

Impact of the use of fertilizers on agricultural soils. A systematic review of the scientific literature

Geraldinee Florimar Cisneros Jayo¹ and Nicole Darlin Nonones Vásquez¹

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Av. Tingo María 1122, Cercado de Lima, Perú, geraldinecisnerosjayo24@gmail.com, darlinnonones@gmail.com

Abstract– The increase in productivity and quality of food in recent decades has brought about the intensive use of fertilizers in agriculture, causing the alteration of soil quality and causing its long-term loss if it is not adequately controlled. The main objective of this review was to collect information that samples the impact at the physical, chemical and biological level of the use of fertilizers on agricultural soils. The applied methodology was based on the PRISMA method and took into account the eligibility criteria, sources of information, search strategies, study selection process, data extraction process, data list, risk of bias assessment and synthesis methods. The results revealed both positive and negative effects on the structure and composition of soils after the application of different types of fertilizers, evidencing notable changes in properties such as water retention, nutrient availability, pH, biomass, structural stability, population density, bacterial, among others. Furthermore, it is evident that organic fertilizers provide better results and did not change the quality of the soils unlike inorganic ones. This article highlights the need for more research in this area and provides relevant information on the impact of fertilizers on agricultural soils. In conclusion, its effect on soil quality varies depending on the type, quantity and duration of exposure. This compilation study shows how various authors agree that fertilizers affect the physical, chemical and biological levels of agricultural soils.

Keywords– Soil degradation, Impact of Fertilizers, Soil Alteration, Soil Infertility.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Impacto del uso de fertilizantes en los suelos agrícolas. Una revisión sistemática de la literatura científica

Resumen. *El aumento de productividad y calidad de los alimentos en las últimas décadas ha traído consigo el uso intensivo de fertilizantes en la agricultura, causando la alteración de la calidad de los suelos y provocando su pérdida a largo plazo si es que no es controlado adecuadamente. El objetivo principal de esta revisión fue recopilar información que muestre el impacto a nivel físico, químico y biológico del uso de los fertilizantes en los suelos agrícolas. La metodología aplicada fue basada en el método PRISMA y se tuvieron en cuenta los criterios de elegibilidad, fuentes de Información, estrategias de búsqueda, proceso de selección de los estudios, proceso de extracción de datos, lista de los datos, evaluación de riesgo de sesgo y métodos de síntesis. Los resultados revelaron tanto efectos positivos como negativos en la estructura y composición de los suelos tras la aplicación de diferentes tipos de fertilizante, evidenciando cambios notables en propiedades como la retención de agua, disponibilidad de nutrientes, pH, biomasa, estabilidad estructural, densidad de población bacteriana, entre otros. Además, se evidenció que los fertilizantes orgánicos aportaban mejores resultados y no cambiaban la calidad de los suelos a diferencia de los inorgánicos. Este artículo recalca la necesidad de más investigaciones en este ámbito y se proporciona información relevante sobre el impacto de los fertilizantes en los suelos agrícolas. En conclusión, su efecto en la calidad del suelo varía según el tipo, cantidad y duración de exposición. Este estudio de recopilación evidenció cómo diversos autores coinciden en que los fertilizantes afectan los niveles físicos, químicos y biológicos de los suelos agrícolas.*

Palabras clave-- *Degradación de Suelos, Impacto de Fertilizantes, Alteración de Suelos, Infertilidad de Suelos.*

I. INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola ha sido un pilar fundamental desde los inicios de la civilización, evolucionando constantemente de acuerdo con las necesidades de subsistencia humana. Es así como surgieron las primeras prácticas agrícolas, las cuales se caracterizaron por su enfoque extractivo y en el proceso se perfeccionó empíricamente la selección vegetal [1]. Posteriormente, se desarrollaron prácticas agrónomas más sofisticadas como la selección genética vegetal y estudios de la fertilidad natural de los suelos, con un enfoque genético geográfico para pronosticar sus cambios bajo la influencia antropogénica [2]. Es así como parte de la evolución, se ha recurrido al uso de diferentes tipos de fertilizantes, los cuales han generado una serie de impactos ambientales y agronómicos. Por tanto, la presente revisión nos permitirá recopilar información sobre el impacto físico, químico y biológico de los fertilizantes en los suelos agrícolas.

En el contexto actual, los fertilizantes han desempeñado un papel importante en la búsqueda de un máximo potencial agrícola, especialmente, en términos de producción. Además, se destaca que se deben evaluar diferentes factores que influyen en el rendimiento agrícola, tal como el tipo de fertilizantes, el cultivo específico, el clima, la disponibilidad de recursos naturales y el uso de tecnologías de riego, entre otros aspectos relevantes [3].

De acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica, la fertilidad del suelo se refiere a la capacidad del terreno para respaldar el desarrollo de las plantas y aumentar la producción de cultivos. Esta capacidad puede mejorarse utilizando fertilizantes orgánicos y minerales que enriquezcan el suelo, minimizando así el impacto ambiental y aumentando la fertilidad del suelo [4].

Los fertilizantes se pueden clasificar según varios aspectos. El primero es por su origen: minerales o inorgánicos, orgánicos, biofertilizantes y bioestimulantes. Los minerales son sintéticos y se obtienen a partir de recursos naturales como fosfatos, nitratos y sulfatos, mientras que los orgánicos provienen de materia natural como estiércol, compost, gallinaza o guano. El segundo más común es por su composición: NPK (nitrogenados, fosfatados y potásicos) y fertilizantes simples, que proporcionan un solo tipo de nutriente específico, como la urea (nitrógeno), superfosfatos (fósforo) o cloruro de potasio (potasio). También se puede clasificar de acuerdo con su tipo de aplicación, ya sea radicular, foliar o fertirrigación [5].

Para lograr el rendimiento óptimo, es esencial la adición de fertilizantes que contengan nitrógeno, dado que este elemento impacta directamente en la calidad del suelo agrícola. Algunos de los beneficios del suministro de nitrógeno al suelo es la mejora del proceso fotosintético, producción de biomasa y área foliar. Asimismo, el nitrógeno es considerado como el tercer factor más importante, luego de la temperatura y el agua [6].

El tratamiento más usado de fertilización nitrogenada es el químico, por Urea, ya que tiene beneficios a corto plazo por su alto contenido de nitrógeno (46%) que se puede adicionar antes de la siembra y ayuda al metabolismo de la planta [6]. Sin embargo, es altamente volatilizable, lo que se traduce en pérdidas de hasta 50% en su rendimiento por problemas de lixiviación. Es ahí donde se evalúa el riego estratégico de los cultivos, aplicaciones desmedidas, entre otros [7].

