilizers with organic fertilizers, by mixing them together in proportions, on corn growth and some soil properties. Chemical fertilizers have harmful effects on the environment and living organisms, and organic fertilizer alone is slow to decompose and contains few nutrients.

Therefore, the idea has shifted to mixing organic fertilizer with mineral fertilizer to increase soil fertility. The experiment was conducted in the fields of the Iraqi Agricultural Research Department - Dabouni Station in 2022 with the following treatment groups:

1. Control, no manure, no fertilizer..... (T1)
2. Organic fertilizer (sheep) (SF) was 20 ton | ha (T2)
3. Mineral fertilizer (MF) was (320 Kg N , 100 Kg P₂O₅ ,120 Kg k₂o) | ha...(T3)
4. Sheep manure + 25%, (MF).....(T4)
5. Sheep manure + 50%, (MF) (T5)
6. Sheep manure + 75%, (MF)..... (T6)
7. Sheep manure +,100% (MF)..... (T7)

The experiment was conducted according to a randomized complete block design with three replicates. The results indicated that the combination of organic fertilizer and mineral fertilizer at ratios of 25, 50, 75, and 100% produced significant differences in maize growth (height, root length, ear length, leaf area, 500-gram seed weight, biological yield, and yield) and some soil properties (O.M., pH, and EC) compared to mineral fertilizer alone.

We therefore recommend that farmers implement this study.

KEYWORDS:

Mineral, Fertilizers, Organic, Mixture, Maize, Significan

INTRODUCTION

Maize occupies the second place in terms of importance after wheat and first in terms of production In Iraq (Altaweel, M . S.& Qusay A. Y.,2020)

It is widely cultivated in Iraq but the rate of corn production is still low, which requires improving productivity by using fertilizers (Saleh M.Ibraheem, 2013)

Increasing maize production is one of the most important goals for the Iraqi agricultural policy to face the human and animal demands , the mixing maize with wheat for bread making has also increased the demand of maize in Iraq(A. M. Abd El-Gawad; A. S. M. Morsy, 2017).

The combined application of organic and inorganic fertilizers can increase the activities of soil organisms and available nutrient content, furthermore, the application of organic manure mixed up with chemical fertilizer can prove to be an excellent procedure in maintaining and improving the soil fertility, and increasing fertilizer use efficiency(Wajid.,et al 2012).

The experimental results confirmed that the combination of organic and inorganic fertilizers could increase plant growth, yield, quality and soil fertility. It also confirmed that composted organic wastes can be used to substitute for around 25% of chemical nitrogen fertilizers(Neni Marlina et al., 2017).

It could be concluded that the integration of organic and inorganic fertilizers was better than using organic or inorganic fertilizer separately .

The Iraqi soil lacks organic matter and the pH in it is high, which reduces the absorption of nutrients, especially phosphorous (Al-Hilfy & Al-Temimi, 2017).

The appropriate application of organic with inorganic fertilizers increases the productivity without negative effect on yield quality and improves soil fertility than the values obtained by organic or inorganic fertilizers separately for this, we will follow methods to maintain soil fertility and increase its content of organic matter without affecting the environment by mixing organic fertilizers (Sheep waste (low value) with mineral fertilizer, whose cost is high by reducing its percentage in use (Roba , 2018).

The farmer used to use mineral fertilizers to grow corn, and to enrich the soil with mineral nutrients that could be depleted from the soil by intensive uses of lands. To attain the best results of fertilizers use in agriculture, fertilizers should be added into the soil according to known qualitative and quantitative proportions that should fit the needs of growing plants and their growth stages.

The mixing mineral with organic fertilizer to rise soil fertility and productivity without affecting environment.

The objective of the present review is to assess the effect of mixing organic with inorganic fertilizer on soil fertility and productivity.

Use of organic and inorganic fertilizers in proper combination (50:50) received higher yields than the sole application of either of the fertilizer or manure particularly (Wajid N, et al 2012).

The experimental results confirmed that the combination of organic and inorganic fertilizers could increase plant growth, yield, quality and soil fertility. It also confirmed that composted organic wastes can be used to substitute for around 25% of chemical nitrogen fertilizers (Neni Marlina et al., 2017).

It could be concluded that the integration of organic and inorganic fertilizers was better than using organic or inorganic fertilizer separately (Ab d El-Gawad & Morsy, 2017).

Adding mineral fertilizer at different levels with organic fertilizer has led to a significant increase in plant height (Jibreel Abbas Mohammad Al-Zaidy, 2017).

Experience has shown that the use of 5 ton.ha-1 organic fertilizer + 75 % inorganic fertilizer could increase N, P and K nutrients uptake well as good growth and yield (Neni Marlina et al., 2017).

The organic manure (sheep waste) increased the yield of maize by 3663.4 kg per hectare compared to mineral fertilizer which gave 3262.7 kg | ha at the same time, the organic fertilizer increased the potassium in the soil after harvest by 387 mg | kg, while in mineral fertilizer it was 373 mg | kg (Al-Hamdani and Al-Baidi &2010)

MATERIAL AND METHODS

The experiment carried out in 2022 at Al-Dabouni Research Station located in the Al-Azi-ziya district at longitude: 45o.063 and latitude 32o.9107 It is bordered to the south by Wasit Governorate, 90 km away, to the north by Baghdad Governorate, 120 km away. It is bordered to the east by Diyala Governorate, 30 km away, and to the west, by Babylon Governorate, 90 km away. To assess the soil fertility status, representative soil samples will be taken from the experimental soil sites before sowing in the laboratories of the Agricultural Research Department of the Iraqi Ministry of Agriculture according to following.

Table 1.

Chemical, physical and biological characteristics of the studied soil before planting

Adjective	Value
Degree of soil reaction pH	6.5
Ece1:1 quer	... 3.0..... Dsm-1
The dissolved ions	 Me q L
Ca++	10.0.....

Mg ⁺⁺	...9.7
Na ⁺	...5.3....
Cl ⁻	...13.0.....
SO ₄ ⁻⁻	 9.6.....
HCO ₃ ⁻	1,5.....
Ready-made elements	g kg ⁻¹
N	78.2
P	15.3
K	120.2
Soil separators	%
Sand	11.6
Silt	47.4
Clay	41.0
O.M	1,5

Experimental Design

Three types of fertilization treatments are taken in addition to the comparison treatment without fertilization (T1)

The first treatment of fertilizer is organic from sheep waste, with a value of 20 tons| ha were added to the soil mixed with the surface layer before planting .

The second treatment of fertilizer is mineral 320 kg N / ha ,100kg P₂O₅/ha and 120Kg K₂O /ha (The fertilizer recommendation of the Iraqi Ministry of Agriculture)

The third treatment blending organic fertilizers with mineral fertilizers spreading it in the soil at rates of 25%, 50%. 75%, 100%

Nitrogen fertilizer will be added in the form of urea 46 % nitrogen in two batches a week after planting and the second after 50 days of germination, while triple superphosphate and potassium sulfate were added before planting and during plowing according to the following percentages above-mentioned.

The treatment was distributed to the experimental units randomly.

The cultivation could on lines of length 5 m lines between one line and another 75 cm and between a hole and another 25 cm. 3 grains of maize placed in each hole and after germination it was removed and only one remained.

The experiment was designed using a completely randomized design with three Replicators.

(T2)Organic fertilizer (sheep) 20 ton | ha

(T3)..... Mineral fertilizer was (320 Kg N , 100 Kg P₂O₅ ,120 Kg k₂o) ha

Experimental treatments for incorporating organic fertilizers with mineral fertilizers in the following percentages

- (T4)...Organic fertilizer + 1/4 (320 Kg N + 100 Kg P₂O₅ +120 Kg k₂o)
 (T5)...Organic fertilizer + 1/2 (320 Kg N + 100 Kg P₂O₅ +120 Kg k₂o)
 (T6)...Organic fertilizer + 3/4 (320 Kg N + 100 Kg P₂O₅ +120 Kg k₂o)
 (T7)...Organic fertilizer + 4/4 (320 Kg N + 100 Kg P₂O₅ +120 Kg k₂o)

Statistical analysis

It was used SPSS statistical analysis to find significant differences between the studied transactions.

RESULTS

We conclude through the study that there are significant differences in the morphological characteristics of maize plants (plant length, root length, ear length, leaf area in the plant, weight of 500 grains, grain yield, biological yield, as well as in the properties of soil EC , PH ,and O.M when using mineral fertilizer or Organic fertilizer compared to the comparison sample without fertilization as a result.

The significant differences started when organic fertilizer was used at rates of 25%, 50%, 75%, 100%, as it increased by increasing the percentage as shown in the following tables, as well as soil properties affected in the same way except for PH, which decreased by increasing the percentage.

		Descriptive							
		95% Confidence Interval for Mean							
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
Plant height	Control (T1)	3	64.000	1.7321	1.0000	59.697	68.303	62.0	65.0
	Organic Fertilizer (T2)	3	99.000	1.0000	.5774	96.516	101.484	98.0	100.0
	Mineral Fertilizer (T3)	3	109.000	1.0000	.5774	106.516	111.484	108.0	110.0
	O + 25 % M (T4)	3	120.000	.0000	.0000	120.000	120.000	120.0	120.0
	O + 50 % M (T5)	3	133.333	1.5275	.8819	129.539	137.128	132.0	135.0
	O + 75 % M (T6)	3	156.000	4.3589	2.5166	145.172	166.828	151.0	159.0
	O + M (T7)	3	161.000	1.0000	.5774	158.516	163.484	160.0	162.0
	Total	21	120.333	32.1019	7.0052	105.721	134.946	62.0	162.0
Root height	Control (T1)	3	25.000	.0000	.0000	25.000	25.000	25.0	25.0
	Organic Fertilizer (T2)	3	32.000	1.7321	1.0000	27.697	36.303	30.0	33.0
	Mineral Fertilizer (T3)	3	36.000	.0000	.0000	36.000	36.000	36.0	36.0
	O + 25 % M (T4)	3	40.667	1.1547	.6667	37.798	43.535	40.0	42.0
	O + 50 % M (T5)	3	42.000	.0000	.0000	42.000	42.000	42.0	42.0
	O + 75 % M (T6)	3	47.000	2.6458	1.5275	40.428	53.572	45.0	50.0
	O + M (T7)	3	48.000	2.0000	1.1547	43.032	52.968	46.0	50.0
	Control (T1)	21	38.667	7.9394	1.7325	35.053	42.281	25.0	50.0

Ear length	Control (T1)	3	14.000	2.0000	1.1547	9.032	18.968	12.0	16.0
	Organic Fertilizer (T2)	3	17.333	2.0817	1.2019	12.162	22.504	15.0	19.0
	Mineral Fertilizer (T3)	3	18.000	.0000	.0000	18.000	18.000	18.0	18.0
	O + 25 % M (T4)	3	21.000	1.0000	.5774	18.516	23.484	20.0	22.0
	O + 50 % M (T5)	3	22.000	1.0000	.5774	19.516	24.484	21.0	23.0
	O + 75 % M (T6)	3	25.000	1.0000	.5774	22.516	27.484	24.0	26.0
	O + M (T7)	3	27.000	2.6458	1.5275	20.428	33.572	25.0	30.0
	Total	21	20.619	4.5108	.9843	18.566	22.672	12.0	30.0
Leaf area	Control (T1)	3	4314.000	300.4114	173.4426	3567.737	5060.263	4001.0	4600.0
	Organic Fertilizer (T2)	3	4856.000	211.9151	122.3492	4329.574	5382.426	4718.0	5100.0
	Mineral Fertilizer (T3)	3	5363.000	345.9870	199.7557	4503.521	6222.479	5000.0	5689.0
	O + 25 % M (T4)	3	5910.000	10.0000	5.7735	5885.159	5934.841	5900.0	5920.0
	O + 50 % M (T5)	3	6230.000	216.5641	125.0333	5692.025	6767.975	6000.0	6430.0
	O + 75 % M (T6)	3	6760.000	103.9230	60.0000	6501.841	7018.159	6700.0	6880.0
	O + M (T7)	3	6859.333	445.6920	257.3204	5752.173	7966.494	6400.0	7290.0
	Total	21	5756.048	937.4247	204.5628	5329.337	6182.758	4001.0	7290.0
500 grain weight	Control	3	101.000	2.6458	1.5275	94.428	107.572	98.0	103.0
	Control (T1)	3	120.000	5.0000	2.8868	107.579	132.421	115.0	125.0
	Organic Fertilizer (T2)	3	130.000	5.0000	2.8868	117.579	142.421	125.0	135.0
	Mineral Fertilizer (T3)	3	142.000	5.0000	2.8868	129.579	154.421	137.0	147.0
	O + 25 % M (T4)	3	148.000	5.0000	2.8868	135.579	160.421	143.0	153.0
	O + 50 % M (T5)	3	160.000	1.7321	1.0000	155.697	164.303	158.0	161.0
	O + 75 % M (T6)	3	163.000	5.0000	2.8868	150.579	175.421	158.0	168.0
	O + M (T7)	21	137.714	21.4643	4.6839	127.944	147.485	98.0	168.0
Grain yield	Control (T1)	3	4.500	.5000	.2887	3.258	5.742	4.0	5.0
	Organic Fertilizer (T2)	3	6.700	.8000	.4619	4.713	8.687	5.9	7.5
	Mineral Fertilizer (T3)	3	7.890	.3951	.2281	6.909	8.871	7.5	8.3
	O + 25 % M (T4)	3	9.023	.3137	.1811	8.244	9.803	8.8	9.4
	O + 50 % M (T5)	3	9.030	.7554	.4362	7.153	10.907	8.3	9.8
	O + 75 % M (T6)	3	10.467	.5132	.2963	9.192	11.741	9.9	10.9
	O + M (T7)	3	11.133	.7095	.4096	9.371	12.896	10.5	11.9
	Total	21	8.392	2.2094	.4821	7.386	9.398	4.0	11.9
Biological yield	Control (T1)	3	15.000	2.0000	1.1547	10.032	19.968	13.0	17.0
	Organic Fertilizer (T2)	3	20.000	1.0000	.5774	17.516	22.484	19.0	21.0
	Mineral Fertilizer (T3)	3	23.667	3.0551	1.7638	16.078	31.256	21.0	27.0
	O + 25 % M (T4)	3	27.000	2.0000	1.1547	22.032	31.968	25.0	29.0
	O + 50 % M (T5)	3	28.000	.0000	.0000	28.000	28.000	28.0	28.0
	O + 75 % M (T6)	3	32.667	1.1547	.6667	29.798	35.535	32.0	34.0
	O + M (T7)	3	35.667	1.5275	.8819	31.872	39.461	34.0	37.0
	Total	21	26.000	6.9282	1.5119	22.846	29.154	13.0	37.0
O.M	Control (T1)	3	1.023	.1966	.1135	.535	1.512	.8	1.2
	Organic Fertilizer (T2)	3	1.993	.2003	.1157	1.496	2.491	1.8	2.2
	Mineral Fertilizer (T3)	3	1.397	.4000	.2310	.403	2.390	1.0	1.8
	O + 25 % M (T4)	3	2.403	.1002	.0578	2.155	2.652	2.3	2.5
	O + 50 % M (T5)	3	2.607	.1007	.0581	2.357	2.857	2.5	2.7
	O + 75 % M (T6)	3	2.983	.1258	.0726	2.671	3.296	2.9	3.1
	O + M (T7)	3	3.197	.2001	.1155	2.700	3.694	3.0	3.4
	Total	21	2.229	.7833	.1709	1.872	2.586	.8	3.4

