



**UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**



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

**CARRERA DE AGROPECUARIA**

**TRABAJO DE TITULACION**

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

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA:**

Impacto de los fertilizantes Nitrogenados de lenta liberación en  
la productividad agrícola.

**AUTOR:**

Yoel Jonathan Tello Arreaga

**TUTOR:**

Ing. Agr. Andy Ronquillo Moran. Msc.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

**2024**

## RESUMEN

En el desarrollo de esta investigación basada en el “Impacto de los fertilizantes Nitrogenados de lenta liberación en la productividad agrícola.” en el cual se planteó como objetivo, establecer los impactos de los principales fertilizantes nitrogenados de lenta liberación en la productividad agrícola. La metodología, se determina que se basó en un tipo de investigación explorativa, donde se desarrolló bajo un enfoque descriptivo-analítico, con un diseño de investigación cualitativo, en su desarrollo de se tomaron en cuentas temas como la definición de fertilizantes nitrogenados, su clasificación cuales son los fertilizantes recubiertos o encapsulados, los principales fertilizantes de liberación nitrogenados de liberación lenta usado en la agricultura, los efectos de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta en el rendimiento agrícola y su impacto económico en comparación con los fertilizantes comerciales. En cuanto a los resultados, demuestran que los principales fertilizantes nitrogenados de liberación lenta utilizados en la agricultura incluyen la urea recubierta, Sulfato de nitrógeno recubierto y Nitrato de amonio recubierto y que estos tienen un costo inicial más alto, pero su uso eficiente y sus beneficios a largo plazo pueden justificar la inversión, los costos operativos se reducen al reducir la cantidad de fertilizante necesaria, la frecuencia de aplicación y el rendimiento de los cultivos. En conclusión, tienen un control ofrecen muchos beneficios significativos en el rendimiento de los cultivos, reduciendo el riesgo de contaminación ambiental optimizando un crecimiento y desarrollo de las plantas y la relación de costo y efectividad de los fertilizantes de liberación lenta tiene sus beneficios a largo plazo justificando su inversión inicial debido al alto valor.

**Palabras Claves:** Fertilizantes químico, Nitrógeno, liberación lenta, rendimiento.

## SUMMARY

In the development of this research based on the "Impact of slow-release nitrogen fertilizers on agricultural productivity." in which it was proposed as an objective to establish the impacts of the main slow-release nitrogen fertilizers on agricultural productivity. The methodology is determined to be based on a type of explanatory research, where it was developed under a descriptive-analytical approach, with a qualitative research design, in its development, topics such as the definition of nitrogen fertilizers, their classification, which are coated or encapsulated fertilizers, the main slow-release nitrogen fertilizers used in agriculture, the effects of slow-release nitrogen fertilizers on agricultural yield and its economic impact compared to commercial fertilizers were taken into account. As for the results, they demonstrate that the main slow-release nitrogen fertilizers used in agriculture include coated urea, coated nitrogen sulphate and coated ammonium nitrate and that these have a higher initial cost, but their efficient use and long-term benefits can justify the investment, operating costs are reduced by reducing the amount of fertilizer needed, the frequency of application and crop yield. In conclusion, they have a control offer many significant benefits in crop yield, reducing the risk of environmental contamination by optimizing plant growth and development and the cost-effectiveness ratio of slow-release fertilizers has its long-term benefits justifying its initial investment due to the high value.

**Keywords:** Chemical fertilizers, Nitrogen, slow release, yield.

## INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY .....	III
1.CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	2
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. Definición de fertilizantes nitrogenados de lenta liberación.....	5
2.1.2. Importancia del nitrógeno en la agricultura.....	5
2.1.3. Clasificación de los fertilizantes de lenta liberación.....	6
2.1.3.1. Fertilizantes Recubiertos o Encapsulados.....	6
2.1.3.2. Fertilizantes de liberación controlada. ....	6
2.1.3.3. Fertilizantes orgánicos de liberación lenta.....	7
2.1.4. Mecanismos de Liberación. ....	7
2.1.4.1. Proceso químico y biológicos de liberación.....	7
2.1.5. Factores que afectan la tasa de liberación. ....	9
2.1.5.1. Temperatura.....	9
2.1.5.2. pH del suelo. ....	9
2.1.6. Impacto Ambiental de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta.....	9

2.1.7. Principales fertilizantes de liberación nitrogenados de liberación de lenta usado en la agricultura. ....	10
2.1.7.1. Sulfato de nitrógeno recubierto (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . ....	10
2.1.7.3. Nitrato de amonio recubierto (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> ). ....	10
2.1.7.4. Isobutil dienodiurea (IBDU) (C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> N <sub>4</sub> O <sub>5</sub> ). ....	10
2.1.8. Efectos de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta en el rendimiento agrícola. ....	11
2.1.9. Impacto económico de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta en comparación con los fertilizantes comerciales. ....	13
2.2.1. Marco metodológico. ....	14
2.3. Resultados. ....	14
2.4 Discusión de resultados ....	15
3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	16
3.1. Conclusiones. ....	16
3.2. Recomendaciones. ....	17
4.REFERENCIAS Y ANEXOS ....	18
4.1. Referencias bibliográficas ....	18
4.2. Anexos. ....	23

## ÍNDICE DE TABLA.

Tabla 1. Comparación entre los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta y fertilizantes nitrogenados convencionales. ....	11
---	----

# 1. CONTEXTUALIZACIÓN

## 1.1. Introducción

Los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación son cruciales para la agricultura a nivel mundial, debido que proporciona una liberación gradual de nitrógeno, mejorando la eficiencia del uso de nutrientes y reduciendo las pérdidas por lixiviación y volatilización, estos fertilizantes apoyan un crecimiento sostenido de los cultivos y contribuyen a la reducción del impacto ambiental asociados con el uso excesivo de los fertilizante convencionales; Su adopción está en aumento debido a sus beneficios agronómicos y ambientales, favoreciendo prácticas agrícolas más sostenibles (Agroptima 2022).