Según datos de la FAO, el nivel de degradación de los suelos es causado por la deforestación, el sobrepastoreo y la

agricultura. Algunos países que poseen degradaciones severas de suelos por la agricultura incluyen a Perú (1%), Chile (5%), Brasil (4%), México (18%), China (10%) y Egipto (2%). Respecto a ello, se recalca que esta vulnerabilidad está asociada a la deficiencia de nutrientes en el suelo [8]. Es así que, actualmente el sector agrario se muestra como un agente perjudicial para la salud de los suelos, puesto que se ha generado un aumento de la dependencia a los fertilizantes químicos. Dichos fertilizantes son altamente volátiles y se pierden rápidamente por procesos de lixiviación, causando eutrofización y, por tanto, contaminación ambiental [9]. Además, influye en los procesos erosivos, reducción de nutrientes, pérdida de carbono orgánico y sellado de suelo [10]. Así como, ocasiona la alteración del pH del suelo y la microfauna por la aplicación inadecuada de sustancias nitrogenadas [11]. Este impacto puede manifestarse tras evaluar variables como su aspecto físico, químico y biológico. La alteración de alguno de estos parámetros provocaría que la estructura normal de un suelo se modifique, lo cual en algunos casos lo llevaría a mejorar y aumentar su rendimiento o la degradación y pérdida de fertilidad.

La degradación de los suelos tiene múltiples causas, tanto naturales, como la tasa de erosión hídrica, eólica, riqueza de especies nativas y la compactación del suelo, así como por las distintas actividades antropogénicas que han contribuido al deterioro de la calidad de los suelos. José Graziano da Silva, director general de la organización, destaca que las prácticas agrícolas y el proceso intensivo por producir alimentos, caracterizado por el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas, han causado un daño significativo al suelo. Este daño, se extiende por la cadena alimentaria, donde no solo el suelo pierde sus propiedades naturales, sino que la planta y el cultivo se ven contaminados y por consecuencia, se vuelve un posible riesgo para la salud humana. Es así como, el impacto de los fertilizantes en las tierras agrícolas es sumamente relevante ya que el aumento demográfico mundial ha llevado a exigir a la industria alimentaria el incremento del rendimiento y productividad agrícola en busca de cubrir esta necesidad y reducir la hambruna en el mundo. Ante esta situación se menciona que la industria alimentaria y agrícola, especialmente, en países desarrollados aumentará su producción en un 25% debido a la demanda de ciertos alimentos [12].

Frente a esta problemática, la aplicación de fertilizantes orgánicos sería una opción óptima y sostenible para el medio ambiente. En diferentes estudios se ha podido evidenciar que la inserción de fertilizantes orgánicos mejoraba la fertilidad del suelo y mostraba un balance positivo en la disponibilidad de N, P y K en el suelo [13]. No obstante, es importante contemplar que los precios de los abonos orgánicos son mayores comparados con los químicos. Esto se justifica por la producción, manipulación postcosecha, la oferta limitada y la cadena de la comercialización y distribución. [14]. Además, la efectividad de los abonos orgánicos requiere de un monitoreo constante, ya que su respuesta puede variar dependiendo el tipo de cultivo y sus necesidades específicas de nutrientes. En

contraste a los fertilizantes químicos, se requiere aplicar grandes cantidades para obtener el mismo resultado, lo cual es una razón por la que no se masifica [15].

Adicionalmente, se menciona que los biofertilizantes son una buena opción debido a los beneficios en cuanto al rendimiento de producción, ya que los microorganismos base se ven involucrados en la nutrición del suelo y, por consiguiente, planta [16]. Complementando la idea anterior se recalca que el uso eficiente de los biofertilizantes es una estrategia sostenible que ayudará a reducir la contaminación por el uso de fertilizantes sintéticos [17]. Cabe resaltar, que para el uso de este tratamiento se deben de considerar aspectos como la correcta selección de especies efectivas, potenciar la interacción entre planta - microorganismo. Además de considerar investigaciones sobre formulaciones mejoradas, entre otros.

Tal como mencionamos anteriormente, los fertilizantes pueden provocar una degradación de suelos en sus tres niveles de evaluación. Sin embargo, estudios demuestran que algunos fertilizantes no dañan su estructura sino la modifican positivamente, logrando beneficios en los suelos, de manera sostenible.

Por ello, se desea saber cuál es el impacto del uso de fertilizantes en los suelos agrícolas. Este propósito se inclina a desarrollarse en dos posiciones, la primera es conocer si los diferentes fertilizantes podrían generar un cambio positivo en la relación producción y fortalecimiento del suelo o de verificar que los fertilizantes generan cambios negativos en relación con la estructura del suelo. Esta pregunta nos invita a seguir en la búsqueda de una respuesta a través de las diferentes fuentes científicas, con el fin de conocer el impacto de los fertilizantes en el ecosistema del suelo, siendo uno de los más complejos e importantes.

En cuanto al aporte teórico, la presente revisión sistemática busca poner en evidencia los estudios sobre los diferentes tipos de fertilizantes y su impacto en los suelos agrícolas, así como las variables utilizadas para evaluar qué tan degradado está un suelo por la inserción de un nuevo elemento a su composición. Igualmente, en cuanto a los fertilizantes se pretende reconocer las diferencias de cada uno (orgánicos y químicos) los cuales de acuerdo con su composición podrían actuar de forma negativa o positiva en los suelos agrícolas. La información reunida servirá para investigadores y académicos que deseen sustentar temas relacionados al impacto de los fertilizantes en los suelos agrícolas, así como referencia para estudios explicativos que pongan a prueba las distintas variables asociadas a un impacto del suelo que serían en niveles físicos, químicos y biológicos.

II. METODOLOGÍA

A. *Criterio de elegibilidad*

Para la presente revisión sistemática se realizaron exhaustivas búsquedas en la literatura científica tomando

como foco principal aquellas investigaciones sobre el impacto de los fertilizantes en los suelos agrícolas a nivel global. Se examinaron diversas fuentes de artículos científicos que satisficieran los requisitos de ser originales y proporcionar información precisa. Asimismo, se tuvo en cuenta la antigüedad de los artículos limitándose al período comprendido entre 2012 al 2023. Se tomaron estudios en español, inglés y portugués. En relación con los criterios de exclusión, se consideraron los siguientes aspectos: la ausencia de acceso al artículo completo y la falta de alineación con los objetivos establecidos para este estudio.