PH	Control (T1)	3	5.400	.2000	.1155	4.903	5.897	5.2	5.6
	Organic Fertilizer (T2)	3	7.000	.0000	.0000	7.000	7.000	7.0	7.0
	Mineral Fertilizer (T3)	3	7.500	.3000	.1732	6.755	8.245	7.2	7.8
	O + 25 % M (T4)	3	6.900	.2000	.1155	6.403	7.397	6.7	7.1
	O + 50 % M (T5)	3	6.500	.1000	.0577	6.252	6.748	6.4	6.6
	O + 75 % M (T6)	3	6.300	.0000	.0000	6.300	6.300	6.3	6.3
	O + M (T7)	3	5.900	.3000	.1732	5.155	6.645	5.6	6.2
	Total	21	6.500	.6928	.1512	6.185	6.815	5.2	7.8
EC	Control (T1)	3	2.700	.1000	.0577	2.452	2.948	2.6	2.8
	Organic Fertilizer (T2)	3	3.500	.1000	.0577	3.252	3.748	3.4	3.6
	Mineral Fertilizer (T3)	3	3.100	.1732	.1000	2.670	3.530	3.0	3.3
	O + 25 % M (T4)	3	3.700	.1000	.0577	3.452	3.948	3.6	3.8
	O + 50 % M (T5)	3	4.100	.1000	.0577	3.852	4.348	4.0	4.2
	O + 75 % M (T6)	3	3.900	.1000	.0577	3.652	4.148	3.8	4.0
	O + M (T7)	3	4.300	.1000	.0577	4.052	4.548	4.2	4.4
	Total	21	3.614	.5434	.1186	3.367	3.862	2.6	4.4

Table 2 .
ANOVA analysis showed that there was a significant difference at the 5% significance level for the coefficients

		Sum of Squares	d f	Mean Square	F	Sig
Plant height	Between groups	20556.000	6	3426.000	877.390	0.000
	Within Groups	54.667	14	3.905		
	Total	20610.667	20			
Root plant	Between groups	1230.000	6	205.000	93.587	0.000
	Within Groups	30.667	14	2.190		
	Total	1260.667	20			
Ear length	Between groups	370.286	6	61.714	23.564	0.000
	Within Groups	36.667	14	2.619		
	Total	406.952	20			
Leaf area	Between groups	16552696.286	6	2758782.714	37.769	0.000
	Within Groups	1022606.667	14	73043.333		
	Total	17575302.952	20			
500 grain weight	Between groups	8944.286	6	1490.714	77.296	0.000
	Within Groups	270.000	14	19.286		
	Total	9214.286	20			
Grain yield	Between groups	92.662	6	15.444	43.558	0.000
	Within Groups	4.964	14	0.355		
	Total	97.626	20			
Bio yield	Between groups	916.000	6	152.667	48.576	0.000
	Within Groups	44.000	14	3.143		
	Total	960.000	20			

	Between groups	11.641	6	1.940	43.138	0.000
O.M	Within Groups	0.630	14	0 .045		
	Total	12.271	20			
	Between groups	9.060	6	1.510	39.148	0.000
PH	Within Groups	0.540	14	0.039		
	Total	9.600	20			
	Between groups	5.726	6	0.954	74.222	0.000
EC	Within Groups	0.180	14	0.013		
	Total	5.906	20			

Effects of treatments on plant properties

Plant height(cm)

The effect of mineral fertilization was significant on plant height of 109 cm when treated (T3) compared to organic fertilization with sample (T2) which gave 99 cm, while comparison treatment (T1) gave an average height of less than 64 cm, and this is consistent with what was reached (Saleh M.Ibraheem 2013) and (Hussien J.M. AL-Bayati et al., 2021) but [100% mineral fertilizer with organic fertilizer for sheep manure 20 tons | Hectare of] (T7) treatment gave the highest mean plant height of 161 cm.

different treatments on maize plant height could be arranged in descending order of T7 > T6 > T5 > T4 > T3 > T2 > T1 >

Duncan

Subset for alpha = 0.05

Fertilizer	N	1	2	3	4	5	6	7
Control (T1)	3	64.000 g						
Organic Fertilizer (T2)	3		99.000 f					
Mineral Fertilizer (T3)	3			109.000 e				
O + 25 % M (T4)	3				120.000 d			
O + 50 % M (T5)	3					133.333 c		
O + 75 % M (T6)	3						156.000 b	
O + 100 % M (T7)	3							161.000 a
Sig		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

Root height(cm)

The results showed that the length of the roots was significantly affected when adding the infectious fertilizer (T3) as it gave a length of 36 cm compared to the average root length in the comparison sample (T1) which gave a root length of 25 cm while the organic fertilizer sample (T2) alone gave an average length of 32 cm.

It is noted that the average length of the root increases with the increase in the proportion of adding mineral fertilizer with organic fertilizer

(Jing Chen et al.,2020) A significant difference was achieved when the addition treatments were (T6) & (T7) gave root length of 47 and 48 cm respectively.

Duncan

Subset for alpha = 0.05

Fertilizer	N	1	2	3	4	5
Control (T1)	3	25.000 e				
Organic Fertilizer (T2)	3		32.000 d			
Mineral Fertilizer (T3)	3			36.000 c		
O + 25 % M (T4)	3				40.667 b	
O + 50 % M (T5)	3				42.000 b	
O + 75 % M (T6)	3					47.000 a
O + 100 % M (T7)	3					48.000 a
Sig		1.000	1.000	1.000	0.288	0.422

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

Columns with similar letters have no significant differences between them, while columns with different letters have significant differences at a probability $P < 0.05$

Ear length (cm)

The effect of ear length was significant, with the highest average ear length values reaching 27 cm in the treatment with [100% mineral fertilizer with organic fertilizer] (T7) and 25 cm in the treatment with [75% mineral fertilizer with organic fertilizer] (T6), but with the same significance, due to the effect of organic matter on growth (Jamal Deriak and Kamal Abdel-Kader,.(2015)Meanwhile, mineral fertilizer (T3) gave 18 cm and organic fertilizer (T2) 17.333 cm as an average length compared to the control treatment (T1), while (T5) and (T4) gave the same significance.

Duncan

Subset for alpha = 0.05

Fertilizer	N	1	2	3	4
Control (T1)	3	14.000 d			
Organic Fertilizer (T2)	3		17.333 c		
Mineral Fertilizer (T3)	3		18.000 c		
O + 25 % M (T4)	3			21.000 b	
O + 50 % M (T5)	3			22.000 b	
O + 75 % M (T6)	3				25.000 a
O + 100 % M (T7)	3				27.000 a
Sig		1.000	0.622	0.462	0.152

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Columns with similar letters have no significant differences between them, while columns with different letters have significant differences at a probability $P < 0.05$

Leaf area (cm²)

The treatment [O +100% M] & [O +75 % M] (T7) & (T6) were given as the area of plant leaves 6859.33 cm² 6760 cm² respectively, but with the same level of significance, while it gave the organic (T2) 4856 cm² and mineral fertilizer (T3) 5363 cm² compared to the control sample (T1) which was 4314 cm² ,this result is consistent with the findings (Al Jobouri,Saleh and Arowl M.AnwerL, 2009)

Duncan		Subset for alpha = 0.05				
Fertilizer	N	1	2	3	4	5
Control (T1)	3	4314.000 e				
Organic Fertilizer (T2)	3		4856.000 d			
Mineral Fertilizer (T3)	3			5363.000 c		
O + 25 % M (T4)	3				5910.000 b	
O + 50 % M (T5)	3				6230.000 b	
O + 75 % M (T6)	3					6760.000 a
O + 100 % M (T7)	3					6859.333 a
Sig		1.000	1.000	1.000	0.169	0.659

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

Columns with similar letters have no significant differences between them, while columns with different letters have significant differences at a probability $P < 0.05$

weight of 500 grain

Fertilizer treatments differed significantly between them, where the treatment [O +100% M] (T7) gave a significant difference in the average weight of 500 grains 163 grams, which is the same amount of significant difference in the sample (T6) [O + 75% M] which gave 160 grams, and the reason may be attributed to the fact that adding the fertilizer increased weight of 500 grain.

(Khalaf, M. Khalifah, Mazin F Said and Mothafer A Almosuly .2017) and (El-Sayed, H.K, et al,.2021)

Duncan		Subset for alpha = 0.05				
Fertilizer	N	1	2	3	4	5
Control (T1)	3	101.000 e				
Organic Fertilizer (T2)	3		120.000 d			
Mineral Fertilizer (T3)	3			130.000 c		
O + 25 % M (T4)	3				142.000 b	
O + 50 % M (T5)	3				148.000 b	
O + 75 % M (T6)	3					160.000 a

O + 100 % M (T7)	3					163.000 a
Sig		1.000	1.000	1.000	0.116	0.417

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Columns with similar letters have no significant differences between them, while columns with different letters have significant differences at a probability $P < 0.05$

Grain yield

[100%NPK + organic fertilizers] gave the highest grain yield about 10.467, 11.133 ton per hectare.(Al-Hilfy & Al-Temimi, 2017).

In our experiment, this same treatment of the treatment (T7) gave 11.133 ton per hectare and the treatment[75%M + organic fertilizers] (T6) gave 10.467 ton | hectare with the same significant difference for both treatments, and $T3 > T2 > T1$

They found that the production of grain yield might be due to better growth, development and dry matter accumulation with proper supply of nutrients to plant and increase in the availability (Abd El-Gawad & Morsy, 2017) and (El-Sayed, H.K, et al.,2021)

Duncan		Subset for alpha = 0.05				
Fertilizer	N	1	2	3	4	5
Control (T1)	3	4.500 e				
Organic Fertilizer (T2)	3		6.700 d			
Mineral Fertilizer (T3)	3			7.890 c		
O + 25 % M (T4)	3				9.023 b	
O + 50 % M (T5)	3				9.030 b	
O + 75 % M (T6)	3					10.467 a
O + 100 % M (T7)	3					11.133 a
Sig		1.000	1.000	1.000	0.989	0.192

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

Columns with similar letters have no significant differences between them, while columns with different letters have significant differences at a probability $P < 0.05$

Biological yield

The results showed that biological yield was significantly affected the highest value of biological yield (35.667 and 32.667 kg h⁻¹) in treatments [O + 100% M] & [(O + 75 % M] (T7) & (T6) but with the same meaning While the mineral fertilization treatments(T3) was higher than the organic fertilization(T2) and they are significantly higher than the control sample(T1).

The biological weight increased due to the mineral fertilizer mixed with the organic fertilizer (Gomaa, M.A., E.E. Kandil & Amara M.M. Ibrahim .2020)

Duncan		Subset for alpha = 0.05				
Fertilizer	N	1	2	3	4	5
Control (T1)	3	15.000 e				
Organic Fertilizer (T2)	3		20.000 d			
Mineral Fertilizer (T3)	3			23.667 c		
O + 25 % M (T4)	3				27.000 b	
O + 50 % M (T5)	3				28.000 b	
O + 75 % M (T6)	3					32.667 a
O + 100 % M (T7)	3					35.667 a
Sig		1.000	1.000	1.000	0.501	0.057

izer, which caused an increase in plant height and leaf area. Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

Columns with similar letters have no significant differences between them, while columns with different letters have significant differences at a probability $P < 0.01$

Effect treatment on some soil properties(Organic matter) O.M

The data showed that soil OM content was increased by using mixture organic with mineral fertilizer the table explained this .

