

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“LIBERACIÓN DE NITRÓGENO DE UN FERTILIZANTE
ÓRGANO MINERAL PELETIZADO EN LABORATORIO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO

JOAQUIN ALEJANDRO SALINAS ANGELES

LIMA – PERÚ

2024

Tesis Joaquin Salinas Angeles revisado por Sady García Bendezú

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%	3%	1%	0%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	46cnscs.cinvestav.mx Fuente de Internet	1%

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“LIBERACIÓN DE NITRÓGENO DE UN FERTILIZANTE
ÓRGANO MINERAL PELETIZADO EN LABORATORIO”**

JOAQUIN ALEJANDRO SALINAS ANGELES

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Juan Waldir Mendoza Cortez
PRESIDENTE

Dr. Sady Javier García Bendezú
ASESOR

Dr. Oscar Oswaldo Loli Figueroa
MIEMBRO

Dra. Ruby Antonieta Vega Ravello
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2024

DEDICATORIA

A Dios, por la familia que me otorgó,
quienes han creído en mí siempre, aun
cuando yo mismo no lo hacía.

A mis padres, José y Milagros, por su
incondicional y constante apoyo,
dedicación y motivación para poder
seguir mis metas profesionales y
personales.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, por brindarme la formación y las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente. Conocer la inmensidad de su biblioteca y la tranquilidad de los atardeceres en los campos de hortalizas, me permitió ser quien soy hoy.

A mi asesor el Ph. D. Sady Javier García Bendezú, por su confianza en mí, por darme la oportunidad de desarrollar mis habilidades, y por su apoyo durante el desarrollo del presente trabajo.

A mis compañeras de laboratorio, Karel y Luz, por sus inmensurables aportes al presente trabajo. Espero que este documento este a la altura de todo el esfuerzo que dejamos aquel año, desarrollando fertilizantes de lenta liberación entre las montañas de Alto Larán.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo General.....	2
1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. El nitrógeno en la agricultura.....	3
2.2. El uso de estiércol como fuente de nitrógeno	5
2.3. Fertilizantes de liberación lenta y liberación controlada	5
2.4. Fertilizantes órgano-minerales peletizados.....	6
2.4.1. Definición y características	6
2.4.2. Efecto del peletizado sobre los fertilizantes órgano-minerales	7
2.4.3. Ventajas y desventajas de los OMPs	8
III. METODOLOGÍA	10
3.1. Localización.....	10
3.2. Materiales.....	10
3.3. Condiciones experimentales	11
3.4. Sustrato experimental.....	11
3.5. Insumos	11
3.6. Fertilizantes experimentales.....	15
3.7. Tratamientos ensayados	19
3.7.1. Relación.....	19
3.7.2. Presentación.....	19
3.8. Metodología	20
3.8.1. Sistema de lixiviación.....	20
3.8.2. Porcentaje de humedad del sustrato.....	20
3.8.3. Fechas de evaluación	20
3.8.4. Incubación	21
3.8.5. Instalación del experimento.....	23

3.9.	Parámetros evaluados	24
3.9.1.	Concentración de nitrógeno amoniacal (CNA)	26
3.9.2.	Concentración de nitrógeno nítrico (CNN)	26
3.9.3.	Concentración de nitrógeno mineral (CNm)	27
3.9.4.	Nitrógeno amoniacal liberado acumulado ($NA_{(acum)}$)	27
3.9.5.	Nitrógeno nítrico liberado acumulado ($NN_{(acum)}$)	27
3.9.6.	Nitrógeno mineral liberado acumulado ($Nm_{(acum)}$)	27
3.9.7.	Porcentaje de nitrógeno amoniacal liberado (PNA)	28
3.9.8.	Porcentaje de nitrógeno nítrico liberado (PNN)	28
3.9.9.	Porcentaje de nitrógeno mineral liberado (PNm)	28
3.9.10.	pH	29
3.9.11.	Conductividad eléctrica ($dS\ m^{-1}$)	29
3.10.	Análisis estadístico	29
3.10.1.	Diseño experimental	29
3.10.2.	Tratamiento estadístico	30
3.10.3.	Representación de resultados	30
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1.	Porcentaje liberado de nitrógeno	31
4.1.1.	Porcentaje liberado de nitrógeno amoniacal.....	31
4.1.2.	Porcentaje de nitrógeno nítrico liberado.....	34
4.1.3.	Porcentaje de nitrógeno mineral liberado	38
4.2.	pH.....	40
4.3.	La conductividad eléctrica	42
V.	CONCLUSIONES	47
VI.	RECOMENDACIONES.....	48
VII.	BIBLIOGRAFÍA	49
VIII.	ANEXOS.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplos de combinaciones ensayadas.....	12
Figura 2. Preparación del fertilizante OM 7K (7-7-19).....	17
Figura 3. Estructura para incubación.....	21
Figura 4. Unidad experimental.....	22
Figura 5. Preparación de tratamientos.....	23
Figura 6. Unidades experimentales forradas con plástico film.	25
Figura 7. Curva de liberación de nitrógeno mineral para los tres niveles del factor PRESENTACIÓN.....	41
Figura 8. Proceso de liberación propuesto para el fertilizante órgano-mineral peletizado (OM).....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales para el ensayo y sus cantidades utilizadas.....	10
Tabla 2. Concentración de formas de nitrógeno mineral en los fertilizantes utilizados.....	13
Tabla 3. Componentes de los dos fertilizantes órgano-minerales estudiados	13
Tabla 4. Características de los estiércoles de gallina ponedora.....	15
Tabla 5. Análisis de los fertilizantes órgano-minerales peletizados.....	16
Tabla 6. Nitrógeno nítrico y nitrógeno amoniacal ajustados para OM-14 y OM-7k (por kg de fertilizante)	18
Tabla 7. Tratamientos ensayados en el experimento	20
Tabla 8. Cantidades de insumos utilizados en el tratamiento solo fertilizante.....	24
Tabla 9. Esquema de análisis de varianza	30
Tabla 10. Porcentaje de nitrógeno mineral, amoniacal y nítrico liberado para los días 0,1,8,16 y 41 de incubación.	37
Tabla 11. Liberación de nitrógeno de los tratamientos estudiados (% del teórico).....	39
Tabla 12. Liberación de nitrógeno de los tratamientos estudiados (g kg^{-1}).....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Análisis de laboratorio.....	56
--	----

RESUMEN

La fertilización nitrogenada es fundamental para alcanzar mayores rendimientos en los cultivos agrícolas, sin embargo, su eficiencia en la mayoría de los sistemas agrarios varía entre el 30 – 50 %. El uso de fertilizantes órgano-minerales peletizados de liberación lenta y/o controlada es una estrategia para mejorar la eficiencia de la fertilización nitrogenada. Estos nuevos fertilizantes se ajustan a las necesidades nutricionales de los cultivos, evitando pérdidas por lixiviación y volatilización. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del peletizado sobre la liberación del nitrógeno contenido en dos fertilizantes órgano-minerales bajo condiciones de laboratorio. Para esto, dos fertilizantes órgano-minerales (OM-7K y OM-14) fueron preparados a partir de la combinación de fertilizantes convencionales y estiércol de gallinas ponedoras. La mezcla resultante fue peletizada y secada hasta alcanzar 6 % de humedad gravimétrica. Los fertilizantes órgano-minerales fueron incubados a una temperatura entre 25 – 30 °C por 41 días, en frascos que contenían arena (< 2 mm) a 22 % de humedad gravimétrica. Estos frascos fueron lixiviados con agua destilada a 0, 1, 8, 16 y 41 días de incubación. Las concentraciones de nitrógeno nítrico, nitrógeno amoniacal y nitrógeno mineral ($N-NO_3 + N-NH_4$) fueron determinadas en el lixiviado, lo cual permitió comparar el nitrógeno liberado entre los tratamientos. El fertilizante órgano-mineral (OM) generó un retraso en la liberación del 15 % de nitrógeno mineral en la primera fecha de evaluación. El secado del pelet al finalizar el proceso de peletizado fue la principal causa de ese retraso. El OM incrementó significativamente la nitrificación en los fertilizantes órgano-minerales ensayados. La relación $N-NO_3 / N-NH_4^{-1}$ tiene efecto sobre la liberación de nitrógeno nítrico. Reducir la velocidad de humectación del pelet puede retrasar la liberación del nitrógeno en un fertilizante órgano-mineral peletizado.

Palabras clave: Fertilizantes, estiércol, lenta liberación, nitrógeno.

ABSTRACT

Nitrogen fertilization is essential to achieve higher yields in agricultural crops, however, its efficiency in most agricultural systems varies between 30 – 50%. The use of slow and/or controlled release pelleted organo-mineral fertilizers is a strategy to improve the efficiency of nitrogen fertilization. These new fertilizers adjust to the nutritional needs of the crops, avoiding losses due to leaching and volatilization. The objective of this work was to evaluate the effect of pelleting on the release of nitrogen contained in two organo-mineral fertilizers under laboratory conditions. For this, two organo-mineral fertilizers (OM-7K and OM-14) were prepared from the combination of conventional fertilizers and manure from laying hens. The resulting mixture was pelleted and dried until reaching 6% Hg. The organo-mineral fertilizers were incubated at a temperature between 25 – 30 °C for 41 days, in bottles containing sand (<2 mm) at 22% gravimetric humidity. These bottles were leached with distilled water at 0, 1, 8, 16 and 41 days of incubation. The concentrations of nitric nitrogen, ammoniacal nitrogen and mineral nitrogen ($N-NO_3 + N-NH_4$) were determined in the leachate, which allowed comparing the nitrogen released between the treatments. The organo-mineral (OM) fertilizer generated a delay in the release of 15% of mineral nitrogen on the first evaluation date. The drying of the pellet at the end of the pelleting process was the main cause of this delay. OM significantly increased nitrification in the organo-mineral fertilizers tested. The $N-NO_3$ $N-NH_4^{-1}$ ratio influences the release of nitric nitrogen. Reducing the rate of pellet wetting can delay the release of nitrogen in a pelletized organo-mineral fertilizer.

Keywords: Fertilizers, manure, slow release, nitrogen.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de fertilizantes se ha generalizado en el mundo desde los años 80 del siglo pasado debido a su efecto sobre el rendimiento de los cultivos y sobre la capacidad de producción de alimentos a nivel mundial. Se ha incrementado de 12 a 107 T año⁻¹ en los últimos 50 años (FAO, 2019; Mulvaney et al., 2009). A pesar de que diversos autores indican que la eficiencia de absorción de estos es menor al 50% (Congreves et al., 2021; Hirel et al., 2011; McAllister et al., 2012; Singh et al., 2018).

Dentro de los fertilizantes se encuentran aquellos que ofrecen una fuente de nitrógeno al cultivo. La eficiencia de recuperación del nitrógeno en los cultivos de maíz, arroz y trigo varía entre 30 y 50 % (Cassman et al., 2002; Mulvaney et al., 2009). Dichos fertilizantes generan un flujo neto positivo de iones en el suelo al diluirse en el agua circundante y tienden a perderse por lixiviación y/o volatilización, o acumularse en capas profundas del suelo, sin ser absorbidos por la planta. La lixiviación representa una situación alarmante desde el punto de vista ambiental, económico y de conservación de recursos, pues se traduce en la contaminación de cuerpos de agua, la liberación de gases de efecto invernadero al ambiente y el aumento de costes de producción (Cassman et al., 2002; Congreves et al., 2021). Por estos motivos, es necesario mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes nitrogenados.

El uso de fertilizantes de lenta liberación se propone como una alternativa al uso de fertilizantes convencionales poco eficientes. Se han propuesto fertilizantes recubiertos con polímeros plásticos y, mezclas de fertilizantes minerales con ácidos húmicos y fúlvicos (Alemi et al., 2010; Al-Rawajfeh et al., 2021; El Sharkawi et al., 2018; Hara, 2001; Shaviv y Mikkelsen, 1993). Estos nuevos fertilizantes muestran una tasa de liberación del nitrógeno menor que los fertilizantes convencionales (Li et al., 2021; Trenkel, 2010) y en algunos casos ajustadas a los requerimientos nutricionales de los cultivos (Purnomo y Saputra, 2021), aumentando así la eficiencia del fertilizante.

Se propone que mezclas fertilizantes órgano-minerales peletizadas liberarán el nitrógeno lentamente en condiciones de riego por gravedad (presencia de periodos de saturación del

suelo). Por ello se instaló un experimento bajo condiciones de laboratorio con los siguientes objetivos:

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar y evaluar el peletizado como estrategia para reducir la liberación de nitrógeno en dos fertilizantes órgano-minerales en un suelo arenoso.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto del peletizado y de la relación $N-NO_3$ $N-NH_4^{-1}$ sobre la velocidad de liberación de nitrógeno mineral, nitrógeno amoniacal y nitrógeno nítrico en dos fertilizantes órgano-minerales (OM-7K y OM-14) incubados en un suelo arenoso cerca a la saturación de agua.
- Evaluar la contribución de la fase orgánica de los fertilizantes órgano-minerales estudiados al nitrógeno mineral, nitrógeno amoniacal y nitrógeno nítrico liberado de estos (OM-7K y OM-14) incubados en un suelo arenoso cerca a la saturación de agua.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El nitrógeno es un elemento importante en la producción agrícola y frecuentemente deficitario en los suelos (Subbarao et al., 2006). El contenido de N en el suelo varía entre 0.032 y 390 g kg⁻¹ (Bronson, 2008), pero el 90 % de ese nitrógeno se encuentra en formas recalcitrantes, con tasas de liberación muy lentas (Olk, 2008). La disponibilidad de nitrógeno en el suelo disminuye con la profundidad, pues su principal fuente es la biomasa vegetal; por estos motivos, agregar fertilizantes nitrogenados generalmente incrementa los rendimientos de los cultivos.