En Ecuador, el uso de fertilizantes nitrogenados de lenta liberación está ganando terreno debido a sus beneficios agronómicos y ambientales, estos fertilizantes liberan nitrógeno gradualmente, mejorando la eficiencia del uso de nutriente y diversas regiones agrícolas del país; además, apoyan un crecimiento sostenido de cultivos como banano, cacao y maíz, que son esenciales para la económica ecuatoriana (Calina *et al.* 2017).

La productividad agrícola en el país, ha experimentado importantes avances y desafíos en las últimas décadas, impulsada por factores como la diversidad de climas y suelos favorables para diferentes cultivos, así como por políticas de apoyo al sector agropecuario. La variedad de pisos térmicos y la presencia de la cordillera de los Andes permiten la producción de una amplia gama de productos agrícolas, siendo el 30% del territorio utilizado para la explotación, desde frutas tropicales en las tierras bajas hasta cultivos en las altas montañas, yaciendo así un país biodiversificado (Castillo 2014).

Existen una amplia variedad de fertilizantes en la actualidad en el mercado, que van desde ser amigables con el medio, hasta unos que no se lixivian de una manera adecuada, dentro de la explotación agrícola en el Ecuador son muy utilizados, que ayuda proporcionando o estabilizando los índices de nutrientes en el suelo, mismos que necesita la planta, dentro de los fertilizantes de liberación lenta, se realizará su análisis en aportación al medio ambiente, forma de absorción y si existen alguna ganancia en costo de producción.

## 1.2. Planteamiento del problema

Los fertilizantes convencionales, al liberar nutrientes rápidamente, desencadenan problemas ambientales graves, la lixiviación de nitrógeno y fósforo es un riesgo significativo; al filtrarse en el suelo, estos elementos llegan a capas más profundas, contaminando aguas subterráneas y superficiales, esto afecta la calidad del agua potable y los ecosistemas acuáticos, estimulando el crecimiento excesivo de algas que agotan el oxígeno, causando zonas muertas y desequilibrio en las poblaciones de peces y otros organismos (Paredes 2014).

Otro problema destacado es la contribución de las fertilizantes convencionales a la emisión de gases de efecto invernadero, la aplicación excesiva de fertilizante nitrogenados pueden dar lugar a la producción de óxido nitroso ( $N_2O$ ), un gas con un potencial de calentamiento global mucho mayor que el dióxido de carbono ( $CO_2$ ); esta emisión contribuye al cambio climático y a sus consecuencias negativas a la agricultura y al medio ambiente en general, las prácticas agrícolas inadecuadas pueden intensificar este problema, destacando la necesidad de métodos más sostenibles en la agricultura (Gonzales 2019).

Es importante señalar que muchos nuevos y pequeños agricultores tienen la creencia errónea de que aplicar una mayor cantidad de fertilizante, especialmente los nitrogenados, resultará en una mayor producción. Además, algunos consideran que el uso excesivo de fertilizantes puede contrarrestar los ataques de plagas o enfermedades en los cultivos, sin embargo, esta mentalidad omite por completo el impacto negativo que este enfoque puede tener tanto en la salud del suelo como en la producción a largo plazo (Páez 2020).



### **1.3. Justificación.**

La investigación sobre el impacto de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta en la agricultura es crucial por varias razones, una de ellas es que los fertilizantes prometen una liberación gradual y controlada de nutrientes, lo que podría mejorar la eficiencia de la fertilizante al reducir pérdida por lixiviación volatilización; sin embargo, es necesario comprender en profundidad como esta liberación controlada realmente afecta el rendimiento de los cultivos a largo plazo considerando aspectos como la disponibilidad de nutrientes en diferentes etapas de crecimiento de las plantas y sus interacciones con el suelo y el clima.

Además, el uso creciente de fertilizante de liberación lenta plantea interrogante sobre su impacto y economía, es importante analizar, como estos fertilizantes afectan la calidad del suelo; a más de esto el estudio se realizara en el ámbito económico como el costo-beneficio de estos productos en comparación con los fertilizantes convenciones, para determinar su viabilidad a largo plazo en sistemas agrícolas, el estudio de caso proporcionará información valiosa para optimizar el uso de fertilizantes y mejorar la productividad agrícola.

La combinación de fertilizantes nitrogenados de liberación lenta con fertilizantes convencionales optimiza la productividad agrícola al equilibrar la eficiencia del uso de nutrientes y la sostenibilidad del suelo. Los fertilizantes de liberación lenta proporcionan un suministro gradual de nitrógeno, reduciendo pérdidas por lixiviación y volatilización, y garantizando una nutrición prolongada para los cultivos. Mientras tanto, los fertilizantes convencionales ofrecen una respuesta rápida, ideal para satisfacer las necesidades inmediatas de los cultivos.

La elección de insumos agrícolas más eficientes y sostenibles. Los fertilizantes de liberación lenta ofrecen una liberación gradual de nutrientes, reduciendo la pérdida por lixiviación y volatilización, lo que mejora la eficiencia en la absorción de nitrógeno por las plantas, esto en aumenta un 40% más que los convencionales la productividad de los cultivos, sino que también disminuye el impacto ambiental al reducir la contaminación de suelos y aguas, en contraste, los fertilizantes convencionales liberan nitrógeno rápidamente, lo que puede resultar en pérdidas significativas de nutrientes y mayor necesidad de aplicaciones.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Establecer los impactos de los principales fertilizantes nitrogenados de lenta liberación en la productividad agrícola.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Describir los principales fertilizantes nitrogenados de liberación lenta usados en la agricultura.
- Determinar los efectos de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta en el rendimiento agrícola.
- Indicar el impacto económico de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta en comparación con los fertilizantes comerciales.

## **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: "Impacto de los fertilizantes Nitrogenados de lenta liberación en la productividad agrícola.". En este contexto, específicamente se aborda la línea del Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y en la Sublínea de Agricultura sostenible y sustentable y nutrición vegetal.

