

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE SALVATIERRA**



**“ANÁLISIS DEL APOORTE NUTRIMENTAL Y LIBERACIÓN
DE NITRÓGENO DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS
ELABORADOS A PARTIR DE PROTEÍNAS DE
ORIGEN ANIMAL, MARINO Y VEGETAL”**

**TITULACIÓN INTEGRAL
(TESIS)**

Elaborada por:

DENYSE MONSERRAT CASTILLO MEDINA

Para obtener el título de:

INGENIERO EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE

Director interno: Ing. Walter Manuel Zúñiga Maldonado

Director externo: Dr. Aurelio Báez Pérez

Salvatierra, Gto.

Diciembre, 2023



FORMATO DE LIBERACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN INTEGRAL

Salvatierra, Guanajuato. 6 /Julio/2023.

C. Lizbeth Estefanía Escobar Paniagua

Jefe de la División de Estudios Profesionales

Presente. -

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral

Nombre del estudiante: Denyse Monserrat Castillo Medina

Carrera: Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable

No. de Control: AG18110286

Nombre del Proyecto: Análisis del aporte nutrimental y liberación de nitrógeno de fertilizantes orgánicos elaborados a partir de proteínas de origen animal, marino y vegetal.

Producto: Tesis

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

A T E N T A M E N T E

Dr. Pedro E. Moreno Zacarías

Coordinador de Ingeniería en Innovación agrícola Sustentable

Director de Tesis	Revisor 1	Revisor 2
<p>Ing. Walter Manuel Zúñiga Maldonado Nombre y Firma</p>	<p>Ing. Marcia Maribel Martinez Scott Nombre y Firma</p>	<p>Ing. Víctor Antonino Cortes Pérez Nombre y Firma</p>





**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE SALVATIERRA
COORDINACIÓN DE INNOVACIÓN EN AGRÍCOLA SUSTENTABLE**

TESIS
Presentada por:

DENYSE MONSERRAT CASTILLO MEDINA

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título de

INGENIERO EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE

Aprobado por

Ing. Walter Manuel Zúñiga Maldonado
Director(a) de Tesis (Interno)

Dr. Aurelio Báez Pérez
Director(a) de Tesis (Externo)

Ing. Marcia Maribel Martinez Scott

Ing. Víctor Antonino Cortes Pérez

Revisor

Revisor

Dr. Pedro E. Moreno Zacarías

Coordinador de Innovación en Agrícola Sustentable

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, agradecerle a Dios por permitirme llegar hasta el día de hoy aquí luchando por nuevos sueños y oportunidades, y por haber puesto en mi camino a cada persona que permaneció a mi lado para lograr lo que me he propuesto.

Continuando con los agradecimientos, me gustaría extender mi agradecimiento a mis directores de tesis, el ingeniero Walter Manuel Zúñiga Maldonado, y al Doctor Aurelio Báez Pérez, por la ayuda, asesoramiento y acompañamiento durante todo este proceso, por darme sus consejos y asesoramiento para no cometer errores, y si sucedían aprender de ellos.

Por otro lado también me gustaría agradecerle a mi familia, primero que nada a mi abuelo Genaro Castillo Duran, que fue el primero en confiar en mi desde pequeña y jamás me limito a la hora de aprender cosas, hasta el cielo papa espero que estes orgulloso de mí, a mi madre y a mi tía, Belem Castillo Medina y Lucia Castillo Medina porque sin ellas siendo mis guías y poniéndome pruebas más fuertes para demostrar que podía hacer las cosas, a mis hermanos Ivan y Victoria, por enseñarme que jamás es tarde para querer ser mejor cada día, y que no importa cuántas veces me equivoque, ustedes siempre confiaran en mí. Y en general a toda mi familia (Medina Ortega, Castillo Medina, Medina López, Ruiz Medina, Medina Ruiz, Medina Tinajero, García Castillo, Núñez Castillo, en donde incluyo a primos, tíos y sobrinos por siempre echarme porras y estar orgullosos de mí.

No podían faltar mis amigos y compañeros de trabajo María del Carmen Ramírez Balderas, Leonardo Cruz García, Mariana Lizbeth Ordaz López, Edgar Adrián Olivares, por sus enseñanzas, paciencia y amistad incondicional, de las cuales tengo los mejores recuerdos.

Y a mi familia no de sangre pero si de corazón, Mayra Tinoco Rodríguez, Fátima Guadalupe Castro Cabrera, José Nava Malagón, Angelica Sánchez Echeverria, Christian Jonathan Martínez, Javier Chávez Troche, Maria del Rosario Zavala Gallegos, Katherine López Segundo, Diana Karen López Segundo, Jesica Patricia Acosta Carmona, Maria Guadalupe Sierra Castillo, Yareli García Servín, Ignacio Uribe, Luis Enrique Trujillo Morales, por ser mi apoyo, escucharme, y acompañarme a lo largo de mi vida, en diferentes etapas, impulsarme a seguir y darme motivos para sonreír.

Por último, agradecerme a mí misma, por no dejar que las cosas pudieran más que yo y estar donde estoy el día de hoy, luchando por cumplir un sueño.

DEDICATORIAS

La presente, está dedicada principalmente a mi abuelo, al hombre que me enseñó lo que era el amor incondicional, que formó mis valores y principios, y me enseñó lo que realmente es importante en la vida, hasta el cielo papa, Genaro Castillo Duran.

A mi flaca Lucia Castillo Medina por mantenerse a la par mía en los momentos buenos y malos, cuando estaba enferma o en mis más grandes logros y dolores, sin soltarme de la mano.

A mi madre Belem Castillo Medina, por darme la vida, y enseñarme a afrontar las cosas sin miedo.

A mis amigos por el apoyo, comprensión, cariño, y amistad brindados durante tantos años, por ser la familia fuera de casa que me impulso a salir de la rutina, perder el miedo de tomar nuevos riesgos, por la lealtad demostrada en cada situación, gracias por cambiar una lagrima por una sonrisa con cada aventura.

ÍNDICE

RESUMEN	x
SUMMARY	xii
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Hipótesis general	4
1.4.1 Hipótesis específicas.....	4
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Fundamento teórico	8
2.2.1 Breve historia de la fertilización.....	8
2.2.2 Efecto de los fertilizantes.....	9
2.2.3 Tipos de fertilizantes	9
2.2.4 Tipos de abonos orgánicos	12
2.2.5 El ciclo del nitrógeno	14
Importancia	17
Asimilación de nitrógeno.....	18
2.2.6 Organismos involucrados en la FBN	18
2.2.7 Disponibilidad de nitrógeno	19
2.2.8 Relación C/N.....	21

CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	22
3.1 Área de estudio	22
3.1.2 Descripción del área de estudio	22
3.2 Descripción del experimento	22
3.3 Diagnostico Características físicas y químicas del suelo	23
3.4 Descripción de los fertilizantes	24
3.4.1 Descripción fertilizantes orgánicos sólidos	24
3.4.2 Descripción de fertilizantes orgánicos líquidos	26
3.5 Evaluación de los fertilizantes sólidos	27
3.5.1 Establecimiento del experimento	27
3.5.2 Toma De Datos	28
3.6 Evaluación de los fertilizantes líquidos	29
3.7 Parámetros a evaluar	29
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1 Fertilizantes sólidos	36
4.2 Fertilizantes líquidos	41
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	46
CAPÍTULO VII. ANEXOS.	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Principales compuestos de nitrógeno presentes en la naturaleza.	21
Tabla 3.1 Fertilizantes sólidos y líquidos	23
Tabla 3. 2 Características físicas del suelo	24
Tabla 3. 3 Características químicas del suelo	24
Tabla 3. 4 Dosis de aplicación de N en tratamientos de fertilizantes sólidos	28
Tabla 4. 1 Resultados de pH, CE, MO, N y relación C/N	36

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico 4. 1 Curvas de liberación de N inorgánico en fertilizantes sólidos	38
Grafico 4. 2 Curvas de liberación de N en fertilizantes sólidos	40
Grafico 4. 3 Curvas de liberación de N inorgánico en fertilizantes líquidos	42
Grafico 4. 4 Curvas de liberación de N inorgánico en fertilizantes líquidos	43
Grafico 4. 5 Curvas de liberación de N total en fertilizantes líquidos.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Ciclo del nitrógeno.....	14
Figura 3. 1 Ubicación del laboratorio de análisis, INIFAP, Celaya, Guanajuato....	22
Figura 3. 2 Distribución de unidades experimentales en el laboratorio	28
Figura 3. 3 Aplicación de fertilizantes líquidos.....	29

RESUMEN

La agricultura orgánica, en los últimos años, cobra importancia por la demanda de productos agrícolas inocuos con mayor valor nutrimental. La implementación de sistemas de producción orgánica demanda la necesidad de fertilizantes del mismo origen con alta tasa de disponibilidad de N, que supla o complemente las fuentes de fertilización química; sin embargo, el N contenido dentro la estructura de materiales orgánicos, debe pasar por un proceso de mineralización para la transformación de la forma orgánica a inorgánica (N-NO₃ a N-NH₄), que es la forma en que lo aprovechan las plantas. El presente trabajo tuvo como propósito evaluar la curva de liberación de N-NO₃, N-NH₄ y N total en fertilizantes orgánicos de diferente origen proteico, animal, vegetal y marino, mediante el método de Kjeldahl: siete en presentación sólida y seis en presentación líquida. Se establecieron dos experimentos para evaluar ambos tipos de fertilizantes. Se incubaron en un suelo franco, de pH aproximadamente neutro, el cual se mantuvo a capacidad de campo y a temperatura ambiente durante el período de evaluación: 12 semanas consecutivas para los sólidos (una vez por semana) y 10 días consecutivos para los líquidos. Estos últimos se evaluaron en dos concentraciones: 50 y 150 mL del fertilizante líquido por kilogramo de suelo. Al mismo tiempo se evaluó el suelo en blanco (sólo con agua) para tener referencia del comportamiento en la liberación de N contenido naturalmente en el mismo. El suelo, donde se incubaron los 13 fertilizantes evaluados, contenía naturalmente 1.39 % de materia orgánica, es decir, alrededor de 0.07 % de N orgánico y poco más de 32 ppm de N inorgánico (N-NO₃ + N-NH₄). Los resultados mostraron que el modelo de liberación de N-NO₃ y N-NH₄, en ambos tipos de fertilizantes fue polinómico, es decir, fue más acelerado durante las primeras 4 a 5 evaluaciones y más paulatino posteriormente. La disminución del N total fue de la misma manera, pero de forma inversa. El fertilizante sólido Fon Superior 13-0-0, con mayor contenido de N, alcanzó 135 ppm de N inorgánico y 0.106 % de N total. El fertilizante líquidos denominado tierra fértil 4-6-1 fue el que tuvo mayor contenido de nitrógeno con la dosis de 150 mL/kg, alcanzando 500 ppm en N inorgánico y 0.5 % en N total. En el suelo, la mineralización de los compuestos

nitrogenados fue lenta. Se considera que entre 1 y 2 % del N total es mineralizado por año bajo condiciones de clima templado. La liberación del N en los fertilizantes evaluados dependió de su naturaleza y la resistencia a la degradación en las condiciones que fueron evaluados.

SUMMARY

Organic agriculture, in recent years, has gained importance due to the demand for safe agricultural products with higher nutritional value. The implementation of organic production systems demands the need for fertilizers of the same origin with a high N availability rate, to supplement or complement chemical fertilization sources; however, the N contained in the structure of organic materials must go through a mineralization process for the transformation from organic to inorganic form (N-NO₃ to N-NH₄), which is the way it is used by plants. The purpose of the present work was to evaluate the release curve of N-NO₃, N-NH₄ and total N in organic fertilizers of different protein, animal, vegetable and marine origin, using the Kjeldahl method: seven in solid form and six in liquid form. Two experiments were set up to evaluate both types of fertilizers. They were incubated in a loam soil, of approximately neutral pH, which was maintained at field capacity and at room temperature during the evaluation period: 12 consecutive weeks for the solids (once a week) and 10 consecutive days for the liquids. The latter were evaluated at two concentrations: 50 and 150 mL of liquid fertilizer per kilogram of soil. At the same time, the blank soil (with water only) was evaluated to have a reference of the behavior in the release of N contained naturally in the soil. The soil, where the 13 fertilizers evaluated were incubated, naturally contained 1.39 % organic matter, i.e., about 0.07 % organic N and just over 32 ppm inorganic N (N-NO₃ + N-NH₄). The results showed that the release pattern of N-NO₃ and N-NH₄ in both types of fertilizers was polynomial, i.e., it was more accelerated during the first 4 to 5 evaluations and more gradual thereafter. The decrease in total N was in the same way, but inversely. The solid fertilizer Fon Superior 13-0-0, with the highest N content, reached 135 ppm of inorganic N and 0.106 % of total N. The liquid fertilizer Fon Superior 13-0-0, with the highest content of N, reached 135 ppm of inorganic N and 0.106 % of total N. The liquid fertilizer called fertile soil 4-6-1 had the highest nitrogen content at the rate of 150 mL/kg, reaching 500 ppm in inorganic N and 0.5 % in total N. In the soil, mineralization of nitrogen compounds was slow. It is considered that 1 to 2 % of total N is mineralized per year under temperate

conditions. The release of N in the fertilizers evaluated depended on their nature and resistance to degradation under the conditions under which they were evaluated.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es uno de los 16 elementos esenciales para la nutrición de las plantas y uno de los que requiere en mayor cantidad, porque es base estructural de las proteínas y la producción de hidratos de carbono, grasas y fibras. La producción agrícola demanda cantidades importantes de fertilizantes para suministrarlo a los cultivos. Las reservas de N en suelo suelen estar unidas a materiales o residuos orgánicos (MO), ligados a diversas moléculas o sustancias, especialmente compuestos de carbono (C), elemento que constituye alrededor de 50 % de la masa seca vegetal. Los productores reconocen que son necesarias concentraciones adecuadas de N en la planta para obtener altos rendimientos, sin embargo, el dilema está en conocer que cantidades aplicar para lograr altos rendimientos sin aumentar excesivamente los costos de producción. Para generar adecuadas dosis de fertilización se requiere del conocimiento de cómo funciona el ciclo del N en la naturaleza, de las pérdidas de N cuando este se desplaza por debajo del sistema radicular. La situación se complica más por problemas mecánicos asociados a las técnicas de aplicación de fertilizantes nitrogenados, y por la incertidumbre de las condiciones meteorológicas, especialmente la disponibilidad del agua (Below, 2020). Las reservas de N en el suelo se encuentran generalmente asociadas a la materia orgánica. La velocidad de transformación del N orgánico a inorgánico depende de la composición de los residuos, la humedad del suelo o sustrato y de la temperatura. Existe gran diversidad de formas orgánicas de nitrógeno (N) ligadas a diferentes formas de compuestos carbonados, con diferente grado de resistencia a la mineralización, por lo que es difícil estimar la fertilidad nitrogenada de un suelo a partir de los análisis del propio suelo (Pons, 1989).