Si bien los sistemas agrícolas modernos han proporcionado beneficios considerables a la creciente población mundial, estas actividades también han producido algunas consecuencias ambientales indeseables, como pérdidas excesivas de nitrógeno agrícola debido a la nitrificación y la desnitrificación posterior, especialmente en sistemas agrícolas de alto insumo (Florio et al., 2016). El uso de fertilizantes convencionales genera pérdidas de entre 50 y 70 % a través de la emisión de gases de efecto invernadero como N₂O y NO, lixiviación de nitratos en el agua subterránea y volatilización de NH₃.

Una mayor eficiencia del uso de nitrógeno en los cultivos agrícolas es una forma de mitigar el impacto del uso de fertilizantes nitrogenados (Goulding et al., 2008). El nitrógeno agregado por los fertilizantes tiene una tasa de pérdida mayor que el nitrógeno orgánico (Olk, 2008). Debido a esto, estudios recientes proponen combinar estas dos formas de nitrógeno para conseguir mitigar los pasivos ambientales.

Esta revisión analizó el peletizado de fertilizantes órgano-minerales y su efecto sobre la tasa de liberación como una alternativa para mitigar la pérdida de nitrógeno mineral.

2.1. EL NITRÓGENO EN LA AGRICULTURA

Aproximadamente el 70 % del nitrógeno orgánico del suelo está compuesto por amidas, lo más probable es que sean polipéptidos/aminoácidos, azúcares aaminados y sus residuos. Este nitrógeno orgánico tiene la característica de ser difícil de mineralizar. Se presume que derivados de la lignina, enlaces puente de hidrogeno e interacciones hidrofóbicas son las que

producen ese efecto, variando su importancia según el manejo del suelo, el clima y la textura del suelo (Olk, 2008).

El nitrógeno inorgánico del suelo se compone principalmente de amonio y nitrato. El primero se oxida con bastante rapidez a nitrito (NO_2^-) a través de la nitrificación por microorganismos oxidantes del amoníaco (AOB). La nitrificación es un proceso microbiano clave y parte integral del ciclo del nitrógeno. Las bacterias encargadas de realizar esta ruta metabólica se dividen en dos: las oxidantes de amonio (AOB) y las oxidantes de nitrito (NOB). El primer paso es la transformación del amonio a hidroxilamina, y luego esta se convierte en nitrito, para consecuentemente convertirse en nitrato (Bergamasco et al., 2019; Nielsen y Revsbech, 1998; Wang et al., 2020).

Tradicionalmente, las bacterias oxidantes del amoníaco autótrofas se consideraban los responsables exclusivos de la oxidación del amoníaco. Sin embargo, varios análisis metagenómicos ambientales revelaron que las arqueas oxidantes del amoníaco del suelo también participan en este proceso. La cuota de participación de cada especie depende de factores pedo-climáticos (Bergamasco et al., 2019; Florio et al., 2016; Lu et al., 2021). Ambos grupos bacterianos necesitan un pH entre 7 y 8.5, pues en esas condiciones el equilibrio ácido-base permite la disponibilidad de los sustratos NH_4^+ y NO_2^- para dichos microorganismos. Aunque, también es posible la nitrificación en condiciones de pH ácidos y anaeróbicas, pero a menor velocidad (Bergamasco et al., 2019; Florio et al., 2016).

Durante la nitrificación el amonio (NH_4^+), una forma relativamente inmóvil de nitrógeno se convierte en nitrato (NO_3^-) altamente móvil. El nitrato formado es susceptible de pérdidas por lixiviación y conversión a formas gaseosas por desnitrificación. A menudo, menos del 30 % del fertilizante nitrogenado aplicado se recupera en sistemas agrícolas intensivos, en gran parte debido a las pérdidas asociadas con la nitrificación y después de ella (Alizadeh et al., 2012a; Congreves et al., 2021; Hirel et al., 2011; Shaviv y Mikkelsen, 1993; Subbarao et al., 2006). En muchos ecosistemas maduros limitados en N, la nitrificación se reduce a un flujo relativamente bajo. En tales sistemas hay un alto grado de reciclaje interno de nitrógeno con una pérdida mínima de este. En contraste, en la mayoría de los sistemas agrícolas de alta producción, la nitrificación es un proceso importante en el ciclo del N con las pérdidas e ineficiencias resultantes (Abbasi y Khaliq, 2016; Subbarao et al., 2006).

La eficiencia del uso de nitrógeno (EUN) se define como la relación entre el nitrógeno de salida sobre el nitrógeno ingresado al sistema y es una función conservadora en la mayoría

de los sistemas biológicos. La supresión de la nitrificación junto con las pérdidas de N asociadas son una parte clave en cualquier estrategia para mejorar la recuperación de N y la EUN agronómica (Oenema et al., 2016).

2.2. EL USO DE ESTIÉRCOL COMO FUENTE DE NITRÓGENO

El estiércol es un recurso importante para la agricultura, contiene alta concentración de nutrientes y materia orgánica. La producción de estiércol a nivel mundial ha aumentado a medida que las granjas se han vuelto más grandes (Hara, 2001). Esta tendencia se repite en Europa, USA y otras regiones desarrolladas del mundo.

El estiércol de aves ponedoras es uno de los principales estiércoles utilizados en el mundo por su alto contenido de nitrógeno, entre un 2 y 4 % (Abbasi y Khaliq, 2016; Alizadeh et al., 2012a; Smil, 1999). Tiene un alto contenido de amonio que tiende a liberarse como amoniaco en condiciones de elevado pH (8-9), una relación C/N baja, entre 7 – 10, y una cantidad elevada de Ca y Mg (Mazeika et al., 2016). Este abono tiene características útiles para usarlo como estiércol en zonas de sierra y selva, debido a que tiende a elevar el pH del suelo, agregar minerales deficitarios en suelos ácidos y calentar la zona radicular, favoreciendo el crecimiento de las raíces.

El transporte y aplicación de este material se complica por la baja densidad del producto y la necesidad de maquinaria especializada para esparcirlo. Por este motivo la densificación de este producto a través del peletizado es una alternativa para hacerlo más comercializable, puesto que, el pelet actúa como una sustancia líquida y hace fácil la logística (Hara, 2001; Mazeika et al., 2016; Purnomo et al., 2017; Zebarth et al., 2011).

2.3. FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN LENTA Y LIBERACIÓN CONTROLADA

Los fertilizantes de liberación lenta son aquellos que reducen la tasa de liberación de uno o más minerales presentes en este, pero por sus características no es posible controlar la liberación de estos minerales en el tiempo. En cambio, los fertilizantes de liberación controlada si nos permiten controlar cuando y en qué medida se va a liberar un mineral en específico (Ganetri et al., 2021; Purnomo y Saputra, 2021). Ambos conceptos se estudian actualmente para poder reducir los pasivos ambientales generados por los fertilizantes sintéticos convencionales (Al-Rawajfeh et al., 2021; Bortolin et al., 2013; Purnomo y Saputra, 2021; Sistani et al., 2008).

El uso de materiales orgánicos como los derivados de la lignina, biocarbón de estiércoles, nanoarcillas, sílice mesoporosa, y polímeros plásticos son temas actuales de estudio para crear lenta liberación de nitrógeno, por sus capacidades naturales de retener iones y liberarlos a la solución lentamente (Chen et al., 2020; El Sharkawi et al., 2018; Guo et al., 2018). Las estrategias para usar estos materiales se pueden dividir en dos grupos: (a) estrategias basadas en la formación de una cobertura externa para evitar el ingreso de agua y (b) mezcla de materiales orgánicos con fertilizantes convencionales y luego un proceso de secado. La segunda estrategia es de menor coste, pero debido a que no permite controlar la liberación adecuadamente está siendo desplazada por la estrategia de cobertura (Purnomo y Saputra, 2021).

2.4. FERTILIZANTES ÓRGANO-MINERALES PELETIZADOS

2.4.1. Definición y características

Los fertilizantes órgano-minerales son obtenidos mediante la formulación industrial de uno o más fertilizantes inorgánicos con uno o más fertilizantes orgánicos y/o mejoradores orgánicos del suelo en formas sólidas (a excepción de mezcla simple) o líquidas (European Organic-Based Fertilizer Industry Consortium, s.f.).

Estos fertilizantes pueden contener estiércol de animales o aves, subproductos de la industria animal/avícola, algas marinas, lodos de aguas residuales humanas, productos vegetales y materiales orgánicos sintéticos (ej. isobutilidenodiurea) (Alemi et al., 2010; Hara, 2001; Kim et al., 2014; López-Mosquera et al., 2008; Mazeika et al., 2016; Puga et al., 2020; Purnomo et al., 2017; Zebarth et al., 2011). La calidad del componente orgánico (por ejemplo, el grado de humificación y su origen) es de primordial importancia para su uso eficiente en la agricultura como fertilizante (Florio et al., 2016), debido a que de ello va a depender la porosidad resultante, variables que afectan directamente a la tasa de liberación.

Estos fertilizantes órgano-minerales terminan siendo densificados en la mayoría de los casos a través del proceso de peletizado. De esta manera el componente orgánico actúa como un cementante del aglomerado y se da origen a los fertilizantes órgano-minerales peletizados (OMP), los cuales terminan con ventajas sobre los fertilizantes tradicionales, por tener una fracción orgánica, densificada y enriquecida con fertilizantes minerales (Alemi et al., 2010; Kim et al., 2014; Zebarth et al., 2011).

2.4.2. Efecto del peletizado sobre los fertilizantes órgano-minerales

La densificación de la biomasa significa utilizar alguna forma de presión mecánica para reducir el volumen del material triturado, y convertir este material en una forma sólida, que es más fácil de manipular y almacenar que el material original (Eriksson y Prior, 1990). Existen al menos cuatro métodos para lograr la densificación utilizando máquinas comerciales: empacado, cubicado, peletizado y briquetado, por medio de prensas de pistón, tornillos de extrusión o prensas de rodillos. El peletizado (cilíndrico y esférico) y el corte en cubos se han utilizado para alimentos de animales y desechos de biomasa, como estiércol de aves (Munoz-Hernandez et al., 2006). El peletizado de estiércol de aves ponedoras está ampliamente estudiado. Mazeika et al. (2016) diseñaron el proceso que se debe seguir para su correcta comercialización.

El peletizado de fertilizantes órgano-minerales se puede definir como la densificación y moldeado de la materia orgánica en forma de partículas cilíndricas, ajustando el contenido de nutrientes agregando fertilizantes convencionales (Alemi et al., 2010). Además, los gránulos deben mostrar suficiente resistencia mecánica para soportar la manipulación y el almacenamiento sin la formación excesiva de polvo y apelmazamiento (Pare et al., 2010). Para lograr esto último, es necesario un proceso de secado que continúe al proceso de peletizado.

Existen dos tipos de máquinas de moldeo disponibles en el mercado que dan forma al estiércol compostado en gránulos. Un tipo es el *disco-pelleter* (método de moldeo en seco) y el otro es el tipo de extrusora (método de moldeo en húmedo) (Hara, 2001). Las máquinas de moldeo que son del tipo *disco-pelleter* tienen una estructura básica que incluye un disco con muchos agujeros y un rodillo o dos. El abono se alimenta entre los discos y el rodillo, y a medida que el disco y/o el rodillo giran, el abono se introduce en los agujeros del disco, produciendo los pellets. Cuando se usa abono con muchos cuerpos duros en esta máquina, el daño a las matrices y al rodillo es severo y exige el reemplazo frecuente de los componentes de la máquina. Sin embargo, la máquina no se bloquea, ya que es capaz de moler el compost incluso si se mezclan con aserrín y paja de arroz. Este método es adecuado para materias primas que tienen un contenido de humedad comparativamente bajo de 20-30 % (Hara, 2001).

Las máquinas de moldeo del tipo extrusor tienen un barril en el que la materia prima es empujada por un tornillo. Luego, el material se comprime en el troquel instalado al final del barril, produciendo el gránulo. Este método tiene varios beneficios. La temperatura se puede

controlar ajustando la presión, mientras que es fácil hacer gránulos de varias formas simplemente reemplazando la matriz. Sin embargo, una desventaja es que dicha máquina se bloquea fácilmente por cuerpos extraños como fibras largas y piedras pequeñas (Hara, 2001). Por ello, el *disco-pelleteer* es el método de peletizado más utilizado para fertilizantes órgano-minerales a base de estiércol de aves (Mazeika et al., 2016).

Se han hecho estudios que correlacionan la densidad final del material luego del proceso con la tasa de liberación de nutrientes (López-Mosquera et al., 2008; Wild et al., 2011; Zebarth et al., 2011). Inclusive, al grado de poder controlar la liberación de este tipo de fertilizante. Según Kim et al. (2014), al peletizar biocarbón con lignina y fertilizantes, la proporción de lignina y la temperatura de secado son dos factores que pueden usarse para controlar la liberación de potasio y fósforo. Purnomo et al. (2018), encontró que la presión del proceso y la temperatura de secado son dos factores que afectan la tasa de liberación del nitrógeno y potasio. Este autor propone que la conductividad hidráulica resultante tiene relación con la tasa de liberación del producto final. En otro estudio, los resultados mostraron que la densidad y la porosidad de los gránulos aumentaron con el contenido de humedad y la fuerza aplicada en el peletizado (Alemi et al., 2010).

El peletizado de fertilizantes órgano-minerales provee una posibilidad de liberación controlada al mezclarse con cementantes (bentonita o lignosulfonatos) (Alemi et al., 2010; Kim et al., 2014). Al parecer, la conductividad hidráulica reducida por el proceso de secado, densificado y uso de cementantes afectan las tasas de disolución de nutrientes.

