



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA
Y VETERINARIA**
CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo a obtener el título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

Eficacia y sinergias entre fertilizantes químicos y orgánicos en la productividad agrícola.

AUTOR:

Axel Josué Arana Arana

TUTOR:

Ing. Agr. Tito Bohórquez Barros, MAE.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

La aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos es un componente vital en la agricultura, debido a que aportan a las plantas los nutrientes esenciales para su desarrollo y producción. El presente documento tiene como objetivo general analizar la eficacia y sinergias entre fertilizantes químicos y orgánicos en la productividad agrícola. Se desarrolló a través de la recopilación de información de sitios web, artículos científicos, fuentes y repositorios bibliográficos que son accesibles a través de plataformas digitales. Las conclusiones determinaron que el aumento en la productividad de los cultivos hace de los biofertilizantes una alternativa prometedora para sustituir el uso de fertilizantes químicos en la agricultura, sin embargo, la eficacia y la sinergia entre productos químicos y biológicos fomentan mayores rendimientos por hectárea sembrada de cultivos y ayudan a las plantas a desarrollarse a su máximo potencial productivo; la eficiencia del uso de los fertilizantes químicos tiene variantes al usar el producto, lo cual debe efectuarse de manera correcta y en el momento adecuado; la sinergia entre químicos y biológicos, es la aplicación foliar de productos biológicos que se asocian con los macro y micronutrientes. Los productos biológicos han demostrado ser un excelente complemento de los químicos en lo que se refiere a la nutrición vegetal. Es importante la eficacia y sinergia, debido a que se involucra la combinación de insumos químicos con insumos naturales, que es la esencia del enfoque de la agricultura en el mundo moderno. El rendimiento de los fertilizantes solubles mejora considerablemente cuando se combinan con pequeñas cantidades de biofertilizantes con fertilizantes químicos, mejorando la calidad de los productos y reduciendo las dosis de los químicos.

Palabras claves: productos químicos, abonos, rendimiento, productividad.

SUMMARY

The application of organic and chemical fertilizers is a vital component in agriculture, because they provide plants with essential nutrients for their development and production. The general objective of this document is to analyze the effectiveness and synergies between chemical and organic fertilizers in agricultural productivity. It was developed through the compilation of information from websites, scientific articles, sources and bibliographic repositories that are accessible through digital platforms. The conclusions determine that the increase in crop productivity makes biofertilizers a promising alternative to replace the use of chemical fertilizers in agriculture, however, the effectiveness and synergy between chemical and biological products promote higher yields per hectare planted with crops and help plants develop to their maximum productive potential; The efficiency of the use of chemical fertilizers varies when using the product, which must be done correctly and at the right time; The synergy between chemicals and biologicals is the foliar application of biological products that are associated with macro and micronutrients. Organic products have proven to be an excellent complement to chemicals when it comes to plant nutrition. Efficiency and synergy are important, because it involves the combination of chemical inputs with natural inputs, which is the essence of the approach to agriculture in the modern world. The performance of soluble fertilizers improves considerably when they are combined with small amounts of biofertilizers with chemical fertilizers, improving the quality of the products and reducing the doses of chemicals.

Keywords: chemicals, fertilizers, performance, productivity.

CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1.INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3.JUSTIFICACIÓN	3
1.4.OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5.LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	4
2. DESARROLLO	5
2.1.MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1.1. Generalidades.....	5
2.1.2. Eficacia y sinergia de los fertilizantes químicos y orgánicos.....	5
2.1.3. Beneficios que aportan el uso de fertilizantes químicos y orgánicos en la producción de cultivos.....	7
2.1.4. Importancia de la eficacia y la sinergia de los fertilizantes químicos	11
2.2. MARCO METODOLÓGICO.....	15
2.3. RESULTADOS	15
2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	17
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	19
3.1. CONCLUSIONES.....	19
3.2. RECOMENDACIONES.....	20
4. REFERENCIAS Y ANEXOS	21
4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	21
4.2. ANEXOS	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Eficiencia de los fertilizantes: abonado	25
Figura 2. Diagrama de Mulder: Relación entre nutrientes.	25

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Las actividades agrícolas constituyen un indicador de estabilidad para las economías, derivado de su relevancia en los mercados. En la actualidad, esta situación se valida, dado que durante la crisis provocada por la pandemia del Covid-19, el sector primario ha mantenido una estabilidad en su producción, sin manifestar tendencias negativas. En este contexto, la notable relevancia de estos factores se traduce en una persistente falta de progreso en términos de rentabilidad, lo que a su vez afecta la productividad primaria. Esto se evidencia en la estabilidad de sus indicadores de crecimiento, que exhiben una constancia o escasas variaciones a lo largo del tiempo. En consecuencia, es imperativo fortalecer las actividades primarias con un enfoque que no solo busque mejorar la productividad, sino también que aspire a reducir costos, tanto en los insumos como en los procesos operativos, mediante un enfoque sostenible (Galván 2022).

La utilización de fertilizantes orgánicos y químicos representa un elemento crucial en el ámbito agrícola, ya que proporcionan a las plantas los nutrientes fundamentales para su crecimiento y productividad. No obstante, el incremento en la producción está íntimamente relacionado con el tipo de fertilizante empleado para satisfacer las demandas nutricionales de las plantas. Los fertilizantes químicos, por sí solos, no son suficientes para mantener elevados niveles de productividad. Además, su utilización conlleva un incremento en los costos de producción. Por esta razón, los agricultores optan por la incorporación de enmiendas orgánicas en el suelo como una alternativa más económica para enriquecer sus cultivos y aumentar la producción (Tlelo *et al.* 2020).

Los fertilizantes orgánicos, particularmente aquellos compuestos por residuos vegetales secos y triturados, tales como cáscaras de papa, yuca, plátano, zanahoria, tomate, arveja, habichuela, naranja, maracuyá, aguacate y cebolla, presentan un impacto más significativo en el desarrollo y crecimiento de las plantas en comparación con los fertilizantes químicos como la urea, el fosfato

monopotásico y el sulfato de potasio (Longa y Rodríguez 2021).