La disponibilidad de N en los suelos frecuentemente es insuficiente para la producción de cultivos, especialmente los cereales, por lo cual es necesario el uso de fuentes químicas, que aportan rápidamente el N para el desarrollo de las plantas las cuales lo aprovechan en forma inorgánica $N-NO_3$ y $N-NH_4$; sin embargo, el uso excesivo de éstos ocasiona serios problemas de contaminación ambiental. La demanda de productos agrícolas de origen orgánicos e inocuos para la alimentación ha aumentado en los últimos años. Por ello surge la necesidad en la disponibilidad de fertilizantes orgánicos eficientes en la liberación de N para los cultivos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la curva de liberación de nitrógeno en suelo a partir de fertilizantes orgánicos con diferentes tipos de proteína (7 en presentación sólida y 6 en presentación líquida) bajo condiciones controladas en laboratorio.

1.1. Planteamiento del problema

Entre los elementos minerales esenciales, el N es el que con más frecuencia limita el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Esta condición ocurre porque las plantas requieren cantidades relativamente grandes de este elemento (entre 1.3 y 3.5 % de peso seco de la planta) y porque la mayoría de los suelos no retiene suficiente N en forma disponible para mantener los niveles requeridos por los cultivos, especialmente los cereales. La deficiencia de nitrógeno en las plantas puede disminuir el rendimiento y calidad de los cultivos, por ello es necesario considerar las medidas necesarias para asegurar un suministro adecuado (Stangel, 1984).

Conocida la necesidad de fertilizantes y de las técnicas para fabricarlos, la agricultura se sitúa hoy en la necesidad de ajustar las dosis y formas de aplicación de nutrientes a los cultivos, de forma que sean aprovechados y generen la menor cantidad de efectos indeseables que sea posible (Andreu, 2006).

El uso irracional de los fertilizantes químicos en la agricultura ha derivado, en la actualidad, en serios problemas de contaminación ambiental y encarecimiento de

los costos de producción que, aunado al deterioro de los suelos, por el abatimiento de las reservas orgánicas, limitan la producción agrícola (Pons, 1989).

1.2. Justificación

El uso irracional de los fertilizantes químicos en la agricultura ha derivado, en la actualidad, en serios problemas de contaminación ambiental y encarecimiento de los costos de producción que, aunado al deterioro de los suelos, por el abatimiento de las reservas orgánicas, limitan la producción agrícola. La fertilización nitrogenada de los suelos constituye uno de los factores principales en la nutrición de los cultivos. Las fuentes de origen orgánico aseguran un mejoramiento paulatino de la fertilidad de los suelos (Pons, 1989); sin embargo, una de las desventajas que presentan los materiales orgánicos, es el desconocimiento del aporte real de nitrógeno en forma mineral, puesto que la disponibilidad de N después de la aplicación de un abono orgánico no puede ser estimada a partir del contenido de N total, sino que está condicionada por una serie de factores que afectan su liberación. El N potencialmente mineralizable es la máxima cantidad de N que puede ser liberado de un material orgánico después del proceso de descomposición por acción de los microorganismos (Cerrato et al. 2007). Este potencial se establece a partir de la mineralización acumulada, la cual se define como la cantidad de N liberado en un periodo de tiempo específico. Entre los métodos biológicos, las incubaciones de larga duración reflejan mejor la capacidad de suministro de N de un suelo, ya que el N mineralizado en los primeros días de incubación está influenciado por los residuos de cultivos y por el manejo de la muestra. La estimación de la liberación de nitrógeno, a partir de fuentes orgánicas de diferente índole, mediante métodos de incubación en laboratorio proporciona una idea del suministro que pueden tener para determinado cultivo; sin embargo, la condición en un campo de producción, bajo determinadas condiciones edáficas y climáticas, puede ser muy diferente. Por anterior es necesario validar los resultados de la tasa de mineralización de nitrógeno efectiva mediante ensayos de efectividad biológica (Stanford, 1971).

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la curva de liberación de nitrógeno en fertilizantes orgánicos de proteínas de origen animal, marino y vegetal en suelo.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Comparar la liberación de nitrógeno de los fertilizantes líquidos y sólidos.
2. Estimar el nitrógeno amoniacal, nítrico e inorgánico de los fertilizantes orgánicos.

1.4 Hipótesis general

La disponibilidad de nitrógenos asimilables presentes en los fertilizantes orgánicos (ya sean líquidos o sólidos) varía de acuerdo a sus propiedades y disponibilidad.

1.4.1 Hipótesis específicas

- Los fertilizantes orgánicos sólidos tienen un mayor porcentaje de nitrógeno asimilable para las plantas.
- Los fertilizantes orgánicos líquidos, tienen un mayor porcentaje de nitrógeno asimilable para las plantas.
- Los fertilizantes presentan un porcentaje igual de nitrógeno asimilable para las plantas.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Según el Laboratorio Nacional de Insumos Agrícolas (2009), es el encargado de realizar el control de calidad de los productos que son utilizados en el sector agrícola como Plaguicidas, Bioinsumos y Fertilizantes. El proyecto se enfocó en el área de fertilizantes, donde se realiza el control de calidad de este insumo agrícola por medio de análisis químicos estipulados en un compendio de protocolos certificados. Las prácticas químicas que se realizan en el área buscan que el análisis sea preciso, veraz y efectivo, dejando de lado la importancia ambiental al momento de seleccionar las diferentes técnicas a desarrollar, sin identificar los posibles residuos que se podrían generar y qué técnica y analíticamente serían las más amigables con el medio ambiente. Por medio de matrices Causa-Efecto y de Importancia se pudo determinar cuáles de las técnicas analíticas desarrolladas el LANIA generan mayor impacto ambiental; las técnicas seleccionadas fueron: Fósforo Total, Nitrógeno Total, Boro y Nitrógeno Amoniacal. Las técnicas desarrolladas en el LANIA se compararon con protocolos estandarizados de España, Perú, Venezuela y Colombia, estos protocolos fueron evaluados por medio matrices Causa Efecto, Matrices de Importancia, Matrices de Ponderación y Balances de materia. Esta metodología se desarrolló buscando obtener las técnicas que generara un menor impacto a la salud y al ambiente para cada uno de los procedimientos, donde el menos impactante fuese propuesto en el LANIA.

Un segundo trabajo de Beltrán *et al* (2019), nos dice que El uso indiscriminado de fertilizantes ha contribuido a la salinidad del suelo tanto como al agotamiento de recursos minerales del mismo ocasionando así dependencia a los fertilizantes sintéticos por parte de los productores agrícolas. El objetivo del presente trabajo fue determinar el contenido inorgánico de N, P, K en las formas asimilables para las plantas de seis abonos orgánicos potenciales a utilizarse en la agricultura orgánica,

bajos los principios del cuidado al medio ambiente. Las determinaciones de los elementos fueron realizados a través de un espectrofotómetro marca HANNA modelo HI83225-01. El abono con mayor contenido de nitrógeno es sus formas asimilables fue el guano de murciélago, seguido por la gallinaza y lombricomposta Fertium®. En el caso del fósforo, el abono que mostró la más alta cantidad fue de igual manera el guano de murciélago seguido por la gallinaza y estiércol de vaca. Para la determinación de potasio fue el guano de murciélago quien obtuvo el resultado más alto junto con la gallinaza y lombricomposta Fertium ®. Los seis abonos observaron valores altos de conductividad eléctrica (CE), y la gallinaza, guano de murciélago y estiércol de vaca observaron los mayores valores de este parámetro, relacionados de forma significativa con el contenido de nutrientes. En cuanto al pH los seis abonos se encontraron con valores dentro de los permitidos por las normas mexicanas. Los resultados permiten generar información del contenido de nutrientes de los seis abonos para realizar su adecuada aplicación por los productores.

Un tercer trabajo de Torres *et. al.* (2021) nos dice: El incremento poblacional y la demanda de alimentos generan mayores demandas en la productividad, lo que estimula el uso de fertilizantes inorgánicos como una práctica habitual en los sistemas agrícolas, generando potenciales riesgos de contaminación por lixiviación de nutrientes, además de altos costos que pueden afectar la rentabilidad de los sistemas productivos. La aplicación de materiales orgánicos procedentes del compostaje de sustratos orgánicos es una fuente de fertilización común en sistemas de producción limpia, orgánica y con menores costos.

En este estudio se evaluó el efecto de la fertilización con una enmienda orgánica (EO) procedente del compostaje de biorresiduos de origen municipal (BOM) mezclados con cachaza, sobre la mineralización del nitrógeno (N mineralizado) de

un suelo ácido, evaluando seis tratamientos (tres controles: T1: 100% suelo; T2: 100% EO; T3: 100% urea-fertilización inorgánica: F) y 3 proporciones EO (%): F (%) (T4: 50-50, T5: 75-25, T6: 25-75) en un periodo de incubación de 16 semanas.

Se aplicaron los modelos de mineralización de Stanford y Smith, Broadbent, Lineal y Polinomial-Exponencial, encontrándose que T4 permitió alcanzar un aporte de $N_{\text{mineralizado}}$ (12 546 mg kg⁻¹), el cual es un valor muy cercano al resultado obtenido por fertilización inorgánica (T3: 13 931 mg kg⁻¹); los modelos de Broadbent ($R^2 > 0,98$) y Lineal ($R^2 > 0,90$) alcanzaron los mejores ajustes. Esta estrategia de reemplazo parcial del fertilizante inorgánico puede lograr hasta un 50% de reemplazo del fertilizante inorgánico.

Un cuarto trabajo de Figueroa *et. al.* (2012) nos dice que: La aplicación de materiales orgánicos como fuente de fertilización es una práctica común en sistemas de producción limpia y orgánica; sin embargo, no se cuenta con los suficientes criterios técnicos para cuantificar la dosis adecuada. En este sentido, se presentan sobredosificaciones o subdosificaciones que pueden afectar la rentabilidad en el sistema productivo. Por tal razón, se utilizaron siete materiales orgánicos, comúnmente utilizados en la sabana de Bogotá, tres derivados de residuos de cosecha (Compost de Rosas, Compost CIAA (CCIAA) y soil-aid®) y cuatro derivados de residuos animales (Gallinaza, Porquinaza, Lombrihumus y Conejaza). Se les determinó el nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización utilizando el método de incubación. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con ocho tratamientos (siete materiales orgánicos y un testigo), y tres repeticiones para un total de 24 unidades experimentales. La medición se realizó en intervalos semanales desde la semana uno hasta la semana nueve, después de la incubación. Los materiales derivados de residuos animales resultaron en general mejores que los provenientes de residuos vegetales en el proceso de mineralización de N, como es el caso de la conejaza que liberó 5197 mg·kg⁻¹ de nitrógeno mineral, valor que representa el 20% del nitrógeno total inicial.

El grado de ajuste del modelo logarítmico fue superior al 80% ($r^2 > 0,80$) en el 86% de los materiales evaluados.

2.2 Fundamento teórico

2.2.1 Breve historia de la fertilización

Cabe establecer en la historia de las prácticas de fertilización dos grandes etapas bien diferenciadas. La primera, desde los inicios de la agricultura hasta el siglo XVI d. C., a la que podemos llamar empírica, y la segunda, hasta nuestros días en la que se introduce el conocimiento científico de los elementos químicos componentes de la materia vegetal y de la posibilidad de aportar esos componentes al suelo. Los primeros aportes de estiércol al suelo, con intención de mejorar las cosechas, de los que se tiene noticia están datados hacia el 4000 A.C. Prácticamente desde los inicios de la agricultura el hombre vio el efecto positivo de los aportes orgánicos (Andreu, 2006).

El conocimiento científico de la necesidad de aportes fertilizantes al suelo puede considerarse que arranca con la publicación de la obra de Justus von Liebig (1803-1873) “Química en relación con la agricultura y el crecimiento de las plantas”, en 1840 (Andreu, 2006).