En la mayoría de los estudios revisados, la combinación entre la fase mineral y la fase orgánica se realiza en medio acuoso. Diluyendo la fase mineral en agua para luego ser absorbido por la fase orgánica (Alemi et al., 2010; Kim et al., 2014; López-Mosquera et al., 2008; Mazeika et al., 2016; Pare y Allaire, 2010). Este proceso de mojado aumenta costos posteriores en secado. Siendo así, el proceso de secado, la principal limitante económica de esta tecnología.

2.4.3. Ventajas y desventajas de los OMPs

Los fertilizantes órgano-minerales peletizados (OMP) en algunos casos permiten regular la cantidad de nutrientes liberados, lo cual evita el exceso de fertilización, el desbalance de nutrientes en el suelo y la eutrofización.

Los OMP se aplican con la misma maquinaria que realizamos la fertilización tradicional (Mazeika et al., 2016). La aplicación de materia orgánica al suelo necesita de equipos

especializados y ronda entre 10 – 30 T/ha, con el uso de órgano-minerales solo necesitamos aplicar entre 1.5 – 2 T/ha generado el mismo efecto benéfico de la materia orgánica sobre aspectos como el aumento de la actividad microbiana, aumento en la porosidad del suelo y mayor retención de humedad. Puesto que, no solo agregamos materia orgánica al suelo, sino materia orgánica con porosidad, lo cual facilita el desarrollo microbiano y aumenta el área efectiva por gramo de insumo.

La fertilización excesiva es un problema ambiental. Los fertilizantes órgano-minerales peletizados al poseer materia orgánica para adsorber la humedad, erosionan más lentamente sus pelet, lo que puede reducir las pérdidas de nitrógeno (Mazeika et al., 2016). Además, el poder controlar su liberación con variables físicas (concentración de cementantes, presión y humedad) nos permite ajustarnos a las necesidades del cultivo. Por ejemplo, un estudio en California, USA mostró como el peletizado de guano de pollos de engorde cubrió de forma más eficiente las necesidades del cultivo de arroz, frente al guano no peletizado, principalmente en condiciones de inundación (Wild et al., 2011). Según Zebarth et al., (2011), los fertilizantes órgano-minerales en el cultivo de papa no se diferenciaron de los minerales con referencia a variables de tamaño de tubérculos, rendimiento y nitratos en el suelo.

La combinación de fertilizantes orgánicos y minerales puede mejorar la interacción planta-mineral al reducir la inmovilización de fósforo, disminuyendo la transformación de P_2O_5 en formas no disponibles para las plantas (Kim et al., 2014; Pare y Allaire, 2010). Al estar concentrada la materia orgánica y tener menor contenido de humedad, la liberación de nutrientes en miligramos por unidad de peso aumenta. Por este motivo, se observan mejoras en el índice de cultivo en espinaca, y *pak choi* durante el verano (Hara, 2001).

No todas son ventajas, se ha observado que la liberación de amoníaco de los fertilizantes órgano-minerales suele ser superior a los minerales convencionales. Esto se debe a la interacción entre las bacterias en la fase orgánica y el mineral con amoníaco. (Florio et al., 2016). Además, los fertilizantes órgano-minerales pueden aumentar la tasa de nitrificación y desnitrificación (Abbasi y Khaliq, 2016).

III. METODOLOGÍA

3.1. LOCALIZACIÓN

La empresa Abonos Vivos S.A.C. es parte del GRUPO ALIMENTA, y tiene operaciones dentro de las instalaciones de la hacienda La Calera, ubicada en Chincha Alta (provincia de Chincha, departamento de Ica, Perú). El objetivo de la empresa es darle valor agregado al estiércol de gallinas ponedoras a través de la formulación de fertilizantes órgano-minerales. El experimento fue realizado como parte de las actividades del departamento de investigación y desarrollo de dicha empresa.

3.2. MATERIALES

Se utilizaron los siguientes materiales en el experimento.

Tabla 1. Materiales para el ensayo y sus cantidades utilizadas.

Recursos	Unidad	Cantidad
Placas de madera con agujeros	unid.	14
Vasos de plástico 3 oz	unid.	220
Estufa (Marca: EFE Clave)	unid.	1
Balanza analítica (Marca: Henkel 300 g)	unid.	1
Multiparámetro Consort C1020	unid.	1
Medidor selectivo de iones de sobremesa (Marca: InoLab)	unid.	1
Electrodo de NH_4^+ (Marca: InoLab)	unid.	1
Electrodo de NO_3^- (Marca: InoLab)	unid.	1
Micropipeta (1 ml)	unid.	2
Micropipeta (10 ml)	unid.	2
Agua desionizada (0.02 dS m^{-1})	litros	250
Arena de río secada y desinfectada	kg.	30
Puntas para micropipeta de 1 ml	ciento	1
Fiolas de 10 ml	unid.	5
Vaso de precipitado de 250 ml	unid.	3
Gradilla de 3x8	unid.	5
Tubos de ensayo de 15x150 mm	unid.	20
Solución buffer pH 4 (Marca: Hanna)	Unid.	1
Solución buffer pH 6.99 (Marca: Hanna)	Unid.	1
Solución para calibrado 1.41 dS m^{-1} (Marca: Hanna)	Unid.	1

3.3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

La empresa Abonos Vivos S.A.C. estaba interesada en conocer las curvas de liberación de los fertilizantes órgano-minerales que formulaban. Se deseaba conocer dicha información para contextos de humedad de suelo de 150 % de la capacidad de campo. Puesto que, durante la ejecución del experimento, los pequeños agricultores que utilizan riego por surcos representaban un porcentaje importante de los usuarios. Además, empresas extranjeras productoras de este tipo de fertilizantes órgano-minerales muestran curvas de liberación con 50 %, 100 % y 150 % de la capacidad de campo.

Se contó con un espacio de 3 m² para realizar el experimento, en donde se colocó un armazón de metal. El armazón de metal fue cubierto con plástico transparente de 2 mm. La temperatura se mantuvo entre 25 - 30 °C y la humedad relativa entre 80 – 90 % durante todo el ensayo.

3.4. SUSTRATO EXPERIMENTAL

Arena de río fue utilizada como sustrato. La arena fue lavada con agua desionizada (0.02 dS m⁻¹) hasta alcanzar una conductividad eléctrica de 0.01 dS m⁻¹ (1:1). Esta se tamizó para obtener un material homogéneo entre 2 mm a 0.5 mm. Finalmente, se secó a 105 °C hasta peso constante.

3.5. INSUMOS

Dos fertilizantes órgano-minerales (OM) fueron preparados mediante mezcla de estiércol de gallinas ponedoras y fertilizantes convencionales. Ambos OM se prepararon con aproximadamente 40 % de estiércol y 60 % de fertilizantes minerales. Una menor cantidad de estiércol (fase orgánica) no permitía la rentabilidad del proceso ni formaba una estructura viable, y una mayor cantidad no permitía lograr las concentraciones de minerales solicitadas por el mercado objetivo. La fase mineral fue compuesta por fosfato di amónico, nitrato de amonio, sulfato de amonio y cloruro de potasio.

Los fertilizantes convencionales en su mayoría son gránulos, por ello, porcentajes muy elevados desestabilizan la conformación del pelet. La desestabilización fue medida a través del porcentaje de finos, siendo estos definidos como toda la mezcla que luego de pasar por el proceso de peletizado no se densificó. El proceso de molido de los fertilizantes minerales creaba costos de operación que no permite la rentabilidad del negocio, lo que desestimó su

uso en el proceso de fabricación de los pelet. En la figura 1, por ejemplo, se observa un ensayo previo de combinaciones, para conocer el máximo porcentaje de sulfato de amonio que podía tener un pelet.

El uso de urea fue desestimado por tener una presentación granular que evita el densificado; y, además, con el calor del proceso de peletizado, se licua, y genera un aceite que evita la correcta conformación del pelet.



Figura 1. Ejemplos de combinaciones ensayadas.

El fosfato diamónico y el sulfato de amonio fueron las principales fuentes de nitrógeno para las formulaciones. El primero tenía una presentación comercial granular, pero con baja dureza, lo que permitía peletizarlo sin que dañe la estructura final del pelet; el segundo, tenía una presentación en cristales, lo que permitía su peletizado a elevadas concentraciones sin problemas. La concentración de nitrógeno mineral en los fertilizantes utilizados se muestra en la Tabla 2.

El nitrato de amonio y el cloruro de potasio fueron escogidos por su elevada concentración de nitrógeno y potasio respectivamente, en el caso del cloruro de potasio su coste también influyó en su elección. Las dos formulaciones estudiadas (OM-14 y OM-7K) tenían un fin comercial en el momento de la ejecución de la tesis, por lo que sus leyes fertilizantes y los insumos estaban acorde a las solicitudes del mercado y la factibilidad del proceso productivo.

Tabla 2. Concentración de formas de nitrógeno mineral en los fertilizantes utilizados.

Insumo	Ley N	Ley expresada en iones ^b			
		NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	N-NH ₄ ^c	N-NO ₃ ^d
%					
Fosfato di amónico	18.0	-	23.2	18.0	-
Sulfato de amonio	21.0	-	27.3	21.0	-
Nitrato de amonio	33.0	73.1	21.2	16.5	16.5
Cloruro de potasio	-	-	-	-	-

Nota: a. Ley fertilizante.

b. Ley fertilizante expresada en iones.

c. Nitrógeno mineral proveniente del amonio.

d. Nitrógeno mineral proveniente del nitrato.

Los fertilizantes fueron denominados OM-14, con ley fertilizante de 14-4-4 y con una relación N-NO₃N-NH₄⁻¹ de 0.34; y OM-7K, con ley fertilizante de 7-7-19 y con una relación N-NO₃N-NH₄⁻¹ de 0.49. La relación N-NO₃N-NH₄⁻¹ solo considera el nitrógeno mineral aportado por la fase mineral del OM. Estas formulaciones fueron escogidas luego de diversos ensayos, en los que formaron pelets estables. La proporción de insumos utilizados en la preparación de los fertilizantes (por kg de cada OM) se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Componentes de los dos fertilizantes órgano-minerales estudiados

Insumos	Peso (g kg ⁻¹ de mezcla)	
	OM-14	OM-7K
Fosfato di amónico	25.0	93.0
Sulfato de amonio	285.0	20.0
Nitrato de amonio	200.0	120.0
Cloruro de potasio	32.5	277.0
Biochar	28.1	38.6
Harina de maíz	9.4	9.4
Estiércol ^a	420.0	442.0
Ley (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	14-4-4	7-7-19
Relación ^b N-NO ₃ N-NH ₄ ⁻¹	0.34	0.49

Nota. a = Estiércol de aves ponedoras (26% Hdg)

b = Solo considerando la fase mineral.

La formulación incluye algunos complementos que permite darle estabilidad al pelet. En primer lugar, el biochar, el cual se obtuvo de un proceso de pirolisis de mazorcas de maíz,

este insumo daba mayor estabilidad y aumentaba el tiempo de humectación. Finalmente, la harina de maíz, obtenido del descarte del molino en donde se prepara el concentrado para las gallinas ponedoras, este insumo agregaba dureza al OM.

El estiércol de gallinas ponedoras de la empresa La Calera fue utilizado en la síntesis de los fertilizantes órgano-minerales mencionados. La Tabla 4 muestra la concentración de algunos nutrientes presentes en el estiércol recién depositado y en el estiércol secado al aire libre. La elevada humedad y la baja conductividad eléctrica fueron características observables en el estiércol recién depositado. Estas características se pierden luego del proceso de secado al aire libre que expondremos:

Fase 1: El estiércol fue recolectado de los galpones de gallinas ponedoras. Este guano presentó una humedad entre 50 – 60 %, un pH entre 5.7 – 7.0, CE (dS m^{-1}) entre 3.5 – 8, era oloroso y pastoso (Tabla 4).

Fase 2: El estiércol fue esparcido sobre un área al aire libre, y fue volteado cada tres días empleando maquinaria, para acelerar el secado.

Fase 3: Luego de alcanzar una humedad menor de 30 %, el estiércol fue tamizado a través de un sistema de tres tamices de malla secuencialmente más fina. El último tamiz tuvo una apertura de malla de 2 mm.

Fase 4: Finalmente es ensacado y comercializado. Las características del estiércol luego del proceso se resumen en la Tabla 4.

El estiércol se utilizó como una matriz cementante más que como un fertilizante propiamente dicho. La concentración de nitrógeno mineral en el estiércol frente al nitrógeno mineral en los fertilizantes convencionales está en una proporción de 1:20 en promedio, lo cual permite despreciar el aporte del estiércol para fines prácticos.

Tabla 4. Características de los estiércoles de gallina ponedora

Características	Recién depositado	Seco al aire
pH (H ₂ O 1:1)	6.28 ± 0.58	7.54 ± 0.41
C.E (dS m ⁻¹)	7.5 ± 2.51	25.52 ± 5.57
Humedad (% en peso fresco)	58.04 ± 5.08	21.93 ± 11.43
Materia orgánica (% en peso seco)	61.41 ± 5.00	31.68 ± 7.07
N (g kg ⁻¹)	60.6 ± 10.0	19.7 ± 4.7
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	36.7 ± 5.6	58.4 ± 11.9
K ₂ O (g kg ⁻¹)	38.7 ± 9.9	43.3 ± 9.9
CaO (g kg ⁻¹)	28.9 ± 7.2	131.1 ± 30.1
MgO (g kg ⁻¹)	-	21.7 ± 5.7
Fe (mg kg ⁻¹)	-	4287 ± 1782
Mn (mg kg ⁻¹)	-	788 ± 220
Zn (mg kg ⁻¹)	-	600 ± 146
Cu (mg kg ⁻¹)	-	75.48 ± 9.70
B (mg kg ⁻¹)	-	75.03 ± 15.90
Capacidad de intercambio catiónico (cmol _c kg ⁻¹)	42	32

3.6. FERTILIZANTES EXPERIMENTALES

Los fertilizantes órgano-minerales utilizados en el ensayo fueron preparados mezclando el estiércol con fertilizantes convencionales en las proporciones descritas en la Tabla 3. La mezcla fue realizada en laboratorio para reducir la variabilidad del proceso (Figura 2a y 2b). Posteriormente la mezcla fue peletizada en una maquina peletizadora estacionaria de 550 kg hora⁻¹ (Figura 2c).