B. Fuentes de Información

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos en esta revisión sistemática, se analizaron un total de 80 artículos científicos, abarcando tanto estudios teóricos como empíricos. La recopilación de estos artículos se llevó a cabo mediante una búsqueda rigurosa en repositorios formales de diversas bases de datos, con un enfoque especial en Scopus y Web of Science (WOS) de Elsevier y Clarivate Analytics PLC. Estas plataformas fueron seleccionadas por su reconocida confiabilidad y la capacidad que ofrecen para aplicar filtros específicos, permitiendo la delimitación precisa de áreas de estudio, tipos de documentos, autores y palabras clave, entre otros.

Además de las mencionadas plataformas, se amplió la búsqueda con información adicional proveniente de fuentes como Scielo (Scientific Electronic Library Online) y Redalyc. No obstante, es importante destacar que, a pesar del exhaustivo proceso de selección, se excluyó una parte significativa de estudios que no cumplían con los criterios establecidos en los objetivos de nuestra investigación.

C. Estrategias de búsqueda

Se tomaron artículos científicos en bases de datos confiables, donde los temas se centran específicamente en la adición de diferentes tipos de fertilizantes a suelos agrícolas. Se utilizaron diferentes estrategias como palabras claves para la búsqueda, extraídas del enunciado PECO +C, que fueron las siguientes: P (suelos agrícolas), I (uso de fertilizantes), C (no especificado), O (impacto) y C (no especificado). Asimismo, se incluyeron sinónimos y términos asociados, como "agroquímicos" y "cambio estructural del suelo". Con el fin de mejorar la especificidad en las búsquedas, se emplearon conectores como "AND", "NOT" y "OR". Además, las palabras utilizadas en las cadenas de búsqueda fueron: "Effect AND use of fertilizer AND agricultural soils", "Agricultural soils AND effect OR impact AND fertilizer OR use of fertilizer" y "Impact AND fertilizer use OR use of fertilizers OR fertilizers management AND agricultural soils OR farmland OR agricultural land".

D. Selección de estudios

La selección de estudios se llevó a cabo en tres etapas, siguiendo el diagrama de flujo PRISMA: (1) Identificación; (2) Selección; (3) Inclusión. En la primera etapa, se realizaron

acciones para eliminar duplicados y estudios no pertinentes a los criterios de inclusión, resultando en 79 estudios para la siguiente etapa. En la segunda etapa, se llevó a cabo una evaluación ciega de títulos y resúmenes, lo que resultó en la exclusión de 3 artículos. Durante esta etapa, se realizó una búsqueda adicional para recuperar informes, pero 17 no pudieron ser encontrados. Además, se evaluaron los informes recuperados para determinar su elegibilidad, excluyendo 8 de ellos. En la tercera etapa, se registraron 51 artículos para su revisión, todos relacionados con la pregunta planteada, y se procedió a la recuperación de datos. Es importante destacar que no se incluyeron documentos adicionales que no hubieran pasado por el filtrado previo.

E. Extracción y lista de datos

Durante el proceso de selección y extracción de datos, se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos como Scopus y WoS, además de consultar fuentes como Scielo y Redalyc. La información de los artículos científicos identificados se extrajo mediante archivos CSV y Excel. La organización de datos siguió el proceso de selección de estudios de PRISMA, con criterios bibliométricos como autor, título, año, revista, resumen, palabras clave, etc. Tras un análisis de par ciego, se recopilieron datos específicos de los estudios seleccionados, evitando interpretaciones sesgadas. Estos datos permitieron la creación de figuras bibliométricas para abordar objetivos secundarios de la investigación.

F. Evaluación de riesgo de sesgo

Se llevó a cabo una evaluación de riesgo de sesgo (ROB) utilizando la plantilla de análisis STROBE para estudios experimentales. Este método clasifica cada investigación en "Low" (bajo riesgo de sesgo), "Unclear" (riesgo de sesgo no definido) o "High" (alto riesgo de sesgo). Para ser considerado en alto riesgo de sesgo, un artículo debía cumplir con ciertos criterios del STROBE. El riesgo de sesgo bajo se asignó a aquellos con un máximo de dos "Unclear" y sin "High". Se utilizó el software RobVis para generar un gráfico de barras del análisis de riesgo de sesgo. Finalmente, se obtuvo la frecuencia acumulada de riesgo de sesgo para cada criterio del STROBE en los 51 artículos evaluados.

G. Método de síntesis

Se emplearon herramientas de organización, como Google Drive, para gestionar y analizar los datos bibliométricos y de contenido de los artículos seleccionados, almacenándolos en una carpeta compartida. La presentación de los resultados de la selección de estudios se realizó utilizando el Diagrama de flujo PRISMA, mientras que Microsoft Excel se utilizó para la generación de gráficos, mapas y porcentajes. La respuesta a la pregunta de investigación se abordó mediante un análisis exploratorio cualitativo y cuantitativo, buscando similitudes de respuestas y categorizando la información en grupos de análisis.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se exponen los resultados de la revisión sistemática que se llevó a cabo mediante un proceso riguroso de selección y evaluación de investigaciones anteriores. La primera sección aborda en detalle la selección de estudios mediante el método PRISMA, seguida por el riesgo de sesgo de cada estudio. Luego el diagrama de flujo del proceso de selección de datos. Finalmente, se presentan los resultados de síntesis, proporcionando así una visión integral de los hallazgos obtenidos en la revisión sistemática.