Los griegos intensificaron el uso de abonos orgánicos y fertilizaban sus jardines y campos de olivo con los lodos cloacales de la ciudad. El uso de fertilizantes minerales no fue muy conocido en la antigüedad, pero Teofrasto y Plinio mencionan al nitrato de potasio (KNO_3), como muy útil para fertilizar las plantas. Esto también se menciona en la Biblia en el libro de Lucas (Cepeda, 2010).

Y con el siglo XX se inicia la fabricación industrial y el uso masivo de los fertilizantes, siendo la fijación industrial del amoníaco (NH_3) uno de los hechos más importante. Esta técnica fue creada por dos científicos alemanes Haber y Bosch (1910) y permitió la fabricación de la urea y demás abonos nitrogenados a gran escala y a bajos precios. Hay que destacar que la investigación sobre el amoníaco fue conducida con propósitos militares y no agrícolas. El amoníaco obtenido a partir del Proceso Haber-Bosch proviene básicamente del aire (el nitrógeno) y el hidrogeno se obtiene de la hidrólisis del agua o de hidrocarburos. La producción de amoníaco impulsó el consumo de los fertilizantes nitrogenados y de otros productos fertilizantes (Cepeda, 2010).

2.2.2 Efecto de los fertilizantes

La disponibilidad de fertilizantes minerales ha hecho posible revolucionar el ciclo del carbono para producir más alimentos y mantener una población mucho mayor. El uso generalizado de formas fertilizantes minerales, a menudo muy solubles, ha llevado consigo la generación de algunos efectos no deseables cuyo desarrollo se ha detectado en los últimos decenios. Hoy se trata de adoptar medidas para reducir los efectos adversos, desde el convencimiento de que la práctica de la fertilización de los suelos agrícolas es hoy imprescindible (Andreu, 2006).

2.2.3 Tipos de fertilizantes

El abono o fertilizante es todo producto natural o sintético capaz de suministrar a la planta uno o más de los nutrientes esenciales que requieren para su desarrollo normal, entre ellos, N, F, K, Ca, S, B, Mg, Mo, Fe, Zn, Cu, Cl (Méndez, 1989).

Por su origen

Se clasifican en orgánicos, orgánicos reforzados y químicos.

Orgánicos. Son productos de origen natural o vegetal, que aportan uno o varios nutrientes a la planta, pero estos se valoran principalmente por su efecto benéfico sobre las propiedades físicas y microbiológicas del suelo.

Orgánicos reforzados. Son aquellas mezclas de abonos orgánicos naturales con abonos químicos.

Químicos o sintéticos. Son todos los productos que contengan uno o más nutrientes para las plantas, obtenidos mediante reacciones físico-químicas de las fuentes (Méndez, 1989).

Por su composición química

Abono o fertilizante químico simple. Si contiene en la misma fórmula uno o más nutrientes.

Abono o fertilizante químico compuesto. Producto que contiene más de un nutriente para las plantas, es decir aporta dos o más elementos (Méndez, 1989).

Por su estado físico

Sólidos. Estos pueden presentarse en forma de polvo grueso o fino, cristales o en esferitas, su coloración varía, dependiendo de los nutrientes que contienen y de su fabricación, también se pueden añadir materiales acondicionadores que ayudan al fertilizante a prevenir la formación de terrones, o como pigmento diferenciador de otros fertilizantes.

Líquidos. Estos son mezclas líquidas de nutrientes disueltos y que contienen sales sin material sólido, algunas de esas mezclas son soluciones de nitrógeno puro, otras llevan nitrógeno y fósforo, mientras que otros contienen la combinación completa de nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores.

Gaseosos. Dentro de estos fertilizantes entra el amoniaco, ya que es un gas más ligero que el aire, y se dispersa rápidamente al alcanzar la temperatura ambiente (Méndez, 1989).

Por su forma de aplicación

Fertilizante radicular o edáfico. Son todos los productos que aportan nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas y que tiene la propiedad de ser absorbido por las raíces de las mismas.

Fertilizante foliar. Son todos los productos que aportan nutrientes al desarrollo de las plantas y que tiene como propiedad el ser absorbido a través de la parte aérea de las mismas (Méndez, 1989).

Por su contenido

Los fertilizantes se clasifican en nitrogenados, fosfóricos, potásicos, o a base de microelementos.

Nitrogenados. Entre estos se conocen el amoniaco anhidro, nitrato de sodio, nitrato de potasio, sulfato de amonio, nitrato de amonio, nitrato cálcico, urea, cianamida de cálcico y cloruro de amonio.

Fosfóricos. Fosfatos mono y diamonicos (MAP Y DAP), superfosfato triple, superfosfato simple, fosfato bicalcico, fosfato de roca o roca fosfórica.

Potásicos. Cloruro de potasio, sulfato de potasio, sulphomag.

Base de microelementos. Los sulfatos de hierro, cobre, zinc, manganeso, magnesio, molibdeno, cobalto, el solubor, el molibdato de amonio (Méndez, 1989).

2.2.4 Tipos de abonos orgánicos

Bocashi

Es un biofertilizante de origen japonés, del que deriva su nombre “bo-ca-shi”, que significa fermentación. Se trata de un abono orgánico fermentado parcialmente, estable, económico y de fácil preparación. Este abono es producto de un proceso de degradación anaeróbica o aeróbica de materiales de origen animal y vegetal, el cual es más acelerado que el compostaje, permitiendo obtener el producto final de forma más rápida, su principal uso que se le da al bocashi es para el mejoramiento del suelo ya que aumenta la diversidad microbiana y la cantidad de materia orgánica (FONAG 2010).

Humus en la lombricultura

La lombriz de tierra es uno de los muchos invertebrados valiosos que ayudan al hombre en la explotación agropecuaria. Estos gusanos consumen los residuos vegetales y estiércoles para luego excretarlos en forma de humus, abono orgánico de excelentes propiedades para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos. Al mismo tiempo se reproducen convirtiéndose profusamente en condiciones favorables en una fuente de proteína animal, para su uso como harina o como alimento fresco de animales (FONAG 2010).

Biol

Es un excelente abono foliar que sirve para que las plantas estén verdes y den buenos frutos como papa, maíz, trigo, haba, hortalizas y frutales. El Biol se prepara con diferentes estiércoles que se deben fermentar durante dos a tres meses en un bidón de plástico.

El biol nutre, recupera, reactiva la vida del suelo y fortalece la fertilidad de las plantas. Es un abono que estimula la protección de los cultivos contra el ataque de

insectos y enfermedades y permite sustituir a una gran parte de fertilizantes químicos (FONAG 2010).

Composta

Para hacer composta puede aprovechar los residuos vegetales del jardín y del hogar en vez de tirarlos a la basura. La composta es un abono orgánico que servirá para mejorar la tierra del jardín y para alimentar las plantas. Se dice que por cada 100 kg de restos orgánicos se obtienen 30 kg de abono.

De lo que se trata es de que esas hojas, ramas, césped, cenizas, etc. que se echa sean atacadas por microorganismos (bacterias y hongos) y se descompongan, fermenten, transformándose así en otro material con características distintas al original y muy bueno para el suelo y las plantas (FONAG 2010).

Té de estiércol

Es una preparación que convierte el estiércol sólido en un abono líquido. Durante este proceso el estiércol suelta sus nutrimentos al agua y así se hacen disponibles para las plantas, este abono es rico en potasio, principal nutriente que aporta al suelo (FONAG 2010).

Abonos verdes

Son plantas que mejoran y le aportan elementos nutritivos sobre el suelo, a menudo muy densos, eliminan la competencia de las malas hierbas y limpian el suelo. Por eso, se utilizan entre las tablas cultivadas y entre las hileras, pero también en suelos nuevos que empiezan a cultivarse, estos forman una cubierta vegetal densa que desacelera la evaporación (FONCODES, 2014).

Así mismo, dentro de los abonos orgánicos, algunas plantas son empleadas como abonos verdes, en ellas se pueden encontrar nutrientes como Nitrógeno, Fósforo,

Potasio, Calcio y Magnesio, que son fundamentales para las condiciones de los suelos.

2.2.5 El ciclo del nitrógeno

La fuente primaria de nitrógeno es la atmósfera, con un 79 % de nitrógeno en forma molecular (N_2), su incorporación al suelo significa la entrada en un subsistema bastante complejo en el que está sujeto a un conjunto de transformaciones y procesos de transporte que pueden en algún momento desembocar en el agua freática. De forma muy esquemática, las “entradas” de nitrógeno mineral al suelo se producen desde la atmósfera a través del agua de lluvia, en forma de amonio o de óxidos de nitrógeno disueltos o, también, a través de la fijación bacteriana. Este nitrógeno pasa a “alimentar” un ciclo “menor” de este elemento que ocurre en el suelo (Figura 1).

Las actividades industriales, y también la ganadería, han incrementado la cantidad de amoníaco y de óxidos de nitrógeno en la atmósfera con lo que el aporte a través del agua de lluvia se ha visto incrementado también en parte debido al hombre. La fijación de nitrógeno atmosférico por bacterias simbióticas con plantas leguminosas ha sido utilizada desde mucho tiempo atrás por el hombre, y hoy se cultivan extensamente leguminosas. La fijación industrial y posterior aporte de diversas formas nitrogenadas al suelo supone una vía abierta por el hombre.

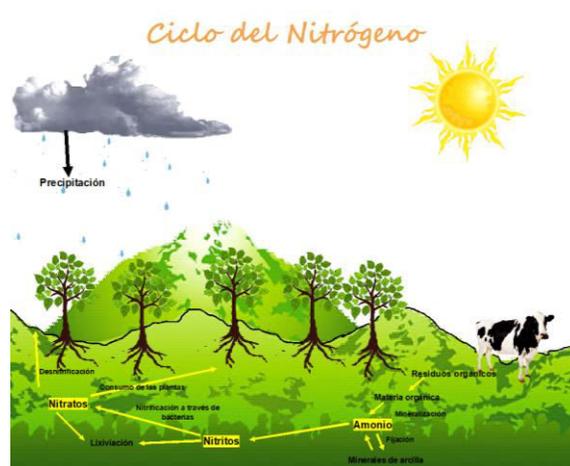


Figura 2. 1 Ciclo del nitrógeno

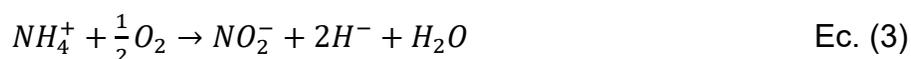
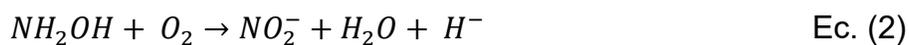
La mayor parte del nitrógeno presente en el suelo lo está en forma orgánica, integrado bien en la biomasa viva, en la materia orgánica fresca o en la materia orgánica estable (humus). Una parte habitualmente muy pequeña del nitrógeno está en el suelo en forma mineral, y la mayor parte de este en forma de nitratos (NO_3^-), que es la forma más oxidada de nitrógeno en el suelo y las aguas, y también la más comúnmente asimilada por las plantas. (Andreu, 2006).

La amonificación o mineralización: El N orgánico es biológicamente liberado como NH_4^+ , durante la hidrolización de nucleótidos y proteínas, catabolizado por organismos heterótrofos.

La fijación: Es la utilización del N_2 como fuente directa de N para la síntesis celular.

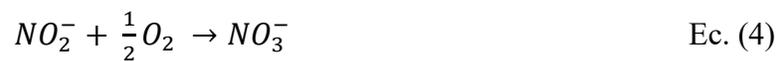
Nitrificación: La nitrificación se divide en dos etapas, la primera está definida por la oxidación de NH_4^+ a nitrito (NO_2^-) y se denomina "nitritación". La segunda etapa definida por la oxidación de NO_2^- a NO_3^- , se denomina "nitratación", generalmente ocurren en la naturaleza en forma conjunta.

Nitritación NH_4^+ a NO_2^- : Es la oxidación del NH_4^+ a NO_2^- por bacterias nitrificantes, principalmente nitrosomonas y nitrospira. Ocurre bajo condiciones aerobias y según las siguientes reacciones:



Catalizadas por las enzimas amonio mono oxigenasa ecuación (1), hidroxilamina oxidorreductasa ecuación (2) o se puede expresar como una sola relación estequiométrica ecuación (3).

Nitratación NO_2^- a NO_3^- : Está definida por la oxidación de los NO_2^- para la obtención de energía generando NO_3^- como producto final, utilizando Nitrato Deshidrogenasa como catalizador, según la siguiente reacción:



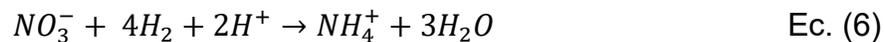
La oxidación del NO_2^- puede ser realizada por cuatro géneros de bacteria: Nitrobacter, nitrospina, nitrococcus y quimiolitotrofos facultativos.

Desnitrificación del NO_3^- : es el proceso anaerobio de reducción del NO_3^- a NO_2^- es catalizado por una enzima NADH-dependiente nitrato reductasa, no asociada a la membrana, y es metabolizada por una gran cantidad de microorganismos. Prácticamente todos los desnitrificantes y nitrato amonizantes tienen la capacidad de reducir el NO_3^- a NO_2^- y a su vez continuar metabolizando el NO_2^- .