El proceso de peletizado consistió en los siguientes pasos: 1. el estiércol se humedeció hasta llevarlo a 26 % de humedad gravimétrica. 2. Los fertilizantes correspondientes fueron agregados y se mezclaron junto con el estiércol hasta lograr homogeneidad. 3. La peletizadora se encendió 15 min antes del proceso y fue rociada con aceite. 4. La mezcla se agregó a la tolva de la peletizadora. 5. Los pellets formados fueron recogidos. Luego del peletizado los fertilizantes fueron secados en una estufa Marca: EFE Clave® a 100 °C, hasta que los pellets alcanzaron 6 % de humedad gravimétrica.

En la Figura 2d, se observa el pellet final con un color marrón claro, una forma cilíndrica, dureza al tacto y un olor característico que se impregna en las manos. Por su dureza se puede

manipular y contar con facilidad. Su tamaño fue entre 10 – 15 mm de largo con 6 – 7 mm de diámetro. Los análisis químicos realizados sobre estos insumos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis de los fertilizantes órgano-minerales peletizados.

Elemento	Unidad	OM-7K	OM-14
Nitrógeno total (N)	%	6.89	10.61
Fósforo total (P ₂ O ₅)	%	3.96	3.60
Potasio total (K ₂ O)	%	15.30	3.72

Dos tratamientos compararon los pelets molidos. Estos fueron molidos con un mortero, recolectando solo los trozos menores a 2 mm. Los tratamientos en estado molido se escogieron específicamente con el objetivo de separar el efecto del densificado del efecto del secado.

En la Tabla 5, se observa que el OM peletizado no llega exactamente a las leyes fertilizante teóricas. Por ejemplo, del OM-14 (14-4-4) se esperó que tenga 14 % de nitrógeno total (fertilizantes sintéticos + estiércol), pero solo cuenta con 10.61 % (la evaluación de laboratorio fue de nitrógeno total, lo cual detecta el nitrógeno mineral y el orgánico por lo que el resultado debió acercarse al 14 %). Podemos encontrar las evaluaciones de laboratorio en el ANEXO 1.

Los valores corregidos fueron considerados para los cálculos. Estos fueron los obtenidos del análisis químico de las muestras de OM. El coeficiente de corrección se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Coeficiente de corrección} = \frac{\text{Valor obtenido en laboratorio del OM}}{\text{Valor teórico del OM}}$$

En la Tabla 6, se presenta los datos corregidos de N-NH₄ y N-NO₃ para los OM, la suma de estos es el nitrógeno mineral el cual se muestra en la parte inferior de la tabla. Estos fueron los datos teóricos utilizados en los cálculos. Este coeficiente de corrección es utilizado generalmente en fertilizantes órgano-minerales debido a que la eficiencia de su proceso no es 100 %, debido al calor y la alta presión generadas al momento del peletizado.



Nota: a) fertilizantes empleados, b) mezcla final lista para ser peletizada, c) peletizadora estacionaria de 550 kg/h, d) pellets finales (La flecha indica los granos de cloruro de potasio incrustados en el pellet).

Figura 2. Preparación del fertilizante OM 7K (7-7-19)

Tabla 6. Nitrógeno nítrico y nitrógeno amoniacal ajustados para OM-14 y OM-7K (por kg de fertilizante)

Insumos (g)	OM-14 (relación N-NO ₃ N-NH ₄ ⁻¹ = 0.34)					OM-7K (relación N-NO ₃ N-NH ₄ ⁻¹ = 0.49)				
	Cant. Bruta	Coef. corrección	Cant. ajust.	N-NH ₄ ajust.	N-NO ₃ ajust.	Cant. Bruta	Coef. corrección	Cant. ajust.	N-NH ₄ ajust.	N-NO ₃ ajust.
Fosfato di amónico	25.00	0.76	19.00	3.42	-	93.00	0.98	91.14	16.40	-
Sulfato de amonio	285.00	0.76	216.60	45.49	-	20.00	0.98	19.60	4.12	-
Nitrato de amonio	200.00	0.76	152.00	25.08	25.08	120.00	0.98	117.60	19.40	19.40
Cloruro de potasio	32.50	0.76	24.63	-	-	277.00	0.98	271.46	-	-
Biochar	28.10	-	-	-	-	38.60	-	-	-	-
Harina de maíz	9.40	-	-	-	-	9.40	-	-	-	-
Estiércol*	420.00	-	-		7.03	442.00	-		9.58	
Total	1000.00				106.10	1000.00			68.90	

Nota: * Estiércol de aves ponedoras con 26 % de humedad gravimétrica

3.7. TRATAMIENTOS ENSAYADOS

Los tratamientos T1 al T6 que se observan en la tabla 7, son parte de un diseño factorial de 3x2. Los dos factores utilizados son: relación y presentación.

3.7.1. Relación

El factor relación tiene dos niveles, 0.34 y 0.49, y describe la relación $N-NO_3N-NH_4^{-1}$ presente en el órgano-mineral (OM). Esta relación se obtiene del nitrógeno nítrico y el nitrógeno amoniacal proveniente exclusivamente de la fase mineral, sin considerar a la fase orgánica. Esto se debe a que solo en la fase mineral se puede modificar esta relación de forma práctica.

3.7.2. Presentación

El factor presentación describe el estado físico del OM y tiene tres niveles: pelet, molido y mezcla física sin fuente orgánica (MUSFO). La presentación pelet es el estado original del OM, la presentación molida es el pelet molido por un mortero, y la presentación MUSFO, es el OM sin su fase orgánica. Los tratamientos en estado molido se escogieron específicamente con el objetivo de separar el efecto del densificado del efecto de secado. Por otro parte, la presentación MUSFO permite comprobar si la metodología logró alcanzar los rangos de liberación teóricos pronosticados.

Se instaló un tratamiento testigo (T_0) con arena sin aplicación de OM, para restar el nitrógeno presente en la arena a los tratamientos.

Por otro lado, se instalaron dos tratamientos de solo estiércol (T_7 y T_8), para poder conocer el efecto del peletizado y el subsecuente molido sobre la mineralización del estiércol. Además, estos dos tratamientos se utilizaron para restarle el efecto estiércol a los OM, y permitir comparar los OM con los tratamientos MUSFO, directamente.

Todos los tratamientos contaron con tres repeticiones, siendo 27 unidades experimentales. Fueron cinco fechas de evaluación destructiva, por tanto, se instalaron 135 unidades experimentales en total.

Tabla 7. Tratamientos ensayados en el experimento

Tratamiento	Factor 1: relación	Factor 2: presentación	Descripción
T0	-	-	Testigo nulo. (arena)
T1	0.34	Pelet	OM-14 / pelet
T2	0.34	Molido	OM-14 / molido
T3	0.34	MUSFO	OM-14 / MUSFO
T4	0.49	Pelet	OM-7K / pelet
T5	0.49	Molido	OM-7K / molido
T6	0.49	MUSFO	OM-7K / MUSFO
T7	-	Pelet	Estiércol / pellet
T8	-	Molido	Estiércol / molido

3.8. METODOLOGÍA

3.8.1. Sistema de lixiviación

El sistema de lixiviación incluyó un armazón de metal de 0.4 x 2.0 x 0.9 m fijado a la pared y seis placas de triplay fenólico. Estas placas fueron elevadas 15 cm sobre la superficie, y se les hicieron agujeros de 5 cm de diámetro para colocar recipientes de 3 oz. Los recipientes de 3 oz se llenaron con 100 g de arena, y fueron las unidades experimentales. Todo el sistema fue forrado de plástico transparente para aislarlo del medio y evitar contaminación externa. (Figura 3).

3.8.2. Porcentaje de humedad del sustrato

La humedad utilizada en todo el experimento fue definida en 22 % de humedad gravimétrica. No fue utilizada la capacidad de campo de la arena (14% humedad gravimétrica) debido al objetivo del producto. Así, 22% de humedad gravimétrica en arena representa 150% de la capacidad de campo de dicho sustrato. Por medio de riegos inter diarios se mantuvo esta humedad constante en el sustrato, lo cual pudo controlarse mediante el peso de cada unidad experimental.

3.8.3. Fechas de evaluación

Las fechas de evaluación del experimento fueron: 0, 1, 8, 16, 40 días de incubación. Estas fechas fueron escogidas en base a la experiencia de autores previos (Abbasi y Khaliq, 2016; Alemi et al., 2010; Alizadeh et al., 2012b; Bergamasco et al., 2019; Florio et al., 2016; Kim et al., 2014).



Nota: *Izquierda*: Unidades experimentales colocadas sobre la tabla de triplay fenólico de 18 mm con los agujeros respectivos. *Derecha*: Armazón de metal que contiene las tablas de triplay fenólico.

Figura 3. Estructura para incubación.

El día cero tuvo como objetivo conocer la cantidad de nitrógeno mineral disponible en el fertilizante órgano-mineral, el estiércol y la presentación MUSFO al comienzo del experimento. Dado que los muestreos fueron destructivos, este valor fue restado a las demás fechas para conocer la mineralización en cada fecha de muestreo. El día 1 fue escogido para conocer el efecto de la actividad microbiana de 24 horas. Los días 8 y 16 fueron días intermedios de muestreo para conocer si había una pendiente positiva o negativa. El día 40 fue escogido por superar los 30 días de incubación, lo cual, según Truong y Marschner (2018) da comienzo un proceso de inmovilización del nitrógeno progresivo.

3.8.4. Incubación

La metodología de la cama de arena utilizada por Purnomo et al. (2018) fue adaptada para determinar la liberación del nitrógeno mineral. Las unidades experimentales fueron incubadas en los vasos de 3 oz mencionados. Estos vasos fueron colocados sobre una balanza analítica (Marca: Henkel 300 g), se los taró, y se les agregó la arena preparada hasta alcanzar

100 g. Paso siguiente, se agregó agua hasta llegar al peso de 122 g (22 % humedad gravimétrica en la arena). En la arena húmeda se realizó un agujero de 2.5 cm de profundidad con una espátula de metal. Los tratamientos fueron colocados en este agujero, en una malla de nylon de 0.1 mm de porosidad (Figura 4 y 5), amarrados con pabilo y tapados con la misma arena. La malla permitía pasar a los iones en solución más no las partículas sólidas mayores a 0.1 mm. De esta forma, se aseguraba observar en los datos la retención de iones por parte del estiércol. Las unidades experimentales fueron colocadas en los agujeros del triplay fenólico previamente descrito, dentro del armazón de metal.

Los tratamientos destinados para la fecha de evaluación cero fueron lixiviados con 65 ml de agua destilada inmediatamente después de ser colocados en el armazón de metal. Para las demás unidades experimentales se esperó la fecha correspondiente. El lixiviado siempre fue realizado con 65 ml de agua destilada, esta cantidad fue definida por el equipo de investigación en ensayos previos como la cantidad óptima para lixiviar todos los iones de 1.5 g de OM.

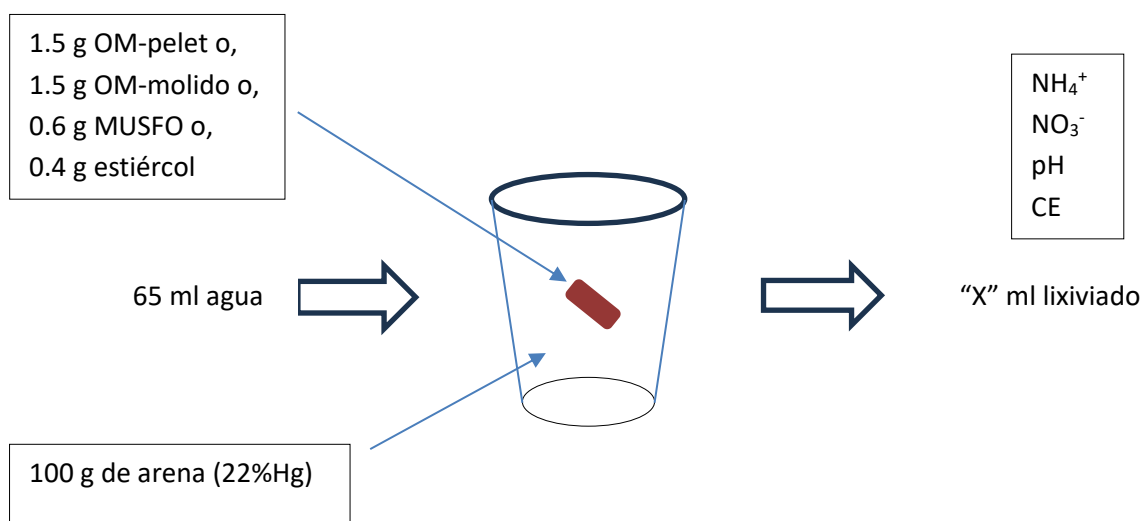


Figura 4. Unidad experimental



Nota: Izquierda. Balanza utilizada. Derecha: OM cubierto por malla de nylon.