## **2. DESARROLLO.**

### **2.1 Marco conceptual.**

#### **2.1.1. Definición de fertilizantes nitrogenados de lenta liberación.**

Los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación (FLL), son productos diseñado para suministrar nitrógeno a las plantas de manera gradual, alineado de la disponibilidad de nutrientes con las necesidades fisiológicas del cultivo a lo largo del tiempo, a diferencia de los fertilizantes convencionales, que liberan rápidamente su contenido de nitrógeno; este enfoque no solo optimiza el crecimiento de los cultivos, sino que minimiza los impactos ambientales adversos, como la contaminación de agua subterráneas (AEFA 2014).

La liberación de nitrógeno controlada en estos fertilizantes pueden lograrse a través de varias tecnología, como recubrimiento poliméricos, inhibidores de la nitrificación o compuestos de liberación de lente, los recubrimientos en el suelo mientras que los inhibidoras de la nitrificación retrasan la conversión del amonio en nitrato, prolongando su disponibilidad para las plantas, esta característica permiten una sincronización precisa entre la liberación de nitrógeno y las etapas de desarrollo del cultivo (Sembralia 2021).

#### **2.1.2. Importancia del nitrógeno en la agricultura.**

El nitrógeno es un elemento esencial en la agricultura, debido que es un componente crucial de la clorofila, el pigmento responsable de la fotosíntesis, además, es un elemento fundamental en los aminoácidos, que son los bloques de construcción de las proteínas y en los ácidos nucleicos, que forman el ADN y el ARN; su disponibilidad en los suelos afecta directamente el crecimiento y desarrollo de los cultivos, influenciando tanto el rendimiento como la calidad del productos final, sin suministro adecuado de nitrógeno, las plantas presentan deficiencias que se traducen en una reducción significativa de la productividad agrícola (CIMMYT 2020).

En la agricultura moderna, el manejo eficiente del nitrógeno es crucial para, maximizar el rendimiento de los cultivos y garantizar la sostenibilidad del sistema agrícola, los fertilizantes nitrogenados, al suplir este nutriente vital, permiten que las plantas alcancen su máximo potencial de crecimiento y producción; sin embargo el

uso de estos indiscriminado de estos fertilizantes pueden llevar a problemas ambientales, como la contaminación de cuerpo de aguas y la emisión de gases de fertilizantes de lenta liberación, es esencial para optimizar la utilización del nitrógeno y minimizar sus impactos negativos (FAO 2021).

### **2.1.3. Clasificación de los fertilizantes de lenta liberación.**

Los fertilizantes de lenta liberación son esenciales para mejorar la eficiencia del uso de nitrógeno y reducir el impacto ambiental en la agricultura, su clasificación se basa en la tecnología utilizada para controlar la liberación de nutrientes permitiendo una disponibilidad más prolongada:

#### **2.1.3.1. Fertilizantes Recubiertos o Encapsulados**

Los fertilizantes recubierto o encapsulado son diseñados para liberar nutrientes gradualmente, mejorando la eficiencia del uso de nitrógeno, estos fertilizantes están envuelto en materiales como polímeros sintéticos o azufre, que controlan la liberación del nutriente en el suelo, los recubrimientos poliméricos pueden ser biodegradable o no, proporcionando una liberación lenta y uniforme de nitrógeno; esta tecnología reduce significativamente las pérdidas por lixiviación y volatilización, sincronizando la disponibilidad de nitrógeno con las necesidades del cultivo (MAPAE 2020).

- Recubrimiento Poliméricos.
- Recubrimientos de Azufre.
- Recubrimientos de Polímeros y Azufre.

#### **2.1.3.2. Fertilizantes de liberación controlada.**

Estos fertilizantes suministran nutrientes de manera eficiente y prolongada, mejorando el uso de nitrógeno, utilizan tecnologías como inhibidores de nitrificación, que retrasan la conversión de amonio y nitrato y a si también ureasa, que reducen la actividad de la enzima ureasa y limitan la volatilización del amonio; estas tecnologías asegura que el nitrógeno permanezcan disponible para las plantas por más tiempos, reduciendo las pérdidas por lixiviación, al liberar nutrientes de forma gradual, estos fertilizantes optimizan el crecimiento de los cultivos (Reyes *et al.* 2012).

- Inhibidores de Nitrificación.
- Inhibidores de Ureasa.

### **2.1.3.3. Fertilizantes orgánicos de liberación lenta.**

Son materiales naturales que proporcionan nutrientes de manera gradual, mejorando la fertilidad del suelo y la salud de los cultivos, ejemplos que incluyen el compost, estiércol, harinas de huesos y algas marinas, estos fertilizantes se descomponen lentamente gracias a la actividad microbiana, liberando nitrógeno y otros nutrientes a un ritmo constante; esta liberación continua de nutrientes, además, de mejorar la productividad agrícola, los fertilizantes orgánicos de liberación gradual evita las pérdidas del mismo, garantizando una disponibilidad de nutrientes continua, promoviendo la biodiversidad del suelo y reduciendo el impacto ambiental (Silos 2019).

### **2.1.4. Mecanismos de Liberación.**

#### **2.1.4.1. Proceso químico y biológicos de liberación.**

Los procesos de descomposición de los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación tienen los siguientes procesos:

- **Procesos Químicos.**

**Hidrólisis:** Algunos fertilizantes de lenta liberación, como el isobutildeno diurea (IBDU), liberan nitrógeno a través de hidrólisis, una reacción química con el agua del suelo, la tasa de liberación depende de la humedad del suelo y de la temperatura, permitiendo una liberación gradual de los nutrientes (González *et al.* 2023).

La hidrólisis de los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación es más eficiente en temperaturas moderadas, a temperaturas óptimas, típicamente entre 15°C y 30°C, la velocidad de hidrólisis aumenta, permitiendo una liberación gradual y más predecible del nitrógeno; a temperaturas más bajas, la tasa de hidrólisis disminuye, lo que puede prolongar la liberación de nitrógeno y reducir la eficacia del fertilizante (AEFA 2014).