Desnitrificación heterótrofa: es el proceso anaerobio de reducción des asimilatoria del NO_2^- a N_2 , en el cual los óxidos de nitrógeno intermedios sirven como aceptores terminales de electrones en procesos de respiración. Los microorganismos que lo realizan son quimio heterótrofos, el proceso de reducción ocurre entonces según la ecuación (5).



Nitrato amonificación o reducción des asimilatoria del nitrato a amonio: En la reducción que ocurre al transformar el NO_3^- a NH_4^+ , se usan 8 electrones, lo que implica que más materia orgánica puede ser oxidada por cada molécula de NO_3^- , por las bacterias nitrato amonizantes que por las desnitrificantes heterótrofas, ecuación (6). (Snachez, 2009).



Descomposición y amonificación

Una parte del nitrógeno vuelve al suelo a través de los excrementos de los animales y sus demás residuos orgánicos. Los organismos descomponedores, como algunas bacterias y hongos, descomponen el cuerpo de animales y plantas muertos y los productos de desecho, que contienen nitrógeno, para liberar energía. De la urea y los excrementos se genera amoniaco, y entonces los descomponedores convierten el amoniaco de los restos en iones de amonio, que luego pueden ser convertidos en nitritos.

Los residuos orgánicos devuelven al suelo una parte del nitrógeno, dando lugar a nitritos y nitratos que las plantas pueden utilizar como abono. Las bacterias nitrificantes devuelven también una parte del nitrógeno a la atmósfera, lo mismo que hacen las bacterias transformadoras de la materia orgánica en nitritos. Los procesos geológicos naturales incorporan nuevo nitrógeno al aire.

Importancia

Todos los seres vivos necesitan el nitrógeno para la formación de aminoácidos en las proteínas, y en general, las síntesis de estas. Forma parte esencial de los ácidos nucleicos, la clorofila y varias moléculas orgánicas importantes. Por su parte, las plantas requieren nitrógeno para crecer y producir semillas. En todos ellos, el nitrógeno es imprescindible para que células animales y vegetales funcionen correctamente.

Debido a que las plantas y los seres vivos no pueden asimilar el nitrógeno directamente, este ciclo adquiere importancia vital.

Asimilación de nitrógeno

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) es mediada por el complejo nitrogenasa, presente en los organismos fijadores, el cual cataliza la conversión del N_2 a NH_4^+ bajo la reacción general: $N_2 + 10H^+ + 8e^- + nMgATP \rightarrow 2NH_4^+ + H_2 + nMgADP + nPi$. Esta requiere de grandes cantidades de poder reductor y energía (ATP), y la reducción obligada de protones con un mínimo de 1 mol of H_2 producido por mol de N_2 reducido (Halbleid y Iudén, 2000).

Las actividades del complejo enzimático pueden ser mermada por el oxígeno, de tal manera que los organismos fijadores poseen mecanismos (ej. alta tasa respiratoria, compartimentalizaciones o protección conformacional) que les permiten mantener bajas concentraciones de este a fin de mantener bajas concentraciones de este a fin de mantener la enzima funcionando (reta y Nordlund, 2002; Lee et al., 2004).

2.2.6 Organismos involucrados en la FBN

Entre los microorganismos involucrados en la FBN se encuentran: bacterias, algas verde-azules (cianobacterias) y actinomicetos, los cuales pueden fijar el nitrógeno viviendo libremente o formando asociaciones.

Bacterias. Las bacterias fijadoras de nitrógeno son componentes importantes del suelo y requieren una fuente de energía química si no son fotosintéticas, las cuales a su vez utilizan la energía de la luz solar. Entre las bacterias de vida libre pueden encontrarse: anaeróbicas obligadas o facultativas (ej. *Clostridium pasteurianum*, *Klebsiella* spp., *Desulfovibrio* sp.), aeróbicas obligadas (ej. *Azotobacter* spp., *Beijerinckia* sp.) y fotosintéticas (bacterias purpuras sulfurosas y no sulfurosas, y bacterias verdes sulfurosas) (Dugan 2004).

Cianobacterias. Éstas tienen una amplia distribución y ocupan un gran rango de hábitats al igual que las bacterias, que incluyen suelo y agua, tanto de regiones tropicales y templadas como de climas extremos, presentan una gran diversidad morfológica desde unicelulares hasta multicelulares filamentosas y con o sin presencia de heterocistos. Se pueden describir como foto autotróficas, fijadoras de CO₂ a través del Ciclo de Calvin y carentes de 2 oxoglutarato deshidrogenasa.

Actinomicetos. Son bacterias filamentosas Gram positivas, comunes en el suelo, especialmente en suelos de elevado pH y poca humedad. Se les considera como organismos intermedios entre los hongos y las bacterias, formadores de micelios (Lechevalier y Lechevalier, 1979; Huss, 1990).

2.2.7 Disponibilidad de nitrógeno

El nitrógeno es el único de los fertilizantes que puede ser absorbido por las plantas en dos formas distintas: como anión nitrato (NO_3^-) o como catión amonio (NH_4^+). Los fertilizantes nitrogenados de uso común contienen relaciones variadas de (NO_3^-) y (NH_4^+), sin embargo, las bacterias del suelo oxidan rápidamente el (NH_4^+) a (NO_3^-) en suelos bien aireados y de buena temperatura que favorecen el crecimiento. Por esta razón, el (NO_3^-) es la forma de N absorbida predominante por las plantas.

Además de ser la forma más disponible de N para la planta, el (NO_3^-) es también responsable por las mayores pérdidas de N en el suelo ya que es susceptible a lixiviación y desnitrificación. También puede ser removido temporalmente de la reserva disponible del suelo a través de la absorción, fijación e inmovilización microbiana. Las implicaciones económicas de estas pérdidas de N son evidentes, especialmente cuando son lo suficientemente grandes para limitar la productividad del cultivo. (Below, 2020).

Nitrógeno potencialmente mineralizable

Es necesario desarrollar procedimientos que permitan determinar el nitrógeno potencialmente mineralizable, es decir, el nitrógeno orgánico que se mineralizará durante el período de cultivo, que con toda probabilidad interviene en la nutrición de la planta. Las proteínas y péptidos adsorbidos a los coloides del suelo, constituyen una importante fuente de nitrógeno orgánico fácilmente mineralizable. Por otra parte, la textura del suelo, puede tener alguna influencia sobre los mecanismos que intervienen en la disponibilidad del nitrógeno. En consecuencia, la medida del nitrógeno potencialmente asimilable previa al cultivo, tiene dos componentes: la fracción de nitrógeno mineral y la de nitrógeno orgánico fácilmente mineralizable. Entre las técnicas capaces de facilitar información sobre el nitrógeno potencialmente asimilable, se encuentra el método de incubación, propuesto por Stanford y Smith (1972), que, aunque facilita información acerca de la velocidad de mineralización del nitrógeno en el suelo, los tiempos de incubación necesarios para su ejecución, han contribuido a que se desechara como método de rutina. Además, este método sobreestima la velocidad de mineralización comparado con la que tiene lugar en el campo, debido a que se realiza en condiciones controladas. Sin embargo, otros métodos como el electro ultrafiltración (EUF) y el CaCl_2 , han alcanzado mayor aplicación, debido a que tienen en consideración además del nitrógeno mineral del suelo, el nitrógeno potencialmente asimilable. (Diez, 1999).

Nitrógeno y sus formas

El nitrógeno fue descubierto como elemento químico independiente en 1772 por el químico y botánico escocés Daniel Rutherford (1749-1819), su símbolo químico es "N" y en su estado físico habitual es un gas incoloro, inodoro e insípido. Este elemento constituye el 78.03 % del aire de la atmósfera en el que se encuentra mayoritariamente en forma molecular (N_2). Los principales compuestos minerales en los que se encuentra en la corteza terrestre son el nitrato sódico (nitrato de Chile) (NaNO_3) y el nitrato potásico (salitre) (KNO_3). El nitrógeno en su forma molecular es un gas prácticamente inerte, muy poco reactivo. Sin embargo, es posible

encontrarlo en diversos compuestos químicos cuya naturaleza y riqueza en nitrógeno son las que se indican en la tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Principales compuestos de nitrógeno presentes en la naturaleza.

Compuesto	Formula química	Estado a T ambiente	% de nitrógeno
Nitrógeno	N ₂	Gas	100.00
Nitrato sódico	NaNO ₃	Solido	16.47
Nitrato potásico	KNO ₃	Solido	13.85
Amoniaco	NH ₃	Gas	82.35
Amonio (ion)	NH ₄ ⁺	Combinado o disuelto	77.78
Óxido nitroso	N ₂ O	Gas	63.64
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	Gas	30.43
Nitrato (ion)	NO ₃ ⁻	Combinado o disuelto	22.58
Nitrito (ion)	NO ₂ ⁻	Combinado o disuelto	30.43

2.2.8 Relación C/N

En el suelo, tienen lugar procesos de mineralización de nitrógeno orgánico que están directamente relacionados con la relación C/N. La Relación C/N es un índice de la calidad del sustrato orgánico del suelo. Indica la tasa de nitrógeno disponible para las plantas; valores altos implican que la materia orgánica se descompone lentamente, ya que los microorganismos inmovilizan el nitrógeno, por lo que no puede ser utilizado por los vegetales; en cambio, valores entre 10 y 14 corresponden a una mineralización y ruptura de tejidos rápida, ya que la actividad microbiana se estimula, hay nutrientes suficientes para los microorganismos y para los vegetales.

Además, la relación C/N de bacterias y hongos del suelo es menor a 15, lo que implica que con valores bajos de C/N los microorganismos serán más eficientes en la descomposición de la materia orgánica. (Gamarra, 2007).

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

3.1.2 Descripción del área de estudio

El análisis del experimento se efectuó en el Campo Agrícola Experimental “Bajío” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal, ubicado en el Km 6.5 de la Carretera Celaya-San Miguel de Allende S/N, Colonia Roque, Celaya, Guanajuato (Figura 2). El campo se localiza en las coordenadas 20° 35' 18.2" LN y 100° 49' 34" LO, a una altitud de 1706 msnm (INEGI 2021) con una temperatura media anual menor a los 18°C y una precipitación entre los 600-800 mm. El clima generalmente es semiárido semicálido y con una vegetación de selva baja caducifolia, pastizal, bosque y mezquital (CONABIO, 2015).

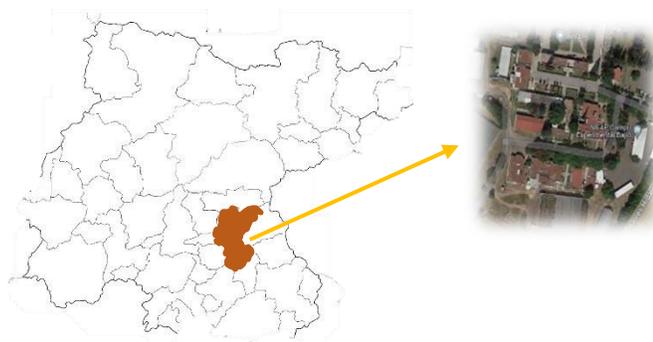


Figura 3. 1 Ubicación del laboratorio de análisis, INIFAP, Celaya, Guanajuato.

3.2 Descripción del experimento

Se evaluó la curva de liberación de nitrógeno de los abonos orgánicos comerciales señalados en la tabla 3.1. Los primeros siete fueron de presentación sólida, mientras que los otros seis fueron líquidos. Todos de origen orgánico, cada uno con diferente

contenido de N-P-K disponible para el aprovechamiento de las plantas. La incubación de los fertilizantes sólidos se evaluó por 12 semanas consecutivas. En cambio, los fertilizantes líquidos se evaluaron solo por 10 días consecutivos, debido a que la disposición del N en este tipo de fertilizantes es más dinámica con respecto a los fertilizantes sólidos.

Tabla 3. 1 Fertilizantes sólidos y líquidos

Fertilizantes sólidos	Fertilizantes líquidos
Superior 13-0-0	Vigilante 4-0-0
Fon mix 8-5-1	Phytafish 4-6-1
Fon HHH 4.5-9-2	True 4-0-2
True 12-0-0	Wiserg 3-2-2
True 10-5-2	Tierra Fertil 4-6-1
TRUE 4-2-1	Phytamin 3-3-2
Nutripellet 4-5-4	

Previo a la incubación se evaluó en todos los fertilizantes el contenido de carbono, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitrógeno nítrico, conductividad eléctrica y relación C/N. Al mismo tiempo se evaluaron las características físicas y químicas del suelo empleado en el estudio.

3.3 Diagnostico Características físicas y químicas del suelo

Previo al establecimiento del experimento, se realizó un diagnóstico del suelo, llevando a cabo un análisis físico – químico de este, que arrojaron los siguientes resultados: El suelo que se empleó para el estudio fue de textura franca, con densidad aparente de 1.03 g cm⁻³ (Tabla 3.2). En pH fue neutro y el contenido de materia orgánica de 1.39, mientras que el N total fue de 0.075 %, por lo cual la relación C/N fue de 10.8.

El contenido de N inorgánico (N-NO₃ + N-NH₄) fue de 32.3 ppm, lo que puede considerarse alto, al igual que el P extractable Bray 1 el cual fue de 38.62 mg kg⁻¹ y las bases K, Ca y Mg, no así el sodio que fue moderado. El contenido de Fe, Zn y Cu fue bajo, mientras que el de Mn fue moderadamente alto (Tabla 3.3).