Figura 5. Preparación de tratamientos

3.8.5. Instalación del experimento

Los tratamientos que consideran un OM en la presentación pelet (T1 y T4) incluyeron 1.5 g de pelet del órgano-mineral correspondiente dentro de la malla, amarrado con pabilo y colocado en el centro del vaso con arena humedecida. Con este tratamiento se buscó conocer la curva de liberación del OM.

Los tratamientos que consideran un OM en la presentación de molido (T2 y T5) incluyeron 1.5 g de pelet previamente molido, del órgano-mineral correspondiente, dentro de la malla, amarrado con pabilo y colocado en el centro del vaso con arena humedecida. Con este tratamiento se buscó conocer el efecto del secado sobre el OM, eliminado el efecto de la estructura que el densificado (peletizado) creó.

Los tratamientos MUSFO (T3 y T6) incluyeron una mezcla de fertilizantes (sin peletizar) que tenía la misma composición que el OM, solo que sin el estiércol. La cantidad de cada insumo utilizado para este tratamiento se encuentra en la Tabla 8. Se agregó la cantidad correspondiente de este tratamiento dentro de la malla, se amarró con pabilo y se colocó en

el centro del vaso con arena humedecida. Con este tratamiento se buscó conocer el potencial de liberación del OM.

Tabla 8. Cantidades de insumos utilizados en el tratamiento solo fertilizante.

Insumos	Peso (g 100 g arena ⁻¹)	
	T3	T6
Fosfato di amónico	0.037	0.139
Sulfato de amonio	0.427	0.030
Nitrato de amonio	0.300	0.180
Cloruro de potasio	0.049	0.415
TOTAL	0.813	0.764

El tratamiento T7 incluyó 0.6 g de estiércol peletizado, también contenido dentro de la malla antes descrita. Estos 0.6 g representaron el 40 % del OM (1.5 g), por lo que, imitaron a la fase orgánica del pelet. El tratamiento T8 incluyó 0.6 g de estiércol peletizado y seguidamente molido, también contenido dentro de la malla antes descrita. Finalmente, los datos obtenidos de estos tratamientos fueron restados a la liberación del OM en presentación pelet, para así poder obtener la liberación de nitrógeno mineral del OM sin el efecto del estiércol. Por esto, se pudo comparar las curvas de liberación de todos los tratamientos.

El tratamiento T0 incluyó solo los 100 g de arena antes descrita. Su fin fue evaluar si el sistema contenía nitrógeno mineral.

3.9. PARÁMETROS EVALUADOS

El sustrato fue lavado con 65 ml de agua desionizada para obtener el lixiviado en cada evaluación. No se utilizaron soluciones extractantes. El lixiviado fue sometido a mediciones de pH, CE, NH₄⁺ y NO₃⁻. El pH y la CE fueron medidos con un Multiparámetro Consort® C1020, en tanto que el NH₄⁺ y el NO₃⁻ fueron medidos con un medidor selectivo de iones InoLab®.

Las evaluaciones fueron destructivas, por ello se colocó una copia por cada fecha de muestreo (cinco fechas). Esto fue debido al aparato ion-selectivo, el cual tiene un umbral mínimo de lectura de 100 ppm. Lo cual no nos permitió utilizar solo una unidad experimental y lixiviarla repetidamente. Pues los valores obtenidos estarían por debajo del umbral de medición.

Para obtener la liberación de nitrógeno mineral (amoniaco y nítrico) del OM, fue necesario restarle al OM lo liberado por el estiércol y la arena. Y en el caso específico de la presentación MUSFO, le restamos lo liberado por la arena. El resultado de esta resta son las variables Amlix y Nitlix, las cuales fueron el nitrógeno amoniaco y el nitrógeno nítrico, provenientes únicamente de la fase mineral de los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6.

El nitrógeno amoniaco teórico y el nitrógeno nítrico teórico se obtuvo de la tabla 6, de las columnas N-NH₄ ajust. y N-NO₃ ajust, respectivamente. Este dato teórico junto a las variables Amlix y Nitlix permitió conocer el porcentaje liberado de nitrógeno nítrico, nitrógeno amoniaco y nitrógeno mineral en cada fecha.



Figura 6. Unidades experimentales forradas con plástico film.

Los porcentajes de nitrógeno mineral, nitrógeno amoniaco y nitrógeno nítrico liberados en cada fecha fueron las principales variables respuesta, puesto que, permitían comparar en un mismo análisis estadístico a los dos niveles del factor relación. Los niveles del factor relación tiene una concentración de nitrógeno mineral, amoniaco y nítrico promedia alejada entre sí, generando un sesgo importante en el análisis de varianza.

Para las variables concentración de nitrógeno amoniacal, concentración de nitrógeno nítrico, concentración de nitrógeno mineral se tienen curvas de liberación neta y liberación acumulada. Así como, un análisis de varianza en donde el efecto del factor fecha es evaluado en cada tratamiento de forma individual.

3.9.1. Concentración de nitrógeno amoniacal (CNA)

El medidor selectivo de iones obtuvo la concentración de NH_4^+ en el lixiviado en mg L^{-1} . Esto se realizó para las cinco fechas distintas. Luego, se restó el aporte del estiércol y/o la arena, obteniendo la variable *Amlix*, la cual explicamos en párrafos anteriores. Esta variable la multiplicamos por la cantidad en litros de lixiviado obtenido y las constantes de conversión de amonio en nitrógeno amoniacal para 1000 g de insumo. Finalmente obtenemos la concentración de nitrógeno amoniacal (mg kg^{-1}).

$$CNA = AmLix * lix * a * b$$

Donde:

CNA = Concentración de nitrógeno amoniacal (mg kg^{-1})

Amlix = Concentración de amonio obtenido (mg L^{-1})

lix = lixiviado recolectado (l)

a = Constante para conversión de amonio en nitrógeno amoniacal. (0.77)

b = Constante para conversión de 1.5 g a 1000 g (666.6).

3.9.2. Concentración de nitrógeno nítrico (CNN)

El medidor selectivo de iones obtuvo la concentración de NO_3^- en el lixiviado en mg L^{-1} . Esto se realizó para las cinco fechas distintas. Luego, se resta el aporte del estiércol y/o la arena, obteniendo la variable *Nitlix*. La cual la multiplicamos por la cantidad en litros de lixiviado obtenido y las constantes de conversión de nitrato en nitrógeno nítrico para 1000 g de insumo. Finalmente obtenemos la concentración de nitrógeno nítrico (mg kg^{-1}).

$$CNN = NitLix * lix * a * b$$

Donde:

CNN = Concentración de nitrógeno nítrico (mg kg^{-1})

Nitlix = Concentración de nitrato obtenido (mg L^{-1})

lix = lixiviado recolectado (l)

a = Constante para conversión de nitrato en nitrógeno nítrico. (0.274)

b = Constante para conversión de 1.5 g a 1000 g (666.6).

3.9.3. Concentración de nitrógeno mineral (CNm)

La concentración de nitrógeno mineral se obtuvo sumando la concentración de nitrógeno nítrico y nitrógeno amoniacal. Para cada fecha y por tratamiento.

$$CNm = CNN + CNA$$

Donde:

CNA = Concentración de nitrógeno amoniacal (mg kg^{-1})

CNN = Concentración de nitrógeno nítrico (mg kg^{-1})

CNm = Concentración de nitrógeno mineral (mg kg^{-1})

3.9.4. Nitrógeno amoniacal liberado acumulado ($NA_{(acum)}$)

La concentración de nitrógeno amoniacal liberado acumulado es la concentración de nitrógeno amoniacal para cada fecha “n”. Esto se debe al diseño del experimento. Se obtuvo un lixiviado por cada fecha de forma independiente, este lixiviado incluía el efecto mineralización-inmovilización desde el día cero hasta la fecha “n”.

$$NA_{(acum)} = CNA_{t(n)}$$

Donde:

$NA_{(acum)}$ = Nitrógeno amoniacal liberado acumulado (mg kg^{-1})

$CNA_{t(n)}$ = Concentración de nitrógeno amoniacal en el día “n” (mg kg^{-1})

3.9.5. Nitrógeno nítrico liberado acumulado ($NN_{(acum)}$)

La concentración de nitrógeno nítrico liberado acumulado es la concentración de nitrógeno nítrico para cada fecha “n”. Esto se debe al diseño del experimento. Se obtuvo un lixiviado por cada fecha de forma independiente, este lixiviado incluía el efecto mineralización-inmovilización desde el día cero hasta la fecha “n”.

$$NN_{(acum)} = CNN_{t(n)}$$

Donde:

$NN_{(acum)}$ = Nitrógeno nítrico liberado acumulado (mg kg^{-1})

$CNN_{t(n)}$ = Concentración de nitrógeno nítrico en el día “n” (mg kg^{-1})

3.9.6. Nitrógeno mineral liberado acumulado ($Nm_{(acum)}$)

La concentración de nitrógeno mineral liberado acumulado es la concentración de nitrógeno mineral para cada fecha “n”. Esto se debe al diseño del experimento. Se obtuvo un lixiviado

por cada fecha de forma independiente, este lixiviado incluía el efecto mineralización-inmovilización desde el día cero hasta la fecha “n”.

$$Nm_{(acum)} = CNm_{t(n)}$$

Donde:

$Nm_{(acum)}$ = Nitrógeno mineral liberado acumulado ($mg\ kg^{-1}$)

$CNm_{t(n)}$ = Concentración de nitrógeno mineral en el día “n” ($mg\ kg^{-1}$)

3.9.7. Porcentaje de nitrógeno amoniacal liberado (PNA)

El porcentaje de nitrógeno amoniacal liberado para cada fecha fue la división de la concentración de nitrógeno amoniacal obtenida entre la concentración de nitrógeno amoniacal teórica.

$$PNA (\%) = \frac{CNA}{CNAT} * 100$$

Donde:

PNA = Porcentaje de nitrógeno amoniacal (%)

CNA = Concentración de nitrógeno amoniacal ($mg\ kg^{-1}$)

CNAT = Concentración de nitrógeno amoniacal teórico ($mg\ kg^{-1}$) (Tabla 6)

3.9.8. Porcentaje de nitrógeno nítrico liberado (PNN)

El porcentaje de nitrógeno nítrico liberado para cada fecha fue la división de la concentración de nitrógeno nítrico obtenida entre la concentración de nitrógeno nítrico teórica.

$$PNN (\%) = \frac{CNN}{CNNT} * 100$$

Donde:

PNN = Porcentaje de nitrógeno nítrico (%)

CNN = Concentración de nitrógeno nítrico ($mg\ kg^{-1}$)

CNNT = Concentración de nitrógeno nítrico teórico ($mg\ kg^{-1}$) (Tabla 6)

3.9.9. Porcentaje de nitrógeno mineral liberado (PNm)

El porcentaje de nitrógeno mineral liberado para cada fecha fue la división de la concentración de nitrógeno mineral obtenida entre la concentración de nitrógeno mineral teórica.

$$PNm (\%) = \frac{CNm}{CNmT} * 100$$

Donde:

PNm = Porcentaje de nitrógeno mineral (%)

CNm = Concentración de nitrógeno mineral (mg kg^{-1})

CNmT = Concentración de nitrógeno mineral teórico (mg kg^{-1}) (Tabla 6)

3.9.10. pH

El pH del lixiviado se determinó en forma directa sin dilución con el Multiparámetro Consort C1020, colocando el electrodo de pH directamente sobre el recipiente colector del lixiviado que se observa en la figura 6. Previamente se realizó una calibración del potenciómetro con soluciones buffer de 4.0 y 6.99.

3.9.11. Conductividad eléctrica (dS m^{-1})

El dato se midió directamente del lixiviado, sin dilución. Colocando la celda directamente sobre el recipiente colector del lixiviado que se observa en la figura 6. Previamente se realizó una calibración del conductímetro con estándar de 1.14 dS m^{-1} .

3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.10.1. Diseño experimental

Al tratarse de un experimento en condiciones controladas se utilizó un diseño factorial completamente al azar 3×2 y tres tratamientos adicionales ($3 \times 2 + 3$). Se incluyeron tres repeticiones por cada tratamiento. Por lo tanto, se obtuvo una matriz de veintisiete unidades experimentales. La medición de las variables fue realizada en cinco fechas distintas, hasta los 41 días. La comparación estadística fue realizada en cada fecha por separado utilizando el siguiente modelo aditivo.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$i=1,2$

$j=1,2,3$

Y_{ij} = observación en la unidad experimental

μ = efecto de la media general

α_i = efecto del i -ésimo nivel del factor relación $\text{N-NO}_3\text{N-NH}_4^{-1}$

β_j = efecto del j -ésimo nivel del factor presentación

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción RxP

ε_{ij} = efecto del error experimental

Además, se realizó un análisis de varianza utilizando a la variable fecha como factor. Este segundo análisis se basó en el siguiente modelo aditivo:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_i$$

Donde:

$i=1,2,3,4,5$

Y_i = observación en la unidad experimental

μ = efecto de la media general

α_i = efecto del i -ésimo nivel del factor fecha

ε_i = efecto del error experimental

El esquema del análisis de varianza se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Esquemas de análisis de varianza.

Fuente de variación	GL	SS	CM	F
Factor relación	1	SS_A	$SS_A/g.l$	CM_A/CM_E
Factor presentación	2	SS_B	$SS_B/g.l$	CM_B/CM_E
$R \times P$	2	SS_{AB}	$SS_{AB}/g.l$	CM_{AB}/CM_E
Error	13	SS_E	$SS_E/g.l$	
Total	18	SS_T		

Fuente de variación	GL	SS	CM	F
Factor FECHA	4	SS_A	$SS_A/g.l$	CM_A/CM_E
Error	14	SS_E	$SS_E/g.l$	
Total	18	SS_T		

3.10.2. Tratamiento estadístico

Se comprobó la normalidad y homocedasticidad de los datos utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y de Fligner-Killeen, respectivamente. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza de dos vías para la evaluación del experimento. Se hicieron evaluaciones dos a dos para observar diferencias significativas con HSD-Tukey ($p\text{-value} < 0.05$).