Se ha documentado que los cultivos son capaces de asimilar únicamente entre el 10 y el 40 % de los nutrientes aplicados, resultando en una pérdida del 60 al 90 % debido a procesos de inmovilización, lixiviación o volatilización. Por esta razón, la utilización de microorganismos resulta altamente beneficiosa para incrementar la disponibilidad de nutrientes en formas que sean asimilables por los cultivos. De esta forma, se logra una mayor eficiencia y efectividad en la utilización de los nutrientes, lo que a su vez facilita la disminución en la cantidad de nutrientes a ser aplicados, los cuales son comúnmente considerados como un recurso limitado. Asimismo, se mitiga la posible contaminación del suelo y del agua que podría resultar de los nutrientes residuales (Navarro 2021).

La utilización de bioestimulantes ha ido incrementando su presencia de manera progresiva en cada ciclo agrícola. La sinergia y la interacción entre los productos de síntesis química y los biológicos evidencian un enfoque prometedor para optimizar la productividad en el sector agropecuario. Esta combinación proporciona resultados superiores y maximiza la eficiencia en la utilización de recursos por parte de los productores (Bertotto 2024).

Los productos orgánicos han evidenciado ser una valiosa adición a los fertilizantes químicos en el contexto de la nutrición de las plantas. Ciertas especies del género *Bacillus* utilizadas como tratamiento de semillas están relacionadas con las raíces, facilitando el crecimiento de las plantas. Sin embargo, es pertinente destacar que también optimizan la asimilación de los nutrientes proporcionados por el fertilizante. Por ende, las formulaciones de fertilizantes químicos que incorporan tanto macronutrientes como micronutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Azufre, Calcio, Zinc, Cobalto, Molibdeno y Boro) junto con bacterias de este tipo han demostrado ser altamente efectivas (López *et al.* 2020).

Un ejemplo adicional de sinergia o complementariedad entre agroquímicos y productos orgánicos es la aplicación foliar de sustancias que son ricas en lignina, incluyendo lignosulfonatos y polímeros de alta calidad, los cuales se interrelacionan con los macronutrientes y micronutrientes. En este proceso, los nutrientes químicos

se combinan con una molécula orgánica, lo que optimiza su absorción por parte de la planta (Ulle 2022).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ralentización en el aumento de la productividad tiene implicaciones significativas para los precios de los alimentos, la seguridad alimentaria y el medio ambiente, dado que los productores intensifican el uso de recursos como la superficie cultivable y los insumos químicos en un esfuerzo por aumentar la producción (Galván 2022).

En la actualidad, la práctica de producción de alimentos mediante la agricultura convencional enfrenta múltiples desafíos ambientales, incluidos la contaminación del agua, la salinización y la degradación del suelo. Estos problemas son principalmente atribuibles al uso indiscriminado de fertilizantes químicos, así como de plaguicidas, fungicidas y herbicidas (Cuadras *et al.* 2021).

Una de las opciones emergentes es la modificación en las tendencias de producción agrícola, abarcando tanto la agricultura orgánica como la química. Este enfoque ha ganado creciente aceptación en la producción de alimentos, donde se aplican simultáneamente ambos tipos de fertilizantes. Este método busca mitigar el uso indiscriminado de insumos que puedan tener efectos perjudiciales, promoviendo así la sostenibilidad ambiental y elevando la calidad de vida de todos los actores involucrados en el proceso.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Un sector agrícola que sea productivo, rentable y eficiente puede generar un efecto multiplicador en el crecimiento económico, dado que promueve la producción de bienes agroalimentarios y la creación de empleo en áreas tanto rurales como urbanas. Esto conlleva a un aumento en los ingresos y a una mejora en la calidad de vida, así como a la reducción de la pobreza. Además, proporciona materias primas para el sector industrial y tiene el potencial de generar divisas a través de las exportaciones de productos agropecuarios.

Es sumamente restrictivo concebir los químicos y los orgánicos como alternativas mutuamente exclusivas. En efecto, la integración de ambos enfoques genera un amplio espectro de oportunidades creativas que pueden contribuir tanto a la mejora de la calidad de los resultados como a la disminución de las cantidades de sustancias químicas empleadas. Asimismo, a mediano y largo plazo, la relación económica se torna más ventajosa para las combinaciones de ambos tipos de productos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Analizar la eficacia y sinergias entre fertilizantes químicos y orgánicos en la productividad agrícola.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar la eficacia y sinergia de los fertilizantes químicos y orgánicos.
- Establecer los beneficios que aportan el uso de fertilizantes químicos y orgánicos en la producción de cultivos.
- Determinar la importancia de la eficacia y la sinergia de los fertilizantes químicos.

1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. El enfoque principal de este estudio se centra en el: “Eficacia y sinergias entre fertilizantes químicos y orgánicos en la productividad agrícola”. En este contexto, específicamente se aborda la Línea de Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y la Sublínea de Investigación Agricultura sostenible y sustentable.

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Generalidades

En la actualidad, la producción agrícola constituye una actividad fundamental en la economía de numerosos países a nivel global. De acuerdo con la información proporcionada por el Banco Central del Ecuador (BCE), este sector económico en particular desempeña un papel significativo en el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) del país, ya que contribuye con un 7,7% de su total. El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAG), en su función como entidad reguladora de este sector económico, subraya la insuficiencia en la producción de fertilizantes a nivel nacional. Esta situación provoca un aumento en las importaciones, lo que a su vez conlleva a un incremento en los costos de producción (Pineda *et al.* 2021).

Las plantas requieren de 12 elementos químicos fundamentales para el adecuado funcionamiento de su metabolismo. El suelo constituye la fuente primordial de nutrientes para las plantas. Los nutrientes fundamentales incluyen nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Otros componentes significativos incluyen el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S). Los micronutrientes, también denominados oligoelementos, son indispensables para el organismo, aunque su requerimiento se limita a cantidades mínimas. Por consiguiente, es fundamental que todos los nutrientes sean ofrecidos en las cantidades apropiadas. La cantidad se determina en función de los requerimientos específicos del cultivo, la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la gestión de residuos agrícolas, las condiciones meteorológicas y otros elementos pertinentes (Ossa y Ochoa 2023).

2.1.2. Eficacia y sinergia de los fertilizantes químicos y orgánicos.

El modelo de producción agrícola convencional se fundamenta, en gran medida, en un sistema de nutrición caracterizado por la utilización intensiva de

fertilizantes químicos. Este enfoque se ajusta a cultivos que presentan un crecimiento continuo y una capacidad de respuesta rápida y acelerada, lo que permite obtener una producción constante. Sin embargo, estos cultivos son vulnerables a plagas y enfermedades, lo que implica la necesidad de emplear diversos insumos tales como fungicidas, bactericidas, insecticidas, acaricidas y ovicidas, con el objetivo de alcanzar altos niveles de rendimiento. No obstante, la limitación en la utilización de estos insumos resulta en rendimientos reducidos en los cultivos (Laaz 2022).