La humedad adecuada del suelo es igualmente importante, ya que facilita el contacto entre el fertilizante y el agua necesaria para la hidrólisis; un contenido de humedad en el suelo de aproximadamente 60-80% de la

capacidad de retención de agua permite una hidrólisis óptima, si el suelo está demasiado seco, la hidrólisis se ralentiza, y si está excesivamente húmedo, puede haber riesgos de lixiviación y pérdida de nutrientes (MAPAE 2020).

**Descomposición de Polímeros:** en estos fertilizantes la capa externa se descompone lentamente en contacto con el agua y los microorganismos del suelo, este proceso regula la difusión de los nutrientes proporcionando una liberación controlada (Vescovi 2024).

**Solubilidad Diferencial:** Algunos compuestos de los fertilizantes tienen baja solubilidad en agua, lo que provoca una liberación gradual de nutrientes a medida que se disuelven lentamente en el suelo, esto es común en los fertilizantes de liberación lenta formulados con ciano-ureas o condensados de urea-formaldehído (Gance *et al.* 2022).

- **Procesos Biológicos.**

**Mineralización:** Los fertilizantes orgánicos de lenta liberación, como el compost y el estiércol, dependen de la actividad microbiana para descomponerse. Los microorganismos del suelo degradan la materia orgánica, liberando nutrientes disponibles para las plantas a lo largo del tiempo (Vargas y García 2022).

**Nitrificación:** Los microorganismos del suelo convierten el amonio en nitrito a través de un proceso llamado nitrificación, este proceso biológico es controlado en parte por inhibidores de nitrificación presente en algunos fertilizantes de liberación lenta, retrasando la conversión y prolongando la disponibilidad del nitrógeno; generalmente, se estima que entre el 5% y el 20% del nitrógeno total disponible en los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación puede ser secuestrado por la biomasa microbiana durante el proceso de descomposición (Buteris 2022).

**Actividad Microbiana:** Los microorganismos del suelo juegan un papel crucial en la liberación de nutrientes de los fertilizantes o encapsulados, la actividad microbiana degrada lentamente los recubrimientos orgánicos o biodegradables, facilitando la liberación de los nutrientes contenidos; fertilizantes como la urea recubierta con polímero tarda entre 2 a 6 meses y los orgánicos como el compost o estiércol entre 6 meses a 1 año (FERTILAB 2021).

## **2.1.5. Factores que afectan la tasa de liberación.**

### **2.1.5.1. Temperatura.**

La temperatura del suelo va 15°C a 30°C (59°F a 86°F), esto ejerce una influencia positiva en la tasa de liberación de los nutrientes de los fertilizantes de lenta liberación, en condiciones más calientes los procesos químicos y biológicos tienen a acelerar, lo que puede aumentar la velocidad de descomposición de los nutrientes y la actividad microbiana, por lo tanto en climas más cálidos, la liberación de nutrientes tienen a ser rápida, mientras que en climas más fríos, la liberación pueden ser más lenta y prolongada (Maté *et al.* 2019).

### **2.1.5.2. pH del suelo.**

El pH del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana, lo que a su vez influyen en la tasa de liberación de los fertilizantes de lenta liberación, en suelo ácidos, la liberación de nutrientes puede ser más lenta debido a la menor actividad microbiana y a la mayor estabilidad de los nutrientes, por otro lado, en los suelos alcalinos, la liberación puede ser más rápida debido a una mayor actividad microbiana y a una mayor solubilidad de nutrientes (HANNA 2020).

## **2.1.6. Impacto Ambiental de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta.**

Los FLL, pueden tener un impacto ambiental positivo en comparación con los otros fertilizante convencionales, al liberar nutrientes de manera gradual y controlada, reducen las pérdidas por lixiviación y volatilización, lo que disminuye la contaminación del agua y del aire; este aspecto es crucial para la conservación de la calidad de agua, debido que la lixiviación del nitratos pueden contaminar las fuentes de aguas subterráneas y superficiales, afectando la salud de los humanos y la vida acuática, además al reducir la volatilización de amonio disminuyen la emisión de gases de efecto invernadero (Caramel 2023)

Por otro lado, el impacto ambiental positivo de los fertilizantes nitrogenado de liberación de lenta, es su capacidad para mejorar la salud de los suelos y promover la biodiversidad, al proporcionar una fuente constante de nutrientes lo largo del tiempo, fomentan la actividad microbiana y la formación de materia orgánica en el suelo, lo que mejora su estructura y fertilidad; esta mejora en la

calidad del suelo pueden aumentar la resistencia a la erosión y la capacidad de retención de agua, reduciendo así la degradación del suelo y promoviendo la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas (COIAL 2020).

### **2.1.7. Principales fertilizantes de liberación nitrogenados de liberación de lenta usado en la agricultura.**

#### **2.1.7.1. Sulfato de nitrógeno recubierto (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.**

El recubrimiento puede consistir en materiales poliméricos u otros compuestos que actúan para actuar para controlar la liberación de nitrógeno, estos recubrimientos pueden variar en composición y estructura, pero la fórmula final del sulfato de nitrógeno recubierto serían una combinación de fórmulas del sulfato de amonio con los materiales del recubrimiento, es por eso que se retarda la liberación de nitrógeno en el suelo, lo que permite una disponibilidad gradual de nutrientes para las plantas (RedAgricola 2020).

#### **2.1.7.2. Urea Recubierta (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>).**

Similar al nitrato de nitrógeno, la urea recubierta utiliza tecnología de encapsulación para controlar la liberación de nitrógeno reduciendo las pérdidas por volatilización, sin embargo, el contenido total de nitrógeno generalmente entre 35% y 46% en peso, la fórmula de la urea recubierta también incluiría el material utilizado para el recubrimiento, que puede variar según el fabricante y la tecnología utilizada, como indica el anexo 3 (PREDE 2021).