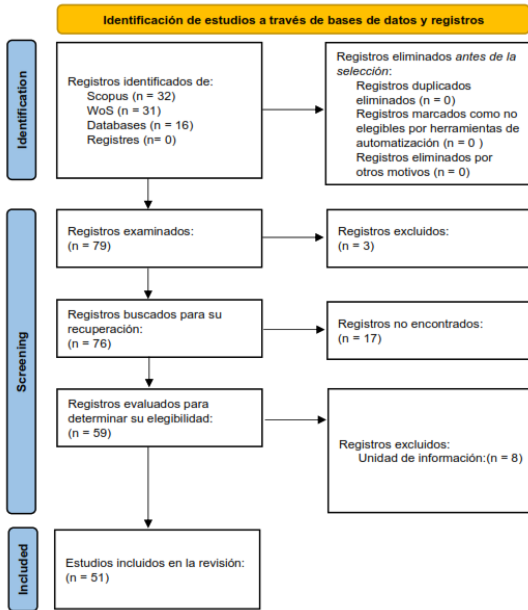


Fig. 1 Diagrama de Flujo PRISMA

En la siguiente Figura, se presenta la evaluación del riesgo de sesgo. Se usó el modelo STROBE para establecer los niveles de riesgo de sesgo de cada investigación perteneciente a la revisión sistemática. Se usó 10 criterios en donde se especificó a que nivel de riesgo pertenecían (alto, medio y bajo). Los resultados arrojados en esta evaluación fueron; 26 estudios se consideraron con un riesgo bajo, 19 estudios se catalogaron con un riesgo alto y 6 con un riesgo no claro.

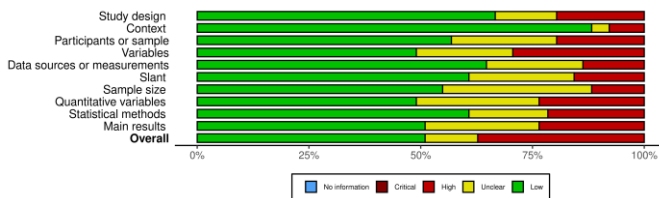


Fig. 2 Evaluación del riesgo de sesgo

Para realizar esta revisión sistemática se usaron diversas bases de datos confiables como Scielo, Redalyc, Web of Science y Scopus. En estas, se encontraron artículos de diferentes partes del mundo. Sin embargo, se usaron criterios

de selección para excluir estudios que no se enfocan en el objetivo principal de la investigación, además de plantear un rango de fechas desde el año 2008 al 2023.

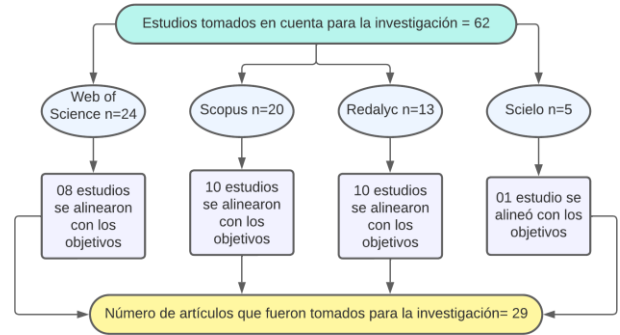


Fig. 3 Diagrama de flujo del proceso de selección de datos.

Además, se clasificó los estudios considerados por el año publicado dando como resultado que la base de datos Redalyc publicó mayor cantidad de estudios durante los años 2012 a 2022, en el caso de Scopus publicó la mayor cantidad de investigaciones en los últimos 4 años, para la base de datos Web of Science tuvo una presencia en los últimos 8 años con la publicación de 8 estudios relacionados al tema y finalmente Scielo sólo tuvo una publicación significativa en el tema en el año 2019, tal como se presenta en la Figura 4.

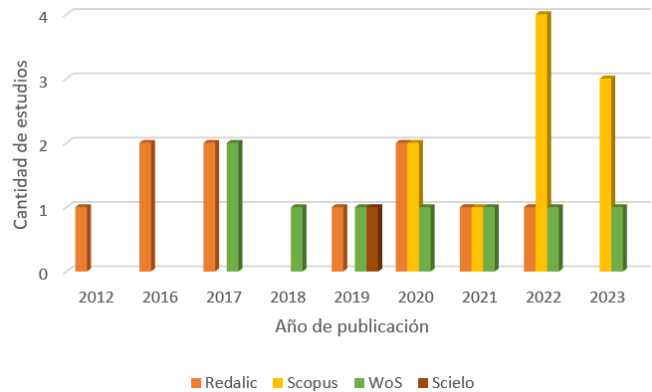


Fig. 4 Cantidad de estudios publicados por año y revista.

Además, en la Figura 5, se muestra la distribución espacial procedente de cada investigación seleccionada para este estudio, en donde destacó el país de China con 5 publicaciones publicadas en la base de datos Web of Science, mientras que el país de Colombia tuvo 4 publicaciones del tema publicados en Redalyc y Scopus. En caso de los países de Argentina, Brasil y Hungría tuvieron dos publicaciones cada uno en revistas como Redalyc, Scielo y Scopus. Las demás publicaciones se publicaron en países como África, Canadá, Cuba, Chile, Perú, Estados Unidos, Países Bajos, Kenia, Ecuador, México, Nigeria y Uruguay, todos ellos

tuvieron mínimamente un estudio en el tema. Por lo resaltado anteriormente, el tipo de idioma predominante en los estudios seleccionados es el inglés, seguido por el español debido a los estudios realizados en América Central y Sur América.

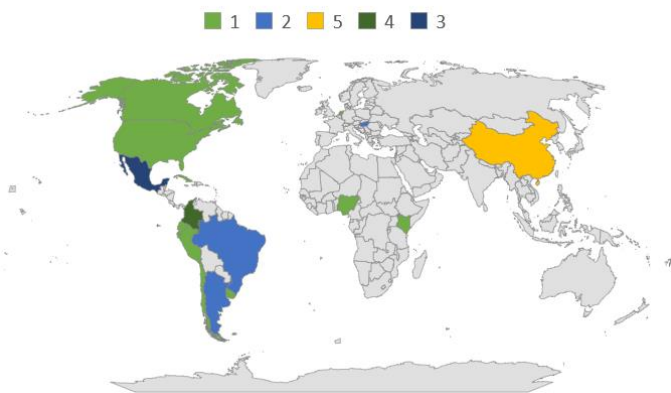


Fig. 5 Distribución espacial y cantidad de los estudios seleccionados

A continuación, se presentará la recopilación de diversos estudios realizados durante los últimos 14 años en donde nos dan a conocer el impacto del uso de fertilizantes en la calidad de los suelos agrícolas en sus dimensiones físicas, químicas y biológicas. La siguiente tabla por presentar muestra los principales resultados del impacto del uso de fertilizantes en la calidad de los suelos agrícolas. Esta se subdividió por el tipo de fertilizante empleado; orgánico, mineral + químico, orgánico + mineral, biofertilizante, biofertilizante químico + orgánico y biofertilizante químico, debido a que la influencia de estos en la calidad del suelo dependerá de su naturaleza.