A pesar de que el interés en el tema de la eficiencia en el uso de nutrientes por cultivos en América Central ha ido en aumento a lo largo de los años, se evidencia una notable carencia de datos al respecto. La mejora en la productividad del maíz, en condiciones de un uso de nitrógeno que se mantiene constante o disminuye, junto con el perfeccionamiento en los índices de eficiencia en el uso de nitrógeno, no puede ser atribuida únicamente a factores tecnológicos y ambientales. También es producto de la interacción de transformaciones macroeconómicas y políticas (Baque y Carpio 2023).

La aplicación de fertilizantes químicos, fertilizantes orgánicos, o la combinación de ambos, estará sujeta a las necesidades específicas de la planta, las características particulares del suelo o sustrato, el tipo y la extensión de la producción del cultivo, así como al estado de desarrollo de la misma, ya sea antes de la siembra o durante su crecimiento (Tlelo *et al.* 2020).

La eficiencia de un fertilizante suele definirse como la proporción (%) de nutrientes utilizada por el cultivo, en relación con la cantidad total aplicada en la fertilización. Bajo condiciones de la agricultura tropical y subtropical, la eficiencia de los fertilizantes aplicados es muy baja. Se estima que la eficiencia del Nitrógeno aplicado es del 50-70%, para el Fósforo del 10-30% y para el Potasio, el Calcio y el Magnesio, alrededor del 60 % (Viana 2020).

Un sinergismo se define como la interrelación en la que un incremento en la concentración de un componente favorece la asimilación de otro. No está determinado por el tamaño del ion, sino por su carga, ejemplo: $\text{NO}_3^-/\text{Mg}^{2+}$,

P₂O₄H-/Mg²⁺. NO₃-/K⁺, Azufre/Nitrógeno.

- El NO₃ contribuye con la absorción de: Ca, Mg, K, Mo
- El NH₄⁺ contribuye con la absorción de: Mn, P, S, Cl
- El P contribuye con la absorción de: Mo
- El K contribuye con la absorción de: Mn (en suelos ácidos) El Ca contribuye con la absorción de: Mn (en suelos básicos)
- El Mg contribuye con la absorción de: Mo (Navarro 2023).

2.1.3. Beneficios que aportan el uso de fertilizantes químicos y orgánicos en la producción de cultivos.

Es imperativo considerar la necesidad de la utilización de fertilizantes con el objetivo de optimizar la producción y el rendimiento de los cultivos, lo que a su vez contribuiría a incrementar la producción nacional de dichos cultivos, en busca de disminuir los costos de producción y facilitar su accesibilidad. De igual manera, el aumento en la utilización y aplicación de fertilizantes que contienen nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) se identifica como una de las principales razones detrás del crecimiento en la productividad agrícola (Sandoval y Peña 2024).

Actualmente, la utilización de fertilizantes orgánicos se ha establecido como una alternativa significativa para abordar los desafíos asociados con la producción y la salud de los suelos agrícolas. En el presente grupo se incluyen el compost, el humus y el bocashi; la finalidad primordial de estos compuestos radica en la mejora de las propiedades del suelo, abarcando aspectos físicos, químicos y biológicos, mediante la provisión de nutrientes que favorecen el ecosistema edáfico (Deleg y Mayancela 2024).

Los biofertilizantes son productos naturales compuestos principalmente por microorganismos derivados de matrices ambientales específicas. Estos microorganismos poseen la capacidad de solubilizar o metabolizar diversos compuestos orgánicos e inorgánicos, mejorando así la disponibilidad y la absorción de nutrientes del suelo por parte de las plantas. Este tipo de composiciones tiene la capacidad de establecer una simbiosis con diversas especies de microorganismos y plantas, y se manifiestan como productos beneficiosos para el

desarrollo agrícola, sin conllevar riesgos significativos para los cultivos ni para la seguridad alimentaria. (Jiménez *et al.* 2022).

El incremento en la producción agrícola, junto con la mejora de su calidad nutricional a un costo viable para los productores, representa actualmente un desafío en las áreas rurales. El vermicompost es un enmienda orgánica de bajo costo reconocida por su eficacia en el aumento de la productividad agrícola; sin embargo, existe una escasa difusión respecto a su efectividad en la mejora de la calidad nutricional (Méndez 2022).

La producción agrícola sostenible se basa en un enfoque a largo plazo que promueve la conservación y el mejoramiento del entorno, así como de los recursos vinculados, al tiempo que garantiza una producción adecuada y una viabilidad económica de las actividades agrícolas, lo que conlleva un incremento en la calidad de vida de los agricultores. Hace hincapié en la gestión integrada de plagas, el uso de insecticidas de origen vegetal, la implementación de abonos verdes, así como en la conservación del suelo, del agua, de la energía y de los recursos biológicos, además de incorporar prácticas locales (Ramírez *et al.* 2020).

El sistema de fertilización implementado se fundamenta en la preservación de la fertilidad del suelo y se compone principalmente de fertilizantes de origen natural. Estos fertilizantes naturales se apoyan en un régimen nutricional vegetal adecuado, que busca la sustitución total o parcial de los fertilizantes químicos por biofertilizantes, constituyendo una alternativa económica para mejorar el rendimiento agrario. Este enfoque integral integra el uso combinado de insumos inorgánicos, orgánicos y biológicos. Sin embargo, los resultados obtenidos a través de la utilización de biofertilizantes en la producción agrícola presentan una gran variabilidad. No obstante, en términos generales, se pueden alcanzar incrementos en los rendimientos de los cultivos que oscilan entre el 15% y el 50% (Ramírez *et al.* 2020).

Los biofertilizantes se emplean como complemento de los fertilizantes químicos, con el objetivo principal de preservar la fertilidad del suelo. Estos fertilizantes son de naturaleza orgánica y biodegradables, poseen

microorganismos, suministran nutrientes, así como antibióticos y hormonas tales como auxinas y citoquininas, además de vitaminas que contribuyen al enriquecimiento de la rizosfera de las raíces (Ramos *et al.* 2021).