Tabla 3. 2 Características físicas del suelo

Arena	Limo	Arcilla	Saturación	DA
				g cm ⁻³
44.6	18.12	37.28	46	1.03

Tabla 3. 3 Características químicas del suelo

MO	NI	PE	Acetato de amonio 1 N pH 7.0				DTPA 0.005 M pH 7.3			
			K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	Cu
		mg kg ⁻¹								
1.39	32.3	38.62	562.3	2124	436.7	136.22	6.28	0.95	14.42	0.53

MO: materia orgánica; NI: nitrógeno inorgánico; PE: fósforo extractable Olsen

3.4 Descripción de los fertilizantes

3.4.1 Descripción fertilizantes orgánicos sólidos

FON SUPERIOR (13-0-0). Fertilizante sólido con alto contenido de Nitrógeno Orgánico, Es producido por la empresa Us Mex Nutrition Technologies S.A. de C.V. Enriquece el suelo, actúa como un estimulador de crecimiento de la planta e incrementa la capacidad de intercambio del suelo. Está elaborado a partir de materias primas de origen animal. Contiene 13 % de nitrógeno total.

FON MIX (8-5-1). Fertilizante sólido con alto contenido alto contenido de nitrógeno y fósforo orgánico. Es producido por la empresa Us Mex Nutrition Technologies S.A. de C.V. Enriquece el suelo, actúa como un estimulador de crecimiento de la planta e incrementa la capacidad de intercambio del suelo. Está elaborado a partir de materias primas de origen animal. Contiene 8 % de nitrógeno total, 5 % de P₂O₅ y 1 % de K₂O.

FON HHH (4.5-9-2). Fertilizante sólido con alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio orgánico. Es producido por la empresa Us Mex Nutrition Technologies S.A. de C.V. Enriquece el suelo, actúa como un estimulador de crecimiento radicular de la planta e incrementa la capacidad de intercambio del suelo. Está elaborado a partir de materias primas de origen animal. Contiene 4.5 % de nitrógeno total, 9 % de P_2O_5 y 2 % de K_2O .

TRUE 12-0-0. Fertilizante sólido orgánico rico en nitrógeno producido por la empresa True Organic Products INC. Es un fertilizante que contiene harinas proteicas y mezcla con otros insumos orgánicos como el guano. Contiene 12% de nitrógeno total.

TRUE 10-5-2. Fertilizante sólido orgánico rico en nitrógeno fósforo y potasio, producido por la empresa True® Organic Products INC. Es un fertilizante que contiene harinas proteicas y mezcla con otros insumos orgánicos como el guano. Contiene 10% de nitrógeno total, 5 % de P_2O_5 y 2 % de K_2O .

TRUE 4-1-2. Fertilizante sólido orgánico rico en nitrógeno fósforo y potasio, producido por la empresa True® Organic Products INC. Es un fertilizante que contiene harinas proteicas y mezcla con otros insumos orgánicos como el guano. Contiene 4% de nitrógeno total, 1 % de P_2O_5 y 2 % de K_2O .

NUTRIPELLET 4-5-4. Es un fertilizante orgánico peletizado de lenta liberación y rápida acción. Es producido por la empresa DASA novedades agrícolas. El fertilizante es formulado a base de materias primas de origen animal con un alto contenido de macronutrientes NPK 4-5-4 y micronutrientes, materia orgánica y microorganismos benéficos.

3.4.2 Descripción de fertilizantes orgánicos líquidos

VIGILANTE 4-0-0. Fertilizante líquido, fuente de nitrógeno orgánico. Enriquece el suelo, actúa como un estimulador de crecimiento de la planta e incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Producido por la empresa Us Mex Nutrition Technologies S.A. de C.V. Contiene 4 % de nitrógeno total.

PHYTAFISH 4-1-1. Fertilizante líquido fuente de nitrógeno Orgánico. Enriquece el suelo, actúa como un estimulador de crecimiento de la planta e incrementa la capacidad de intercambio del suelo. Producido por la empresa Us Mex Nutrition Technologies S.A. de C.V. Contiene 4 % de nitrógeno total, 1% fósforo (P_2O_5) y 1 % potasio (K_2O).

TRUE 4-0-2. Fertilizante líquido diseñado para satisfacer necesidades de los cultivos. Es producido por la empresa True® Organic Products INC. Proporcionan nutrientes con la facilidad de aplicación líquida. Es de fácil aplicación en todos los sistemas de riego. Contiene 4 % de nitrógeno total y 2 % de potasio (K_2O).

PHYTAMIN 3-3-2. Fertilizante líquido que se elabora con base en una combinación única de nitrógeno y fósforo biodisponibles con varios minerales y compuestos altamente activos microbianos. Producido por la empresa California Organic Fertilizers, Inc. (COFI). Contiene 3 % de nitrógeno total, 3 % de fósforo (P_2O_5) y 2 % de potasio (K_2O).

TIERRA FERTIL 4-6-1. Es un fertilizante líquido orgánico producido por la empresa Mar y Tierra Fertilizantes Orgánicos. Es obtenido a partir de especies marinas, con un alto valor proteínico y nutritivo para las plantas. Puede ser aplicado por vía foliar para reducir el estrés de la planta. Es un fertilizante producido con una avanzada técnica de hidrólisis y filtrado, con lo que se reduce el riesgo de taponamiento de las cintillas y equipos de riego presurizados. Es un excelente estimulador del desarrollo radicular, lo que lo hace el componente perfecto que funciona como un efectivo

fertilizante para fortalecer a la planta desde su etapa inicial. Contiene 4 % de nitrógeno total, 6 % de fósforo (P_2O_5) y 1 % de potasio (K_2O).

WISERG 3-2-2. Fertilizante líquido orgánico producido por la empresa wiserganic. El producto se deriva de la digestión de materiales alimenticios. Contiene 3 % de nitrógeno total, 2 % de fósforo (P_2O_5) y 2 % de potasio (K_2O).

3.5 Evaluación de los fertilizantes sólidos

Es importante señalar que el contenido de N indicado en cada tipo de fertilizante sólido se refiere a la forma orgánica contenida en éste, por lo tanto, debe pasar por el proceso de mineralización para liberar la fracción inorgánica que corresponde a la fracción que se evaluó en el estudio ($N-NO_3+N-NH_4$).

3.5.1 Establecimiento del experimento

Para el establecimiento del experimento se siguió el siguiente proceso: La muestra de suelo fue colocada en botes de plástico opaco con capacidad de 1000 mL. Se aplicó una dosis equivalente a 80 kg de N ha^{-1} de cada fertilizante (Tabla 3.4). El proceso de incubación de las muestras, consistió en agregar la cantidad de fertilizante correspondiente a una cantidad conocida de suelo, homogenizar y agregar agua destilada a capacidad de campo y se mantuvo a temperatura ambiente durante 12 semanas.

Tabla 3. 4 Dosis de aplicación de N en tratamientos de fertilizantes sólidos

Nombre Fertilizante	N puro Mg kg⁻¹ suelo	Dosis Aplicación Unidades ha⁻¹
Fon Superior 13-0-0	615	80
Fon Mix 8-5-1	1000	80
Fon HHH 4.5-9-2	1778	80
True 12-0-0	667	80
True 7.5-5-7.5	1067	80
True 10-5-2	800	80
Nutripellet 4-5-4	2000	80



Figura 3. 2 Distribución de unidades experimentales en el laboratorio

3.5.2 Toma De Datos

Una vez pasadas las 12 semanas se procedió a recolectaron muestras de 20 g de suelo húmedo aproximadamente, posteriormente se secó en estufa de aire forzado a 40 °C durante dos días y se procedió a las determinaciones analíticas, el contenido de N se determinó por el método de Kjeldahl.

La evaluación se llevó a cabo por triplicado y también se evaluó el suelo en blanco, es decir, sin aplicación de fertilizantes como referencia del comportamiento de la curva de liberación de N contenido en éste.

3.6 Evaluación de los fertilizantes líquidos



Figura 3. 3 Aplicación de fertilizantes líquidos

Los fertilizantes líquidos se evaluaron en dos dosis: a 50 y 150 mL/kg de suelo. Cada dosis de aplicación se midió sólo por 10 días consecutivos, considerando que la disposición del N en este tipo de fertilizantes es más dinámica en la liberación de N con respecto a los fertilizantes sólidos. La saturación del suelo fue a capacidad de campo y se mantuvo a temperatura ambiente. El procedimiento de recolección de muestras y determinaciones analíticas fueron igual a lo descrito en la evaluación de los fertilizantes sólidos.

3.7 Parámetros a evaluar

Para poder llevar a cabo los parámetros a evaluar, se procedió a realizar un acondicionamiento de la muestra donde se le procedió a dar :

Molienda y Tamizado para Fertilizantes sólidos

Se procedió a retirar las rocas y el material orgánico visible en la muestra, para proseguir a reducir el tamaño de los terrones, y en caso de contar con un mazo de madera hacerlo con él, se pasa por un tamiz de acero inoxidable, de aberturas de 2mm de diámetro (malla 10). Después de acondicionar la muestra, para realizar las pruebas y/o análisis correspondientes.

Determinación de pH Para fertilizantes sólidos y líquidos

Se realizó mediante un potenciómetro siguiendo el procedimiento que a continuación se presenta: se procedió a pesar 10 g de suelo en un frasco de vidrio o plástico de boca ancha, adicionarle 20 mL de agua destilada, y agitar manualmente la mezcla (suelo-agua) a intervalos de 5 minutos, durante media hora, se dejan reposar durante 15 minutos, se calibra el medidor de pH con las soluciones reguladores de pH 4, 7 y 10, agitar nuevamente la muestra e introducir en ella el electrodo, para posteriormente registrar la lectura cuando se estabilice.

Textura para fertilizantes solidos

Se efectuó mediante el método Bouyoucos (NOM-021-RECNAT-2000), el cual se describe a continuación: se pesan 50 gr de suelo de textura gruesa en un vaso de precipitado, se pasa la muestra a los vasos del agitador mecánico, estos se activan durante 15 minutos, y al finalizar este tiempo de agitación se pasa el contenido a probetas de Bouyoucos, enjuagar con agua destilada, se agrega agua destilada hasta la marca inferior (1113 mL) con el hidrómetro dentro de la suspensión, se saca el hidrómetro y suspender el suelo con un agitador de mano operado durante un minuto, se toma la primera lectura con el hidrómetro y la temperatura, se deja transcurrir un tiempo de dos horas, para tomar la segunda lectura, acompañada con la temperatura.

Determinación de conductividad eléctrica Para fertilizantes sólidos y líquidos

Se realizó mediante un conductímetro siguiendo el procedimiento que a continuación se explica: Lavar y llenar la celda de conductividad con solución de KCl, ajustar el medidor de conductividad para leer la conductividad estándar de la solución de KCl, se lava y llena la celda con el extracto de saturación del suelo y se debe leer la conductividad eléctrica del extracto corregido a 25 °C.

Determinación de Nitrógeno total Para fertilizantes sólidos y líquidos

Se realizó mediante el método Kjeldahl (NOM-021-RECNAT-2000), cuyo procedimiento se describe a continuación: En un tubo digestor, pesar 0.1g de muestra y agregar 2 perlas de ebullición, se le adiciona la mezcla catalítica (mezcla de selenio), se agregan 5mL de H₂SO₄ concentrado, se incluyen 3 blancos, se ponen a calentar en el digestor hasta que la solución sea clara (verde claro), máximo 1h a 360° C, y dejar enfriar en la campana de extracción, después vaciar el contenido del tubo en un matraz Kjeldahl y enjuagar el tubo con agua destilada, aproximadamente 80 mL de agua son suficientes para no dejar residuos, se le adicionan 25mL de NaOH, lentamente y por las paredes del matraz, ya que de lo contrario hay gran pérdida de hidrógeno, agregamos 2 o 3 granallas de Zinc, Colocamos 10 mL de solución de H₃BO₃ con indicador en un matraz Erlenmeyer de 125 mL y conectarlo en un tubo de salida del refrigerante, de modo que este quede en contacto con el líquido, se conecta al aparato de destilación y destilar hasta completar a 50 mL, se titular la muestra y los blancos con H₂SO₄ 0.005 N, en el punto final el color cambia de verde a rosa.

Cálculo de N total

$$N (\%) = \frac{(V - V_0) * N * meq * 100}{m}$$

Donde:

- V= mL de H₂SO₄ empleados en la titulación de la muestra
- V₀= mL de H₂SO₄ empleados en la titulación del blanco
- N= normalidad de H₂SO₄
- meq= miliequivalentes de N, 0.014
- m= peso de la muestra en g

Determinación de nitrógeno inorgánico (N-NH₄ y N-NO₃) Para fertilizantes sólidos y líquidos

Se realizó mediante el método para determinación de nitrógeno inorgánico extraíble (NOM-021-RECNAT-2000), cuyo procedimiento se describe a continuación: se pesan 3 g de suelo en un matraz Erlenmeyer de 125 mL, se agregan 30 mL de solución de KCl 2 N y agitar 60 minutos en agitador de acción recíproca regulado a 180 ppm, decantar o filtrar si es necesario, se deben incluir 3 blancos, colocamos 5mL de solución de H₃BO₃ con indicador en un matraz Erlenmeyer de 50mL y conectarlo en un tubo de salida del refrigerante, de modo que este quede en contacto con el líquido, poner una alícuota de 10 a mL del extracto de suelo y colocar en un matraz Kjeldahl de destilación y agregar 0.2 mg de MgO calcinado y 0.2 mg de aleación Devarda's (puede no ser exacto los 0.2 mg, utilizar una medida), conectar al aparato de destilación y destilar hasta completar a 30 mL, titular la muestra y los blancos (se preparan de forma similar a las muestras) con H₂SO₄ 0.005 N. En el punto final el color cambia de verde a rosa tenue.