#### **2.1.7.3. Nitrato de amonio recubierto (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>).**

Este fertilizante también utiliza recubrimientos especiales para regular la liberación de nitrógeno, lo que ayuda a optimizar la disponibilidad de nutrientes y a reducir la contaminación, al igual que CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (Urea recubierta), el contenido total de nitrógeno es generalmente entre 30% y 35% en peso, la fórmula del nitrato de amonio recubierto también incluiría el material utilizado para el recubrimiento, que pueden variar según el fabricante y la tecnología utilizadas (YARA 2024).

#### **2.1.7.4. Isobutil dienodiurea (IBDU) (C<sub>14</sub>H<sub>22</sub>N<sub>4</sub>O<sub>5</sub>).**

Son compuestos químicos que liberan nitrógeno a través de la hidrólisis, lo que permiten una liberación controlada de nutrientes según las condiciones del suelo, también se lo utiliza como fuente de nitrógeno en fertilizantes de liberación



lenta, esta fórmula representa la estructura química básica del IBDU, el contenido total de Nitrógeno es alrededor del 31% en peso, y se descompone gradualmente en el suelo liberando nitrógeno a medida que las condiciones del suelo lo permiten (Helthe 2017).

**Tabla 1.** Comparación entre los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta y fertilizantes nitrogenados convencionales.

<b>Aspecto</b>	<b>Fertilizantes Nitrogenados de Liberación Lenta</b>	<b>Fertilizantes Nitrogenados Convencionales</b>
<b>Precio</b>	Generalmente más alto debido a la tecnología de liberación lenta	Generalmente más bajo y más económico.
<b>Aporte de Nitrógeno</b>	Liberación gradual; del 30 – 50% disponible durante un período prolongado.	Liberación rápida; 20 – 30% disponible en corto plazo.
<b>Eficiencia del Uso de Nitrógeno</b>	Alta eficiencia debido a la liberación prolongada y menor lixiviación.	Menor eficiencia; riesgo de lixiviación y volatilización.
<b>Productividad de los Cultivos</b>	Mejora la productividad a largo plazo al proporcionar una nutrición continua.	Puede mejorar la productividad a corto plazo, pero puede ser menos eficiente a largo plazo.
<b>Impacto Ambiental</b>	Menor impacto ambiental debido a la reducción de lixiviación y volatilización.	Mayor riesgo de pérdida de nitrógeno y contaminación del agua
<b>Tiempo de Acción</b>	Descomposición prolongada; puede durar desde varios meses hasta un año.	Acción rápida; nitrógeno disponible en pocos días a semanas.
<b>Facilidad de Aplicación</b>	Requiere una aplicación inicial precisa; menos aplicaciones necesarias.	Más fácil de aplicar; puede necesitar aplicaciones frecuentes.
<b>Requerimientos de Condiciones del Suelo</b>	Requiere condiciones óptimas de temperatura y humedad para una liberación efectiva.	Menos dependiente de condiciones específicas; liberación rápida en una variedad de condiciones.

**Fuente:** Elaborada por el autor.

### **2.1.8. Efectos de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta en el rendimiento agrícola.**

Estudios realizados por Cool y Mero (2018), donde evaluaron los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta (urea recubierta) de liberación de 4 a 5 meses , mejora el rendimiento al proporcionar una liberación gradual y sostenida de nitrógeno a lo largo del ciclo de crecimiento de cultivos, esto permite una mejor sincronización entre la disponibilidad de nutrientes y la necesidad de las plantas en diferentes etapas de desarrollo, lo que optimiza la absorción y utilización de nitrógeno; como

resultado se observaron un aumento en la biomasa vegetal, la producción de flores y frutos y en últimas instancias un mayor rendimiento de los cultivos.

Según Puello y Suero (2018), a través de su estudio experimental donde evaluó la urea recubierta de liberación de 5 a 6 meses, expone una lenta mitigación de las pérdidas de nutrientes debido a la lixiviación y volatilización, fenómenos comunes con las fertilizantes convencionales, al liberar gradualmente el nitrógeno, estos fertilizantes permiten a una mayor retención de nutrientes en el suelo, reduciendo así la pérdida de nitrógeno hacia aguas subterráneas y la atmósfera; esta reducción en las pérdidas nutricionales contribuye a una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes y a una gestión más sostenible.

Además, de su impacto directo en el rendimiento de los cultivos, la urea recubierta pueden mejorar la salud y la calidad del suelo a largo plazo, al proporcionar una fuente constante de nutrientes, fomentan la actividad microbiana y la formación de materia orgánica en el suelo, mejorando su estructura y la fertilidad; esto resulta en suelo más fértiles y saludables, con una mayor capacidad de retención de agua y nutrientes, lo que a su vez favorece un ambiente de crecimiento optimizado para los cultivos y aumenta su productividad a largo del tiempo así lo informo la revista (Scott 2020).

Existen fertilizantes nitrogenados de lenta liberación, que se descomponen en aproximadamente 9 meses, ofrecen una liberación prolongada y eficiente de nitrógeno para los cultivos; este tipo de fertilizante es ideal para aplicaciones en cultivos de ciclo largo como banano y caña de azúcar, donde la nutrición continua es crucial para un crecimiento óptimo; la liberación gradual minimiza la lixiviación y volatilización del nitrógeno, asegurando que los cultivos tengan acceso al nutriente durante todo su desarrollo (Caramel 2023).

Otros se descomponen en aproximadamente 3 meses son ideales para cultivos de ciclo intermedio y aquellos que requieren una nutrición equilibrada durante varias etapas de crecimiento; estos fertilizantes proporcionan una liberación gradual de nitrógeno, lo que ayuda a mantener niveles adecuados de nutrientes sin el riesgo de lixiviación excesiva, son especialmente adecuados para cultivos como trigo, cebada y hortalizas, que tienen un período de crecimiento que se ajusta bien a esta duración de liberación (Solis 2021).

Se debe tener en claro que el tiempo de la urea recubierta varían en el medio que se lo aplica, el pH del suelo y los factores específicos como la formulación del recubrimiento.