En la actualidad, los microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfato son empleados como fundamento en la producción de biofertilizantes. Estos insumos biológicos revisten una notable relevancia en la agricultura ecológica, ya que facilitan la circulación de nutrientes esenciales para las plantas y disminuyen la dependencia de fertilizantes químicos. Estos insumos poseen la capacidad de transformar elementos nutricionalmente significativos para las plantas, pasando de su estado no disponible a una forma accesible, mediante la implementación de procesos biológicos. Existen numerosos hongos y bacterias de vida libre o asociativa que se distinguen por su capacidad como biofertilizantes. Estos organismos pertenecen a la categoría de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPM, por sus siglas en inglés) y son de considerable importancia en la nutrición de las plantas, dado que desempeñan un rol crucial en los procesos de biofertilización de cultivos (Beltrány Bernal 2022).

Los cultivos presentan elevados requerimientos nutricionales, lo que significa que es necesario un suministro adecuado de macro y micronutrientes, ajustado a las necesidades específicas del cultivo y a las aportaciones del suelo. En lo que respecta a la fertilización orgánica, su impacto no se manifiesta directamente en el rendimiento agrícola, sino que juega un papel crucial en la recuperación de los nutrientes que se pierden en el suelo. Esto se debe a que la recolección de las cosechas implica la extracción de cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, entre otros macro y micronutrientes. Por lo tanto, la aplicación de abonos orgánicos contribuye a prevenir la pérdida excesiva de estos elementos esenciales en el suelo, aunque su efecto no se refleje directamente en la productividad del cultivo, sino más bien en la fertilidad del suelo donde se lleva a cabo la siembra (Arana 2021).

Los fertilizantes orgánicos se caracterizan como productos de origen biológico, compuestos por microorganismos que desempeñan un papel fundamental en el suelo al contribuir a la solubilización o al suministro de elementos

químicos con propiedades fertilizantes. Este tipo de fertilizantes consiste en formulaciones que incluyen células vivas o en estado latente de cepas microbianas, las cuales poseen la capacidad de fijar nitrógeno, solubilizar fósforo y potenciar diversos nutrientes que generan sustancias bioactivas (Jaque y Mestre 2021).

La utilización de biofertilizantes se ha consolidado como una estrategia clave empleada por los agricultores para maximizar los rendimientos de sus cultivos, mientras se minimiza el impacto ambiental asociado. Este enfoque implica la incorporación de microorganismos benéficos que promueven el desarrollo de las semillas. Un mecanismo destacado en este proceso es la simbiosis micorrízica, la cual potencia significativamente la absorción de nutrientes esenciales, tales como nitrógeno, potasio, calcio, zinc, magnesio y, de manera especial, fósforo. Además, esta simbiosis mejora tanto el transporte como la absorción de agua en las plantas y aumenta su resistencia a condiciones de sequía. Para lograr estos resultados óptimos, es crucial considerar la calidad del suelo presente en la explotación agrícola, ya que la eficacia de la simbiosis micorrízica está estrechamente relacionada con la disponibilidad de nutrientes en el sustrato (Moscoso 2022).

Fertilizantes se definen como cualquier tipo de material, ya sea orgánico o inorgánico, que puede tener un origen natural o sintético. Al ser aplicados al suelo, estos materiales proporcionan a las plantas el suministro de uno o más nutrientes esenciales necesarios para su desarrollo. En un sentido más amplio, los fertilizantes se distinguen por su composición y su disponibilidad en el suelo para ser asimilados por las plantas. La disponibilidad se refiere a la capacidad de los nutrientes para ser absorbidos o transformados a través de una serie de procesos químicos que permiten a la planta utilizar dichos nutrientes de manera efectiva (Macías 2022).

La fertilización se define como la incorporación de nutrientes a la planta mediante métodos artificiales. Los fertilizantes son sustancias que se administran a las plantas con el fin de fomentar su crecimiento. Estos pueden ser aplicados directamente al suelo o a través de sistemas de riego, como la fertirrigación, facilitando así su absorción por las raíces de la planta. Alternativamente, también es posible aplicar fertilizantes sobre el follaje, lo que permite la nutrición foliar. La

utilización de fertilizantes, ya sean en estado sólido o líquido, reviste una importancia considerable para lograr una eficiencia de uso óptima. La utilización del fertilizante adecuado en el momento oportuno y mediante la técnica más eficiente conducirá a resultados agronómicos óptimos (Benavides 2021).

La fertilización foliar es frecuentemente utilizada como un método complementario de suministro de nutrientes en relación con la fertilización convencional aplicada al suelo. En la actualidad, esta práctica se implementa con regularidad en la agricultura contemporánea, ya que contribuye a reducir la contaminación ambiental y presenta la oportunidad de mejorar tanto la productividad como la calidad de las cosechas (Vera y Vera 2022).

Los fertilizantes agrícolas suministran a los cultivos los nutrientes necesarios, especialmente los tres elementos químicos fundamentales para el crecimiento de las plantas, conocidos como fertilizante NPK, que incluye nitrógeno, fósforo y potasio. Adicionalmente, numerosos fertilizantes también incorporan micronutrientes tales como hierro, cobre y zinc. De hecho, los micronutrientes están adquiriendo una relevancia creciente, habiéndose demostrado su papel fundamental en el mantenimiento de un óptimo estado fisiológico de las plantas. La aplicación de fertilizantes contribuye a la prevención de deficiencias de nutrientes en las plantas, favorece su salud general y, en consecuencia, incrementa tanto la cantidad como la calidad de los productos alimenticios. Además, estos agroquímicos mejoran la fertilidad del suelo y contribuyen al desarrollo de plantas más robustas y saludables (López 2022).

2.1.4. Importancia de la eficacia y la sinergia de los fertilizantes químicos

La fertilización química proporciona de manera directa la cantidad precisa de nutrientes necesarios para que el potencial genético de los cultivos alcance su máxima capacidad productiva. No obstante, la combinación de fertilizantes químicos con fertilizantes orgánicos contribuye a lograr una productividad óptima y a la recuperación de los nutrientes que se pierden durante la cosecha, favoreciendo así la preservación de la fertilidad del suelo (Florez y López 2023).