Cálculos de N inorgánico

Calcular la cantidad de nitrógeno inorgánico con la siguiente ecuación:

$$N(ppm) = (M - B) * N * 14 * \left(\frac{V_i}{a}\right) * \left(\frac{1}{p}\right) * 1000$$

Donde:

- M y B= mililitros de H₂SO₄ gastados en la titulación de muestra y blanco,
- respectivamente.
- N= normalidad del H₂SO₄
- V_i= volumen del extractante (KCl)
- a= alícuota destilada
- p= peso de la muestra en gramos

Determinación de materia Orgánica Para fertilizantes sólidos y líquidos

Se realizó mediante el método de WALKLEY Y BLACK (NOM-021-RECNAT-2000), cuyo procedimiento se describe a continuación: se deben pesar 0.25 gr de suelo al aire, molido y tamizado a través de un tamiz de malla N° 20 y colocar en un matraz Erlenmeyer de 250mL, pesar también una muestra Patrón, adicionar exactamente 5 mL de Dicromato de Potasio 1 N girar el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con todo el suelo, procesar 3 blancos de reactivos sin suelo, agregar cuidadosa y lentamente 10 mL de H₂SO₄ concentrado a la suspensión, agitando suavemente al mismo tiempo para que el ácido reaccione totalmente con el contenido del matraz, se debe dejar reposar durante 30 minutos sobre una lámina de asbesto o sobre una mesa de madera, evitando las mesas de acero o cemento para impedir pérdida de calor, posteriormente añadir 100 mL de agua destilada, 5mL de H₃PO₄ concentrado, y adicionar de 5 a 10 gotas del indicador de Difenilamina, titular con la solución de Sulfato Ferroso gota a gota hasta un punto final verde claro, con el volumen utilizado en la titulación para los 3 blancos calcular la normalidad del Sulfato Ferroso al momento de la determinación.

Cálculos para determinar el índice de M.O.

Calcular de la siguiente forma:

$$\%Materia\ Orgánica = \left(\frac{B - T}{g}\right) (N)(0.39) \times 1.7241$$

Donde:

- B= Volumen (mL) de Sulfato Ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (promedio de los 3 blancos)
- T= Volumen (mL) de Sulfato Ferroso gastado para valorar la muestra.
- N= Normalidad exacta del Sulfato Ferroso.
- g=Peso (g) de la muestra empleada.
- *factor 0.39* = resulta de multiplicar $12/4000 \times 1/0.77 \times 100 = 0.39$

Donde:

12/4000 es el peso miliequivalente del C.

Relación carbono nitrógeno C/N Para fertilizantes sólidos y líquidos

La relación C/N se determinó con las fórmulas propuestas en la literatura (Thompson y Troeh, 2002).

$$Relacion\ C:N = \frac{\% \text{ materia organica}/1.82}{\% \text{nitrogeno Total}}$$

Donde:

1.82= factor de conversión para carbono orgánico en abonos y compostas.

Densidad aparente para fertilizantes solidos

Se realizó mediante el método de la probeta (Andrades, 2015), cuyo procedimiento se describe a continuación: Se toma el peso de una probeta de 100 ml, se agrega el suelo a la probeta molido y tamizado a través de un tamiz de malla N° 10 hasta que esté completamente llena, se debe golpear la parte superior de la probeta hasta que la muestra de suelo baje a la marca de 100 ml, y pesar nuevamente la probeta con la muestra.

Cálculos para determinar densidad aparente

$$DA \left(\frac{g}{cm^3} \right) = (\text{Peso de la probeta con muestra} - \text{Peso de la probeta vacia}) \times 100$$

Fosforo Extractable Para fertilizantes sólidos y líquidos

Se realizó mediante el método *Bray y Kurtz 1* (NOM-021-RECNAT-2000), cuyo procedimiento se describe a continuación: Se pesan 2.5 gr de suelo seco, molido y tamizado malla N° 20 y colocarlo en matraz Erlenmeyer de 125 ml, identificarlo con

el número de registro que corresponda e incluir un testigo, agregamos 25 ml de la solución extractora Bray-1, y agitamos la suspensión en agitador a 180 rpm por 5 min, filtramos a través de papel Whatman N° 42 (debe realizarse antes de las 12 horas), medir con la pipeta aforada 0, 1, 3, 5, 8 y 10 ml de la solución de 5 ppm de fosforo en matraces aforados de 50 ml para obtener estándares; Agregar 5 mL de la solución extractora para igualar la matriz. El primer matraz será el blanco para calibrar el espectrofotómetro. Después tomamos con la pipeta una alícuota de 5 ml del extracto obtenido y lo colocamos en un matraz aforado de 50 mL identificándolo con el número de registro que corresponde a la muestra, después agregamos aproximadamente 15 ml de agua destilada, 5 ml de la solución reductora y agitamos por rotación, después de 5 o 10 min observar los matraces, si aparece una coloración azul intenso, se debe preparar otro matraz con menor cantidad del extracto y si la coloración es muy débil agregar otros 5 o 10 ml del extracto y aforar. Anotar la alícuota utilizada.

Una vez transcurrido 30 min contados desde que se agregó la solución reductora, leer la absorbancia a una longitud de onda de 882 nm, leer antes de completar la hora.

Cálculos para determinar fosforo

$$Fosforo (ppm) = Fosforo \text{ en curva en ppm} \times Dm \times Dv$$

Donde:

- Dm= Factor de dilución de masa = mL de solución extractante/ peso de la muestra
- Dv= Factor de dilución de volumen = volumen final / volumen de alícuota del extracto de la muestra.

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fertilizantes sólidos

En la tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos, para las características físico-químicas del suelo.

Tabla 4. 1 Resultados de pH, CE, MO, N y relación C/N

Fertilizante	pH	CE	MO	C	N	C/N
Nutripellet 4-5-4	7.15	1.040	1.883	1.092	0.060	18.1
True 10-5-2	7.12	1.013	1.623	0.942	0.101	9.4
True 12-0-0	7.10	1.053	1.728	1.002	0.086	11.8
For Mix 8-5-1	7.11	1.023	1.504	0.872	0.091	9.6
Fon H H H 4.5-9-0	7.11	1.047	1.598	0.927	0.086	10.9
Blanco 1	7.07	1.047	1.382	0.802	0.055	14.7
Fon superior 13-0-0	7.10	1.077	1.445	0.838	0.106	7.9
True 7.5 - 5 - 7.1	7.11	1.057	1.831	1.062	0.081	13.3

4.1.1 N inorgánico

Los resultados de las curvas de liberación de nitrógeno inorgánico, de los distintos tipos de fertilizantes sólidos, tuvieron un comportamiento semejante en cuanto a la tendencia que hubo en la liberación del N inorgánico ($N-NO_3 + NH_4$) en relación con el tiempo de incubación, pero con diferente nivel, de acuerdo a la concentración de N contenido en cada fertilizante y la interacción que hubo con el contenido de N inorgánico que contenía el suelo en el que fueron evaluados. En los siguientes gráficos se presentan los resultados por tipo de fertilizante, donde se observa, en el mismo gráfico, el comportamiento en la liberación de N con respecto al tiempo de incubación en el suelo saturado a capacidad de campo y temperatura ambiente de las fracciones $N-NO_3$, $N-NH_4$ y la suma de ambos. Los gráficos se ordenaron con base en el contenido de N de cada fertilizante, de menor a mayor, comenzando por suelo en blanco, es decir, sin fertilizar, para tener referencia del comportamiento en

la liberación de N contenido naturalmente en éste, en el cual el nivel de N inorgánico (NO_3+NH_4) alcanzó 60 ppm en el punto más alto.

En contraste el nivel más alto de N se presentó en el tratamiento donde se aplicó el fertilizante FON SUPERIOR 13-0-0, que fue el que tuvo la mayor concentración de N, donde la curva de liberación alcanzó en el punto más alto 135 ppm de este elemento. El contenido de N, en todos los casos, aumentó paulatinamente hasta la séptima semana y posteriormente los incrementos fueron muy discretos o se estabilizó. En todos los casos el nitrógeno amoniacal (N-NH_4) fue aproximadamente el doble con respecto a la cantidad que se liberó de nitrógeno nítrico (N-NO_3), excepto en el blanco (suelo sin fertilizar), donde el primero fue ligeramente superior.

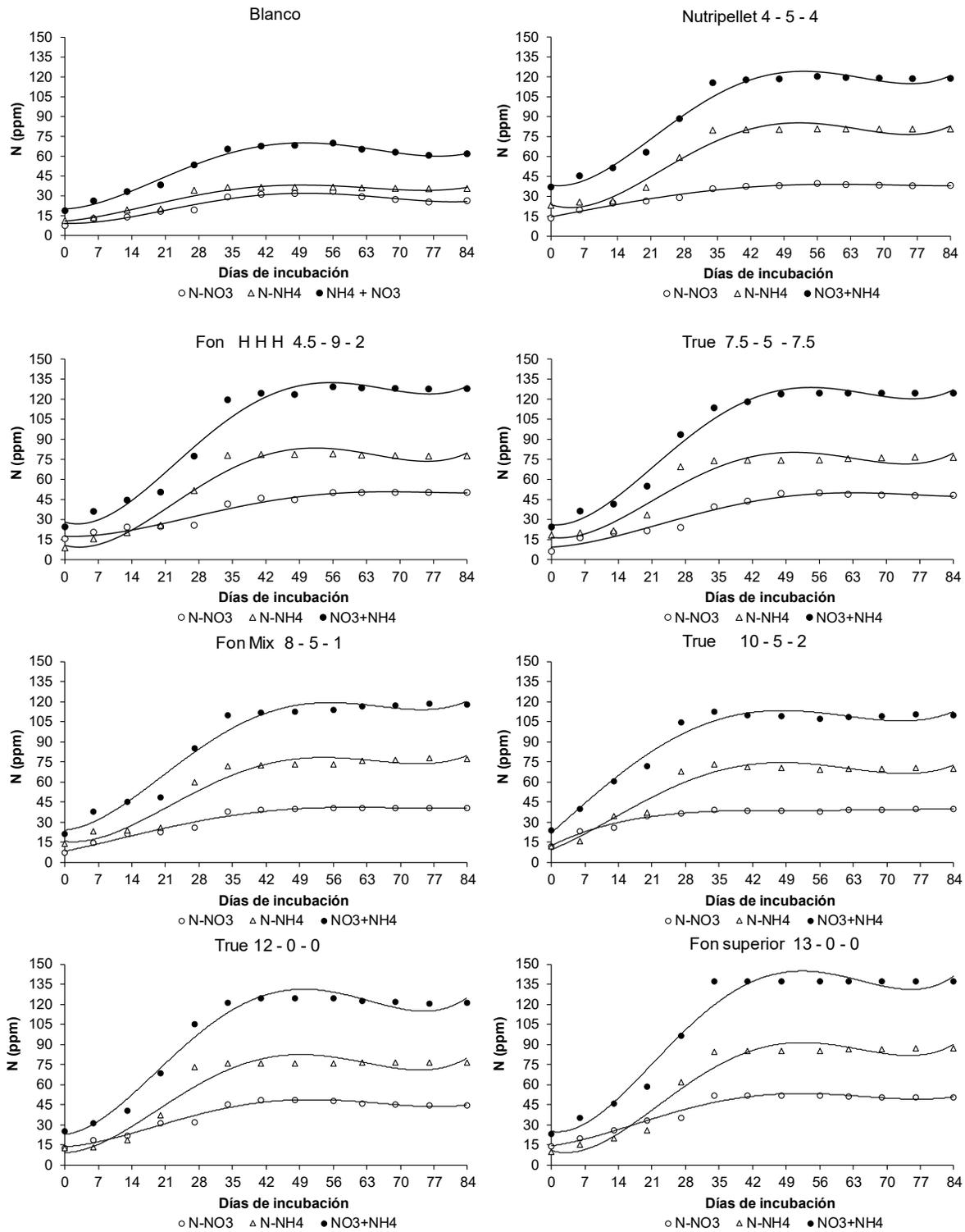


Gráfico 4. 1 Curvas de liberación de N inorgánico en fertilizantes sólidos

4.1.2 Nitrógeno total

El N total disminuyó, de manera general en todos los fertilizantes, a medida que aumentó el tiempo de incubación. En el suelo en blanco, sin aplicación de fertilizantes, el contenido de este elemento en el tiempo cero fue inferior a 0.06 %, y después de 12 semanas de incubación disminuyó de manera paulatina, aproximadamente lineal, hasta menos de 0.02 %. La referencia de la dinámica de liberación de este elemento en el suelo, donde se evaluó el estudio es importante, porque la reserva contenida interacciona con el N contenido en los fertilizantes evaluados. El nivel de N total en el tiempo cero, en la primera evaluación, aumentó a medida el contenido de N y fue mayor en los diferentes fertilizantes evaluados. Aun después de 12 semanas de incubación en la mayoría de los fertilizantes había el doble de N total con respecto al suelo en blanco. El fertilizante denominado Fon Superior 13- 0 – 0, que fue el que contuvo mayor contenido de N comenzó la incubación con el nivel más alto de N total (0.106 %) y también al finalizar la evaluación 12 semanas después (0.04 %). En los suelos esta forma de N puede constituir entre 85-95 % del N total y está fuertemente ligado a la materia orgánica en las proteínas, aminoácidos libres, azúcares y otras sustancias complejas.