TABLA I
IMPACTO DE LOS FERTILIZANTES EN LA CALIDAD DE LOS SUELOS

Tipo de fertilizante	Impacto Físico	Impacto Químico	Impacto biológico
Fertilizante s Orgánicos	Mejora la retención de agua en el suelo [6] [9] [18] [6], aumenta la porosidad, estabilidad estructural y densidad aparente [19]. Mayor cantidad de Materia Orgánica (MO) [28].	Favorece la neutralización del pH [19] [6]. Regula ciclos de nutrientes y aumenta su capacidad de almacenamiento y liberación [6] [29] [30]. Aumento de carbono orgánico [6] [30] [8] [13] y metano [23], aumento de N, P [38], K, Mn [31] [9]. Aumento de Nitrogeno Total (TN), fósforo disponible y capacidad de intercambio	Aumenta la actividad microbiana [20] y la fertilidad [21]. Aumento de bacterias totales, actinomicetos y actividad microbiana [27]. Mayor densidad de bacterias <i>Azospirillum</i> y mayor población de <i>Azotobacter</i> [31]

		catiónico [30]. Aumento de fósforo disponible [32], TN, fósforo total, nitrógeno disponible y potasio [13]. Aumento de nitratos (NO ₃) y fósforo y disminución de Mg y Ca [33]. Disminución del Cu, Zn y Ca [9]. Aumento de N orgánico particulado (PON) y amonio (NH ₄ ⁺) [25]. Aumento de la Conductividad Eléctrica (CE) [13] [9]. Aumento de la actividad de la β-glucosidasa y de las enzimas ureasa y alcalinas [28].	
Fertilizante s Minerales + Químicos	Disminuye la estabilidad estructural del suelo [6] [27], aumenta la inestabilidad de los agregados provocando mayor erosión [34].	Acidifica el pH del suelo [19] [16][30] y afecta la disponibilidad de nutrientes según sus características [35], por lo mismo, la aplicación por zinc no tuvo gran variación de pH [36]. Aumento de Mg y Ca [33]. Aumento en el K en el intercambio catiónico pero mayor lixiviación de este [22] Mayor emisión de óxido nitroso (N ₂ O) y disponibilidad de NH ₄ [23] Disminución de fósforo total [24]	Reduce la diversidad y funcionalidad de las comunidades microbianas, [16]. Menor densidad de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) <i>Azospirillum</i> y bacterias solubilizadoras de fosfato (BSP). [31] Menor cantidad de microorganismos consumidores de CO ₂ o metanotrofos [20]
Fertilizante s Orgánicos + Minerales	Mejora la estabilidad estructural [6], aumenta la biomasa vegetal y mayor masa fresca en el suelo [22].	Aumento en el pH del suelo [13]. Contribuye a la absorción de nutrientes y mejora la disponibilidad de fósforo y carbono en el suelo [25]. Aumento de Carbono Orgánico (CO) [18]. Influencia positiva en el intercambio de fósforo con la	Óptima interacción con microorganismos para la absorción de fósforo [26], aumenta la cantidad de microorganismos [21].

		planta. Los ácidos húmicos estimularon la absorción de hormonas vegetales de la planta en el suelo [26]	
Biofertilizantes	Aumenta la retención de agua [18] [6].	Incrementa la disponibilidad de nutrientes: nitrógeno (N) y potasio (K) [25] [24]. Mayor retención de metano (CH ₄) [24]. Reducción del sodio en el suelo [27].	Mejora la actividad microbiana, aumenta la densidad de microorganismos beneficiosos [27]. Mayor cantidad de microorganismos consumidores de CO ₂ o metanotrofos [20]
Biofertilizantes químicos + orgánico	Aumentó la cantidad de MO y retención de agua en el suelo. [27].	Aumento de nutrientes como el N, P, Ca y Mn [27].	
Biofertilizantes + químicos		Se redujo el NH ₄ + -N del suelo [23]	

El impacto de los fertilizantes en la calidad física de los suelos agrícolas

El uso de fertilizantes orgánicos como el compost y el estiércol de aves de corral resultó con varios efectos positivos en el suelo. El fertilizante orgánico (compost) y biocarbón mejoró la retención de agua en el suelo por los meso, macroporos y el aumento de área superficial debido al biocarbón [37], mientras que la fertilización con estiércol de aves de corral tuvo efectos en la porosidad con un aumento de 23% más que la parcela de control. Así como en la retención de agua con un 83% mayor y la densidad aparente aumentó un 29% a comparación del suelo tratado con estiércol de aves de corral [19]. Se observó que la fertilización orgánica mejoró la estructura del suelo y mantuvo la humedad a largo plazo. Por otro lado, la humedad que otorga los abonos orgánicos (guano, humus y compost) aumentó en un porcentaje de 18%, 22% y 28% respectivamente, mientras que el contenido de Materia Orgánica (MO) disminuyó de 1.27% a 0.90%, esto influenciado por ser un suelo Franco Arenoso [9].

Los fertilizantes minerales/químicos tuvieron un efecto negativo en la estabilidad estructural del suelo, disminuyéndola [37]. Es así como el uso del fosfato dipotásico (K₂HPO₄) aumentó la inestabilidad de los agregados del suelo y provocó una mayor erosión [34]. Así como, se evidenció una ligera disminución de la Materia Orgánica (MO) del suelo [27].

Los tratamientos Orgánico + Mineral tuvieron un impacto positivo en el suelo que se vio reflejado con un mayor número de hojas de las hortalizas. Hubo mayor masa fresca en el suelo y superó en 43,71% y 55,73%, respectivamente, a comparación de la fertilización mineral [22]. Asimismo, el

efecto positivo se vio reflejado en la estabilidad estructural del suelo con el fertilizante orgánico-mineral (17 – 6 – 18 – 2) [37]. Además, la combinación de lombricomposta con biofertilizantes y fertilizantes químicos aumentó la cantidad de Materia Orgánica (MO) y retención de agua en el suelo [27].