Dado que los sistemas de manejo de cultivos ejercen una influencia significativa sobre las propiedades estructurales del suelo, la estabilidad de los agregados se reconoce como un indicador fundamental para la evaluación de su calidad. La estabilidad de los agregados del suelo presenta una correlación significativa con el contenido de materia orgánica del suelo (MOS); sin embargo, la incorporación de residuos agrícolas y estiércol resulta insuficiente para restablecer su calidad física. La fertilización química ofrece nutrientes que son fácilmente asimilables para el desarrollo de las plantas; no obstante, su uso no favorece la mejora de la estructura física del suelo. Considerando que los sistemas de gestión del suelo afectan sus propiedades físicas y su fertilidad, resulta crucial evaluar el impacto a lo largo del tiempo de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos en la estabilidad estructural de suelos cultivados, dado que la estabilidad estructural adecuada es fundamental para el óptimo desarrollo del sistema radicular de la especie (Cardona *et al.* 2016).

El estudio indica que la aplicación de fertilizantes de origen orgánico y mineral a diversas dosis no presenta diferencias estadísticamente significativas en relación con los cambios morfológicos de las plantas, las cuales están determinadas por el híbrido utilizado en esta investigación. No obstante, en lo que respecta a la producción, se observó que la combinación de 100 kg/ha de Biocompost, 100 kg/ha de Urea y 1 kg de Urea constituyó el tratamiento que generó el rendimiento más elevado. Se ha determinado que la respuesta del cultivo varía entre la fertilización orgánica y la mineral. En este sentido, se observó que el uso de fertilizantes minerales en dosis adecuadas resulta en una mayor eficiencia agronómica y, por ende, ofrece beneficios significativos para el productor. Por el contrario, la fertilización orgánica no logra alcanzar los mismos niveles de eficiencia agronómica en términos de rendimiento (Baque y Carpio 2023).

El biofertilizante resulta del proceso final de descomposición de la materia orgánica y ejerce un efecto nutricional en el metabolismo de las plantas. Los biofertilizantes presentan una elevada actividad microbiana y bioactiva, lo que les permite ofrecer una mayor protección y resistencia a las plantas frente a la incidencia de agentes externos, así como un incremento en la actividad biodinámica del suelo. Las metodologías relacionadas con biofertilizantes

constituyen estrategias significativas para la utilización eficiente y consciente de los recursos agrícolas, evitando la generación de efectos adversos tanto económicos como climáticos que pudieran comprometer la calidad de los recursos hídricos y el entorno ambiental. Por otro lado, los gastos asociados con la producción y aplicación de biofertilizantes son inferiores a los de los fertilizantes químicos (Morel *et al.* 2021).

Un ejemplo paradigmático de sinergia se manifiesta en la integración de insumos químicos y naturales, lo cual constituye la esencia del enfoque de la agricultura de fusión, que busca aprovechar lo óptimo de ambos mundos. La eficacia de los fertilizantes solubles se incrementa de manera significativa al ser utilizados en combinación con reducidas proporciones de humatos solubles. Los fosfatos ácidos se transforman en humatos de fosfato, los cuales tienen la capacidad de proporcionar fosfato a lo largo de todo el ciclo del cultivo. La urea se transforma en un humato de urea, lo cual confiere una mayor estabilidad y prolonga su vida útil. El boro, que presenta una alta lixiviabilidad, se transforma en humato de boro, lo cual contribuye a su estabilización y mejora su capacidad de absorción de manera significativa. Los fertilizantes que contienen nitratos, como el Nitrato de Calcio, pueden ser quelados con humatos y aplicados de manera foliar, lo cual genera un impacto significativo (Meneses 2023).

En un ensayo sobre metodología de superficie de respuesta para la optimización de una producción agrícola se determinó que la Eficiencia de las Respuestas se obtuvo mediante unos indicadores, como respuesta al comportamiento de los factores nitrógeno y agua para irrigación, a objeto de mostrar cuales son los que mejor describen las respuestas óptimas. La eficiencia en el uso del Nitrógeno (EUN) se estableció como la relación entre la producción de maíz y el total del nitrógeno presente en el suelo (Koocheki *et al.* 2014).

$$EUN = \frac{Y_m}{(N_f + N_a * 0.46)}$$

Dónde: EUN = Eficiencia en el uso del Nitrógeno (kgm kgn⁻¹), Ym =

producción de maíz (kgm ha-1), Ni = Nitrógeno presente en el suelo antes de la aplicación del fertilizante (kgn ha-1), Na = Nitrógeno aplicado (kgn ha-1). Mientras que la eficiencia en el uso del Agua para irrigación (EUA) se define como la relación de la producción de un cultivo entre el total del uso de agua para irrigación (Koocheki *et al.* 2014).

$$EUA = \frac{Y_m}{A_i}$$

Dónde: EUA = Eficiencia en el uso de agua (kgm mt-3), Ym = producción de maíz (kg ha-1), Ai = Agua utilizada para irrigación (mt3 ha-1) Por otro lado, la relación beneficio costo se describe como la relación del precio total de la producción de maíz por hectárea al costo de producción del maíz por hectárea con los diferentes tratamientos del maíz y siendo los ingresos el producto del precio del maíz y el rendimiento medio de cada tratamiento, por tanto la RBC se describe mediante la siguiente fórmula:

$$R_{bc} = \frac{Y_m * P_m}{C_{prod}}$$

$$C_{ani} = N_a * C_{ni}$$

$$C_{air} = A_i * C_a$$

$$C_{prod} = Costo_fijo + (A_i * C_a + N_a * C_{ni})$$

Dónde: Rbc = relación beneficio costo de la producción de maíz, Ym = producción de maíz (kg ha-1), Pm = precio del maíz (Bs kg-1 /k), = Costo de producción del cultivo (\$ ha-1), Cair = Costo de aplicación del agua de irrigación (Bs ha-1), = Costo de aplicación del Nitrógeno (\$ ha-1) y Costo fijo es un costo asociado a la producción agrícola que no incluye el costo del fertilizante ni del agua de irrigación.

Para el cálculo del EUN y EUA, establecidos en las ecuaciones 3 y 4 respectivamente, se tomaron los niveles de los factores implícitos de 90 Kgn para el Nitrógeno presente en el suelo antes de la aplicación del fertilizante y para los diferentes cultivos se deben tomar valores para el costo de producción por hectárea por kilogramo de cultivo (Yaguas 2017)

2.2. MARCO METODOLÓGICO

El presente documento, basado en un enfoque práctico, fue elaborado mediante la recolección de información variada con fines de investigación, obtenida de una variedad de sitios web, artículos científicos, fuentes y repositorios bibliográficos disponibles en plataformas digitales.