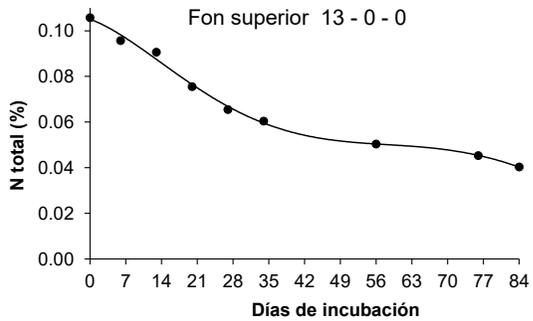
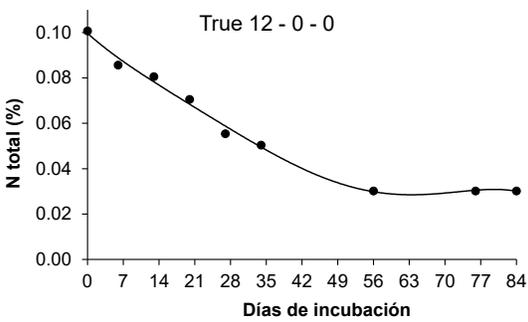
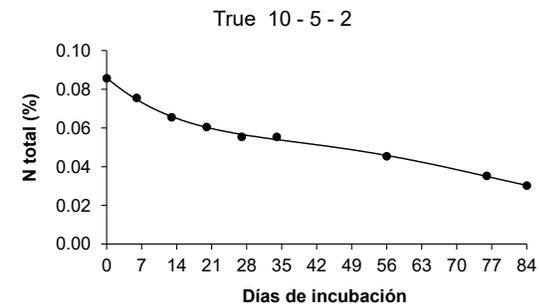
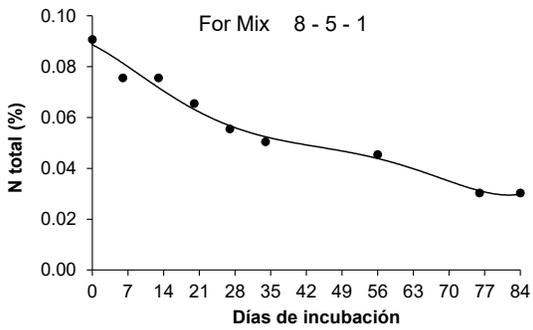
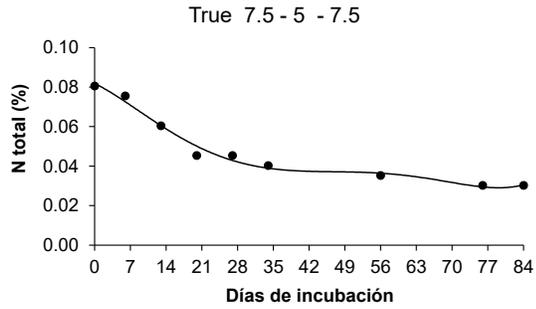
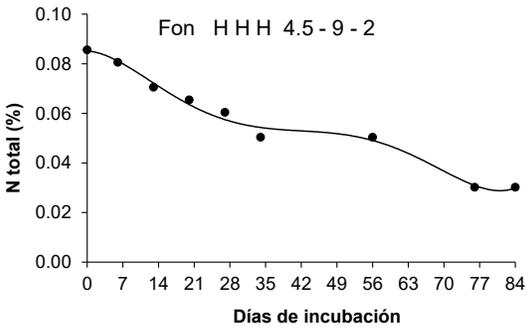
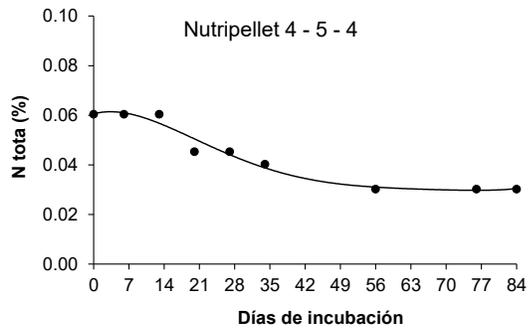
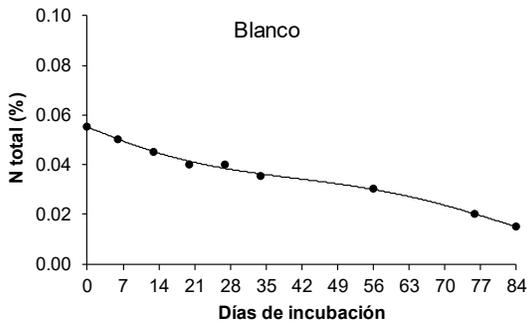


Gráfico 4. 2 Curvas de liberación de N en fertilizantes sólidos

4.2 Fertilizantes líquidos

4.2.1 Nitrógeno inorgánico

Los resultados de las curvas de liberación de nitrógeno inorgánico ($\text{N-NO}_3 + \text{NH}_4$), de los distintos tipos de fertilizantes líquidos, tuvieron un comportamiento diferente en cuanto a la tendencia de liberación, de acuerdo con el tipo de fertilizante y dosis de aplicación. El suelo en blanco tuvo el nivel más bajo de este elemento. Durante la incubación se observó que éste se incrementó ligeramente después del primer día y posteriormente se estabilizó en alrededor de 100 ppm de N inorgánico ($\text{N-NO}_3 + \text{N-NH}_4$). La diferencia entre una fracción y otra fue muy tenue, se podría decir que cada una constituyó alrededor de 50 %.

La liberación de N en los fertilizantes líquidos con una dosis de fertilización de 50 mL kg^{-1} de suelo tuvo un comportamiento semejante en los primeros 4 días y posteriormente aumentó paulatinamente, el comportamiento fue semejante en todos los fertilizantes, en el tiempo cero hubo alrededor de 100 ppm de ambas fracciones de N y después en algunos de ellos fue más alto N-NO_3 y en otros el N-NH_4 . Con la dosis más alta (150 mL/kg) se observó que en algunos fertilizantes que hubo una alta disponibilidad desde el tiempo cero bajo rápidamente y después aumentó, estabilizándose en algunos casos y en otros al final de la evaluación decayeron.

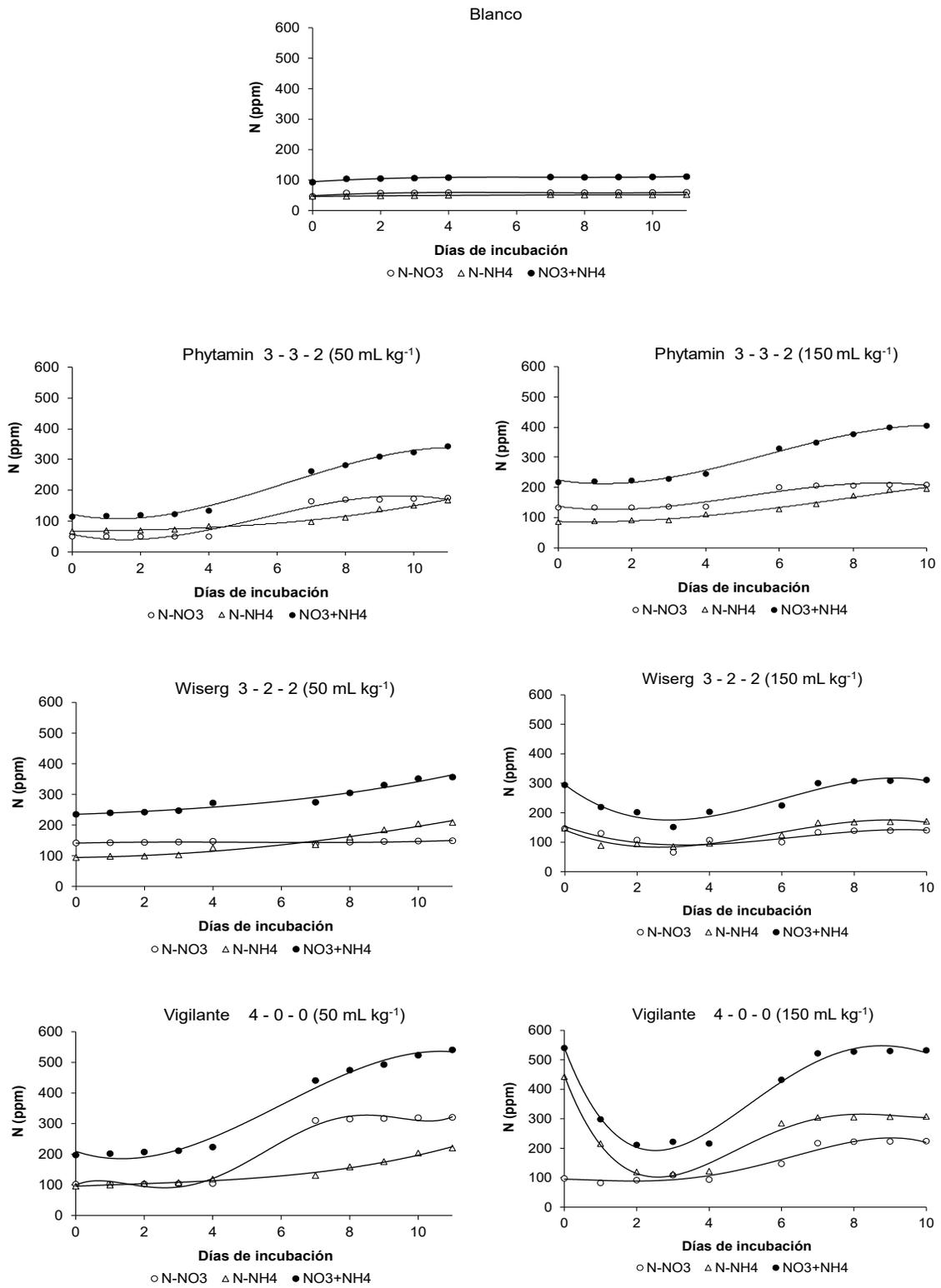


Gráfico 4. 3 Curvas de liberación de N inorgánico en fertilizantes líquidos

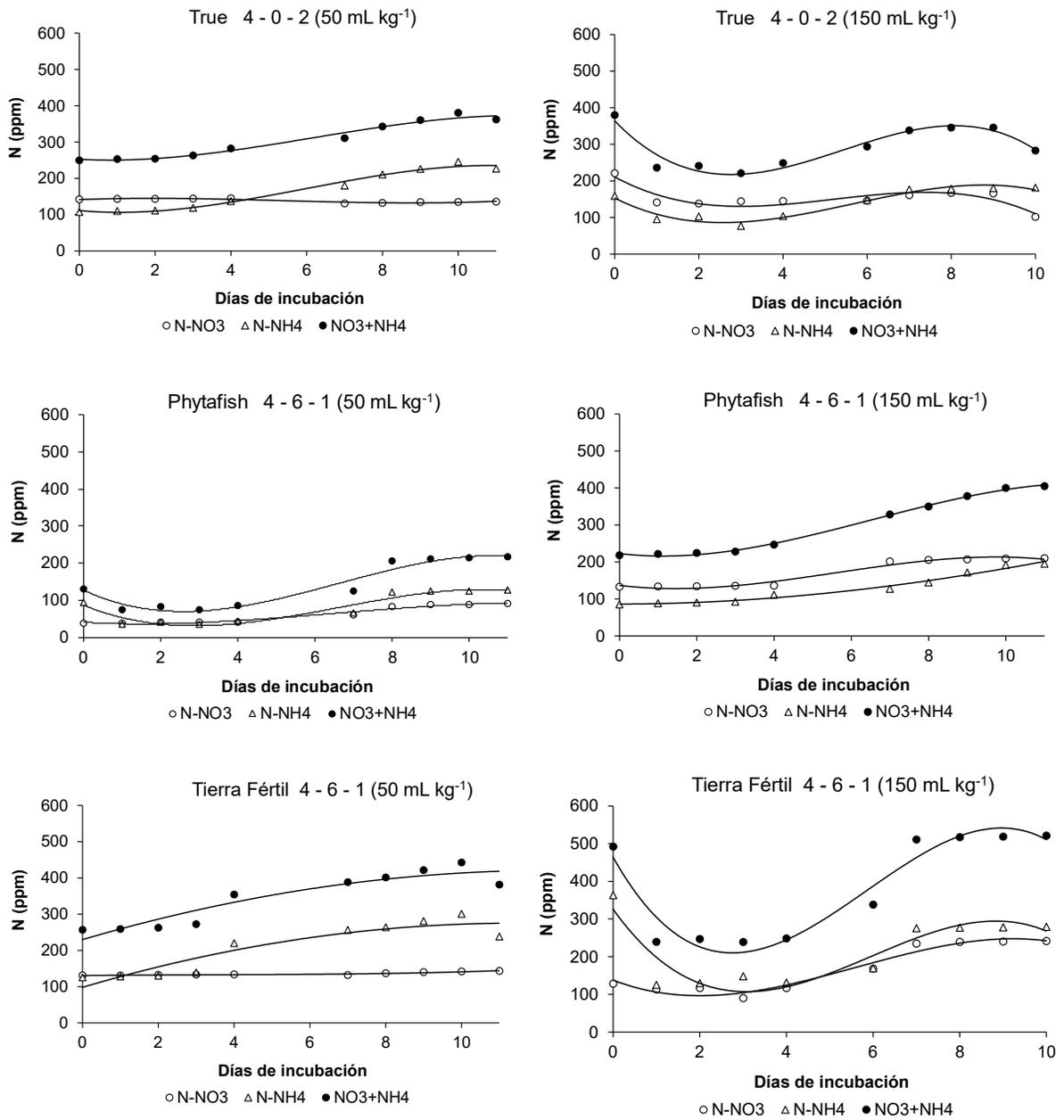


Gráfico 4. 4 Curvas de liberación de N inorgánico en fertilizantes líquidos

4.3.2 Nitrógeno Total

El N total se presenta en los siguientes gráficos. Tuvo un comportamiento semejante al de los fertilizantes sólidos, fue a la baja, a medida que aumentó el tiempo de incubación y hubo mayor cantidad de N con la dosis más alta.