The treatment (T7) &(T6) recorded the highest value 3.197&2.983 but in the same significant ,also treatments (T5) &(T4)recorded the high value 2.607&2.403 and also in the same significant compare with (T3) ,(T2) and control (T1)

Duncan		Subset for alpha = 0.05				
Fertilizer	N	1	2	3	4	5
Control (T1)	3	1.023 e				
Organic Fertilizer (T2)	3		1.397 d			
Mineral Fertilizer (T3)	3			1.993 c		
O + 25 % M (T4)	3				2.403 b	
O + 50 % M (T5)	3				2.607 b	
O + 75 % M (T6)	3					2.983 a
O + 100 % M (T7)	3					3.197 a
Sig		1.000	1.000	1.000	0.260	0.238

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

Columns with similar letters have no significant differences between them, while columns with different letters have significant differences at a probability $P < 0.05$

PH

The table showed that all fertilization treatments were significantly superior to the control in soil interaction.

The level of mineral fertilizer (T3) alone was significantly superior to all fertilizer treatments, and the reason is that the organic fertilizer reduces

different treatments on PH soil height could be arranged in descending order of $T3 > T2 > T4 > T5 > T6 > T7 > T1$ > Because adding organic fertilizers, regardless of their nature, leads to a decrease in soil acidity (Faisal Mahmood et al., 2017)

Duncan		Subset for alpha = 0.05				
Fertilizer	N	1	2	3	4	5
Control (T1)	3	5.400 e				
O + 100 % M (T7)	3		5.900 d			
O + 75 % M (T6)	3			6.300 c		
O + 50 % M (T5)	3			6.500 c		
O + 25 % M (T4)	3				6.900 b	
Organic Fertilizer (T2)	3				7.000 b	
Mineral Fertilizer (T3)	3					7.500 a
Sig		1.000	1.000	0.233	0.543	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

Columns with similar letters have no significant differences between them, while columns with different letters have significant differences at a probability $P < 0.05$

Electrical Conductivity (EC)

The application of organic fertilizers significantly reduces soil EC and available nitrogen (Yixing Zhang, et al 2024)

Data in this table showed the soil salinity (EC) as affected by addition of organic fertilizer and inorganic fertilizer and after harvesting maize plant.

The highest increase in soil salinity was recorded in (T3) as compared to the control. Also the value of (T2) was high 3.500 might be due to the high salt content of sheep manure and compost in comparison to the other organic materials.

different treatments on salinity height could be arranged in descending order of $T3 > T4 > T5 > T4 > T6 > T2 > T1 > T7 >$

Duncan		Subset for alpha = 0.05						
Fertilizer	N	1	2	3	4	5	6	7
O + 100 % M (T7)	3	2.700 g						
Control (T1)	3		3.100 f					
Organic Fertilizer (T2)	3			3.500 e				
O + 75 % M (T6)	3				3.700 d			
O + 50 % M (T5)	3					3.900 c		
O + 25 % M (T4)	3						4.100 b	
Mineral Fertilizer (T3)	3							4.200 a

Sig	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

DISCUSSION OF RESULTS

The results showed the difference in plant characteristics (height, root length, ear length, leaf area, weight of 500 grains, bio-yield, grain yield) according to the percentage of mineral fertilizer mixed with organic manure (sheep manure 20 tons | hectares.

It can be concluded that application of 5 ton.ha-1 organic fertilizer + 75 % inorganic fertilizer could increase N, P and K nutrients uptake well as good growth and yield (Neni Marlina et al., 2017)

The results indicate the superiority of the nitrogen fertilization treatment 100% and 75% over the control sample and the organic fertilizer sample in plant height, ear length, leaf area, grain yield and weight of 500 grains (Saleh M.Ibraheem 2013)

This result may be attributed to the more photosynthetic activities of the plant because of nitrogen since it is an essential requirement for the growth..

The mineral fertilization mixed with organic fertilization affects the absorption of nutrients, especially nitrogen, which increases cell division and enters the formation of the amino acid tryptophan, of which the growth regulator is formed and helps in the height of the plant.

Adding organic fertilizer to the soil releases CO₂, which combines with water to form carbonic acid Which helps in lowering the soil pH and increases the availability of nutrients in the root zone.

The addition of organic manure leads to a decrease in the values of electrical conductivity as a result of the positive effect of organic compounds in improving the physical and chemical properties of the soil, which contributed to a relative reduction Salts as a result of improving the movement of filtered water.

The mineral fertilization mixed with organic fertilization caused an increase in the area of leaf and stems and the height of the plant so that due to increase biological yield.

The reason of increasing 500 grain weight that was increasing concentration of chlorophyll so that it increases in the area of the leaf, which has an effect on weight gain.

The the leaf area is due to element nitrogen affects cell division, and that the increase in the element nitrogen works to increase the concentration of chlorophyll, so the photosynthesis process increases, which is reflected positively on the leaf area.

reported that integrated use of inorganic fertilizer along with organic fertilizer [100% NPK + OF] was improved soil physical conditions and increased in soil organic carbon might have resulted in higher maize yields (R.Al-Bandawy & H.Al-Alawy, 2018)

Experience has shown that mixing mineral fertilizer at a rate of 75% with organic fertilizer is 20 tons| Hectares gave higher significant differences than other mixture ratios 50% and 25% in soil organic matter content compared to mineral and organic fertilization alone.

The mineral fertilization treatment alone outperformed the rest of the treatments for the degree of soil reaction(PH) combination of organic and inorganic fertilizers a realistic option in improving soil fertility and productivity. So the best ways for soil fertility is, therefore, integration of both inorganic and organic fertilizers to increase soil productivity(Roba, 2018)

(Akongwubel et al.,2012) reached when adding 15 tons per hectare of poultry manure results in an increase in the growth rate and yield of yellow maize plants, such as plant height, number of leaves, dry weight of leaves and stems, and grain yield.

Table3.

The effect of mineral and organic fertilization and the mixing ratio between them on the growth and production of maize before harvest

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	AVARGE	sig
PL	64 ± 1.0000 g	99 ± 0.5774 f	109 ± 0.5774 e	120 ± 0.0000 d	133 ± 0.8819 c	156 ± 2.5166 b	161 ± 0.5714 a	120 ± 7.0052	.000
RL	25 ± 0.0000 e	32 ± 1.0000 d	36 ± 0.0000 c	40 ± 0.6667 b	42 ± 0.0000 b	47 ± 1.5275 a	48 ± 1.1547 a	38.66 ± 1.7325	.000
EL	14 ± 1.1547 d	17.33 ± 1.2019 c	18 ± 0.0000 c	12 ± 0.5774 b	22 ± 0.5774 b	25 ± 0.5774 a	27 ± 1.5275 a	20.619 ± 0.9843	.000
LA	4314 ± 173.442 e	4856 ± 122.344 d	5363 ± 199.755 c	5910 ± 5.773 b	6230 ± 125.033 b	6760 ± 60.000 a	6859.33 ± 257.320 a	5756.04 ± 204.562	.000
500 wg	101 ± 1.5275 e	120 ± 2.8868 d	130 ± 2.8868 c	142 ± 2.8868 b	148 ± 2.8868 b	160 ± 1.0000 a	163 ± 2.8868 a	137.71 ± 4.68	.000
Yield	4.500 ± 0.2887 e	6.700 ± 0.4619 d	7.890 ± 0.2281 c	9.023 ± 0.1811 b	9.030 ± 0.4362 b	10.467 ± 0.2963 a	11.133 ± 0.4096 a	8.39 ± 0.48	.000
B.yield	15 ± 1.1547 e	20 ± 0.5774 d	23 ± 1.7638 c	27 ± 1.1547 b	28 ± 0.0000 b	32.667 ± 0.6667 a	35.667 ± 0.8819 a	26 ± 1.51	.000

Table 4.

The effect of mineral and organic fertilization and the mixing ratio between them on Some properties of the soil after harvest

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	AVARGE	sig
O.M	1.023 ± 0.1135 e	1.1993 ± 0.1157 d	1.397 ± 0.2310 c	2.403 ± 0.0578 b	2.607 ± 0.0581 b	2.983 ± 0.0726 a	3.197 ± 0.1155 a	2.229 ±1.709	.000
PH	5.400 ± 0.1155 g	7.000 ±0.000 b	7.500 ± 0.1732 a	6.900 ± 0.1155 c	6.500 ± 0.577 d	6.300 ± 0.000 e	5.900 ± 0.1732 f	6.500 ± 0.1512	.000
EC	3.100 ±0.1000 f	3.500 ±0.0577 e	4.300 ± 0.057 a	4.100 ± 0.0577 b	3.900 ± 0.0577 C	3.700 ± 0.0577 d	2.700 ± 0.0577 g	3.614 ± 0.1186	.000

COCLUSIONS

All fertilization rates achieved a significant increase over the control in plant and soil properties.

There were no significant differences between the treatments of (T7) [O+100%MF] and (T6) [O + 75% MF] in root length, ear length, leaf area, weight of 500 grains, grain yield , biological yield and The content of organic matter in the soil as well no significant differences between the treatments of (T5) [organic fertilizer + 50% mineral fertilizer] and (T4) [organic fertilizer + 25% mineral fertilizer]

The mineral fertilization treatment alone outperformed the rest of the treatments for as for the degree of soil reaction(PH).

The treatment of mineral fertilization alone outperformed to organic fertilization alone in plant characteristics and soil properties except for the for the organic matter.

RECOMMENDATIONS

Through the findings of the research, we recommend the following

Avoid using mineral fertilizer was alone on any agricultural crop because it was harmful to the environment and humans

The possibility to use organic fertilizer alone to improve soil fertility because of its good role in providing nutrients, Provided that the manure is free from diseases, salts and weed seeds.

It is preferable to use the treatment (organic fertilization + 75% mineral), which achieved high results in maize plant growth and production.

Acknowledgments

The author thanks everyone who helped him in conducting the research..

Authors contributions

All persons who meet the criteria for authorship are listed as authors, and all acknowledged, including participation in the concept and design, data collection or processing, statistical analyses, and writing, review, and editing of the manuscript.

Conflict of interest

There is no conflict of interest Funding declaration This work did not receive any funding, the resources belonged to the author .

Funding Declaration

The author declare that they received no external funding for the research and preparation of this article

REFERENCES

- Altaweel, M . S.& Qusay A. Y . 2020. Study Of Gentic Parameters Using Half Diallel Cross In Maize. (Zea Mays L. Mesopotamia Journal of Agriculture Volume 48 Issue 4 Pagination 11 - 22 ISSN 1815-316X | 2224-9796 <https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/675993fcc7a957febdcf5e6>
- Al-Hilfy & Al-Temimi. (2017). Response of some Synthetic Maize Cultivars to Mineral , Organic and Bio Fertilizer.<https://doi.org/10.36103/ijas.v48i6%20B.266>
- A. M. Abd El-Gawad¹; A. S. M. Morsy. (2017) .Integrated Impact of Organic and Inorganic Fertilizers on Growth, Yield of Maize (Zea mays L.) and Soil Properties under Upper Egypt Conditions. Volume 8, Issue 11, November 2017, Page 1103-1112 [https:// DOI: 10.21608/jpp.2017.41121](https://doi.org/10.21608/jpp.2017.41121)
- Akongwubel, A.O.;U.B Ewa; A. Prince; O. Jude; A. Martins; O. Simon and O. Nicholasd .2012. Evaluation of agronomic performance of maize (Zea mays L.) Agricultural and Food Sciences International Journal of Agriculture and Forestry. DOI:10.5923/J.IJAF.20120204.01
- B. R. Al-Bandawy, H. H. Al-Alawy, H. (2018) .The Effect of Organic Fertilizer and Nitrogen Fertilizer on the Growth of Wheat Growing in Salt Soil', Journal volume & issue Vol. 7, no. 1. <https://jouagr.qu.edu.iq/>
- El-Sayed, H.K, Hegab S.A.M.,Youssef M, Abd AL-Majeed A.M .2021. Responses of maize (Zea mays L.) production and soil fertility to application controlled-release N-fertilizers and poultry manure Archives of Agriculture Sciences Journal 4(3): 186-203

https://aasj.journals.ekb.eg/article_231802_788e319d022c344e3eec3ad35e69e20b.pdf

Faisal Mahmood , Imran Khan, Umair Ashraf , Tanvir Shahzad, Sabir Hussain, Muhammed Shahid, Muhammad Abid , Sami Ullah.2017. Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. Journal of soil science and plant nutrition. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017005000002>

Gomaa, M.A., E.E. Kandil and Amara M.M. Ibrahim .2020. Response of maize to Organic Fertilization and Some Nano-Micronutrients. Egyptain Academic Journal of Biological Sciences 11(1) :13-21

Citation :Egypt. Acad. J. Biolog. Sci. (H. Botany) Vol.11(1)pp13-21(2020)

Hamdany, M. A. A.-O. R. I. A (2010) EFFECT OF ORGANIC FERTILIZERS ON K- AVAILABILITY FOR CORN PLANT Zea mays L.Rafidain Journal of Agriculture (ISSN 1815–316X) (Vol. 38, No <https://magrj.mosuljournals.com/index.php/magrj/article/view/439/439>

Hussien J.M. AL-Bayati , Waleed B.A.M.Allela , Nagham Salah Salim and Fathe F. R. Ibraheem.2021.Effect of The Combined Application of Organic and Mineral Fertilizers on The Growth and Yield of Broccoli (Brassica Oleracea Var.Italica) Fourth International Conference for Agricultural and Sustainability Sciences DOI 10.1088/1755-1315/910/1/012115

Jibreel Abbas Mohammad Al-Zaidy (2017) Effect of Potassium and Organic Fertilizer on Potassium Forms in Rhizosphere and Bulk soil and Growth of Corn Plant (zea mays L.) pp. 1–104. Available at: <http://qu.edu.iq/repository/wp-content/uploads/2018/02>.