Los análisis se realizaron empleando los paquetes *stats* y *Agricolae* (De Mendiburu, 2021) del ambiente de cómputo estadístico R versión 4.2.3 (R Core Team, 2022).

3.10.3. Representación de resultados

Los gráficos se hicieron con el paquete *ggplot2* del programa estadístico R (Wickham et al., 2021).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PORCENTAJE LIBERADO DE NITRÓGENO

4.1.1. Porcentaje liberado de nitrógeno amoniacal

En la primera fecha de evaluación el factor presentación tuvo un efecto significativo sobre la variable porcentaje de nitrógeno amoniacal liberado. La presentación MUSFO tiene un valor de 96.24 %, mientras que los niveles molido y pelet forman un grupo diferenciado con media 53.35 %. Estos grupos se formaron a partir de la comparación de Tukey (p -value < 0.05). Teniendo un coeficiente de variabilidad de 10.72 % (Tabla 10).

En la segunda fecha de evaluación el factor presentación y el factor relación afectaron de forma significativa al porcentaje liberado de nitrógeno amoniacal. El nivel 0.34 del factor relación generó en promedio un 75.0 % de nitrógeno amoniacal liberado frente al nivel 0.49 que solo generó un 65.1 %. Por otro lado, el nivel MUSFO del factor presentación mostró un 81.1 % de nitrógeno amoniacal liberado frente a los 66.1 % del nivel molido y los 64.0 % del nivel pelet. Teniendo un coeficiente de variabilidad de 10.0 %.

En la tercera fecha, se observa un efecto significativo de la interacción entre los dos factores estudiados sobre la variable porcentaje de nitrógeno amoniacal liberado. Teniendo para la relación 0.34 (OM-14) en la presentación molida 63.40 % de nitrógeno amoniacal liberado frente a 75.56 % en la presentación pelet, y para la relación 0.49 (OM-7K) un 63.07 % en la presentación molida y un 52.24 % en la presentación pelet. Esta interacción entre los factores es significativa para el análisis de varianza realizado, y para la comparación de Tukey (p -value < 0.05). Teniendo un coeficiente de variabilidad de 8.38 %. Al comparar esa observación con la Tabla 11, en donde los días de incubación tuvieron un efecto significativo sobre el tratamiento 1 (OM-14 pelet), mas no sobre el tratamiento 4 (OM-7K pelet). Se deduce que esta interacción se debió a que el OM-14 continuaba liberando nitrógeno amoniacal para el día ocho de incubación, mientras el OM-7K estadísticamente llegó a su máximo el día cero.

En la primera fecha (el día cero) se observa que el efecto del factor presentación, específicamente el de la materia orgánica seca, es altamente significativo sobre la variable porcentaje de nitrógeno amoniacal liberado. Demostrando lenta liberación al menos en el primer momento de iniciada la incubación. Nuestra presentación pelet no supero en ninguna medida a la presentación molida, lo cual no nos permite afirmar que en el día cero el peletizado del OM genere un efecto positivo con respecto a esta variable.

La retención del nitrógeno amoniacal también fue observada por Teutscherova et al. (2018) en un ensayo de lixiviación con biocarbón. El autor menciona que el amonio es atrapado por la zona intercambiable del suelo y termina expulsando a otros cationes. Según Bazán (2017), se utiliza acetato de amonio para calcular la CIC ($\text{meq } 100\text{g}^{-1}$) de los suelos en los análisis de laboratorio, por su capacidad de reemplazar a otros cationes. Estos argumentos sugieren que el fertilizante órgano-mineral estudiado retuvo de alguna forma amonio para el día cero. La fijación de amonio en los suelos es bien conocida (Dalias y Christou, 2020; Klemedtsson et al., 1988).

Teutscherova et al. (2018) utilizaron un biocarbón con $35 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ de CIC, capturando N-NH_4 a razón de 2 mg g^{-1} . En nuestro órgano-mineral utilizamos aproximadamente 40% de estiércol de gallinas ponedoras con $33 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ de CIC. Si inferimos que la CIC tiene una relación directa con la adsorción de amonio, debido a lo mencionado por Bazán (2017), y utilizamos la constante de absorción (2 mg g^{-1}) propuesta por Teutscherova et al. (2018), en un kilogramo de OM se deberá capturar como máximo 0.8 g de N-NH_4 .

Según la Tabla 6, el OM-14 contiene N-NH_4 a razón de 73.99 g kg^{-1} y el OM-7K a razón de 39.92 g kg^{-1} . Al calcular el 45 % de ambos valores (la tabla 10 muestra 45 % de nitrógeno amoniacal capturado para el día cero), obtenemos 33.29 g y 17.96 g, respectivamente. Ambos valores encontrados son muy superiores a los 0.8 g soportados teóricamente por la CIC del estiércol. Por este motivo, se desestima que el efecto observado en el día cero tenga relación con la capacidad de intercambio catiónico del material orgánico presente en el OM.

Debido al párrafo anterior, se propone que el secado del estiércol, luego del peletizado, llevando a 6 % de humedad gravimétrica al OM, redujo considerablemente la conductividad hidráulica del pelet y con ello aumento el tiempo necesario para humedecer el estiércol, sirviendo como una barrera para retardar la dilución de los minerales en el agua de lixiviación. Se argumenta esta propuesta bajo dos observaciones:

- a. El porcentaje de amonio lixiviado no se vio afectado por la estructura pelet o molido para el día cero, indicando que el efecto fue debido al propio estiércol seco, y no de la estructura o porosidad.
- b. En los datos del día uno de la curva de liberación, en la tabla 10, se observa que el OM-pelet y el OM-molido continúan con el proceso de liberación. Así, se demuestra que el N-NH₄ no se ha perdido al ambiente en su totalidad, sino, fue “capturado” por el OM.

Para la cuarta fecha no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Esto permite observar una estabilización de todos los tratamientos en una media de 69.3 % de nitrógeno amoniacal liberado. En la Tabla 11, se observa que estadísticamente la cuarta fecha de evaluación no es diferente a la tercera y quinta fecha de evaluación.

En la quinta fecha de evaluación el factor relación afecta significativamente a la variable porcentaje de nitrógeno amoniacal liberado. Teniendo un 70.18 % de liberación de nitrógeno amoniacal para la relación 0.34 versus un 56.46 % de nitrógeno amoniacal para la relación 0.49. Por lo tanto, OM-14 tiene una mayor disponibilidad de nitrógeno amoniacal a los 41 días de incubación que el OM-7K, debido posiblemente al pH más elevado de este último, lo cual promueve la pérdida ambiental de amoniaco (Fenn y Hossner, 1985).

Al comparar las fechas evaluadas (Tabla 11) se puede observar que los días de incubación afectaron significativamente a la variable porcentaje de nitrógeno amoniacal liberado en la presentación MUSFO para el OM-14, teniendo un valor de 100.5 % en el día cero de incubación y 72.9 % en el día cuarenta y uno de incubación. Esta caída estadísticamente significativa se puede argumentar por las elevadas concentraciones de amonio en el OM-14 que permite la conversión de amonio a amoniaco, lo cual termina emitiéndose a la atmosfera (Fenn y Hossner, 1985; Swelum et al., 2021). Según Herr et al. (2019), a mayor contacto con la atmosfera, las emisiones de NH₃ se elevan, esto se da específicamente en la actividad de colocar el estiércol sobre el suelo. En un estudio canadiense, Pelster et al. (2019) afirma que agua a concentraciones de 200 g kg⁻¹ en un suelo arcilloso permiten la volatilización del amoniaco (entre 5- 20 %), debido a que las altas concentraciones de amonio en solución forman aceleradamente amoniaco por un proceso de equilibrio químico. En la presente tesis el fertilizante órgano-mineral fue incorporado dentro del sustrato y además mantenido a 150 % de la capacidad de campo (220 gkg⁻¹), con pérdidas de nitrógeno mineral del 15%, lo cual va de acuerdo con lo mencionado en la literatura.

Según Fenn y Hossner, (1985), el sulfato de amonio y el fosfato di amónico generan pérdidas de NH_3 al ambiente en un rango de 35 - 40 % luego de 100 horas de haber sido incorporado al suelo a temperaturas entre 22 - 32 °C. Esto es debido a la reacción química del ion sulfato y el ion fosfato con el CaCO_3 del suelo. Ni la humedad, ni la cantidad de nitrógeno aplicado tienen efectos significativos sobre esta pérdida, solo la temperatura, siendo la pérdida más acelerada a mayor temperatura, pero igualándose en 40 % para las 100 horas. En suelos con textura arenosa y elevada concentración de CaCO_3 se puede acelerar esta reacción química.

Lo mencionado explica la caída abrupta de nitrógeno amoniacal durante el proceso de incubación en la presentación MUSFO, pero no podemos asegurar que esta pérdida no haya estado presente de igual manera en las presentaciones molido y pelet.

Para el caso de las presentaciones molida y pelet se observa un efecto estadísticamente significativo de los días de incubación sobre la variable porcentaje liberado de nitrógeno amoniacal en el OM-14 (Tabla 11). Para el día uno de incubación se logra estadísticamente el máximo de liberación de nitrógeno amoniacal, pues las fechas siguientes no son estadísticamente diferentes al día uno, teniendo un promedio de 72.8 % de nitrógeno amoniacal liberado para la presentación pelet y un promedio de 66.5 % para la presentación molida. Demostrando que el OM-14 retuvo un 15 % de nitrógeno amoniacal en la presentación pelet y un 22 % de nitrógeno amoniacal en su presentación molida, en la primera fecha de evaluación (día cero).

En el OM-7K se observa numéricamente una liberación máxima al día uno de incubación, homologa a lo observado en OM-14, pero no se encontró una diferencia estadísticamente significativa.

4.1.2. Porcentaje de nitrógeno nítrico liberado

En el día cero ni el factor relación ni el factor presentación tuvieron un efecto significativo sobre la variable porcentaje de nitrógeno nítrico liberado, en todos los tratamientos se logró en promedio un 95.99 % de nitrógeno nítrico liberado. Esto es superior a los 67.64 % de nitrógeno amoniacal liberado promedio en el día cero. Esto se debe probablemente a la alta solubilidad del ion nitrato y su consecuente percolación y/o lixiviación, puesto que, no puede formar enlaces químicos estables con la zona intercambiable del suelo (Florio et al., 2016).

En la segunda fecha de evaluación, el factor relación tiene un efecto significativo sobre la variable porcentaje liberado de nitrógeno nítrico, siendo 113.08 % para la relación 0.34 y

100.15 para la relación 0.49. En primer lugar, se observan valores superiores al 100 por ciento de liberación para el nitrógeno nítrico en el primer día de incubación, esto puede estar relacionado a un proceso de nitrificación. Las condiciones del experimento son ideales para la nitrificación (Bergamasco et al., 2019; Florio et al., 2016; Nielsen y Revsbech, 1998; Olk, 2008), y los datos del día 1, 8, 16 y 41 muestran un claro proceso de producción de nitrato a partir de amonio (Tabla 10), debido a valores por encima de 100 %. La velocidad en la nitrificación observada en el ensayo (aprox. 10 mg kg^{-1} de N-NO_3 en el primer día de incubación) también la observo Yang et al. (2021) con sulfato de amonio como fuente de nitrógeno. En segundo lugar, se propone que el OM-7K presentó menor nitrificación debido un exceso del nitrógeno nítrico en esta formulación. Según Nielsen y Revsbech (1998) el exceso de nitrato limita la actividad de las bacterias oxidantes de amonio, reduciendo la producción de hidroxilamina. Esta tendencia se mantiene en los días 8, 16 y 41. Esta afirmación también la sostiene Klemetsson et al. (1988) en una revisión exhaustiva del tema, donde observó que los fertilizantes de urea y amonio estimularon la producción de N_2O (por nitrificación), mientras que la fertilización de nitrato no lo hizo.

El tratamiento T6 (relación 0.49 y presentación MUSFO) tiene un 87.81 % de nitrógeno nítrico liberado. Lo cual demuestra una pérdida de nitrógeno nítrico frente al día cero. Esta pérdida gradual no se observa en el tratamiento T3 (relación 0.34 y presentación MUSFO). Un proceso microbiano como la desnitrificación que podría explicar esta pérdida fue descartado por las condiciones del tratamiento (solo fertilizantes). Así mismo, se observan menores cantidades de lixiviado en los tratamientos que incluyen OM-7K. La elevada concentración de cloro y potasio en solución presentes en el OM-7K podrían estar afectando al resultado. Será necesario profundizar en el análisis de esta observación en tesis posteriores.

El factor presentación tiene un efecto significativo sobre la variable porcentaje liberado de nitrógeno nítrico para el día uno de incubación. La presentación MUSFO tiene 92.84 % de nitrógeno nítrico liberado frente a los 107.25% de la presentación molida y los 119.76 % de la presentación pelet. Estos resultados se alinean con las observaciones de Dubey (1968), Klemetsson et al. (1988) y Linn y Doran (1984) sobre cómo se promueve la nitrificación con la presencia de bacterias y al reducir la humedad del suelo, teniendo 60% de la porosidad llena de agua como óptimo teórico, y que este proceso microbiano es posible incluso a una humedad de 6 %. Además, según Alemi et al. (2010) es altamente probable que el OM, al

haber estado almacenado por más de 24 horas, haya aumentado su humedad al menos en 8 puntos porcentuales, lo cual promovió la nitrificación.