El impacto de los fertilizantes en la calidad química de los suelos

La fertilización orgánica favoreció la neutralización del pH del suelo, ya que en varios estudios que destacan cómo esta práctica induce a mantener un pH neutral en el rango de 6.6 a 7.0, relacionado con el contenido de nitrógeno total y fósforo disponible [31]. Además, el uso de estiércol de aves de corral también contribuye a esta neutralización [19]. Estos fertilizantes mejoran la capacidad del suelo para almacenar nutrientes, impactando positivamente en la salud del suelo [29], especialmente en la disponibilidad de nitratos (NO₃) y fósforo, con un aumento de sodio y una disminución de calcio y magnesio [33]. Además, regulan ciclos de nutrientes y reducen pérdidas de carbono y nutrientes por lixiviación [37]. Impactan en variables como CE, COS, nitrógeno total, fósforo total, nitrógeno disponible, fósforo disponible y potasio [13]. Aumentan el N orgánico particulado (PON) y el amonio (NH₄⁺) [25], y mejoran la eficiencia de adquisición de N y P, favoreciendo el almacenamiento de carbono [8]. También reducen emisiones de metano (CH₄) y aumentan la materia orgánica del suelo, junto con incrementar la actividad enzimática del suelo [28].

Por otro lado, la fertilización mineral mostró efectos específicos en la composición y características del suelo. Se evidenció que la fertilización mineral acidificó el pH del suelo [19] disminuyendo en un 20% [16], que el pH disminuya en los suelos es riesgoso debido a que puede alcanzar valores en donde el suelo sea ácido y que ningún cultivo sea posible de desarrollarse. Esto se relaciona directamente con la conductividad del suelo, ya que a menor pH la conductividad eléctrica será mayor por la cantidad de sales que se presentaran, ocasionando riesgo de suelo salino. Además, se mencionó que el uso de fertilizantes minerales tuvo mayores emisiones de óxido nitroso (N₂O), resultando en una mayor disponibilidad de NH₄ [23]. También se destacó que los suelos con mayor contenido de arcilla tuvieron menor disponibilidad de nutrientes ante los fertilizantes, lo cual señala la importancia de considerar las características del suelo al aplicar fertilizantes minerales, como la cantidad de MO disponible y el pH del suelo [35]. Por otro lado, el calcio y el magnesio aumentaron con la fertilización inorgánica [33].

El uso de fertilizante a base de polifosfato de amonio y complejo orgánico líquido de ácidos fúlvicos (APF + FF) influyó positivamente en el intercambio de fósforo con la plata. Los ácidos húmicos estimularon la absorción de hormonas vegetales de la planta en el suelo [26]. Los ácidos húmicos estimularon la absorción de hormonas vegetales de la planta [26]. Los fertilizantes químicos con tratamientos de abono orgánico (OM y OM + NF) mejoraron el estado del N total (STN), contenido de CO y se intensificó la relación C/TN

orgánico del suelo [25]. Las concentraciones totales de fósforo bajo abono orgánico (OM) y fertilizantes químicos (CF) fueron 12,93% y 5,68% más altas, respectivamente, que aquellos bajo CK. El CF causó una disminución del pH [32]. Se redujo el NH₄⁺ -N en todos los tratamientos de Fertilizante de Base Biológica (BBF) y Fertilizante Mineral (MF). El sulfato de amonio (AS) materializó el N presente en el suelo [23].

Los biofertilizantes resultaron en un aumento de la biomasa del suelo y la actividad microbiana. Además, se observó que el biofertilizante redujo el nivel de sodio en el suelo, disminuyendo el riesgo de sodicidad [27]. Asimismo, se mencionó que la fertilización con fuentes de potasio recubiertas promovió una mayor disponibilidad de potasio (K) pero también mayor lixiviación de K en comparación con el potasio convencional [22].

Impacto de los fertilizantes en la calidad biológica de los suelos

Los biofertilizantes han demostrado tener un impacto positivo en la actividad microbiana del suelo, lo que contribuye a mejorar su salud y fertilidad. Se ha observado un aumento significativo en la actividad microbiana con la aplicación de biofertilizantes [20]. Además, se mencionó que el biofertilizante aumenta la biomasa del suelo y la actividad microbiana en general [27]. También se destacó que el biofertilizante muestra una menor respiración del suelo, lo cual se atribuye a la presencia de microorganismos consumidores de CO₂ o metanotrofos [20].

Por otro lado, la fertilización mineral puede tener efectos variables en la comunidad microbiana del suelo. Se evidenció que la fertilización mineral afectó a la comunidad bacteriana, provocando cambios en la composición y funcionalidad de las comunidades microbianas y una reducción en la diversificación microbiana [16]. Además, se mencionó que el fertilizante mineral NPK provoca una respiración del suelo más intensa en comparación con el biofertilizante, lo cual indica una posible influencia en la actividad microbiana [20].

La fertilización orgánica también ha mostrado tener efectos específicos en la microbiología del suelo. Por ejemplo, se observó que la fertilización orgánica (cachaza) evidenció una mayor densidad de bacterias *Azospirillum*, mientras que el estiércol de gallina presentó una mayor población de *Azotobacter* [31]. Sin embargo, se mencionó que la fertilización con urea causó una menor densidad de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal *Azospirillum* y bacterias solubilizadoras de fosfato [31]. Además, se destacó que el tratamiento de estiércol con tasa de aplicación alta aumentó diversos componentes microbianos en el suelo, como los ácidos grasos fosfolípidos (PLFA) totales, bacterias totales, actinomicetos, bacterias Gram negativas, bacterias Gram positivas, hongos totales y hongos micorrízicos arbusculares (MA) [28].

Se obtuvo un contenido significativamente alto de CO₂ en el suelo tras la aplicación de Estiércol de corral (FYM), (ii) Superfosfato triple (TSP) + Urea, (iii) [18].

Es importante mencionar que la interacción entre los fertilizantes y la microbiología del suelo es compleja y multifacética. Por ejemplo, se señaló que el APF + FF tiene una relación directa en la interacción del suelo con microorganismos que contribuyen a la absorción de fósforo [26]. Además, se mencionó que los lugares que recibieron mayor cantidad de vinaza y aporte de K⁺ presentan mayor cantidad de microorganismos, lo que resalta la influencia de los componentes específicos de los fertilizantes en la comunidad microbiana del suelo [21].