#### **2.1.9. Impacto económico de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta en comparación con los fertilizantes comerciales.**

Los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta, a pesar de su mayor costo inicial en comparación con los fertilizantes comerciales convencionales, pueden ofrecer un impacto económico positivo a largo plazo para los agricultores, aunque el desembolso pueden ser alto, estos tienen la ventaja de liberar gradualmente los nutrientes a lo largo del ciclo de crecimiento de los cultivo, lo que puede resultar en una utilización eficiente de los nutrientes y por lo tanto, en una reducción de los costos de fertilización a lo largo del tiempo (Morales et al. 2021).

Además, los FLL, pueden contribuir a reducir a las pérdidas de nutrientes debido a la lixiviación y la volatilización, lo que puede disminuir la necesidad de aplicaciones frecuentes de fertilizantes y la reposición de nutrientes perdidos; esta reducción en los costos asociados con la pérdida de nutrientes puede compensar en gran manera el costo inicial, más alto de los nutrientes de liberación lenta, especialmente en áreas con alta intensidad de lluvias propensos a la lixiviación (Cool y Mero 2018).

Por último, Caramel (2023), informó que ,los beneficios a largo plazo para la salud del suelo, como la mejora de la estructura del suelo, la retención de agua y la actividad microbiana, resultan en una mayor productividad agrícola y una reducción de costo asociados con la mitigación de la degradación del suelo y la restauración de la fertilidad; en consecuencia, aunque los fertilizantes nitrogenado de liberación lenta requiere una inversión inicial más alta, su impactos económicos positivos a largo plazo son una opción rentable y sostenible para los agricultores.

### **2.2.1. Marco metodológico.**

Esta investigación será de tipo exploratoria donde se reúne información de documentos actuales artículos de investigación, bibliotecas virtuales y sitios web para ayudar a presentar las opiniones e ideas de los actores que permitan desarrollos de investigación.

Se identificaron temas relevantes al impacto de los fertilizantes Nitrogenados de lenta liberación en la productividad agrícola. Este trabajo se desarrolló como una investigación bibliográfica no experimental utilizando la técnica de análisis, revistas, textos actuales, artículos síntesis y resumen de los datos recopilados.

### **2.3. Resultados.**

Los principales fertilizantes nitrogenados de liberación lenta utilizados en la agricultura incluyen la urea recubierta, Sulfato de nitrógeno recubierto y Nitrato de amonio recubierto, por ejemplo, el  $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$ , está diseñada para liberar nitrógeno gradualmente, minimizando las pérdidas por volatilización y lixiviación, ajustando la oferta de nitrógeno al ritmo de absorción. Por otro lado, los fertilizantes encapsulados en polímeros utilizan una barrera física que modula la liberación del nitrógeno, asegurando una disponibilidad prolongada y eficiente del nutriente en el suelo.

Los efectos de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta. hacen que el uso del nitrógeno sea más eficiente, lo que conduce a un crecimiento más sostenido y saludable de las plantas; al proporcionar una liberación continua y controlada de nutrientes, se reduce el estrés nutricional en las plantas y se optimiza su desarrollo, lo que resulta en mayores rendimientos y mejor calidad de las cosechas, además, el uso de fertilizantes de liberación lenta reduce la frecuencia de aplicación, reduce el riesgo de contaminación ambiental y fomenta prácticas agrícolas más sostenibles.

Los fertilizantes de liberación lenta tienen un costo inicial más alto, pero su uso eficiente y sus beneficios a largo plazo pueden justificar la inversión, los costos operativos se reducen al reducir la cantidad de fertilizante necesaria, la frecuencia de aplicación y el rendimiento de los cultivos. Además de proteger el medio ambiente, la reducción de las pérdidas por volatilización y lixiviación aumenta el

retorno de inversión, lo que hace que estos fertilizantes sean una opción económicamente viable a largo plazo para los agricultores.

## **2.4 Discusión de resultados**

Entre los principales fertilizantes nitrogenados de liberación lenta se destacan el sulfato de nitrógeno, la urea recubierta, nitrato de amonio, entre otros. De acuerdo con Solis (2021) menciona que, la utilización de fertilizantes encapsulados constituye una opción eficaz para optimizar la calidad del sistema radicular, asegurar un mejor desarrollo vegetativo del rebrote y promover la salud del suelo del cultivo del banano en su investigación, evitando problemas asociados con la presión osmótica en el fertilizante.

Los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta tienen efectos positivos que permite reducir el riesgo de contaminación ambiental y a la vez la planta aprovecha en mayor porcentaje los nutrientes, se concuerda con lo dicho por Ghafoor *et al.* (2021) indican que, en su investigación incorporo urea recubierta y nitrógeno mejorando la fertilidad del suelo, resultando en un incremento del rendimiento y parámetros asociados, como el número de macollos, granos por espiga, peso de los granos, y materia seca final, además, observó una mejora significativa en el contenido de clorofila en el cultivo.

El impacto económico de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta es significativo ante los comerciales por su alto valor en eficiencia, según Balian *et al.* (2023) su investigación indica que, el costo de los FLL es superior a los fertilizantes comerciales debido a su eficiencia de mejorar general en los cultivos, ejemplo de la urea con inhibidor tiene un precio de mercado de 8 y un 10 más que la urea convencional mientras que los fertilizantes recubiertos son más caros con precios variados de un 40 a un 80 más, esto tiene sus ventajas porque se reduce en un 15 el uso de la urea convencional por sus mejoras más eficientes.

### **3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **3.1. Conclusiones**

La importancia de los principales fertilizantes nitrogenados de liberación lenta utilizados en agricultura, tiene resultados positivos debido a que minimizan las pérdidas por volatilización y lixiviación, como también, los fertilizantes encapsulados en polímeros utilizan una barrera física para controlar la liberación del nitrógeno, asegurando una disponibilidad prolongada y eficiente del nutriente en el suelo obteniendo beneficios significativos al mejorar la eficiencia en a utilización de los diferentes fertilizantes de liberación lenta que aseguran un manejo sostenible de la agricultura.