El proceso de nitrificación antes mencionado depende del pH y la concentración de oxígeno disuelto. Según Bergamasco et al. (2019) y Florio et al. (2016), el pH óptimo para el proceso nitrificante es de 7 – 8.5. En la Tabla 10 se observa que en el día cero el OM-7K tiene un pH significativamente más cercano a 7 que el OM-14, lo cual le daría una ventaja con respecto a la velocidad de nitrificación.

El oxígeno disuelto es un factor importante para la nitrificación. Un medio acuoso debe tener niveles entre 0.5 – 2 mg L⁻¹ de oxígeno para permitir la nitrificación. El máximo nivel de nitrificación es alcanzado a 20 % de oxígeno, valor muy parecido a los niveles de oxígeno en la atmosfera (Linn y Doran, 1984; Lu et al., 2021; Sahrawat, 2008). La variable oxígeno disuelto se relaciona con la porosidad y la estructura del fertilizante órgano-mineral, lo cual es un efecto colateral del proceso de peletizado.

La materia orgánica promueve la nitrificación, colocando al pH como un factor secundario. Esto se debe a que la microbiota del suelo puede realizar la nitrificación a un pH menor del óptimo con relativa facilidad debido a arqueas oxidantes de amonio que pueden trabajar a pH ácidos y medios anaeróbicos (Bergamasco et al., 2019; Florio et al., 2016). Teniendo en consideración el origen del estiércol, se acepta la presencia de estas arqueas en el sustrato orgánico utilizado.

Al observar la pérdida de nitrógeno amoniacal y el aumento del nitrógeno nítrico, así como las condiciones de incubación y el origen del estiércol utilizado en el experimento se puede afirmar la existencia de un proceso activo de nitrificación durante la incubación. Aunque en la tabla 11 no se observa una diferencia significativa entre el porcentaje liberado de nitrógeno nítrico para el día cero y las demás fechas de evaluación, posiblemente el coeficiente de variabilidad de 14 % este relacionado con ese resultado.

En la tercera y cuarta fecha el factor presentación continúa teniendo un efecto significativo sobre la variable porcentaje liberado de nitrógeno nítrico. Siendo en promedio 91.1 % para el nivel MUSFO y 116 % para los niveles molido y pelet. Esta diferencia deja de ser significativa para la fecha cinco de evaluación, aunque, numéricamente continúa observándose.

Tabla 10. Porcentaje de nitrógeno mineral, amoniacal y nítrico liberado para los días 0,1,8,16 y 41 de incubación.

Día	Variable	Relación N-NO ₃ N-NH ₄ ⁻¹		Presentación			Interacción RxP						Relación	Presentación	Interacción RxP	CV (%)
		0.34	0.49	MUSFO	Molido	Peletizado	0.34: MUSFO	0.34: Molido	0.34: Peletizado	0.49: MUSFO	0.49: Molido	0.49: Peletizado				
0	% N-NO ₃	96.75	95.25	99.84	92.78	95.38	99.74	90.75	99.75	99.94	94.81	91.00	n.s.	n.s.	n.s.	18.79
	% N-NH ₄	67.2	68.09	96.24 (a)	53.08 (b)	53.61 (b)	100.51	44.04	57.04	91.97	62.12	50.19	n.s.	***	n.s.	10.72
	% N-mineral	74.68	76.97	97.45(a)	64.34(b)	65.69(b)	100.32	55.86	67.85	94.57	72.81	63.54	n.s.	***	n.s.	9.63
	pH	6.80 (b)	6.96 (a)	6.81 (b)	6.93 (a)	6.90 (a)	6.56 (c)	6.90 (b)	6.95 (ab)	7.06 (a)	6.96 (ab)	6.85 (b)	***	**	***	0.72
	CE (dSm-1)	16.3	15.5	17.3 (a)	15.1 (b)	15.2 (b)	17.8	15.8	15.2	16.8	14.7	15	n.s	*	n.s	8.42
1	% N-NO ₃	113.08(a)	100.15(b)	92.84 (b)	107.25(a)	119.76(a)	97.87	110.98	130.39	87.81	103.51	109.13	**	***	n.s.	8.58
	% N-NH ₄	75.70(a)	65.14(b)	81.13 (a)	66.12 (b)	64.02 (b)	81.64	75.26	70.2	80.61	56.97	57.84	*	**	n.s.	10
	% N-mineral	85.16(a)	76.59(b)	84.36	78.25	80.03	85.74	84.3	85.44	82.97	72.19	74.61	*	n.s.	n.s.	7.91
	pH	6.68	6.6	6.45 (b)	6.72 (a)	6.76 (a)	6.55	6.75	6.75	6.35	6.78	6.68	n.s.	**	n.s.	2.35
	CE (dSm-1)	14.3	14.1	15.5 (a)	13.8 (b)	13.4 (b)	15.9	13.4	13.4	15	13.3	14.1	n.s	***	n.s	4.58
8	% N-NO ₃	110.97	104.63	91.29(b)	116.83(a)	115.28(ab)	98.01	115.97	118.92	84.56	117.69	111.63	n.s.	*	n.s.	16.24
	% N-NH ₄	73.58(a)	64.66(b)	80.22(a)	63.24(b)	63.90(b)	81.78(a)	63.40(ab)	75.56(a)	78.67(a)	63.07(ab)	52.24(b)	*	**	*	8.38
	% N-mineral	83.04	77.73	83.24	78.82	79.1	85.89	76.71	86.53	80.59	80.93	71.67	n.s	n.s	n.s.	7.95
	pH	6.95	6.83	6.72	6.97	6.98	6.95	6.92	6.97	6.48	7.05	6.96	n.s.	n.s.	n.s.	3.75
	CE (dSm-1)	13.9	13.4	14.7	13	13.3	15	13.3	13.3	14.4	13.3	12.6	n.s	n.s	n.s	7.00
16	% N-NO ₃	119.09(a)	97.14(b)	91.02(b)	121.47(a)	111.86(a)	100.21	128.35	128.72	81.83	114.6	94.99	**	**	n.s.	11.19
	% N-NH ₄	67.25	71.35	70.94	66.04	70.92	65.74	63.08	72.93	76.14	69	68.92	n.s.	n.s.	n.s.	9.76
	% N-mineral	80.38	79.79	76.24	81.76	82.25	74.47	79.6	87.05	78	83.91	77.44	n.s.	n.s.	n.s.	8.03
	pH	7.16 (b)	7.31 (a)	7.14	7.30	7.27	7.17 (ab)	7.17 (ab)	7.14 (b)	7.11 (b)	7.38 (ab)	7.45 (a)	***	n.s.	*	1.53
	CE (dSm-1)	13.4	13.6	14	13.5	13.1	14.1	13	13.2	13.8	13.9	13.1	n.s.	n.s.	n.s.	6.04
41	% N-NO ₃	108.68(a)	90.26(b)	89.5	102.04	106.88	100.88	101.81	123.34	78.11	102.27	90.41	*	n.s.	n.s.	17.06
	% N-NH ₄	70.18(a)	56.46(b)	70.78	56.95	62.22	72.88	64.45	73.2	68.69	49.45	51.24	*	n.s.	n.s.	17.39
	% N-mineral	79.92(a)	67.51(b)	75.87	70.32	74.97	79.97	73.91	85.9	71.77	63.73	64.05	*	n.s.	n.s.	14.66
	pH	6.9	7	6.99	6.96	6.87	7.17	6.56	6.84	6.81	7.19	7.07	n.s.	n.s.	n.s.	2.92
	CE (dSm-1)	11.5	12.2	12.8	11.3	11.5	13.2	10.4	11	12.4	12.5	11.6	n.s.	n.s.	n.s.	8.32

4.1.3. Porcentaje de nitrógeno mineral liberado

El nitrógeno mineral liberado se ve afectado significativamente en la primera fecha de evaluación (día cero) por el factor presentación. Siento 97.45 % para el nivel MUSFO, 64.34 % para el nivel molido y 65.69 % para el nivel pelet. Esta observación nos permite afirmar que al menos para el día cero de incubación se observó un efecto de lenta liberación del OM, y en base a las condiciones de los tratamientos, al parecer, esta lenta liberación estuvo generada por la fase orgánica seca presente en el OM más que por el densificado propiamente dicho.

El material orgánico mezclado con un fertilizante mineral evita la pérdida de nitrógeno mineral al ambiente y reduce su tasa de liberación (Abbasi y Khaliq, 2016; Delgado et al., 2010). El concepto de conductividad hidráulica es el principal protagonista de la lenta liberación en los insumos fertilizantes órgano-minerales, tal y como la literatura actual lo afirma (El Sharkawi et al., 2018; Purnomo et al., 2018; Trenkel, 2010).

Se propone que la conductividad hidráulica de la presentación molida y pelet es muy reducida; por ello, a pesar de la humedad del sustrato, dentro del OM aún quedaban zonas sin mojarse en la evaluación del día cero, lo cual causó una demora en la liberación del nitrógeno mineral, frente al tratamiento solo fertilizante en donde la liberación fue inmediata. Esto explicaría lo acontecido en el primer día de incubación.

Para la segunda, tercera, cuarta y quinta fecha de evaluación, el factor presentación no tiene un efecto significativo sobre la variable porcentaje liberado de nitrógeno mineral, siendo en promedio el nivel MUSFO de 78.65 %, el nivel molido de 77.28 % y el nivel pelet de 79.08 %. Debido a esto, se puede afirmar que los niveles molido y pelet del factor presentación capturaron entre un 10 – 15 % del nitrógeno mineral disponible en el día cero por un máximo de 24 horas.

El probable proceso de volatilización mencionado en párrafos anteriores generó una pérdida de al menos 20% de nitrógeno mineral en todos los tratamientos al primer día de incubación al compararlo con el potencial máximo de liberación (día cero). Esto se observa en los datos máximos de 77 – 79 % de nitrógeno mineral liberado para las cuatro últimas fechas evaluadas.

El OM-7K y el OM-14 en las presentaciones pelet y molido, a partir de los 40 días, muestra un proceso de inmovilización. Según Truong y Marschner, (2018), al agregar un insumo

Tabla 11. Liberación de nitrógeno de los tratamientos estudiados (% del teórico).

Relación	Presentación	Forma química	0					1					8					16					41					Fecha	CV (%)
			(% del teórico)																										
0.34	pelet	N-NH ₄	57.0 (b)	70.2 (ab)	75.6 (a)	72.9 (ab)	73.2 (ab)	*	11.95																				
0.34	pelet	N-NO ₃	99.7	130.4	118.9	128.7	123.3	n.s.	14.61																				
0.34	pelet	N-m	67.8 (b)	85.4 (a)	86.5 (a)	87.1 (a)	85.9 (a)	*	10.97																				
0.34	pelet	pH	6.9	6.7	7.0	7.1	6.8	n.s.	2.18																				
0.34	pelet	CE	15.2(a)	13.4(ab)	13.3(ab)	13.2(ab)	11.0(b)	*	7.19																				
0.34	molido	N-NH ₄	44.0 (b)	75.3 (a)	63.4 (ab)	63.1 (ab)	64.5 (ab)	*	25.23																				
0.34	molido	N-NO ₃	90.8	111.0	116.0	128.3	101.8	n.s.	17.38																				
0.34	molido	N-m	55.9	84.3	76.7	79.6	73.9	n.s.	19.69																				
0.34	molido	pH	6.9(ab)	6.7(ab)	6.9(ab)	7.2(a)	6.6(b)	*	2.64																				
0.34	molido	CE	15.8(a)	13.4(b)	13.3(b)	13.0(b)	10.4(c)	***	3.88																				
0.34	MUSFO	N-NH ₄	100.5 (a)	81.6 (ab)	81.8 (ab)	65.7 (b)	72.9 (b)	**	9.08																				
0.34	MUSFO	N-NO ₃	99.7	97.9	98.0	100.2	100.9	n.s.	17.89																				
0.34	MUSFO	N-m	100.3 (a)	85.7 (ab)	85.9 (ab)	74.5 (b)	80.0 (b)	*	7.29																				
0.34	MUSFO	pH	6.6(b)	6.5(b)	7.0(a)	7.2(a)	7.2(a)	***	1.45																				
0.34	MUSFO	CE	17.8(a)	15.9(ab)	15.0(ab)	14.1(b)	13.2(b)	**	6.41																				
0.49	pelet	N-NH ₄	50.2	57.8	52.2	68.9	51.2	n.s.	19.81																				
0.49	pelet	N-NO ₃	91.0	109.1	111.6	95.0	90.4	n.s.	13.71																				
0.49	pelet	N-m	63.5	74.6	71.7	77.4	64.0	n.s.	12.30																				
0.49	pelet	pH	6.9(b)	6.7(b)	7.0(b)	7.5(a)	7.1(ab)	**	2.30																				
0.49	pelet	CE	15.0(a)	14.1(ab)	12.6(ab)	13.1(ab)	11.6(b)	*	7.34																				
0.49	molido	N-NH ₄	62.1	57.0	63.1	69.0	49.5	n.s.	12.83																				
0.49	molido	N-NO ₃	94.8	103.5	117.7	114.6	102.3	n.s.	15.93																				
0.49	molido	N-m	72.8	72.2	80.9	83.9	66.7	n.s.	10.98																				
0.49	molido	pH	7.0(bc)	6.8(c)	7.0(b)	7.4(a)	7.2(ab)	***	1.43																				
0.49	molido	CE	14.7	13.3	13.3	13.9	12.5	n.s.	8.05																				
0.49	MUSFO	N-NH ₄	92.0	80.6	78.7	76.1	68.7	n.s.	11.01																				
0.49	MUSFO	N-NO ₃	99.9	87.8	84.6	81.8	78.1	n.s.	12.42																				
0.49	MUSFO	N-m	94.6	83.0	80.6	78.0	71.8	n.s.	9.25																				
0.49	MUSFO	pH	7.1(ab)	6.4(b)	6.5(ab)	7.1(a)	6.8(ab)	*	4.00																				
0.49	MUSFO	CE	16.8 (a)	15.0 (ab)	14.4 (ab)	13.8 (ab)	12.4 (b)	*	7.29																				

Nota: CE = Conductividad eléctrica (dSm⁻¹)

orgánico al suelo inicia un ciclo de inmovilización-mineralización. El resultado de este ciclo dependerá de los insumos que contenga el material.