El impacto biológico puede manifestarse con relación a las bacterias, hongos, algas, fauna y demás organismos que están presente en este espacio. Así mismo como sus funciones, crecimiento y los ciclos que cada uno de ellos realiza en este espacio. Al insertar un nuevo agente externo, en este caso el fertilizante, los organismos en este espacio podrían crecer, un impacto positivo, o podrían reducirse, impacto negativo. Hay que recalcar que la mayoría de veces, esto depende directamente con la cantidad y tiempo de exposición que se tiene del tipo de fertilizante usado en el espacio

El estudio realizado contó con un proceso de selección que involucró la inclusión y exclusión de artículos, se determinó que un total de 29 artículos formaron parte de esta revisión sistemática. De estos, 8 artículos permitieron profundizar en la conceptualización de las variables "el impacto de los fertilizantes" y "suelo agrícola". Se observa que la mayoría de los artículos se concentran en los años 2020 a 2023, siendo el año 2023 el de mayor interés con 13 artículos. En este sentido, se destaca que China es el país con la mayor cantidad de estudios y publicaciones en esta área, seguido por México. Luego de la recolección de datos, se realizó el método PRISMA en donde se encontró que existen tres alcances que involucran el impacto de los fertilizantes en los suelos. Estos son a nivel de la composición del suelo como biológico, químico y físico.

IV. CONCLUSIONES

Finalmente, se hallaron evidencias científicas sobre el impacto del uso de fertilizantes en los suelos agrícolas y su influencia en la composición física, química y biológica en los suelos agrícolas evidenciando su influencia positiva o negativa, dependiendo del tipo de fertilizante, la cantidad usada y el tiempo de exposición.

En cuanto a la influencia de los fertilizantes en la calidad física del suelo se evidenció que, al momento de aplicarlos estos modifican parámetros como cantidad de materia orgánica, densidad, capacidad de retención del agua, filtración, porosidad entre otros. En los estudios recopilados, la mayoría de fertilizantes orgánicos utilizados mejoraron la calidad de los suelos, lo que a su vez resultó en mejoras de los cultivos.

Por otra parte, la influencia de los fertilizantes en la calidad química del suelo se reflejó en parámetros principalmente como conductividad eléctrica y pH. Estos

variaban de acuerdo con el tipo de fertilizante usado y a la interacción con los elementos químicos principales (N, P, K) de los suelos analizados. Además, se pudo inferir que la variación de pH de los suelos podría provocar salinización haciendo posible una pérdida de suelos a causa de la inserción inadecuada de los fertilizantes.

En cuanto a la influencia de los fertilizantes en la calidad biológica del suelo, se concluye que estos tienen un efecto significativo en los microorganismos y en su actividad, lo cual se traduce en el aumento o disminución de la biomasa microbiana. Lo más resaltante de ello es que los efectos de los fertilizantes van en cadena, es decir, afectan en el aspecto biológico del suelo y esto provoca alteraciones en la parte física y química de estos. Es así como se demuestra su dependencia de cada una de las dimensiones de la calidad del suelo.

Las limitaciones de esta revisión sistemática fue la falta de acceso a la información porque poseían un costo adicional, ello desfavoreció la investigación debido a que esos artículos poseían información relevante. También se descartaron estudios que no compartían el objetivo de estudio, variables, muestra y por términos excluyentes planteados en la metodología. Todos esos puntos, influyeron a que se descarten investigaciones y limiten el estudio.

Esta investigación ayudará a la toma de decisiones en disciplinas como ingeniería ambiental, ingeniería forestal, ingeniería agrícola, biología, docentes y otros investigadores interesados en el tema desarrollado. Esta, podrá extender su comprensión en el tema y entender los factores que influyen al impacto de los suelos agrícolas al ser expuestos a fertilizantes (inorgánicos u orgánicos) y comprender la influencia que estos tienen frente a su composición física, química y biológica.

AGRADECIMIENTOS

A todos nuestros profesores, los cuales nos brindaron los conocimientos necesarios para desarrollar esta investigación y su apoyo en la resolución de dudas. A nuestro centro de estudios por darnos la oportunidad de desarrollo estudiantil, profesional e investigador.

REFERENCIAS

[1] M. S. Alborno, "Las re-evoluciones de la agricultura," *Investigación Agraria*, vol. 22, no. 1, pp. 01-02, ene.-jun., 2020.

[2] A. Hernández et al., *El suelo: Fundamentos sobre la formación del suelo, cambios globales y su manejo*, 1 ed. Nayarit, México: Univ. Autónoma de Nayarit, 2008. [En línea]. Disponible: <https://books.google.com.pe/books?id=LdIARhjVZN4C>.

[3] L. J. Velásquez Chávez et al., "Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional," *TIP Rev. Esp. Cienc. Quím. Biol.*, vol. 25, pp. 1-13, 2022. doi: 10.22201/fesz.23958723e.2022.482

[4] "Mejora de la fertilidad del suelo", Hoy en el OIEA <https://www.iaea.org/es/temas/mejora-de-la-fertilidad-del-suelo> (Consultado 2 may., 2024)

[5] "Fertilizantes agrícolas: Tipos de fertilizantes, usos y beneficios", Hoy en el Zschimmer-Schwarz, [https://www.zschimmer-](https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/fertilizantes-agricolas-tipos-de-fertilizantes-usos-y-beneficios/)

[schwarz.es/noticias/fertilizantes-agricolas-tipos-de-fertilizantes-usos-y-beneficios/](https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/fertilizantes-agricolas-tipos-de-fertilizantes-usos-y-beneficios/) [Consultado el 2 de may., de 2024].

[6] G. Pentón Fernández et al., "Efecto de la fertilización orgánica en indicadores morfológicos y agronómicos de dos variedades de Manihot esculenta Crantz", *Past. for.*, vol. 43, no. 2, pp. 159-168, jun., 2020.

[7] D. Ramos Agüero and E. Terry, "Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos Tropicales", *Cult. Trop.*, vol. 35, no. 4, 2014.

[8] V. Correa et al., "19 Effects of silicon fertilization on disease development and yields of rice in Colombia", *Stud. Plant Sci.*, vol. 8, pp. 313-322, 2021. doi: 10.1016/S0928-3420(01)80023-9

[9] K. Dávalos Mendoza, "Manejo y uso adecuado de los abonos orgánicos", *Ciencias Del Suelo*, sep., 2016.

[10] R. Tingskou and A. Unc, "Impact of fertilizer source on the dynamics of carbon and nutrients in a podzol designated for land-use conversion", *Soil Use Manag.*, vol. 39, no. 4, pp. 1491-1503, apr., 2023. doi: 10.1111/sum.12906

[11] S. J. Salinas, W. Vizcarra Arbizu and W. Laureano Ulloa, "Efecto de los abonos orgánicos en las propiedades físicas y químicas en suelos degradados con maíz amiláceo (*Zea mays L.*)", *Invest. Valdizana*, vol. 6, no. 1, pp. 43-50, 2012.