Los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta al proporcionar un continuo control ofrecen muchos beneficios significativos en el rendimiento de los cultivos, reduciendo el riesgo de contaminación ambiental optimizando un crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, mejora la calidad de las cosechas al reducir el estrés nutricional, minimiza la perdida por lixiviación y volatilización asegurando un manejo más eficiente de los recursos agrícolas.

La relación de costo y efectividad de los fertilizantes de liberación lenta tiene sus beneficios a largo plazo justificando su inversión inicial debido al alto valor de sus productos por la mejora eficiente en el rendimiento del cultivo, optimizando los costos de producción, a diferencia de los fertilizantes comerciales que tienen un menor costo pero su eficiencia es perjudicial para la protección del medio ambiente como el suelo un recursos indispensable para la agricultura que se va deteriorando con el uso excesivo de los mismos.

### **3.2. Recomendaciones**

Se recomienda considerar las condiciones específicas del suelo a través de un análisis del mismo para aplicar los fertilizantes recubiertos en algún cultivo y en diferentes texturas de suelo.

Implementar el uso de fertilizantes de liberación lenta, aprovechando los nutrientes al máximo y minimizando el número de aplicaciones; y a la vez reduciendo el uso de fertilizantes comerciales.

Aplicar de manera responsable adecuada para su utilización guiados por profesionales en la rama de la fertilización y el campo.

Enfocarse en investigación más actualizadas del uso de los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta y prácticas en fertilización para maximizar los beneficios económicos.

## 4.REFERENCIAS Y ANEXOS

### 4.1. Referencias bibliográficas

AEFA (Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes). 24 de agosto 2014. Fertilizante de liberación lenta (en línea. blog). Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en <https://aefa-agronutrientes.org/fertilizante-de-liberacion-lenta#:~:text=Se%20denominan%20fertilizantes%20de%20liberaci%C3%B3n,han%20sido%20incorporados%20al%20suelo.>

Agroptima. 3 de junio 2022. Qué tipos de fertilizantes existen y cuáles usar (en línea, sitio web). Consultado el 5 de may. 2024. disponible en <https://www.agroptima.com/es/blog/tipos-fertilizantes/>

Balian, C; Sena, G; Baraldo, J. 2023. Análisis costo-efectividad de medidas de mitigación del cambio climático para el sector agropecuario. Consultado 16 Jul 2024. disponible en <https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuarioopypa2023/estudios/12/e12web/E12Analisiscosto.pdf>

Buteris, J. 2022. Restauración de la Nitrificación (en línea). Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en <https://teamaquafix.com/restauracion-de-la-nitrificacion/>

Caramel, L. 2023. El enorme coste ambiental de los fertilizantes nitrogenados en Brasil (en línea). Consultado el 8 jun. 2024. Disponible en <https://www.opendemocracy.net/es/enorme-impacto-ambiental-fertilizantes-nitrogenados-brasil/>

Castillos, M. 2024. Productividad agrícola en Ecuador: Un largo camino por recorrer. Revista Ecuador Debate No. 092. 7(92): 133.163.

CIMMYT. 4 de octubre 2020. El nitrógeno en la agricultura (en línea, blog). Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/#:~:text=Tanto%20en%20las%20plantas%20como,los%20componentes%20b%C3%A1sicos%20del%20ADN.>

COIAL. 2020. Reducción del impacto medioambiental con tecnologías en la fertilización y riego (en línea, blog). Consultado el 8 jun. 2024. Disponible en



<https://www.coial.org/reduccion-del-impacto-medioambiental-con-tecnologias-en-la-fertilizacion-y-riego/>

Colina, E; Sánchez, H; Troya, G. 2017. Evaluación de fertilizantes de liberación controlada con fertilización convencional, sobre el rendimiento de maíz duro (*Zea mays*) en la zona de Febres-Cordero, Provincia de los Ríos (en línea). Revista ALFA. 1(3):88-97. Consultado el 5 de may. 2024. disponible en file:///C:/Users/yorddy%20baja%C3%B1a/Downloads/articulo-2.pdf

Cool, G y Mero, J. 2018. Efectividad de fuentes nitrogenadas de liberación controlada sobre el rendimiento del maíz amarillo duro en el valle del río carrizal. Tesis Pregrado. Manabí, Ecuador. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López 78 p.

El palmicultor. 5 de diciembre 2022. Fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno: consideraciones para su uso en palma de aceite (en línea). Consultado el 21 de jul.2024. Disponible en <https://elpalmicultor.fedepalma.org/fertilizantes-liberacion-controlada-nitrogeno-palma-de-aceite/>

FAO (Organización de las Naciones Unidas). 9 de junio 2021. Herramienta Técnicas y financieras para velarizar el potencial productivo de los suelos y ambiental de los suelos en Latinoamérica y el Caribe (en línea, blog). Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/GSP/LAC\\_Webinar/Presentaci%C3%B3n\\_AS\\_LAC\\_2021\\_C\\_N.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/LAC_Webinar/Presentaci%C3%B3n_AS_LAC_2021_C_N.pdf)

FERTILIBAD. 18 de noviembre del 2021. La Salud Del Suelo Actividad Microbiana (en línea, blog). Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en <https://www.fertilab.com.mx/blog/241-la-salud-del-suelo-actividad-microbiana/>

Gacén, J.; Maillo, J.; Cayuela, D.; Baixauli, J.; Gacén, I.; Tzvetkovay, M.; Mercado, L. 2022. "El ensayo de solubilidad diferencial como método de caracterización de la estructura fina de las fibras químicas". Revista Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry. 67(550):789-998 Consultado

el 7 jun. 2024. Disponible en <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/269629>.