Jing Chen, Liantao Liu, Zhanbiao Wang, Yongjiang Zhang, Shijia Song.Nitrogen Fertilization Increases Root Growth and Coordinates the Root–Shoot Relationship in Cotton. Plant Nutrition Volume 11 - 2020 | <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00880>

Jamal Deriak; Kamal Abdel-Kader. mpact of level and methods of application of two types of nitrogen fertilizers on growth and elemental contents of ZeamaysJ. Adv. Agric. Res. (Fac Agric .Saba Basha) Volume 20, Issue 2, June 2015.DOI: 10.21608/jalexu.2015.161522

Khalaf, M. Khalifah, Mazin F Said and Mothafer A Almosuly .2017. Effect of organic and chemical fertilization on growth and yield of corn (Zea mays L.) TiKrit Journal of Agricultural Sciences .1813-1646
https://uokerbala.edu.iq/wp-content/uploads/2023/01/Rp_Respones-of-maize-to-combinations-of-organic-fertilizer-and-Nano-potassium-spra.pdf

- Neni Marlina, , Nurbaiti Amir , R. Iin Siti Aminah , Gamal Abdul Nasser , Yani Purwanti , Laili Nisfuriah , and Asmawati. (2017) . Organic and Inorganic Fertilizers Application on NPK Uptak and Production of Sweet Corn in Inceptisol Soil of Lowland Swamp Area. MATEC Web of Conferences, 97, 1–11. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179701106>
https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/11/mateconf_etic2017_01106.pdf
- Roba , T. B. (2018). Review on: The Effect of Mixing Organic and Inorganic Fertilizer on Productivity and Soil Fertility. OALib, 05(06) <https://doi.org/10.4236/oalib.1104618>
- Saleh M.I. Al jobouri (2009) 'Influence of Different Levels and Application Dates of Nitrogen Fertilizer on Growth of Two Corn Varieties (Zea mays L.) Rafidain Journal of Agriculture. Volume 36, Issue 1, 2008 .<https://doi.org/10.33899/magrj.2008.26755>
- Saleh M Ibraheem,.(2013) INFLUENCE OF BIOFERTILIZER EM1, NITROGEN FERTILIZATION AND REMOVING THE LEAF UNDER EAR ON GROWTH TRAITS, YIELD AND ITS COMPONENTS IN CORN (Zea mays L) Vol. 41 No. 2 (2013)
<https://doi.org/10.33899/magrj.2013.81129>
- Wajid NASIM, Ashfaq AHMAD , Tasneem KHALIQ, Aftab WAJID, Muhammad Farooq Hussain MUNIS, Hassan Javaid CHAUDHRY, Muhammad Mudassar Maqbool Shakeel AHMAD and Hafiz Mohkum HAMMAD.(2012) . Effect of organic and inorganic fertilizer on maize hybrids under agro-environmental conditions of Faisalabad-Pakistan Vol.7(17), pp. 2713-2719 , May 2012 <https://doi.org/10.5897/AJAR11.2255>
- Yixing Zhang ,Jianheng Zhang .Jizong Zhan .Huibin Li,Chunjie Li .and Xinxin Wang (2024) Effects of the Application of Organic Fertilizers on the Yield, Quality, and Soil Properties of Open-Field Chinese Cabbage (Brassica rapa spp. pekinensis) in China: A Meta-Analysis. Journals Agronomy Volume 14 Issue 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112555>



COMPORTAMIENTO EPIDEMIOLÓGICO DEL ACCIDENTE OFÍDICO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ, COLOMBIA (2015-2019)

The epidemiological behaviour of ophidian accidents in the Department of Caquetá, Colombia (2015–2019)

Edgar Martínez Moyano¹

 <https://orcid.org/0000-0001-7608-2872>

 emartinez@dna.uba.ar

Mónica Yaneth Gómez Romero⁴

<https://orcid.org/0009-0001-5170-4409> 

mnkgomez10@hotmail.com 

Anyi Paola Gómez Martínez²

 <https://orcid.org/0009-0001-2275-0529>

 any.gomez@udla.edu.co

Cesar Augusto Zapata Ortiz⁵

<https://orcid.org/0000-0001-8618-8021> 

c.zapata@udla.edu.co 

Sonia Patricia Sánchez Ortiz³

 <https://orcid.org/0009-0008-4482-1608>

 so.sanchez@udla.edu.co

¹MSc. Ciencias Biológicas. Becario Doctoral Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-CONICET, Buenos Aires-Argentina.

⁴Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia.

²Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia.

⁵MVZ, Esp., MSc, Ph.D. Ciencias Naturales y Desarrollo Sustentable. Docente Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia.

³Maestría en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia.

RESUMEN

El accidente ofídico, se conoce como una lesión en los tejidos provocada por la mordedura de serpientes, convirtiéndose en una problemática en la salud pública a nivel departamental, nacional y mundial. Esta situación afecta especialmente a las zonas rurales, donde se desarrolla gran parte de la actividad agrícola, lo que evidencia una estrecha relación entre el riesgo de envene-

Cómo citar:

Fecha recepción: 30 de Abril de 2025 / Fecha Aprobación: 29 de Mayo 2025 / Fecha Publicación: 27 de Agosto 2025

Martínez Moyano, E., Gómez Martínez, A. P., Sánchez Ortiz, S. P., Gómez Romero, M. Y. & Zapata Ortiz, C. A.(2025). Comportamiento epidemiológico del accidente ofídico en el departamento del caquetá, colombia (2015-2019). Revista. FAGROPEC. Vol. 17(1), ppt 83-96. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v17n1a5>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

Rev. FAGROPEC Vol. 17 Num. 1, enero - junio de 2025

namiento y las labores del campo. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de esta investigación fue analizar los accidentes ofídicos en humanos entre los periodos de 2015 al 2019 en el departamento del Caquetá para fortalecer los ejercicios que impulsan la prevención en accidentes ofídicos, de acuerdo a las características epidemiológicas de la región. Se realizó un estudio de tipo descriptivo y retrospectivo por medio del análisis de la información recolectada sobre accidentes ofídicos en las bases datos del Sistema de Salud Pública (SIVIGILA) y la Secretaria de Salud del Departamento del Caquetá en los periodos del 2015 al 2019. Se registraron 1289 casos de accidentes ofídicos, prevaleciendo el sexo masculino 74,6%, con mayor incidencia en las edades de 21-40 años 39,9 %, en actividades agrícolas 53,7 %. El género *Bothrops* es el que mayor produce los accidentes ofídicos con un 73,8 %. Por medio de este estudio se ha identificado el estado epidemiológico de accidentes ofídicos en el departamento del Caquetá.

PALABRAS CLAVE:

accidente ofídico, epidemiología, serpientes, salud pública.

ABSTRACT

Snakebite envenomation is defined as tissue injury resulting from snakebites, representing a significant public health issue at departmental, national, and global levels. This condition disproportionately affects rural areas, where a substantial portion of agricultural activity takes place, highlighting a strong correlation between envenomation risk and agricultural labor. Given this context, the objective of this study was to analyze snakebite incidents in humans between 2015 and 2019 in the Department of Caquetá, with the aim of strengthening preventive strategies tailored to the region's epidemiological characteristics. A descriptive and retrospective study was conducted through the analysis of data on snakebite envenomation recorded in the public health surveillance system (SIVIGILA) and the Health Department of Caquetá during the 2015–2019 period. A total of 1,289 snakebite cases were reported, with a predominance in males (74.6%), the highest incidence in the 21–40-year age group (39.9%), and a strong association with agricultural activities (53.7%). The *Bothrops* genus was responsible for the majority of envenomation cases, accounting for 73.8% of the total. This study provides a comprehensive overview of the epidemiological status of snakebite envenomation in the Department of Caquetá, contributing valuable insights for the development and implementation of region-specific preventive interventions.

KEYWORDS:

snake bite accident, epidemiology, snakes, public health

Introducción

El accidente ofídico es una lesión en los tejidos causada principalmente por la mordedura de serpientes que poseen veneno, provocando daños fisiopatológicos y de riesgo en la persona; convirtiéndose en una problemática para la salud pública a nivel Mundial (Shrestha et al., 2023). Esta situación demanda una atención especial, teniendo en cuenta el respectivo procedimiento y la situación epidemiológica en la que ocurre la ofidiotoxicosis (Gopal et al., 2023). En este sentido, la epidemiología ha catalogado al accidente ofídico como un factor de interés en la salud pública global, promoviendo a que se realicen diferentes estudios para encontrar antídotos eficaces que eviten discapacidades y mortalidades en las víctimas (Youngman, 2025). Es así como en el año 2017 el Grupo Asesor Técnico y Estratégico para las Enfermedades Tropicales Desatendidas de la Organización Mundial de la Salud, lo vinculó en las Enfermedades Tropicales Desatendidas (Sreekumar et al., 2025a). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los casos por mordedura de serpiente ocurren mayormente en países tropicales y subtropicales (Azuara Antonio et al., 2024). Aunque se desconoce la cifra exacta de accidentes ofídicos a nivel mundial, se estima que cada año se presentan aproximadamente 5,400.000 casos, reportados principalmente en zonas rurales de África, Asia, América Latina y (Dayasiri et al., 2025). En el caso de Latinoamérica, se calcula un aproximado de 150,000 casos ofidiotoxicosis, de los cuales se han reportado alrededor de 5.000 muertes (Monsalva et al., 2018).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, Colombia es un país que tiene las condiciones geográficas y climáticas propicias para albergar una alta biodiversidad de ofidios, además, es susceptible sociocultural y demográficamente para este tipo de agresiones, lo que favorece el aumento de la morbilidad, las complicaciones clínicas y la mortalidad de personas y animales por mordeduras de ofidios (Maguiña-Vargas et al., 2020). A nivel nacional se han registrado más de 300 especies de serpientes, aunque solo el 17 % son venenosas, encontrándose distribuidas en distintas partes del territorio nacional. Las regiones con mayor porcentaje de casos por cada 100.000 habitantes, y a su vez con mayor diversidad de serpientes, son: Orinoquía (41%), Amazonas (39%), Costa Atlántica (8,1%), Occidente (5,8%) y Oriente (3,6%) (Erazo-Martínez et al., 2024).

En el territorio colombiano, se encuentran tres familias de gran importancia para la vigilancia en la salud pública; la familia Viperidae, conformada por víboras verdaderas, géneros *Bothrops*, *Crotalus*, *Lachesis*, *Porthidium* y *Bothriechis*. A su vez, las especies de esta familia son las causantes de la mayoría de los accidentes ofídicos (Pereañez et al., 2023), cuyos cuadros clínicos se caracterizan por distintos síndromes hemorrágicos de edema y marcando daño tisular. La segunda familia es la Elapidae, en la que se encuentra el género *Micrurus* del que hacen parte las corales, las cuales son las que causan un cuadro clínico que se caracteriza por un síndrome neurológico conocido como paralizante. El envenenamiento puede generar daño multiorgánico que llega a causar hasta la muerte o algunas secuelas irreversibles y discapacidad asociada. La tercera familia se conoce como la Colubridae, llamadas “culebras” o “cazadoras”, en donde existe especies no venenosas, así como otras que poseen veneno; sin embargo, en estas últimas, su com-

posición y mecanismo de acción no representan un riesgo médico significativo para los seres humanos (Sevilla-Sánchez et al., 2021a). El sistema de vigilancia en salud pública de Colombia reporta un promedio anual de 4.500 casos de accidentes ofídicos y alrededor de 32 muertes asociadas. Aunque las regiones Caribe y Andina concentran el mayor número de casos notificados, las incidencias más elevadas se registran en la Amazonía, la Orinoquía y el Chocó.

Por su ubicación en la región amazónica, el departamento del Caquetá presenta una alta vulnerabilidad a los accidentes ofídicos. A ello se suma la práctica frecuente de actividades agrícolas y ganaderas, siendo esta la principal labor que dinamiza la economía regional (Martínez y Zapata, 2023) y así, lo que convierte a la mordedura de serpiente en un riesgo laboral común, especialmente en zonas rurales. Esta situación se ve agravada por el limitado conocimiento médico en toxicología en algunas áreas del departamento (Pucca et al., 2020; Sevilla-Sánchez et al., 2021b).

Es por ello que, en el Caquetá, según los lineamientos nacionales se realiza una vigilancia a los eventos de interés en salud pública con la problemática en el accidente ofídico, con el fin de mostrar información útil, confiable y sistemática; por medio de un análisis oportuno que nos lleve a la planificación como medidas de intervención, prevención y control en las distintas poblaciones susceptibles. Asimismo, se hace de vital importancia para el campo científico, salubrista y la organización social, realizar un análisis retrospectivo en accidentes ofídicos que causaron daños en los humanos, entre los años 2015 al 2019, utilizando variables como el sexo, edad, lugar geográfico del accidente, género de serpiente responsable y sintomatología de la misma.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en el departamento del Caquetá, localizado en la parte sur-occidental de Colombia y noreste de la región amazónica, con una latitud al sur de 00°42'17", al norte de 02°04'13" con longitudes al oeste de 74°18'39" y 79°19'35", representando así un 7.79% del territorio nacional (García et al., 2002). El Caquetá cuenta con una extensión de 88.965 km², convirtiéndose en el tercer departamento con mayor extensión del país, con una precipitación media de 3600mm, la mayor intensidad se divide en los meses de abril a julio y una temperatura promedia anual de 25.1°C, una humedad relativa mínima de 79,5% y máxima de 88,6%, exponiendo que el 20.2% del territorio que compone el territorio, localizado en el piedemonte amazónico con alturas entre 400– 1000 m.s.n.m.