[12] E. J. Morales, M. Rubí, J. A. López, A. R. Martínez, E. J. Morales, "Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales," *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 10, no. 8, pp. 1875-1886, dic, 2019.

[13] D. Ying et al., "Soil properties and microbial functional attributes drive the response of soil multifunctionality to long-term fertilization management", *Appl. Soil Ecol.*, vol. 192, pp. 105095, aug., 2023. doi: 10.1016/j.apsoil.2023.105095

[14] "Preguntas frecuentes sobre agricultura orgánica", Hoy en la FAO, https://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq5/es/_/ (Consultado 2 mayo, 2024).

[15] K. Dávalos, "Manejo y uso adecuado de los abonos orgánicos", *Cienc. del Suelo*, 2016. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12955/208>

[16] J. Ortiz et al., "Impacto a largo plazo de la fertilización sobre la estructura y funcionalidad de la comunidad microbiana del suelo", *Cienc. Suelo*, vol. 38, no. 1, pp. 45-55, jul., 2020.

[17] J. M. Bengoa "Hacia la erradicación del hambre mundial: ¿Vamos Bien?", *An. Venez. Nutr.*, vol. 18, no. 1, 2005.

[18] R. N. Onwonga et al. "Complementary effects of legume integration and fertilizer application on soil moisture and long-term carbon stocks in maize systems of kabete sub-county, Kenya", *Trop. Subtrop. Agroecosyst.*, vol. 24, no. 1, 2020.

[19] E. K. Eifediyil et al., "Varieties, poultry manure and fertilizer influence on the growth and fibre quality of kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*)", *Trop. Subtrop. Agroecosyst.*, 2022. doi: 10.56369/tsaes.3869

[20] B. Mátyás et al., "Comparison of effects exerted by bio-fertilizers, npk fertilizers, and cultivation methods on soil respiration in chernozem soil", *La Granja*, vol. 32, no. 2, pp. 8-18, sep., 2020. doi: 10.17163/lgr.n32.2020.01

[21] D. Senatore et al., "Monitoreo de la aplicación de vinaza como fertilizante en caña de azúcar con indicadores microbianos de suelo", *INNOTECH*, no. 13, pp. 92-97, jun., 2017. doi: 10.26461/13.09

[22] B. N. Ribeiro. et al., "Leaching and availability of potassium in soil affected by conventional and coated fertilizer sources", *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental.*, vol. 26, no. 12, pp. 924-929, jul., 2022. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p924-929

[23] C. M. J. Hendricks, "Replacing Mineral Fertilisers for Bio-Based Fertilisers in Potato Growing on Sandy Soil: A Case Study", *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 1, pp. 341, dic., 2021. doi: 10.3390/app12010341

[24] L. A. NIU and J. M. HAO, "Impacts of fertilizer application rates on phosphorus dynamics in salt-affected soil", *Plant Soil Environ.*, vol. 63, no. 10, pp. 468-474, 2017. doi: 10.17221/580/2017-PSE

[25] E. Hossain, "Substitution of Chemical Fertilizer with Organic Fertilizer Affects Soil Total Nitrogen and Its Fractions in Northern China", *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 23, dec., 2021. doi: 10.3390/ijerph182312848.

[26] I. Bustos et al., "Evaluation of liquid phosphorus fertilizers and fulvic acids in a potato crop in an Andisol type soil", *J. agriculture and natural res.*, vol. 49, no. 2, aug., 2022. doi: 10.7764/ijanr.v49i2.2343

- [27] A. L. Orozco Corral et al., "Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano", *Terra Lat.*, vol. 34, n. 4, pp. 441-456, jun., 2016.
- [28] A. Gautam et al., "Responses of soil microbial community structure and enzymatic activities to long-term application of mineral fertilizer and beef manure", *Environ. Sustain. Indic.*, vol. 8, sep., 2020.
- [29] R. Santos Naressi et al., "Iceberg lettuce cultivated in different systems of planting and sources of fertilizer", *Braz. J. Biol.*, vol. 84, 2023. doi: 10.1590/1519-6984.255431
- [30] O. Komolafe and M. Adewole "Effect of different fertilizers on yield and grain composition of maize in the tropical rainforest zone", *Agron. Colomb.*, vol. 40, no. 3, dec., 2022. doi: 10.15446/agron.colomb.v40n3.105046
- [31] M. D. Rivera Cruz et al., "Crecimiento de Citrange troyer y atributos químicos-microbiológicos del suelo en respuesta a diferentes fertilizantes orgánicos", *Terra Latinoam.*, vol. 38 no. 3, jul.-sep., 2020. doi: 10.28940/terra.v38i3.602
- [32] K. Song et al., "Effects of the continuous use of organic manure and chemical fertilizer on soil inorganic phosphorus fractions in calcareous soil", *Scientific Reports*, doi:10.1038/s41598-017-01232-2
- [33] O. A. Hernández Rodríguez, "Plant and livestock waste compost compared with inorganic fertilizer: nutrient contribution to soil", *Terra Lat.*, vol. 35, no. 4, pp. 321-328, 2017.
- [34] Song Li et al., "Phosphate fertilizer enhancing soil erosion: effects and mechanisms in a variably charged soil", *J. Soils Sediments*, vol. 18, pp. 863-873, jul., 2017. doi: 10.1007/s11368-017-1794-1
- [35] W. J. Burke et al., "Understanding Fertilizer Effectiveness and Adoption on Maize in Zambia", *Food Policy*, vol. 86, jul., 2019. doi: 10.22004/ag.econ.246955
- [36] A. Salamanca Jimenez, L. F. Salazar Gutiérrez and S. Sadeghian Khalajabadi, "Respuesta del café a la fertilización con zinc en suelos de la zona cafetera colombiana", *Entramado*, vol. 17, no. 2, , pp. 268-279, 2021. doi: 10.18041/1900-3803/entramado.2.7879
- [37] W. A. Cardona, M. M. Bolaños Benavides and W. Chavarriaga Montoya "Efecto de fertilizantes químicos y orgánicos sobre la agregación de un suelo cultivado con *Musa acuminata* AA", *Acta Agron.*, vol. 65, no. 2, pp 137-143, abr.-jun., 2016. doi: 10.15446/acag.v65n2.44493