Gonzales, P. 2019. Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes (en línea). *Revista Asesoría Técnica Parlamentaria* 4(7):432-647. Consultado el 16 may. 2024. disponible en [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias\\_ambientales\\_de\\_la\\_aplicacion\\_de\\_fertilizantes.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf)

González, M. López, R. Álvarez, J. 2023. Efecto de los pretratamientos físico, químico y biológico, en la hidrólisis enzimática de la cáscara de piña (*Ananas comosus*) (en línea). *Revista Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 8(1):750-758. Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/372434809\\_Efecto\\_de\\_los\\_pretratamientos\\_fisico\\_quimico\\_y\\_biologico\\_en\\_la\\_hidrolisis\\_enzimatica\\_de\\_la\\_casaca\\_de\\_pina\\_Ananas\\_comosus](https://www.researchgate.net/publication/372434809_Efecto_de_los_pretratamientos_fisico_quimico_y_biologico_en_la_hidrolisis_enzimatica_de_la_casaca_de_pina_Ananas_comosus)

Ghafoor, I; Habib, M; Ali, M; Afzal, M; Ahmed, W; Gaiser, T; Ghaffar, A. 2021. Slow-release nitrogen fertilizers enhance growth, yield, NUE in wheat crop and reduce nitrogen losses under an arid environment. *Environmental Science and Pollution Research* 28(32):43528- Consultado el 16 jul. 2024. Disponible en 43543. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13700-4>

HANNA. 15 de julio 2020. Medición pH en suelos y la importancia de sus nutrientes (en línea, blog). Consultado el 8 jun. 2024. Disponible en <https://www.hannabolivia.com/blog/post/449/medicion-ph-en-suelos-y-la-importancia-sus-nutrientes>

Health. 2017. Derecho a saber hoja informativa sobre sustancias peligrosas (en línea, blog). Consultado el 8 jun. 2024. Disponible en <https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1047sp.pdf>

MAPAE (Ministerio de Pesca Ganadería para la Alimentación de España) 17 diciembre 2020. Fertilizantes de acción lenta encapsulados. Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1995\\_11.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1995_11.pdf)

- Maté. M; Mora, J; Boscá, A; Aguado, F. 2019. Trastornos de la regulación de la temperatura (en línea). Consultado el 8 jun. 2024. Disponible en <http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/Manual%20de%20urgencias%20y%20Emergencias/temp.pdf>
- Morales, E; Arriaga, M; López, J; Martínez, A; Morales, E. 2021. Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales (en línea). Revista mexicana de ciencias agrícolas 10(8):2007-0934. Consultado el 8 jun. 2024. Disponible en [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342019000801875](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342019000801875)
- Paredes, D. 2014. Fertilizantes de liberación controlada: una alternativa en cultivos de ciclo corto (en línea). Tesis Ing. Agro. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador 45 p. Consultado el 16 may. 2024. Disponible en <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/a685b231-9672-45b9-8c4a-52fb57b6e48d>
- PRIDE. 2021. Urea Recubierto (en línea, blog). Consultado el 8 jun. 2024. Disponible en <https://es.pridechems.com/products/polymer-surfur-coated-urea.html>
- Puello, B y Suero, A. 2018. Efecto de dosis de fertilizante de liberación lenta en producción de pimiento. Tesis Posgrado. Zamorano, Ecuador. Escuela Agrícola Panamericana 90 p.
- Proain. 6 de octubre 2022. Los macronutrientes y su relación en el suelo (en línea). Consultado el 21 de jul. 2024. Disponible en <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/los-macronutrientes-y-su-relacion-en-el-suelo>
- RedAgricola. 2020. Fertilizantes de liberación lenta, controlada y estabilizados (en línea, blog). Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en <https://redagricola.com/fertilizantes-liberacion-lenta-controlada-estabilizados/>
- Reyes, J; Gerding, V; Espinoza T. 2012. Fertilizantes de liberación controlada aplicados al establecimiento de Pinus radiata D. Don en Chile (en línea). Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente 18(3):2007-3828.

Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.08.060>

Scott, C. 2020. Efecto del uso de un fertilizante de entrega lenta versus fertilizantes nitrogenados tradicionales en la dinámica del nitrógeno en un suelo de textura gruesa cultivado con maíz grano en lisímetros. Tesis Pregrado. Santiago, Chile. UNIVERSIDAD DE CHILE. 28 p.

Sembralia. 2021. Fertilizantes Nitrogenados de Liberación Lenta ¿Para Qué Sirven? (en línea, blog). Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en <https://sembralia.com/blogs/blog/fertilizantes-de-liberacion-lenta>

Silos, J. 2019. Abonos de liberación lenta, de liberación controlada o fertilizantes estabilizados (SCRSF) (en línea). Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en <https://www.silosdelcinca.com/fertilizantes-agricolas/abonos-liberacion-lenta-liberacion-controlada-fertilizantes-estabilizados-scrsf/>

Solis, S. 2021. Determinación del efecto de la aplicación de fertilizantes nitrogenados encapsulados sobre el sistema radicular de banano. (en línea). Tesis Ingeniero agrónomo. Machala. 43 p. Consultado el 16 jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16570/1/TTUACA-2021-IA-DE00036.pdf>

Vargas, A y Gracia F. 2022 La mineralización e inmovilización microbiana determinan la dinámica del azufre en el suelo (en línea). Revista especializada en ciencias químico-biológicas 25(22): 1405-888X. Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.523>

Vescovi, A. 2024. Descomposición de polímeros (en línea). Revista 8(78):0453-0987. Consultado el 7 jun. 2024. Disponible en <https://aquihayquimica.iqs.edu/2024/05/05/aqui-hay-quimica-19/>

#### 4.2. Anexos.



**Anexo 1.** Deficiencia de Nitrógeno en maíz.

**Fuente:** Proain (2022).



**Anexo 2.** recubrimiento de azufre y polímero y fertilizante convencional nitrogenado sin recubrimiento.

**Fuente:** El palmicultor (2022).



**Anexo 3:** Urea Recubierta.

**Fuente:** PREDE (2021).



**Anexo 4:** Nitrato de amonio recubierto.

**Fuente:** YARA (2024).