Población y muestra

Estudio de tipo descriptivo y retrospectivo por medio del análisis de información recopilada sobre accidentes ofídicos de las bases datos del Sistema de Salud Pública (SIVIGILA), en donde se tuvo en cuenta boletines con información semanal, así como informes mensuales y anuales (Coto Freund et al., 2022a). También se recopilaron informes epidemiológicos sobre accidentes ofídicos provenientes del Instituto Departamental de Salud del Caquetá, correspondientes a los 16 municipios que conforman el departamento, durante

el periodo comprendido entre 2015 y 2019. Como criterio de inclusión, se consideraron todos los casos de accidentes ofídicos ocurridos en el departamento de Caquetá, tanto en pacientes nacionales como internacionales, siempre cuando que hayan sido reportados por las entidades de salud (Anderson et al., 2017). No se incluyeron los casos atendidos en el Caquetá que correspondieran a eventos ocurridos en otros departamentos; sin embargo, sí se consideraron aquellos que, aunque hayan sido reportados por entidades de salud de otras regiones, ocurrieron dentro del departamento del Caquetá (Alvarado, 2022).

Las variables analizadas en el estudio se seleccionaron con base en los campos establecidos en la ficha de notificación para accidentes ofídicos (Mateus Fontecha et al., 2024; Walteros et al., 2017). No obstante, debido a la heterogeneidad en el diligenciamiento de dichas fichas, no todas las variables contenían información completa en todos los casos. Por esta razón, en los resultados se presentan únicamente aquellas variables que contaban con datos suficientes para el análisis.

- 1. Condiciones sociodemográficas del paciente:** Fecha del accidente (Semana, mes y año) en la que ocurrió el accidente epidemiológico, edad del paciente y el sexo del mismo, lugar de residencia (Municipio), zona, tipo de afiliación al Sistema General de Seguridad Social en Salud, pertenencia étnica.
- 2. Caracterización del accidente:** Acciones ejecutadas al instante del accidente, que tipo de atención recibió inicialmente, información de la serpiente (género, especie y nombre común si no evidencia el género).
- 3. Notificación del accidente:** Clasificación inicial en la que cataloga el caso (Leve, moderado, grave), signos locales (colmillos o dientes, sangrado, ampolla o vejiga, cardenal de piel); expresiones locales (dolor, ardor, alteración de la sensibilidad, parestesia); efectos locales (infección, necrosis, amputación); complicaciones sistémicas (hemorragia sistémica, debilidad en los músculos respiratorios, insuficiencia renal, cardíaca) y gravedad del accidente (tipo de envenenamiento, mínimo, controlado o severo) , internamiento hospitalario y estado final del paciente.
- 4. Atención medica del accidente:** Uso del medicamento antiofídico (suero), tiempo, clases de suero utilizado, cantidad de suero usado, permanencia del tratamiento con el medicamento antiofídico.
- 5. Otro tipo de atención medica del accidente:** Tratamiento quirúrgico.

El análisis de los datos incluyó variables tanto cuantitativas como cualitativas. Las variables cuantitativas comprendieron la fecha del accidente, edad del paciente y tiempo de permanencia en tratamiento, mientras que las variables cualitativas incluyeron el sexo del paciente, tipo de atención recibida, gravedad del caso, tipo de accidente, localización de la mordedura, síntomas presentados y uso o no de suero antiofídico. Las variables cualitativas se analizaron mediante frecuencias absolutas, relativas y porcentajes.

El procesamiento inicial de los datos se realizó en Microsoft Excel, y la representación gráfica se elaboró utilizando el software InfoStat, versión profesional 2020 (Di Rienzo et al., 2020). Para evaluar asociaciones entre variables cualitativas, se aplicó la prueba de Chi-cuadrado, también mediante InfoStat. La incidencia anual se estimó como el cociente entre el número de casos registrados y la población proyectada para cada año entre 2015 y 2019, con base en las proyecciones demográficas del DANE derivadas del censo de 2005 para el departamento del Caquetá.

Adicionalmente, se integró información complementaria proveniente de registros en las fichas de notificación y de bases de datos externas como el Museo de Historia Natural PSO-CZ, la Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB Colombia) (Sistema de Información sobre Biodiversidad, 2018; GBIF, 2018). Esta información permitió georreferenciar los géneros y especies de interés clínico relacionados con los casos reportados.

Resultados

Accidentes ofídicos a hombres y mujeres en el departamento del Caquetá

La ocurrencia de accidentes ofídicos notificados para el Caquetá supera los 1289 casos según el Sistema de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA), distribuidos en los años: 2015 (248), 2016 (318), 2017 (264), 2018 (266) y 2019 (191), los años con mayor número de incidencia 2016 y 2018, y con menos incidencia 2015, 2017 y 2019. En cuanto al género, los hombres predominan con 74,6% (n=960), frente a las mujeres con 25,4% (n=327), la media de edad de los pacientes afectados fue 29 años; con un rango de edad que varía desde 1 (mínimo) hasta 100 años (máximo). El mayor número de casos está entre las edades de 21 a 40 con un 38,2% (491) y el menor número de casos está entre las edades de 80 a 100 con 2,4 % (31), en relación a las demás edades. En cuanto la pertenecía étnica ocurrieron el 2, 4% (31) en Indígenas, 0,5% (6) Negro, Mulato, Afrocolombiano, 0,2% (3) Ron, Gitano y en otros el 96,9% (1247). Los demás resultados de las variables sociodemográficas están en la Tabla 1.

Tabla 1.

Resultados de las características generales del accidente ofídico en la población del Caquetá de los periodos 2015-2019.

	Variables	Casos	Porcentaje (%)
Género	Hombres	960	74,6
	Mujeres	327	25,4
	Total de casos	1287	100
Areas	Centro Poblado	80	6,2
	Rural disperso	1022	79,4
	Urbano	185	14,4
	Total de casos	1287	100

Pertenencia étnica	Indígena	31	2,4
	Negro, Mulato, Afrocolombiano	6	0,5
	Rom, Gitano	3	0,2
	Otro	1247	96,9
	Total de casos	1287	100
Edades	0-20	282	21,9
	21-40	491	38,2
	41-60	338	26,3
	61-80	145	11,3
	81-100	31	2,4
	Total de casos	1287	100
Años	2015	248	19,3
	2016	318	24,7
	2017	264	20,5
	2018	266	20,7
	2019	191	14,8
	Total casos	1287	100
Municipios	Albania	27	2,1
	Belén de los Andaquies	37	2,9
	Cartagena del Chaira	197	15,5
	Curillo	34	2,7
	Doncello	44	3,5
	Florencia	93	7,3
	Milán	40	3,1
	Montañita	61	4,8
	Morelia	17	1,3
	Paujil	57	4,5
	Puerto Rico	91	7,1
	San José del Fragua	54	4,2
	San Vicente del Caguan	385	30,2
	Solano	61	4,8
	Solita	45	3,5
	Valparaiso	32	2,5
	Total casos	1275	100
Géneros	<i>Bothrops</i>	951	73,8
	<i>Crotalus</i>	24	1,9
	<i>Micrurus</i>	17	1,3
	<i>Lachesis</i>	4	0,3
	<i>otro</i>	40	3,1
	<i>Colubrido</i>	8	0,6
	Sin indentificar	245	19,0
	Total casos	1289	100

Actividad en el momento del accidente	Domestica	13	31,7
	Agricultura	22	53,7
	Recreacion	4	9,8
	Acuatica	2	4,9
	Total de casos	41	100

El género de serpiente que ha provocado mayor número de accidentes de acuerdo con los registros es el genero *Bothrops* con el 73,8% (951). Los géneros *Crotalus*, *Micrurus* y *Lachesis*, son los que representan el 1,9%, 1,3% y 0,3% respectivamente (Tabla 1).

Tabla 2.

Registros de la accidentabilidad ofídica por sexo en el departamento del Caquetá en los periodos del 2015-2019 en rangos de edad.

Datos observados						
Hombres	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	Total
	187	383	262	114	14	960
mujeres	95	108	76	31	17	327
Total	282	491	338	145	31	1287
Datos esperados para χ^2						
Hombres	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	Total
	210,3497	366,2471	252,1212	108,1585	23,12354	960
mujeres	71,6503	124,7529	85,8788	36,8415	7,87646	327
Total	282	491	338	145	31	1287
Porcentajes por filas						
Hombres	21-40	41-60	61-80	81-100	Total	
	39,9	27,3	11,9	1,5	80,5	
mujeres	33	23,2	9,5	5,2	70,9	
Total	72,9	50,5	21,4	6,7	151,5	

De acuerdo a la prueba χ^2 , se obtuvo como resultado que los hombres de 21-40 con un 39,9% (383) son los que más sufren accidentes ofídicos, teniendo una diferencia estadísticamente significativa (Tabla 2).

El municipio con mayores casos es San Vicente del Caguán, notificado al Sivigila con 30,2% (385) pacientes afectados, le sigue Cartagena del Chaira con un 15,5% (197) y Florencia con 7,3% (93). Se registran la cantidad de casos provenientes en todos los municipios (Tabla 3).

Tabla 3.

Casos notificados y Tasa de Incidencia de accidente ofídico por cada 100.000 personas en los periodos del 2015 al 2019 en los municipios del Caquetá.

Municipios	2015				2016				2017				2018				2019			
	casos	%	Población	Tasa	Casos	%	Población	Tasa	Casos	%	Población	Tasa	Casos	%	Población	Tasa	Casos	%	Población	Tasa
Albania	1	0,42	6430	15,6	6	1,90	6432	93,3	12	4,55	6435	188,5	5	1,88	6434	77,7	3	1,57	6434	46,6
Belén de los Andaquies	6	2,51	11541	52,0	8	2,54	11601	69,0	2	0,76	11663	17,1	15	5,64	11721	128,0	6	3,14	11721	51,2
Cartagena del Chaira	32	13,39	33391	95,8	55	17,46	33908	162,2	44	16,67	34429	127,8	36	13,53	34953	103,0	30	15,71	34953	85,8
Curillo	11	4,60	11663	94,2	10	3,17	11737	85,2	4	1,52	11789	33,9	3	1,13	11829	25,4	6	3,14	11829	50,7
Doncello	9	3,77	22137	40,7	8	2,54	22183	36,1	4	1,52	22227	18,0	18	6,77	22267	80,8	5	2,62	22267	22,5
Florencia	25	10,46	172341	14,5	18	5,71	175395	10,3	23	8,71	178449	12,9	16	6,02	181514	8,8	11	5,76	181493	6,1
Milán	7	2,93	11745	59,6	9	2,86	11774	76,4	9	3,41	11802	76,3	6	2,26	11829	50,7	9	4,71	11829	76,1
Montañita	11	4,60	23620	46,6	8	2,54	23789	33,6	19	7,20	23962	79,3	13	4,89	24140	53,9	10	5,24	24140	41,4
Morelia	4	1,67	3813	104,9	4	1,27	3836	104,3	4	1,52	3863	103,5	5	1,88	3892	128,5	0	0,00	3892	0,0
Pauji	11	4,60	20224	54,4	11	3,49	20528	53,6	12	4,55	20832	57,6	13	4,89	21148	61,5	10	5,24	21148	47,3
Puerto Rico	12	5,02	33347	36,0	26	8,25	33447	77,7	21	7,95	33543	62,6	20	7,52	33623	59,5	12	6,28	33623	35,7
San José del Fragua	14	5,86	14921	93,8	14	4,44	15029	93,2	7	2,65	15125	46,3	13	4,89	15223	85,4	6	3,14	15223	39,4
San Vicente del Caguan	71	29,71	67994	104,4	103	32,70	69214	148,8	73	27,65	70453	103,6	71	26,09	71704	99,0	67	36,08	71704	93,4
Solano	7	2,93	23663	29,6	15	4,76	24131	62,2	13	4,92	24603	52,8	17	6,39	25074	67,8	9	4,71	25074	35,9
Solita	13	5,44	9140	142,2	13	4,13	9143	142,2	6	2,27	9149	65,6	11	4,14	9139	120,4	2	1,05	9139	21,9
Valparaiso	5	2,09	11629	43,0	7	2,22	11687	59,9	11	4,17	11731	93,8	4	1,50	11772	34,0	5	2,62	11772	42,5
Total	239		477619		315		472147		264		478324		266		484490		191		496241	

Tabla 4.

Manifestaciones por accidente ofídico Bothrops en la población del Caquetá en los periodos del 2015 al 2019.

Accidente ofídico por <i>Bothrops</i>			
		Total	Porcentaje %
Manifestaciones locales	Dolor local	820	63,4
	Edema	303	23,4
	Eritema	170	13,1
	Total de casos	1293	100
Manifestaciones Sistemática	Naúseas	230	29,3
	Vómito	77	9,8
	Celulitis	334	42,5
	Absceso	109	13,9
	Necrosis de tejidos	35	4,5
	Total	785	100

Síntomas y signo de mayor porcentaje de presencia por accidentes ofídicos en el Departamento del Caquetá (Tabla 5)

El dolor local 63,4 % es la manifestación local que mayormente presentes los pacientes, las náuseas 29,3% es la manifestación que predomina sistemáticamente (**Tabla 5**).