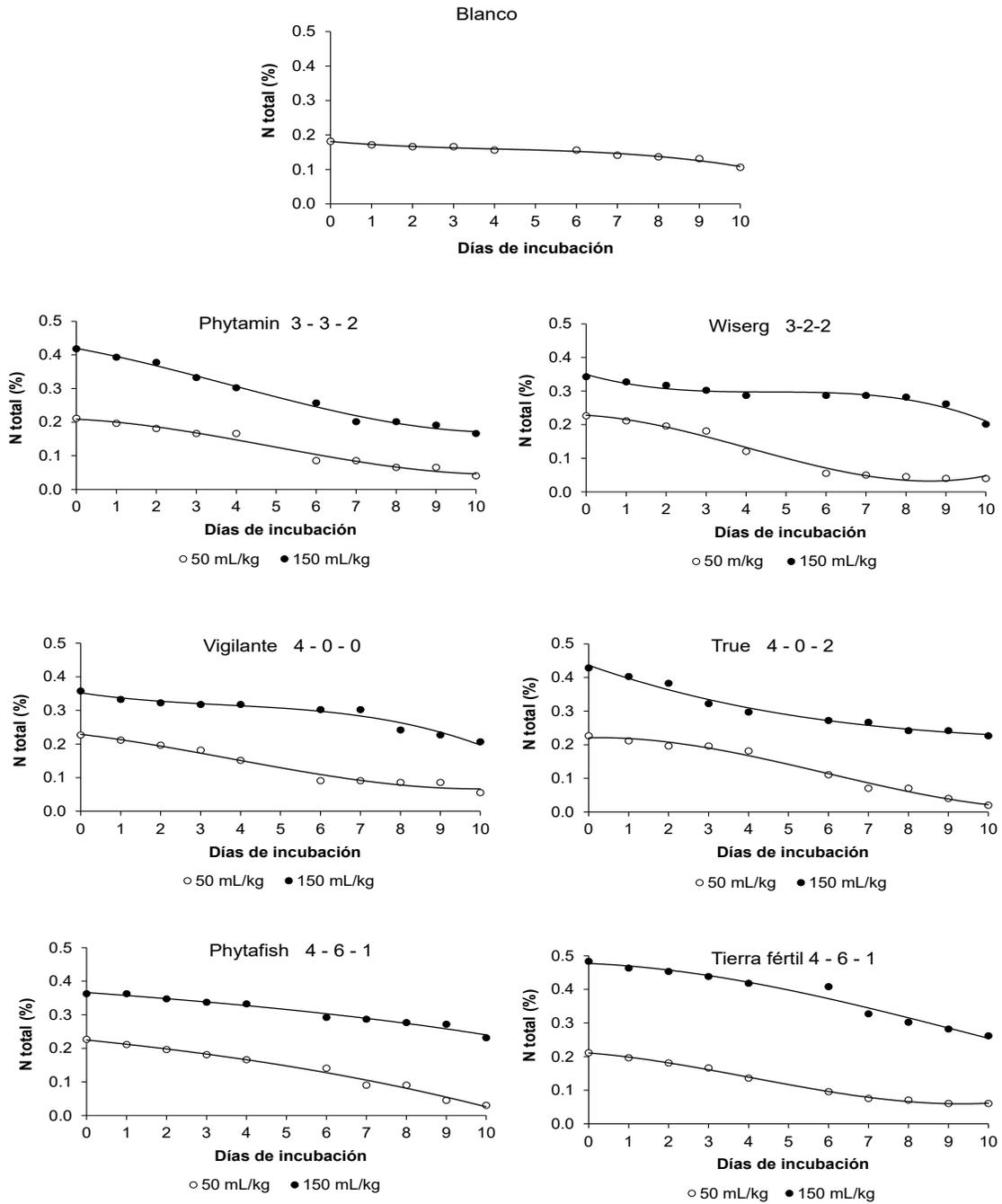


Gráfico 4. 5 Curvas de liberación de N total en fertilizantes líquidos.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En los fertilizantes solidos Fon Superior 13-0-0 fue el que contuvo mayor contenido de nitrógeno, alcanzando 135 ppm en nitrógeno inorgánico y 0.106 % en nitrógeno total, por otro lado, en los fertilizantes líquidos, tierra fértil 4-6-1 fue el que contuvo mayor contenido de nitrógeno con la dosis más alta de 150 mL/kg, alcanzando 500 ppm en nitrógeno inorgánico y casi 0.5 % en nitrógeno total. En el suelo, la mineralización de los compuestos nitrogenados fue lenta. Se considera que entre 1 y 2 % del N total es mineralizado por año bajo condiciones de clima templado.

El presente estudio proporciona una idea clara del suministro de Nitrógeno que puede tener cada fertilizante para los cultivos, sin embargo, la condición en un campo de producción, bajo determinadas condiciones, puede ser diferente. La liberación del N contenido en los fertilizantes evaluados dependió de su naturaleza y la resistencia a la degradación en las condiciones que fueron evaluados. Los factores que influyen principalmente en la velocidad de mineralización son la temperatura y humedad.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar pruebas biológicas completas para precisar las dosis de fertilización adecuadas y requeridas para los cultivos específicos, con base en los resultados obtenidos en este estudio.

CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Celaya, H., & Castellanos, A. E., (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343-356., de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792011000300343&lng=es&tlng=es. Fecha de consulta: 30/06/2022
- Celaya-Michel, Hernán, & Castellanos-Villegas, Alejandro E. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343-356.
- Almaguer, J.2013. Fertilización Nitrogenada, impactos sobre los rendimientos y el medio ambiente, Málaga, España. Delos.vol. VI (16),pp. 1-8.
- Andrades, M., Moliner, A., i. Masaguer, A.2015. Prácticas de Edafología métodos didácticos para análisis de suelos. Material Didáctico Agricultura y alimentación (15). Universidad de la Rioja. Editorial IBERUS, Campus de Excelencia Internacional.<file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Dialnet-PracticasDeEdafologia-580696.pdf>. Fecha de consulta: 17/09/2022.
- Andreu, J., Betrán, J., Delgado, I., Espada, J.L., Gil, M., Gutiérrez, M., Iguácel, F., Isla, R., Muñoz, F., Orús, F., Pérez, M., Quílez, D., Sin, E., i. Yagüe, R.M., Fertilización nitrogenada guía de actualización. 2006. Informaciones técnicas: (número extraordinario) Centro de Transferencia Agroalimentaria. chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/868/1/10532-105_11.pdf. Fecha de consulta: 27/10/2022.
- Below, F.E. 2002. Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. *Informaciones Agronómicas* 99:7-12.
- Beltrán, F.A., Nieto, A., Murillo, J.S.A., Ruiz, F.H., Troyo, E., Alcalá, J.A. & Murillo, B. 2019. Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. *Terra Latinoamericana*, 37:371-378.

- Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils ¹. *Agronomy Journal* 54(5):464–465.
- Cepeda, J. 2010. Capítulo I Historia de la fertilidad de suelos. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r125598.PDF. Fecha de consulta 22/10/2022
- Cerrato, M. 2016. Potencial De Mineralización De Nitrógeno De Bokashi, Compost y Lombricompost Producidos en La Universidad Earth. *www.academia.edu*. https://www.academia.edu/29714396/Potencial_De_Mineralizaci%C3%B3n_De_Nitr%C3%B3geno_De_Bokashi_Compost_y_Lombricompost_Producidos_en_La_Universidad_Earth. Fecha de consulta: 27/10/2022.
- Córdova, G. 2010. Mineralización de nitrógeno de diferentes abonos orgánicos (tesis de maestría). Colegio de postgraduados, México. Campus Tabasco. Cárdenas Tabasco. Pp: 2-20.
- Diez, J. (1999). Optimización de la fertilización nitrogenada: procedimientos de análisis de suelo, toma de muestra y elección del tipo de fertilizante. En *Edafología*. Sociedad española de la ciencia del suelo, Madrid, España. Pp: 73-84.
- Figuroa, A., Álvarez, J.G., Forero, A.F., Salamanca, C., & Pinzón, L.P. (2012). Determination of potentially mineralizable nitrogen and the rate of nitrogen mineralization in organic materials. *Temas Agrarios* 17:32-43.
- Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social, (FONCODES). 2014. Manual Técnico: Producción y uso de abono orgánicos: biol, compost y humus. Manual técnico del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social. Lima, Perú. Pp:4-42.
- Gamarra, C. C., Díaz, M. I., Vera, M., Galeano, M., & Cabrera, A. J. N. 2018. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46):4-26.

- Gómez, J. 2000. Abonos orgánicos. Impresora Feriva S.A., Cali, Colombia. pp. 49-69. p49-69.
- Halbleib C.M., & Ludden P.W. 2000. Regulation of biological nitrogen fixation. *J Nutr.* 130(5):1081-4.
- Lazcano-Aguilar, M.L. 2014. Mineralización de nitrógeno del suelo bajo niveles de abonamiento orgánico y un bioinsumo en condiciones de laboratorio. Tesis de licenciatura de la Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Lifeder. 2022. Ciclo del nitrógeno. *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/ciclo-del-nitrógeno>. Fecha de consulta: 12/11/2022.
- Méndez, L. 1989. Fertilizantes, clasificación, propiedades, almacenamiento y manejo. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/30633>. Fecha de consulta: 12/11/2022.
- Orozco, F.H. (1999). La biología del nitrógeno conceptos básicos sobre sus transformaciones biológica. Universidad Nacional de Colombia (1ª ed.) Medellín, Colombia. Pp:39-55.
- Pons R., Vallejo V.R. El nitrógeno hidrolizable en suelos forestales: el caso de un alcornocal de Les Gavarres (Gerona). 1989. In: Bellot J. (ed.). Jornadas sobre las bases ecológicas para la gestión en ecosistemas terrestres. Zaragoza: CIHEAM, (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 3). Pp: 191-194
- Restrepo-Rivera, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares Experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. Pp:22-25.
- Rodríguez, de la T. E. 2002. Bases de conocimientos para generar modelos predictivos de respuesta a los fertilizantes nitrogenados en agroecosistemas cañeros. Tesis de Maestría de la Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 2002, 86 p.

- Sadzawka, A., Carrasco, M.A., Grez, R., i Mora, M. (2005) Métodos de análisis de compost. Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 30. Santiago, Chile. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/8431> . Fecha de Consulta: 29/01/2023.
- Sánchez, J. e. 2009. Metabolismos microbianos involucrados en procesos avanzados para la remoción de Nitrógeno, una revisión prospectiva. Revista colombiana de Biotecnología.
- Stanford, G., & Smith, S. M. 1972. Nitrogen Mineralization Potentials of Soils. Soil Science Society of America Journal, 36(3), 465–472.
- Stangel, P. J. 2015. World Nitrogen Situation-Trends, Outlook, and Requirements. In ASSA, CSSA and SSSA. <https://doi.org/10.2134/1990.nitrogenincropproduction.c2>. Fecha de consulta: 29/01/2023.
- Torres, L.K.; Escobar, D.; Soto, J.; Daza, M.C. & Torres, P. (2021). Evaluation of Nitrogen Mineralization in an Acid Soil with Inorganic and Organic Fertilization, universidad distrital Francisco Jose de Caldas, volume XXVI (2), pp. 197-212.
- Ureta, A., & Nordlund, S. (2002). Evidence for Conformational Protection of Nitrogenase against Oxygen in *Gluconacetobacter diazotrophicus* by a Putative FeSII Protein. *Journal of Bacteriology*, 184, 5805 - 5809.

CAPÍTULO VII. ANEXOS.



Anexo 1 Determinación de densidad aparente



Anexo 2 Determinación de pH



Anexo 3 Determinación de N total



Anexo 4 Determinación de carbonatos



Anexo 5 Determinación de M.O.



Anexo 6 Determinación de N inorgánico

Anexo 7 Interpretación de resultados para textura

Clave	Clase de textura
R	Arcillosa
RI	Arcillo limosa
Ra	Arcillo arenosa
Cr	Franco arcillosa
CrI	Franco arcillo limosa
Cra	Franco arcillo arenosa
C	Francosas
CI	Franco limosa
L	Limosa
Ca	Franco arenosa
Ac	Areno francosa
Ac	Arenosa