La información fue adquirida mediante la aplicación de técnicas de análisis, síntesis y resumen, con la finalidad de desarrollar contenido específico en consonancia con los objetivos de esta investigación. Esto permite destacar los principios generales que favorecen su aceptación tanto en el ámbito académico como en el social por parte del lector.

2.3. RESULTADOS

Los fertilizantes químicos optimizan las áreas y superficies disponibles para la actividad agrícola. Debido a su elevado contenido de macronutrientes, estos pueden promover un aumento en los rendimientos por hectárea cultivada y facilitar que las plantas alcancen su máximo potencial de desarrollo.

La eficiencia en la utilización de fertilizantes presenta variaciones en función de la selección adecuada del producto, así como del momento y método de aplicación conforme a las necesidades específicas del cultivo. Además, en determinadas circunstancias, la implementación de tecnología industrial en la fabricación de fertilizantes puede ser fundamental para minimizar las pérdidas asociadas a procesos tales como volatilización, lixiviación, fijación y precipitación, entre otras reacciones que pueden ocurrir en el suelo.

La sinergia o complementariedad entre compuestos químicos y biológicos se manifiesta a través de la aplicación foliar de productos biológicos que son ricos en lignina, los cuales incluyen lignosulfonatos y polímeros de alta calidad. Estos productos establecen una 'asociación' con macro y micronutrientes. En este proceso, se integran nutrientes químicos con moléculas orgánicas, lo que facilita la absorción de estos por la planta. Se está promoviendo la integración de enfoques biológicos en el campo de la química, lo que potencia su efectividad; sin embargo, esta complementariedad o sinergia no se limita únicamente al ámbito de la nutrición.

Los productos biológicos han evidenciado su eficacia como un complemento valioso a los fertilizantes químicos en el ámbito de la nutrición vegetal. Algunas especies del género *Bacillus* (*B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. pumilis* o los tratamientos de semillas con licheniformis están asociados con las raíces, lo que favorece el desarrollo de las plantas. Sin embargo, es fundamental señalar que también optimizan la asimilación de los nutrientes proporcionados por el fertilizante en la planta. Por esta razón, las mezclas de fertilizantes químicos que incorporan macro y micronutrientes (como nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, zinc, cobalto, molibdeno y boro) junto con este tipo de bacterias han demostrado tener un alto grado de eficacia.

La creación y posterior utilización de productos biológicos demandan un enfoque distinto al que se adopta comúnmente para los productos químicos. Los resultados en términos de efectividad y eficacia de los productos biológicos tienden a manifestarse de manera más gradual y son menos perceptibles en el corto plazo.

Un paradigma destacado de eficacia y sinergia se manifiesta en la integración de insumos químicos y naturales, representando la esencia del enfoque de la agricultura que fusiona ambos ámbitos. La productividad de los fertilizantes solubles experimenta una mejora significativa cuando se combinan con dosis reducidas de humatos solubles que acompañan a los fertilizantes químicos.

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La eficiencia en el uso de fertilizantes presenta variaciones dependiendo de la correcta selección del producto, así como del momento y la forma en que se aplican, de acuerdo a las necesidades del cultivo. Además, en ciertos casos, la implementación de tecnología industrial en la fabricación de fertilizantes puede ser crucial para minimizar las pérdidas debidas a procesos como la volatilización, la lixiviación, la fijación y la precipitación, entre otras reacciones que ocurren en el suelo. Por otro lado, la sinergia o complementariedad entre agentes químicos y biológicos se manifiesta en la aplicación foliar de productos biológicos, los cuales interactúan con macronutrientes y micronutrientes. Según señala Navarro (2021), los cultivos son capaces de utilizar únicamente entre el 10 % y el 40 % de los nutrientes que se aplican, lo que significa que entre el 60 % y el 90 % de estos nutrientes se pierde debido a procesos de inmovilización, lixiviación o volatilización. Por ende, la utilización de microorganismos se considera altamente beneficiosa para aumentar la disponibilidad de nutrientes en formas que son asimilables por los cultivos. De este modo, se logra una optimización en la eficiencia y efectividad de los nutrientes, lo que a su vez facilita la disminución de la cantidad de nutrientes a aplicar, los cuales suelen representar un recurso limitado. Además, se mitiga la posible contaminación del suelo y del agua resultante de nutrientes residuales.

Los productos biológicos han demostrado ser un excelente complemento a los productos químicos en el ámbito de la nutrición vegetal. Este aspecto es fundamental, ya que optimiza la absorción de los nutrientes proporcionados por el fertilizante en el sistema radicular. En consecuencia, las combinaciones de fertilizantes químicos que incorporan macro y micronutrientes (como nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, zinc, cobalto, molibdeno y boro) con dichas bacterias resultan altamente efectivas, en consonancia con los hallazgos de López *et al.* (2020), que algunas especies del género *Bacillus*, cuando se aplican como tratamiento de semillas, establecen una relación con las raíces que favorece el crecimiento de las plantas. Además, y esto es importante, mejoran la absorción de los nutrientes aportados por los fertilizantes, por lo que resulta imprescindible combinar productos químicos con biofertilizantes.

La efectividad y sinergia entre los productos químicos y biológicos, en términos generales, se manifiestan en que los biológicos tienden a ser más lentos y menos perceptibles en el corto plazo. Esta observación es respaldada por Meneses (2023), quien destaca que la combinación de insumos químicos y naturales ejemplifica de manera prominente la eficacia y sinergia, constituyendo el núcleo del enfoque de la agricultura de fusión, que busca integrar “lo mejor de ambos mundos”. La eficacia de los fertilizantes solubles se incrementa significativamente al ser utilizados en combinación con dosis reducidas de humatos solubles.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

El incremento en la productividad de los cultivos posiciona a los biofertilizantes como una opción viable para reemplazar el uso de fertilizantes químicos en el sector agrícola. No obstante, la eficacia y la sinergia entre los productos químicos y biológicos contribuyen a obtener rendimientos superiores por hectárea cultivada, al tiempo que promueven el desarrollo óptimo de las plantas en términos de su potencial productivo.