Clasificación del accidente: En el 56% (450) de los casos de accidente se clasificó como leve, mientras que 39,5% (317) moderado y solo el 4,5% (36) fue clasificado como grave. (**Tabla 6**)

Tabla 6.

Clasificación de la severidad de accidentes ofídicos en el Departamento del Caquetá en los periodos del 2015-2019.

Severidad del accidente	Total	Porcentaje
Leve	450	56,0
Moderado	317	39,5
Grave	36	4,5
Total de pacientes	803	

Discusión

Los accidentes ofídicos, representan un problema de salud pública a nivel mundial, especialmente en áreas rurales y tropicales. Su repercusión ha sido reconocida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), como una enfermedad tropical desatendida. Esta categorización se debe, a la poca prioridad que se le ha dado en las políticas de salud, a pesar de su alta incidencia y consecuencias clínicas, sociales y económicas (Sreekumar et al., 2025b).

Colombia, por ser un territorio con alta diversidad ecosistémica, se encuentra entre los países con mayor incidencia de casos de accidentes ofídicos en América Latina, ocupando el tercer puesto regional (Coto Freund et al., 2022b). Esta investigación enfocada en el departamento del Caquetá, evidenció que el 94% de los casos registrados resultaron en zonas rurales. La exposición a actividades agropecuarias, siendo estas catalogada como la principal labor en la región (Martínez – Moyano et al., 2024) y la limitada capacidad de respuesta del sistema de salud en estas zonas parecen ser factores determinantes (García J. et al., 2017).

Los municipios y veredas que se encuentran ubicadas a altitudes que están por debajo de 1.200 metros sobre el nivel del mar. En cuanto a los agentes causales, el 73,8% de los accidentes fueron atribuidos a serpientes del género *Bothrops*, siendo este género el principal agresor ofídico en Colombia, resultados que coincide por lo reportado en los informes epidemiológicos el Instituto Nacional de Salud para el año 2020, en donde se destaca la amplia distribución de este género y su adaptación a diversos hábitats (Ghosh et al., 2018)..

La caracterización epidemiológico reveló una mayor afectación en hombres con 74,6% casos frente a mujeres 25,4%, de acuerdo a lo mencionado anteriormente, estadísticamente afectan primordialmente a los hombres que tienen una edad de 21-40 años con un 39,9 % según el análisis estadístico de Chi². Resultados similares a lo que han sido observados en otros estudios regionales, como en el departamento de Nariño, donde los hombres representaron el 70,27% de los casos (Gómez Cardona et al., 2017). De igual, en la caracterización realizada en el hospital de la Orinoquia se evidencio que el sexo masculino prevalece con 70.1% en casos de accidentes ofídicos (Mateus Fontecha et al., 2024). La incidencia masculina podría estar relacionada con el tipo de actividades laborales realizadas, particularmente agrícolas, las cuales incrementan el riesgo de exposición

(Gordo et al., 2016).

En cuanto a las manifestaciones clínicas, el síntoma local más frecuente fue el dolor (63,4%), mientras que entre las complicaciones sistémicas predomina las complicaciones de la celulitis, con una frecuencia del 42,5%, las dos asociadas a mordeduras de las especies del género *Bothrops*. En lo que se refiere a severidad que sufren los pacientes, el 56% de los casos fueron clasificados como leves, hallazgo que coincide con las tendencias globales y los datos expuestos por el Instituto Nacional de Salud según sus protocolos de vigilancia para el año 2022.

Conclusiones

La alta incidencia de accidentes ofídicos registrados en el departamento del Caquetá entre los años 2015 al 2019 demuestra que esta problemática es un desafío relevante en salud pública, especialmente en zonas rurales con acceso a servicios médicos de manera limitada. La mayoría de los afectados son hombres jóvenes entre los 21 y 40 años, resultado que se relaciona con las actividades agrícolas como la que predomina y expone a la población a riesgo.

Las especies del género *Bothrops*, son el principal agente etiológico responsable de más de 70% de los casos, siendo los municipios de Cartegena del Chairá y San Vicente con mayor incidencia. A pesar del alto número de casos, la mayoría se clasificaron como leves, lo cual indica una atención oportuna en algunos casos.

Este estudio demuestra la importancia de impulsar y fortalecer la prevención epidemiológica a través de distintas políticas que ayuden a mitigar el impacto en las comunidades del Departamento. Por medio de las instituciones encargadas de la prestación de servicios en la salud, las cuales deben garantizar todo el protocolo de seguridad a las víctimas de accidente ofídico, ofreciendo una buena atención, prestando un buen servicio en cuanto las decisiones hospitalarias del paciente y dando una buena administración de suero antiofídico o medicamentos recomendados contra esta lesión.

Agradecimientos

Los autores expresan su especial agradecimiento a la Gobernación del Departamento del Caquetá (Colombia), y en particular a la Secretaría de Salud Departamental, por su valiosa colaboración, el suministro de información y el apoyo brindado durante el desarrollo de este proceso investigativo.

Bibliografía

- Azuara Antonio, O., Ortiz, M. I., Mateos Mauricio, F. A., Madrigal Anaya, J. del C., & Hernández-Ramírez, L. (2024). Fisiopatología de Accidente Ofídico por *Bothrops* (Bothrópico). Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de La Salud Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo, 12(24), 40–46. <https://doi.org/10.29057/icsa.v12i24.12330>
- Chippaux, J. P. (2008). Estimating the global burden of snakebite can help to improve management. In PLoS Medicine (Vol. 5, Issue 11, pp. 1538–1539). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0050221>
- Coto Freund, F., Murillo Barquero, F., & Rocha Monge, S. M. (2022). Accidente ofídico. Revista Medica Sinergia, 7(2), e756. <https://doi.org/10.31434/rms.v7i2.756>
- Dayasiri, K., Gunarathna, G., Gawarammana, I., & Jayamanne, S. (2025). Preventive practices and parental attitudes towards snakebites in children in snakebite hotspots of rural Sri Lanka. BMJ Paediatrics Open, 9(1), e003543. <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2025-003543>
- Erazo-Martínez, V., Posso-Osorio, I., Ruiz-Ordoñez, I., Castro-Herrera, F., Castaño-Valencia, S., Delgado-Mora, T., & Cañas, C. A. (2024). Viperidae snake envenomation from a highly complex hospital in southwestern Colombia. Heliyon, 10(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26768>
- García J., A. F., Bedoya H., R. G., Montoya G., M. A., Rodríguez, C. A., & Zuluaga, A. F. (2017). Caracterización de los casos de accidente ofídico atendidos por el Centro de Información y Estudio de Medicamentos y Tóxicos (CIEMTO) de Medellín, Colombia durante 2016. Revista de La Universidad Industrial de Santander. Salud, 49(3), 450–457. <https://doi.org/10.18273/revsal.v49n3-2017003>
- Gómez Cardona, J. P., Gómez Cabal, C., & Gómez Cabal, M. L. (2017). Sueros antiofídicos en Colombia: análisis de la producción, abastecimiento y recomendaciones para el mejoramiento de la red de producción. Biosalud, 16(2), 96–116. <https://doi.org/10.17151/biosa.2017.16.2.9>
- Gopal, G., Muralidar, S., Prakash, D., Kamalakkannan, A., Indhuprakash, S. T., Thirumalai, D., & Ambi, S. V. (2023). The concept of Big Four: Road map from snakebite epidemiology to antivenom efficacy. In International Journal of Biological Macromolecules (Vol. 242). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124771>
- Gordo, L. C. C., Orozco, B. A., Goenaga, G. O., Ortiz, Y. M. B., & Otálvaro, J. P. (2016). Epidemiological behavior of ophidean accidents in the department of Magdalena, Colombia (2009-2013). Revista Ciencias de La Salud, 14(2), 161–177. <https://doi.org/10.12804/revsalud14.02.2016.02>

- Instituto Nacional de Salud. (2014). Informe final del evento accidente ofídico. Colombia, año 2014. Dirección de Vigilancia y Análisis del Riesgo en Salud Pública. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/informe-final-evento-ofidico-2014.pdf>
- Instituto Nacional de Salud. (2017). Accidente ofídico. Ministerio de Salud y Protección Social. https://www.ins.gov.co/buscador/Lineamientos/PRO%20Accidente%20ofidico_.pdf
- Instituto Nacional de Salud. (2018). Informe de evento accidente ofídico, Colombia, 2018 Subdirección de Prevención, Vigilancia y Control en Salud Pública; Dirección de Vigilancia y Análisis del Riesgo en Salud Pública. https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/ACCIDENTE%20OF%C3%8DDICO_2018.pdf
- Instituto Nacional de Salud. (2020). Informe de evento accidente ofídico, Colombia, 2020. Subdirección de Prevención, Vigilancia y Control en Salud Pública; Dirección de Vigilancia y Análisis del Riesgo en Salud Pública. https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/ACCIDENTE%20OF%C3%8DDICO_2020.pdf
- Instituto Nacional de Salud. (2022). Lineamientos nacionales para la vigilancia 2022. Subdirección de Prevención, Vigilancia y Control en Salud Pública. <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/lineamientos-nacionales-2022.pdf>
- Maguiña-Vargas, C., Chinchá-Lino, O., Vilcapoma-Balbín, P., & Morante, D. (2020). Actualización en clínica y terapia de mordedura de serpiente (ofidismo). *Revista Médica Herediana*, 31(1), 48–55. <https://doi.org/10.20453/rmh.v31i1.3729>
- Martínez Moyano, E., Zapata Ortiz, C. A. (2023). Determinación de la prevalencia de la *Brucella abortus* y *Mycobacterium bovis* en el Centro de Investigaciones Amazónicas Cimaz-Macagual” César Augusto Estrada González” Florencia, Colombia. *Revista Facultad De Ciencias Agropecuarias - FAGROPEC*, 15 (2), 32 - 43. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v15n2a3>
- Martínez-Moyano, E., Hernández-Aya, D. B., Hernández-Guerrero, K. A., Arias-Betancourt, J. J., Zapata-Ortíz, C. A., & Rojas-Peña, O. R. (2024). Evaluación de los medios de vida sostenibles y la aplicación de los capitales de la comunidad: Estudio de caso de familias ganaderas de El Doncello, Caquetá-Colombia. *Investigación y Desarrollo*, 32(2), 185-209. <https://doi.org/10.14482/indes.32.02.986.765>
- Mateus Fontecha, A. M., Rubiano Sánchez, C. J., Ríos Tinoco, I. P., Vacca Carvajal, B. F., Vargas Rodríguez, L. J., García Agudelo, L., & Noguera Fonseca, J. (2024). Caracterización de los pacientes atendidos con accidente ofídico en el Hospital Regional de la Orinoquía. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 33(3), 283–287. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1355>

- Monosalva, C., Zuleta, L., Castañeda, O., (2018). Estudio descriptivo del accidente ofídico, Casanare-Colombia, 2012-2014. Artículo de investigación científica y tecnológica / Original. <https://revistas.unab.edu.co/index.php/medunab/article/download/2672/2858/9909>
- Montealegre, G., & Lozada, J. (2017). Cambio conceptual en estudiantes del departamento del Tolima frente al conocimiento biológico de serpientes, prevención y primeros auxilios ante el accidente ofídico, a partir de una propuesta de educación ambiental enfocada al aprendizaje basado en problemas. Ibagué : Universidad del Tolima, 2017. <https://repository.ut.edu.co/entities/publication/151355ea-dce6-4364-88b2-925e3a4ce79e>
- Pereañez, J. A., Preciado, L. M., & Rey-Suárez, P. (2023). Knowledge about Snake Venoms and Toxins from Colombia: A Systematic Review. In *Toxins* (Vol. 15, Issue 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/toxins15110658>
- Pucca, M. B., Knudsen, C., Oliveira, I. S., Rimbault, C., Cerni, F. A., Wen, F. H., Sachett, J., Sartim, M. A., Laustsen, A. H., & Monteiro, W. M. (2020). Current Knowledge on Snake Dry Bites. In *Toxins* (Vol. 12, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/toxins12110668>
- Sevilla-Sánchez, M. J., Ayerbe-González, S., & Bolaños-Bolaños, E. (2021). Biomedical and epidemiological aspects of the accident for snakebite in the department of Cauca, Colombia (2009 - 2018). *Biomedica*, 41(2), 1–62 <https://doi.org/10.7705/biomedica.5853>
- Shrestha, G., Dhungana, R., Neupane, A., Pokharel, A., & Rajbhandari, S. (2023). An ischemic complication of a snake bite: Case report. *International Journal of Surgery Case Reports*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2023.108962>
- Sreekumar, A., Abraham, S. V., Rajeev, P. C., Chanchal A. B, V., Suseel, A., Mathew, D., George, C. R., & Palatty, B. U. (2025). Educating healthcare workers in snakebite management: A study to determine the effectiveness of the snake bite life support workshop. *Toxicon*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2025.108235>
- Youngman, N. J. (2025). Snake Venom: Toxicology and Associated Countermeasures. In *Toxins* (Vol. 17, Issue 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/toxins17050237>



REPORTE DE CASO: PLACENTITIS EN YEGUA CRIOLLA COLOMBIANA. DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO

Case report: Placentitis in a Colombian Creole mare. Diagnosis and treatment

Sebastián Danilo Galindo Osorio¹

 <https://orcid.org/0009-0005-9349-4322>

 se.galindo@udla.edu.co

Andrés Felipe Valencia Hernández³

 <https://orcid.org/0000-0002-5063-9158> 

 a.valencia@udla.edu.co 

Yessica Andrea Noriega Vargas²

 <https://orcid.org/0000-0003-2029-8847>

 y.noriega@udla.edu.co

¹MVZ. Coordinador clínica de grandes animales, Universidad de la Amazonia. Florencia Caquetá. Grupo de investigación GIPSA.

³MV, MSc. Docente Medicina de Grandes Animales, Universidad de la Amazonia. Florencia Caquetá. Grupo de investigación GIPSA.

²MVZ. Esp, MSc. Coordinadora laboratorio clínico veterinario, Universidad de la Amazonia. Florencia Caquetá. Grupo de investigación GIPSA.

RESUMEN

La placentitis es una de las principales causas de aborto, parto prematuro y nacimiento de potros débiles o sépticos en yeguas gestantes, representando un reto diagnóstico y terapéutico. Se define como la inflamación de la placenta, generalmente de origen infeccioso, que compromete la viabilidad fetal. Los agentes etiológicos más comunes son bacterias ascendentes como *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus*, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*. Este reporte describe el caso clínico de una yegua criolla colombiana de 7 años, gestante de aproximadamente 7 meses, remitida a la clínica de grandes animales de la Universidad de la Amazonia con signos de dolor abdominal agudo, decúbitos recurrentes, sudoración, edema ventral, pulso digital positivo y galactorrea. Se realizaron exámenes clínicos y complementarios, incluyendo hemograma (con hallazgos sugestivos de anemia) y ecografía transrectal, que reveló engrosamiento placentario compatible con placentitis ascendente. La ecografía abdominal evidenció movimientos fetales activos y fetocardia normal. El tratamiento incluyó antibióticos de amplio espectro, antiin-

Cómo citar:

Fecha recepción: 15 de Mayo de 2025 / Fecha Aprobación: 30 de Agosto 2025 / Fecha Publicación: 30 de Junio 2025

Galindo Osorio, S. D., Noriega Vargas, Y. A. & Valencia Hernández, A. F. A(2025). *Reporte de caso: placentitis en yegua criolla colombiana. Diagnóstico y tratamiento*. Revista. FAGROPEC. Vol. 17(1), ppt 97-107. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v17n1a6>



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons (CC BY 4.0).

Rev. FAGROPEC Vol. 17 Num. 1, enero - junio de 2025

flamatorios no esteroides y vasodilatadores, junto con monitoreo ecográfico frecuente. La yegua presentó mejoría clínica progresiva, estabilización del grosor placentario y, finalmente, parió a término un potro viable. Este caso destaca la importancia de incluir la placentitis en el diagnóstico diferencial de yeguas gestantes con signos abdominales agudos. El diagnóstico temprano mediante ecografía y la instauración rápida de un tratamiento adecuado son fundamentales para preservar la gestación. Se resalta la eficacia del manejo combinado y la necesidad de un monitoreo continuo en el último tercio de gestación para prevenir complicaciones reproductivas.

PALABRAS CLAVE:

Ecografía transrectal, Aborto equino, Monitoreo gestacional, Terapia combinada, Medicina reproductiva

ABSTRACT

Placentitis is one of the main causes of abortion, premature birth, and the delivery of weak or septic foals in pregnant mares, representing both a diagnostic and therapeutic challenge. It is defined as inflammation of the placenta, usually of infectious origin, that compromises fetal viability. The most common etiological agents are ascending bacteria such as *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus*, *Escherichia coli*, and *Pseudomonas aeruginosa*. This report describes the clinical case of a 7-year-old Colombian Creole mare, approximately 7 months pregnant, referred to the Large Animal Clinic of the University of Amazonia showing signs of acute abdominal pain, recurrent recumbency, sweating, ventral edema, positive digital pulse, and galactorrhea. Clinical and complementary examinations were performed, including a complete blood count (suggestive of anemia) and transrectal ultrasound, which revealed placental thickening consistent with ascending placentitis. Abdominal ultrasound confirmed active fetal movements and a normal fetal heart rate. Treatment included broad-spectrum antibiotics, non-steroidal anti-inflammatory drugs, and vasodilators, along with frequent ultrasound monitoring. The mare showed progressive clinical improvement, placental thickness stabilization, and eventually delivered a viable foal at term. This case highlights the importance of including placentitis as a differential diagnosis in pregnant mares with acute abdominal signs. Early diagnosis via ultrasonography and the prompt initiation of appropriate treatment are essential for maintaining pregnancy. The combined therapeutic approach proved effective, and continuous monitoring during the final third of gestation is emphasized to prevent reproductive complications.

KEYWORDS:

Transrectal ultrasonography, Equine abortion, Gestational monitoring, Combined therapy, Reproductive medicine.

INTRODUCCIÓN

La placentitis es una patología reproductiva de origen infeccioso que se caracteriza por la inflamación de la placenta. Representa una de las principales causas de aborto, parto prematuro y aumento en la morbilidad y mortalidad neonatal en yeguas, especialmente durante el último tercio de la gestación, generando así pérdidas significativas en las explotaciones equinas (Tibary y Pearson, 2015; Canisso et al., 2020; Canisso et al., 2015). Esta enfermedad se presenta en aproximadamente el 3 al 5 % de las yeguas gestantes y se estima que es responsable de hasta el 60 % de los casos de aborto, nacimiento prematuro y mortalidad neonatal en este período (Canisso, 2014; Canisso et al., 2015). Existen diferentes formas de presentación, incluyendo la placentitis ascendente, mucoide focal, difusa o hematógena, y multifocal, siendo la forma ascendente la de mayor prevalencia, asociada a cerca del 80 % de los abortos vinculados a esta condición (LeBlanc, 2010; Canisso et al., 2015; Troedsson & Miller, 2016). Aunque también puede desarrollarse por diseminación hematógena o infecciones focales, la vía ascendente es la más común, especialmente en yeguas con incompetencia cervical o alteraciones anatómicas vulvares (LeBlanc, 2010).

Los signos clínicos pueden ser inespecíficos, lo que dificulta un diagnóstico temprano. Las manifestaciones más comunes incluyen descarga vulvar, desarrollo mamario prematuro, inquietud o signos similares a los del síndrome cólico, como se observó en el presente caso. La ecografía transrectal es una herramienta diagnóstica fundamental para la detección precoz, permitiendo valorar el grosor placentario, acumulación de fluido entre el corion alantoideo y el endometrio, y la viabilidad fetal (El-Sheikh Ali et al., 2020).

Los agentes etiológicos más comunes incluyen bacterias, siendo menos frecuentes los hongos. Entre los patógenos bacterianos se destacan los estreptococos β -hemolíticos (*Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus* y *Streptococcus equisimilis*), *Crossiella equi*, *Amycolatopsis* spp., *Leptospira*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa*, siendo los estreptococos β -hemolíticos los más frecuentemente aislados (Canisso et al., 2020; Ruiz-Jiménez et al., 2018).

Diversos estudios han profundizado en la fisiopatología y presentación clínica de la placentitis en yeguas, destacando la importancia de un diagnóstico temprano para preservar la viabilidad fetal. Ruiz-Jiménez et al. (2018) documentaron un caso clínico en Colombia en el que se identificó *Escherichia coli* como agente causal, resaltando la utilidad del análisis histopatológico y microbiológico en el diagnóstico definitivo. Por su parte, Murase et al. (2015) reportaron un caso de placentitis fúngica, subrayando la relevancia de los perfiles hormonales y la ecografía como herramientas complementarias para la evaluación del estado gestacional. Estas investigaciones coinciden en que la presentación clínica puede ser inespecífica, lo que refuerza la necesidad de un monitoreo constante en yeguas gestantes, especialmente en el último tercio de la gestación.

Desde una perspectiva más amplia, Pozor (2015) realizó una revisión clínica sobre las anomalías placentarias en equinos, incluyendo imágenes ecográficas que permi-

ten diferenciar entre placentitis ascendente y otras formas menos comunes. Además, El-Sheikh Ali et al. (2020) llevaron a cabo un análisis transcriptómico de placentas afectadas, identificando biomarcadores y rutas moleculares asociadas con la inflamación y el compromiso fetal. Estos hallazgos abren nuevas posibilidades para el desarrollo de pruebas diagnósticas más sensibles. Finalmente, Canisso et al. (2015) ofrecieron una revisión integral que abarca desde la etiología hasta el tratamiento, consolidando el enfoque terapéutico basado en antibióticos, antiinflamatorios y agentes que mejoran la perfusión uterina. Estas contribuciones fortalecen el conocimiento actual sobre la placentitis equina y respaldan la importancia de un abordaje clínico multidisciplinario.

El tratamiento debe instaurarse de forma inmediata, combinando antibióticos sistémicos, antiinflamatorios, agentes que mejoran la perfusión uterina y, en algunos casos, progestágenos para mantener la gestación (LeBlanc, 2010). El presente reporte describe el abordaje clínico y terapéutico de una yegua gestante con signos de dolor abdominal agudo, en la que se diagnosticó placentitis mediante estudios clínicos y paraclínicos, resaltando la importancia del diagnóstico diferencial y la intervención oportuna en el desenlace favorable del caso.

METODOLOGIA

Ingresó a las instalaciones de la clínica para grandes animales de la universidad de la Amazonia, en la ciudad de Florencia-Caquetá. Un paciente hembra de 6 años, raza criollo colombiano de aproximadamente 370 kilogramos de peso la cual presentaba una gestación de 7 meses según reporte de monta cuyo motivo de consulta fue la presentación de signo clínicos de dolor abdominal agudo.

Hallazgos clínicos

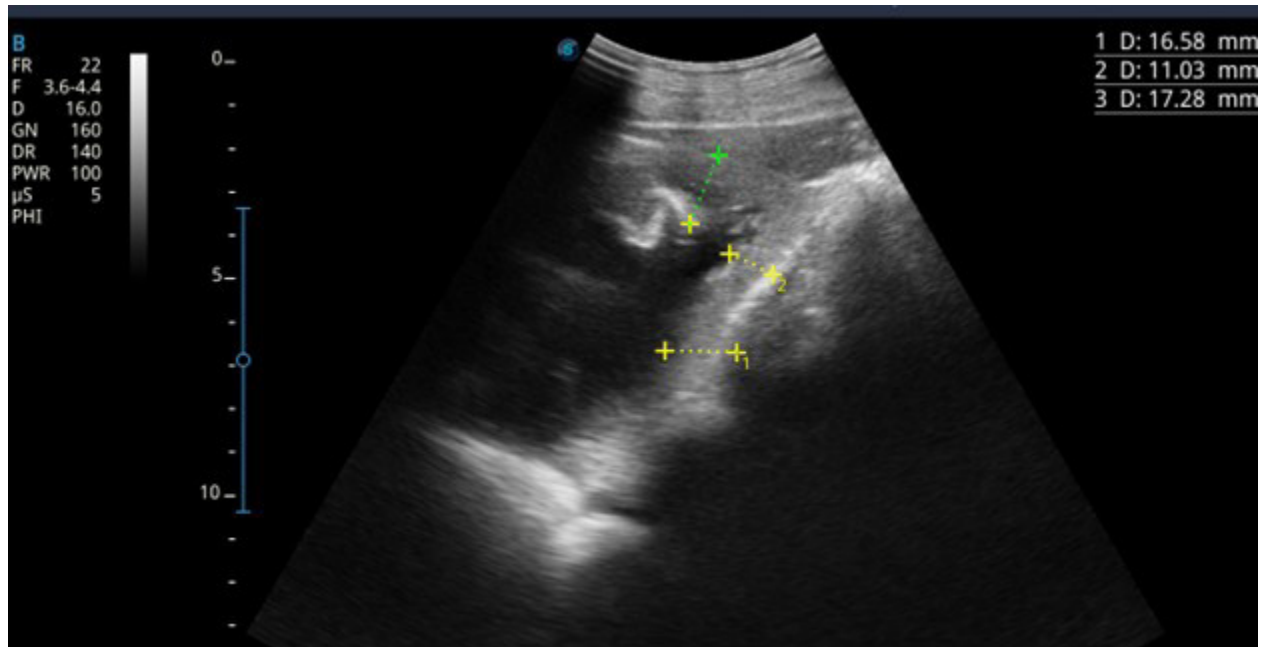
En el examen clínico se encontró frecuencia cardíaca (FC) 56 L/min, frecuencia respiratoria (FR) 34 r/min, temperatura rectal de 38.4°C, tiempo de llenado capilar 2 segundos y mucosas rosadas con halo tóxico y pulso digital positivo. En el sistema tegumentario se encontró aumento de tamaño de la glándula mamaria, producción de leche y edema ventral a nivel abdominal. Así mismo, signos de molestia abdominal leve y relinchos constantes. A la palpación transrectal se evidenció gestación de 220 días aproximadamente, feto activo y responsivo a estímulos de presión leve. El resto de los aparatos y sistemas se consideraron normales.

Hallazgos de exámenes complementarios

Al examen ultrasonográfico transabdominal se utilizó sonda convex (3,6 – 4,4 MHz) y se encontró la estrella cervical con un espesor de 16 milímetros (Figura 1), fetocardia en 80 latidos por minuto y en el cuadro hemático se encontraron como datos relevantes hematocrito 32 (37-49%), hemoglobina 10,4 (12,5 – 17 g/dl) y neutrófilos en 5,9 (0.6 – 5,4x10⁹L) (Tabla 1).