La eficiencia en la utilización de fertilizantes químicos presenta variaciones dependiendo de la aplicación del producto, la cual debe llevarse a cabo de manera adecuada y en el momento oportuno, a fin de minimizar las pérdidas por volatilización, lixiviación, fijación, precipitación, entre otras reacciones suelo. Además, su integración con biofertilizantes se perfila como una estrategia prometedora.

La sinergia entre la química y la biología se manifiesta a través de la aplicación foliar de productos biológicos que se combinan con macro y micronutrientes. En este proceso, se integran nutrientes químicos con moléculas orgánicas, lo que facilita su absorción por parte de la planta.

Los productos biológicos han demostrado ser complementos altamente efectivos de los fertilizantes químicos en el ámbito de la nutrición vegetal, lo que contribuye de manera significativa a la mejora de la producción agrícola de los cultivos.

Los fertilizantes químicos y orgánicos pueden considerarse como dos métodos complementarios para la fertilización de los suelos. Según las características del cultivo y el tipo de producción, se puede optar preferentemente por el uso de abonos orgánicos, fertilizantes químicos, o bien una combinación de

ambos.

La eficacia y sinergia son fundamentales, ya que implican la integración de insumos químicos y naturales, lo cual constituye la esencia del enfoque agrícola contemporáneo. La eficacia de los fertilizantes solubles se incrementa significativamente cuando se utilizan en combinación con dosis reducidas de biofertilizantes junto a fertilizantes químicos.

La integración de compuestos químicos o biológicos posibilita un amplio espectro de opciones creativas, las cuales pueden ser empleadas tanto para optimizar la calidad de los productos como para minimizar las cantidades de sustancias químicas utilizadas. Además, a medio y largo plazo, la ecuación económica parece ser más ventajosa para las combinaciones de ambos tipos de productos.

3.2. RECOMENDACIONES

Fomentar entre los agricultores la adopción de fertilizantes químicos como complemento a los fertilizantes orgánicos, con el objetivo de aumentar los rendimientos por unidad de superficie.

Desarrollar investigaciones adicionales sobre la eficiencia, eficacia y sinergia de los macronutrientes esenciales en los cultivos, tales como el nitrógeno, fósforo y potasio.

Formar a los agricultores en la relevancia del uso adecuado de fertilizantes, tanto en términos de dosificación como del momento de su aplicación.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arana, J. 2021. *Manejo de la fertilización en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum), en el Ecuador* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021). Disponible en <http://190.15.129.146/handle/49000/10348>
- Baque, E., Carpio, M. 2023. "Eficiencia agronómica de nitrógeno y producción de maíz (*Zea mays* L.) con fertilización orgánica y mineral en la parroquia El Vergel". UTC. La Maná. 89 p. Disponible en <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10091/1/UTC-PIM-00089.pdf>
- Beltrán, M., Bernal, A. 2022. Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1). Disponible en <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/Biofertilizantes-alternativa-biotecnologica-para-agroecosistemas/1858>
- Benavides, W. 2021. *Efecto de dos tipos de fertilizantes en el crecimiento inicial de un sistema agroforestal con Alnus Nepalensis D. Don y Coffea Arabica L. en el sector San Antonio, parroquia de Apuela Zona de Intag* (Bachelor's thesis). Disponible en <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11477>
- Bertotto, A. 2024. Fertilizantes químicos combinados con biológicos: una alternativa eficaz para fortalecer la nutrición. Disponible en <https://www.infocampo.com.ar/fertilizantes-quimicos-combinados-con-biologicos-una-alternativa-eficaz-para-fortalecer-la-nutricion/>
- Cardona, W., Bolaños, M, Chavarriaga, W. 2016. Efecto de fertilizantes químicos y orgánicos sobre la agregación de un suelo cultivado con *Musa acuminata* AA. *Acta Agronómica*, 65(2), 144-148. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122016000200006
- Cuadras, A., Peinado, V., Peinado, H., López, J., Herrera, J. 2021. Agricultura intensiva y calidad de suelos: retos para el desarrollo sustentable en Sinaloa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(8), 1401-1414. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007->

09342021000801401&script=sci_arttext

- Deleg R., Mayancela, E. 2024. *Comparación de la eficiencia de dos abonos orgánicos en el cultivo de la fresa (Fragaria x ananassa)* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay). Disponible en <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/14878>
- Florez, A., López, A. 2023. *Modelo estratégico para el desarrollo del mercado de los abonos orgánicos en Colombia* (Bachelor's thesis). Disponible en <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/37450>
- Galván, A. 2022. Productividad agrícola en México y sus determinantes: perspectivas del gasto público. *RIVAR (Santiago)*, 9(27), 233-249. Disponible en https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-49942022000300233&script=sci_arttext
- Jaque, V., Mestre, C. 2021. Hacia una fertilización sustentable: Los microorganismos del suelo son esenciales en los ecosistemas naturales. Entonces vale preguntarse, ¿cómo aprovecharlos en la agricultura para abrir camino hacia producciones afines con el entorno socioambiental?. *Desde la patagonia. Difundiendo saberes*, 18(32), 2-9. Disponible en <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/desdelapatagonia/article/view/3640>
- Jiménez, D., Vahos, D., Galo, J., Ríos, L. 2022. Efecto del uso de biofertilizantes sobre la productividad agrícola: revisión sistemática. *Hechos Microbiológicos*, 13(2). Disponible en <https://revistas.udea.edu.co/index.php/hm/article/view/353066/20813146>
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., & Mansoori, H. (2014). Optimizing water, nitrogen and crop density in canola cultivation using response surface methodology and central composite design. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(2), 286-298. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00380768.2014.893535>
- Laaz, A. 2022. Fertilización orgánica del cultivo de hierbaluisa (*Cymbopogon citratus*) en la provincia de Los Ríos, Ecuador. UTC. La Maná. 69 p. Disponible en <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8574>
- Longa, E., Rodríguez, E. 2021. Evaluación del efecto de los fertilizantes químicos y abonos orgánicos en suelos agrícolas con cultivo de papa—distrito de Sorochuco 2020. Disponible en <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28649>

- López, T. 2022. *Impacto del uso de fertilizantes químicos en la producción del cultivo de naranja (Citrus sinensis L.)* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022). Disponible en <http://190.15.129.146/handle/49000/11317>
- López, I., Martínez, L., Pérez, G., Reyes, Y., Núñez, M., Cabrera, J. 2020. Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 41(2). Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200010&lng=es&tlng=pt.
- Macías, C. 2022. Análisis comparativo entre un fertilizante químico convencional y un fertilizante a partir de residuos orgánicos para plantas de interior. Disponible en <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/28738>
- Méndez, M. 2022. Desarrollo de un modelo agrícola de cadena de valor para la reactivación de la economía de la junta auxiliar de Encrucijada Puebla. Disponible en <http://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/5457>
- Meneses, M. 2023. *Agricultura regenerativa sustentable para promover la diversidad en el suelo* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2023). Disponible en <http://190.15.129.146/handle/49000/14892>
- Morel, E., Pistilli, R., Barrios, E., Caballero, O., Servin, A., Dasilva, M., Lugo, W., Huerta, Á. 2021. Effectiveness of biofertilizers in the production of bean varieties. *Idesia (Arica)*, 39(3), 13-19. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000300013>
- Moscoso Aldaz, J. M. 2022. *Uso de micorrizas en el cultivo de sandía Citrullus lanatus L* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022). Disponible en <http://190.15.129.146/handle/49000/13151>
- Navarro, M. 2021. Desarrollo, estabilidad y eficacia de biofertilizantes para la mejora del cultivo de plantas de tomate y maíz. Disponible en <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/184791>
- Navarro, G. 2023. *Fertilizantes. Química y acción*. Ediciones Mundi-Prensa. Disponible en <https://acortar.link/GwdUP9>
- Ossa, S., Ochoa, J. 2023. Actividad promotora del crecimiento vegetal en la cebolla (*Allium cepa*) como un cultivo hortícola. Disponible en <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/28131>
- Pineda, E., Bustos, U., Benítez, B., Salazar, F., Cabrera, S. 2021. Análisis de la

- estructura productiva de la economía ecuatoriana: Exportaciones del Sector Agrícola. *Sociedad & Tecnología*, 4(3), 380-398. Disponible en <https://institutojubones.edu.ec/ojs/index.php/societec/article/view/144>
- Ramírez, M., García, A., Medina, M. 2020. Comparación de la productividad agrícola-económica sustentable y convencional de papaya, en Michoacán, México. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 385-403. Disponible en <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v31n2/2215-3608-am-31-02-00385.pdf>
- Ramos, C., Pérez, S., Guerrero, S., Palacios, A. 2021. Biofertilización y nanotecnología en la alfalfa (*Medicago sativa* L.) como alternativas para un cultivo sustentable. *Cultivos Tropicales*, 42(2). Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v42n2/1819-4087-ctr-42-02-e10.pdf>
- Sandoval, G., Peña, I. 2024. Incidencia de la Importación de Urea en el Sector Agrícola del Ecuador. *REVISTA DE INVESTIGACIÓN SIGMA*, 11(02). Disponible en <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/Sigma/article/view/3493>
- Tlelo, A., Taboada, O., Cruz, J., López, H., López, P. 2020. Efecto de la fertilización orgánica y química en el rendimiento de fruto de chile Poblano. *Revista fitotecnica mexicana*, 43(3), 283-289. Disponible en <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.238>
- Ulle, J. 2022. Evaluación de cultivos de cobertura en una rotación agrícola con la utilización de bioinsumos. Disponible en <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/13815>
- Vera, J., Vera, L. 2022. *Efectividad agronómica y económica de la nutrición foliar en maíz amarillo duro de secano* (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL). Disponible en <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1957>
- Viana, J. 2020. La eficiencia de los fertilizantes. Disponible en https://www.engormix.com/agricultura/fertilizacion-potasica/eficiencia-fertilizantes_a45988/
- Yaguas, O. 2017. Metodología de superficie de respuesta para la optimización de una producción agrícola. *Revista Ingeniería Industrial*, 16(2), 205-222. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6533951>

4.2. ANEXOS



Figura 1. Eficiencia de los fertilizantes: abonado

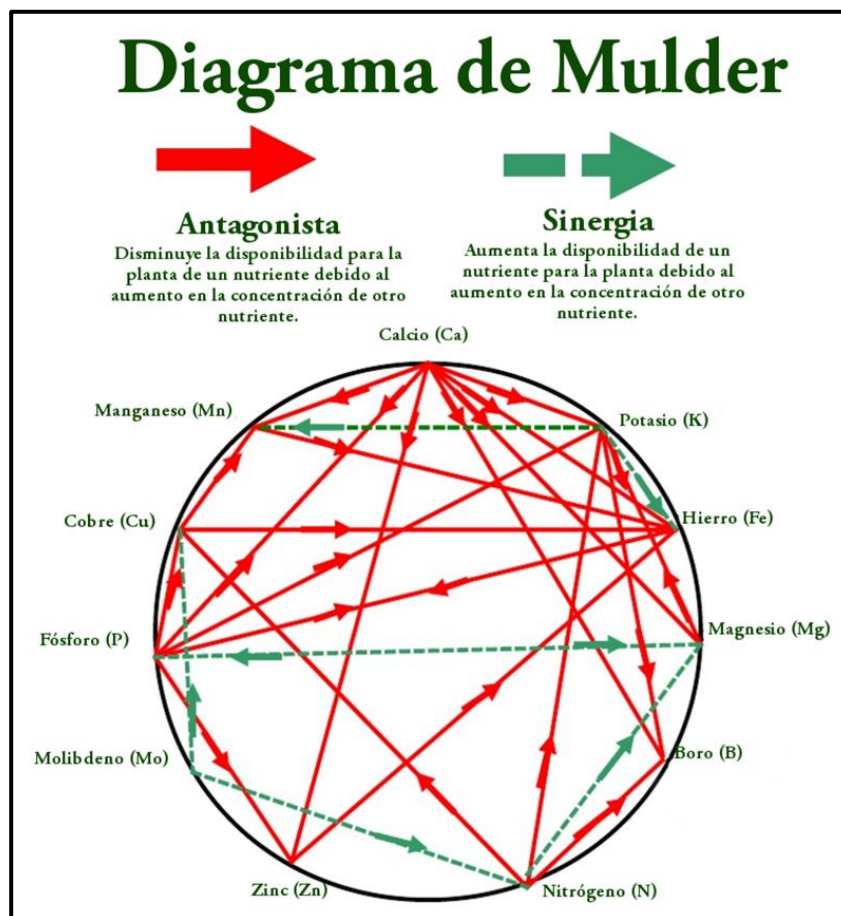


Figura 2. Diagrama de Mulder: Relación entre nutrientes.