Figura 1.

medidas placentarias del paciente al inicio del caso (16,58x11,03x17,28 mm)



Tratamiento instaurado

Teniendo en cuenta la presentación clínica y los hallazgos de los exámenes complementarios, se procedió a dar tratamiento para la placentitis de la siguiente manera:

- Pentoxifilina 10mg/kg vía oral cada ocho horas durante 10 días.
- Ácido acetil salicílico 6mg/kg vía oral cada 48 horas por tres aplicaciones.
- Cipionato de estradiol 10 mg dosis total cada 3 días por vía intramuscular por tres aplicaciones.
- Enrofloxacina 7,5 mg/kg vía oral, cada 24 horas por 5 días.
- Flunixin meglumine 1,1 mg/kg cada 24 horas por 5 días seguidos excepto los días que se daba ácido acetil salicílico

En el transcurso del tratamiento, la yegua empezó a mostrar mejoría en sus síntomas y disminución en el grosor placentario y una vez se encontraba en las medidas acordes al tiempo gestacional (figura 2) y posteriormente fue dada de alta

Figura 2.

medidas placentarias del paciente 8 días de iniciado el tratamiento (9,86 x 8,59 mm)

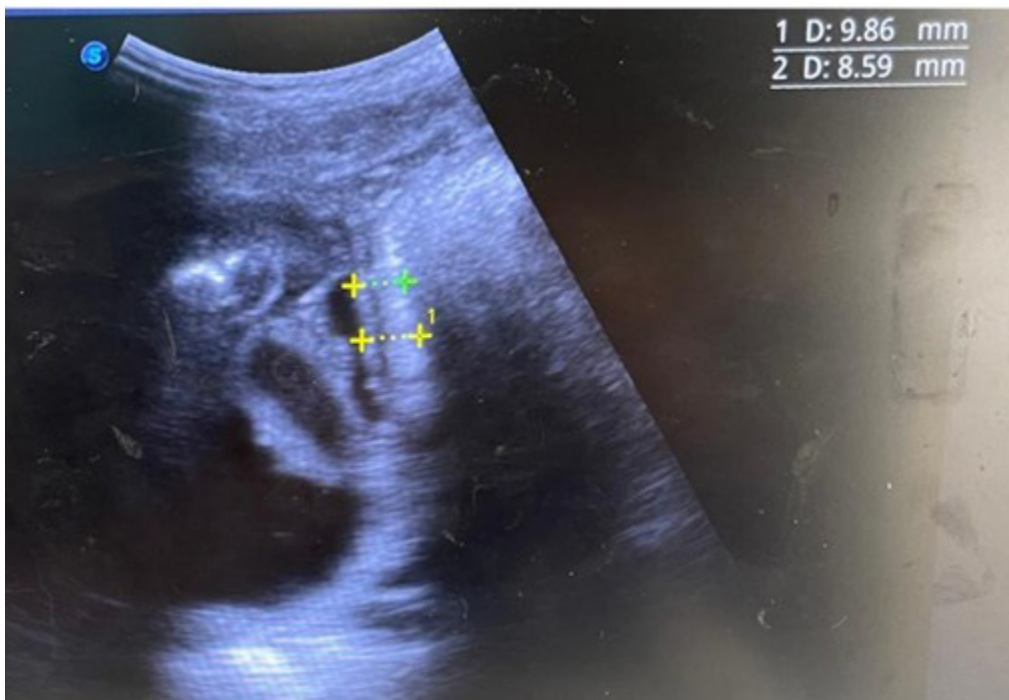


Figura 3.

medidas placentarias del paciente al finalizar el caso (7,9x11,7x8,6 mm)



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del presente manejo clínico fueron satisfactorios por cuanto la gestación se mantuvo, se logró disminuir el grosor placentario determinado por seguimiento ecográfico constante (figura 3) y llegó la preñez a término (figura 4). La utilización de una combinación entre antibióticos, antiinflamatorios no esteroideos y vasodilatadores como la pentoxifilina, el cipionato de estradiol y el ácido acetil salicílico lograron el objetivo de controlar el proceso infeccioso y mejoraron la irrigación placentaria. Lo anterior sugiere que este caso clínico era generado por bacterias.

Álvarez (2021), reporta un caso clínico de una yegua con placentitis con hallazgos similares a nivel de las constantes fisiológicas al examen clínico que el del presente caso, excepto por la coloración de las membranas mucosas y la sintomatología de cólico. Así mismo, durante el desarrollo del caso clínico se presentó aborto lo cual va en contravía de lo presentado en este paciente por cuanto aquí se logró instaurar un tratamiento de forma rápida y se logró mantener la gestación.

Ruiz-Jiménez et al. (2018), reportaron un caso de placentitis bacteriana en una yegua Silla Francesa de 10 años, que presentó signos como lactancia prematura y engrosamiento placentario al igual que este caso. El diagnóstico se confirmó mediante hallazgos histopatológicos y tinción de Gram, y se discutió el tratamiento instaurado para controlar la infección y prevenir complicaciones. En dicho caso, también se presentó aborto lo cual va en contravía en lo reportado en este caso.

Sielhorst et al (2023), concluyeron que la detección y tratamiento tempranos de la placentitis pueden salvar gestaciones de alto riesgo en más del 90% de los casos, y las yeguas muestran una fertilidad posterior satisfactoria lo cual pudo haber coadyuvado a la recuperación satisfactoria del presente caso ya que una vez se detectó el grosor placentario, se inicio con el tratamiento.

Canisso et al. (2015) también documentan múltiples casos clínicos en los que se aplicó un enfoque terapéutico combinado, incluyendo antibióticos de amplio espectro, antiinflamatorios no esteroideos, vasodilatadores y monitoreo ecográfico intensivo para preservar la gestación al igual que en el presente caso.

La pentoxifilina tiene propiedades antiinflamatorias y reológicas, esto genera disminución de la viscosidad sanguínea al aumentar la flexibilidad de los glóbulos rojos, además tiene la capacidad de modular el proceso inflamatorio, lo que podría mejorar la oxigenación entre la unión del útero y la placenta (Bailey et al., 2010).

El ácido acetilsalicílico se ha usado como antiinflamatorio e inmunomodulador en yeguas con placentitis, esto con el fin de mejorar el flujo sanguíneo entre placenta y útero, su uso se ha propuesto para utilizar en alternancia con la pentoxifilina, ya que esta no aumenta el flujo uterino de la arteria uterina en yeguas viejas con endometritis y preñadas estos dos medicamentos en las dosis adecuadas actúan garantizando una mejor perfusión

y flujo sanguíneo (Ruiz et al., 2018). Así mismo, Iranzo (2020), en charla orientada por Susana Franco plantea que el cipionato de estradiol mejora la irrigación de la placenta al aumentar el flujo sanguíneo uterino.

Saavedra (2009), indica que el flunixin meglumine se usa con el fin de disminuir la formación de mediadores inflamatorios o reducir sus efectos ya que eliminan citokinas y prostaglandinas del líquido amniótico desvaneciendo el cuadro inflamatorio. Ruiz et al (2018), también utilizaron el flunixin meglumine en su reporte de caso.

Ellerbrock et al (2019) y Ellerbrock et al (2020), hicieron estudios de difusión antibiótica en placenta y útero utilizando enrofloxacin y no encontraron presencia de lesiones macro y microscópicas en los potros resultantes de esas gestaciones lo cual sugiere su uso en este tipo de lesiones con un margen de seguridad. Para este caso clínico, posterior a su utilización se evidenció disminución del grosor de la placenta y cuatro meses después la presentación de un potro sin alteraciones locomotoras (Figura 4).

Figura 4.
resultado de la gestación del caso clínico.



CONCLUSIÓN:

Se sugiere la utilización de enrofloxacin como una opción terapéutica segura en los casos de placentitis en yeguas acompañado de vasodilatadores como la pentoxifilina, el ácido acetil salicílico y el cipionato de estradiol y antiinflamatorios no esteroideos.

LITERATURA CITADA

- Tibary, A. & Pearson, L. (2015). Pregnancy loss in mares. *Journal Spermova*, 5(2). Recuperado de https://spermova.pe/site2/files/Revistas/Rev.%20No.5Vol.2/1Tibary_2015_A-2.pdf
- Frederico Canisso, Igor, "Studies on Equine Placentitis" (2014). Theses and Dissertations--Veterinary Science. 21. https://uknowledge.uky.edu/gluck_etds/21
- Iranzo, J. A. [Jose Adrian Iranzo]. (2020, abril 7). CHARLAS EQUINOS, Evaluación de gestaciones de alto riesgo, Dra. Susana Franco. 2da parte [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=z-MUGXTgd9M>
- Bailey, C., Macpherson, M., Pozor, M., Troedsson, M., Benson, S., Giguere, S. & Vickroya, T. (2010). Treatment efficacy of trimethoprim sulfamethoxazole, pentoxifylline and altrenogest in experimentally induced equine placentitis. *Journal of Equine Veterinary Science*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0093691X1000138X?via%3Dihub>
- Ruiz, J., Perez, J., Espinosa, J., Valencia, A. & Jaramillo, D. (2018). Placentitis Bacterial as a cause of abortion in mares: Case Report. *Journal of Orinoquia*, 22(2). Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092018000200236
- Ellerbrock, R. E., Canisso, I. F., Roady, P. J., Rothrock, L. T., Zhong, L., Wilkins, P., Dirikolu, L., Lima, F. S., & Honoroto, J. (2019). Diffusion of enrofloxacin to pregnancy fluids and effects on fetal cartilage after intravenous administration to late pregnant mares. *Equine Veterinary Journal*, 51(4), 544–551. <https://doi.org/10.1111/evj.13044>
- Ellerbrock, R. E., Canisso, I. F., Roady, P. J., Litsky, A., Durgam, S., Podico, G., Li, Z., & Lima, F. S. (2020). Administration of enrofloxacin during late pregnancy failed to induce lesions in the resulting newborn foals. *Equine Veterinary Journal*, 52(1), 136–143. <https://doi.org/10.1111/evj.13131>
- Saavedra PD. 2009. Estudio Ecográfico del Grosor de la Unión Uteroplacentaria en Yeguas Fina Sangre de Carrera Menores y Mayores de 14 Años, Clínicamente Sanas, a Partir de los 240 Días de Gestación. Tesis (Título Médico Veterinario). Santiago, Chile, Universidad Mayor. 50-62 p
- Canisso, I. F., Ball, B. A., Erol, E., Squires, E. L., & Troedsson, M. H. T. (2015). Comprehensive review on equine placentitis. *American Association of Equine Practitioners*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/308097559>
- Troedsson, M. H. T., & Miller, L. M. J. (2016). Equine placentitis. *Pferdeheilkunde*, 32(1), 49–53. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/296716009>

- El-Sheikh Ali, H., et al. (2020). Transcriptomic analysis of equine placenta reveals key regulators and pathways involved in ascending placentitis. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/346868708>
- Murase, H., et al. (2015). A clinical case of equine fungal placentitis with reference to hormone profiles and ultrasonography. *Journal of Equine Veterinary Science*, 35(5), 421–426.
- Pozor, M. (2015). Clinical review on equine placental abnormalities. *Equine Veterinary Journal*, 47(3), 345–352.
- LeBlanc, M. M. (2010). Ascending placentitis in the mare: An update. *Journal of Equine Veterinary Science*, 30(5), 275–282.
- Canisso, I. F. (2014). Equine placentitis: Pathogenesis and treatment. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 30(2), 351–364.
- Álvarez Arias, L. (2021). Trabajo de grado, modalidad práctica empresarial enfocado a caso clínico: placentitis bacteriana en yegua criolla colombiana realizado en campo [Trabajo de grado, Corporación Universitaria Unilasallista]. Repositorio Institucional Unilasallista. <https://repository.unilasallista.edu.co/server/api/core/bitstreams/b428e3fc-d2a8-49a2-bfc9-704d695d3fdd/content>
- Sielhorst Jutta, Koether Karoline, Miguel Blanco, Vicioso Rocio, Volkmann Nina, Kemper Nicole, Mestre Amanda, Harald Sieme. (2023). Placentitis occurrence, treatments, pregnancy outcome and subsequent fertility on a large warmblood stud farm: A retrospective field study. *Journal of Equine Veterinary Science*. Vol 125.

Tabla 1
cuadro hemático del paciente

	Resultado	Valores de referencia
HEMATOCRITO	0,32	0,37-0,49 L/L
HEMOGLOBINA	10,4	12,5 – 17 g/dl
ERITROCITOS	7,04	6,0-10,0 x10 ¹² /L
VCM	45,5	36-55 fl
MCH	14,7	13-19 pg
CMCH	330	330-360 g/L
PLAQUETAS	200	100-350 x10 ⁹ /L
PROTEINAS TOTALES	6,2	5,7-7,9 g/dl
LEUCOCITOS	7,6	4,0 – 12,0 x10 ⁹ /L
NEUTROFILOS	5,9	0,60 – 5,4 x10 ⁹ /L
LINFOCITOS	1,7	0,08 – 8,40 x10 ⁹ /L
MONOCITOS	0,076	0,08 – 2,40 x10 ⁹ /L
NEUTROFILOS	77	20 – 70 %

LINFOCITOS	22	20 – 80 %
MONOCITOS	1	2 – 8 %
EOSINOFILOS %	0	2 – 20 %
CAYADOS %	0	0 – 2 %
BASOFILOS %	0	0 – 2 %