Según Abbasi y Khaliq (2016), la tasa de liberación aumenta con el pasar de los días de incubación de un órgano-mineral. En nuestro caso, los datos indican una liberación acelerada el primer día y de allí un proceso de estabilidad por otros 20 días, finalizando con un comienzo de inmovilización en la quinta fecha. Esta diferencia puede deberse a las proporciones de la fase mineral y la fase orgánica. En el experimento realizado por Abbasi y Khaliq (2016), se utilizó 4000 g de material orgánico por cada 4 g de mineral, en nuestro fertilizante órgano-mineral utilizamos 0.6 g de material orgánico por cada 0.9 g de mineral. Al parecer, el material orgánico presente en el fertilizante órgano-mineral estudiado, al estar en baja proporción, pierde su efecto sobre la tasa de liberación.

El fertilizante órgano-mineral retrasó la liberación del 15% del nitrógeno mineral debido a su reducida conductividad hidráulica por el secado de la fase orgánica a 6 %Hg según lo analizado previamente. Además, la liberación del nitrógeno mineral al sustrato promovió el desarrollo de bacterias nitrificantes, la tasa de nitrificación dependerá de la relación $N-NO_3N-NH_4^{-1}$ presente en el OM.

4.2. PH

En la primera fecha de evaluación (día cero) la interacción entre el factor relación y el factor presentación tiene un efecto significativo sobre la variable pH. Se tiene un valor máximo de 7.06 para el tratamiento 6 (relación 0.49 y presentación MUSFO) estadísticamente diferente al 6.56 del tratamiento 3 (relación 0.34 y presentación MUSFO), el cual es el menor valor de todos los tratamientos estudiados en la variable pH. Esto se debe principalmente a la reacción ácida del sulfato de amonio frente a la reacción neutra del cloruro de potasio, ambos principales componentes de OM-14 y OM-7K, respectivamente. Además, el tratamiento 6 es diferente al tratamiento 4 (relación 0.49 y presentación pelet) para la variable pH, siendo el primero de 7.06 y el segundo de 6.86. Esto muestra que la acidez liberada por los fertilizantes convencionales es limitada o neutralizada por el efecto del estiércol. Esto se debe probablemente a una reacción en la solución acuosa extractante de los iones hidroxilo provenientes de la fase orgánica del OM y los protones de hidrógeno, formando agua (Ozlu y Kumar, 2018).

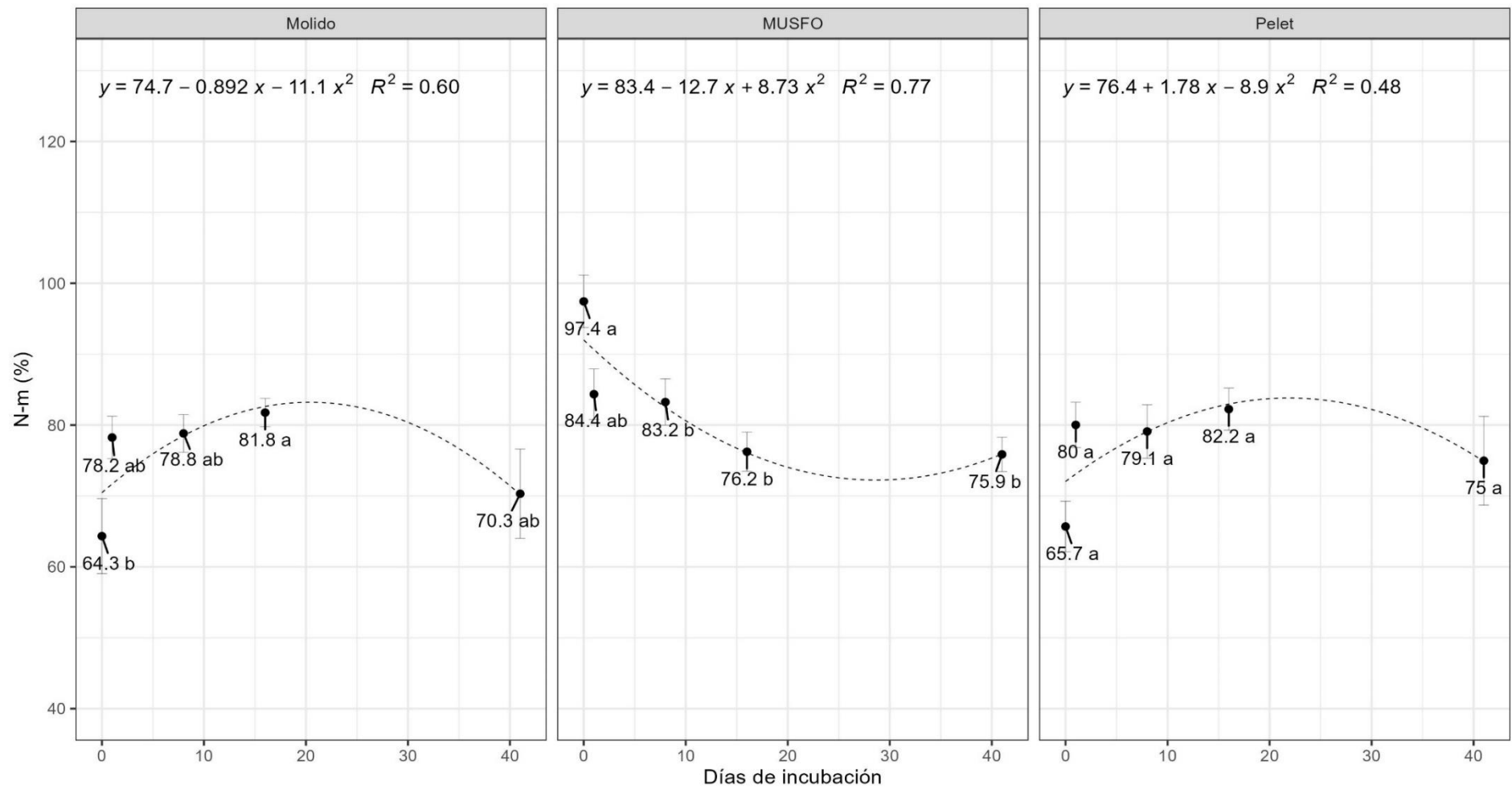


Figura 7. Curva de liberación de nitrógeno mineral para los tres niveles del factor PRESENTACIÓN. El nitrógeno mineral se presenta en porcentaje del teórico.

En la segunda fecha de incubación el factor presentación tiene un efecto significativo sobre el pH. Se tiene en el nivel MUSFO un valor de 6.45 de pH, frente al 6.72 del nivel molido y 6.76 del nivel pelet. Con un coeficiente de variabilidad de 2.35 % para esta fecha, se puede afirmar que los fertilizantes órgano-minerales estudiados aumentan el valor del pH, frente al uso de solo fertilizantes minerales.

En la tercera fecha de evaluación el factor relación y el factor estado no tienen un efecto significativo sobre la variable pH. El promedio en la variable pH es 6.89 a los ocho días de incubación. En la cuarta fecha de evaluación la interacción del factor relación y el factor presentación tienen un efecto significativo sobre la variable pH. Teniendo un valor de 7.45 para la interacción con relación 0.49 y presentación pelet, siendo el máximo de todos los tratamientos, y un valor de 7.14 para la interacción de relación 0.34 y presentación pelet, siendo el mínimo de todos los tratamientos para esa fecha.

En el OM-7K, los niveles molido y pelet del factor presentación el pH disminuyó a las veinticuatro horas de iniciada la incubación, luego, aumentó de forma constante hasta los dieciséis días. Esta observación se demuestra con los datos en la tabla 11, donde se observa que para todos los tratamientos con relación 0.49 el pH tuvo un máximo en la cuarta fecha de evaluación (16 días), cuyo valor fue estadísticamente superior al valor del día uno de incubación. Se propone que esto puede ser debido a dos mecanismos: 1. La actividad microbiana, la cual libera ácidos orgánicos por hidrólisis reduciendo el pH de su medio, para luego aumentar el pH de forma constante (Mao et al., 2020). 2. La reducción del pH debida al proceso de nitrificación, ocurrida en la conversión de la hidroxilamina en nitrito.

4.3. LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

En la primera fecha, la presentación MUSFO fue significativamente superior con una conductividad eléctrica de 17.3 dS m^{-1} , al compararla con el 15.1 dS m^{-1} para la presentación molido y 15.2 dS m^{-1} de la presentación pelet. Esta diferencia se relaciona con el porcentaje de nitrógeno mineral liberado en esa fecha. Se confirma que el lixiviado en el día cero de incubación tenía mayor concentración de iones en la presentación MUSFO frente al OM, y además, que la presentación molido y pelet no se diferenciaron estadísticamente, con un coeficiente de variabilidad de 8.42% (Tabla 10).

En la segunda fecha de evaluación, el factor presentación continúa teniendo un efecto significativo sobre la variable conductividad eléctrica en el lixiviado. La presentación

MUSFO tiene un valor de conductividad eléctrica de 15.5 dS m⁻¹ frente a 13.8 dS m⁻¹ de la presentación molida y 13.4 dS m⁻¹ de la presentación pelet. Al comparar estos valores con la primera fecha de evaluación, se observa una disminución de la conductividad eléctrica en todos los niveles del factor presentación. Esto comprobaría una pérdida de iones en solución por factores físicos (probablemente volatilización de NH₃) para la presentación MUSFO, y para el caso de las presentaciones molida y pelet, es posible que la nitrificación también haya retirado iones de la solución suelo.

En las tres últimas fechas de evaluación, ningún factor tuvo un efecto significativo sobre la variable conductividad eléctrica en el lixiviado. Al observar el efecto del factor días de incubación sobre la variable conductividad eléctrica (Tabla 11), se observa que los tratamientos con la presentación MUSFO tuvieron una reducción estadísticamente significativa del día ocho de incubación al día cuarenta y uno. Siendo para el OM-14, 15.0 dS m⁻¹ para el día ocho y 13.2 dS m⁻¹ para el día cuarenta y uno. Y para el OM-7K, 14.4 dS m⁻¹ para el día ocho y 12.4 dS m⁻¹ para el día cuarenta y uno de incubación. Así mismo, para las presentaciones molida y pelet se observa la misma disminución en la variable conductividad eléctrica, antes descrita. Según Truong y Marschner (2018), los procesos de inmovilización-mineralización tienden a reducir los iones en solución, al convertirse en biomasa para los microorganismos en crecimiento.

Tabla 12. Liberación de nitrógeno de los tratamientos estudiados (g kg⁻¹).

Relación	Presentación	Forma química	0					1					8					16					41					Fecha	CV (%)
			(g kg ⁻¹)					(g kg ⁻¹)					(g kg ⁻¹)					(g kg ⁻¹)					(g kg ⁻¹)						
0.34	pelet	N-NH ₄	42.2(b)	51.9(ab)	55.9(a)	54.0(ab)	54.2(ab)	*	11.95																				
0.34	pelet	N-NO ₃	25.0	32.7	29.8	32.3	30.9	n.s.	14.61																				
0.34	pelet	N-m	67.2(b)	84.6(a)	85.7(a)	86.2(a)	85.1(a)	*	10.97																				
0.34	pelet	pH	6.9	6.7	7.0	7.1	6.8	n.s.	2.18																				
0.34	pelet	CE	15.2(a)	13.4(ab)	13.3(ab)	13.2(ab)	11.0(b)	*	7.19																				
0.34	molido	N-NH ₄	32.6	55.7	46.9	46.7	47.7	n.s.	25.23																				
0.34	molido	N-NO ₃	22.8	27.8	29.1	32.2	25.5	n.s.	17.38																				
0.34	molido	N-m	55.3	83.5	76.0	78.9	73.2	n.s.	19.69																				
0.34	molido	pH	6.9(ab)	6.7(ab)	6.9(ab)	7.2(a)	6.6(b)	*	2.64																				
0.34	molido	CE	15.8(a)	13.4(b)	13.3(b)	13.0(b)	10.4(c)	***	3.88																				
0.34	MUSFO	N-NH ₄	97.8(a)	79.5(ab)	79.6(ab)	64.0(b)	70.9(b)	**	9.08																				
0.34	MUSFO	N-NO ₃	32.9	32.3	32.3	33.1	33.3	n.s.	17.89																				
0.34	MUSFO	N-m	130.8(a)	111.8(ab)	112.0(ab)	97.1(b)	104.2(b)	*	7.29																				
0.34	MUSFO	pH	6.6(b)	6.5(b)	7.0(a)	7.2(a)	7.2(a)	***	1.45																				
0.34	MUSFO	CE	17.8(a)	15.9(ab)	15.0(ab)	14.1(b)	13.2(b)	**	6.41																				
0.49	pelet	N-NH ₄	20.0	23.1	20.9	27.5	20.5	n.s.	19.81																				
0.49	pelet	N-NO ₃	17.7	21.2	21.7	18.4	17.5	n.s.	13.71																				
0.49	pelet	N-m	37.7	44.3	42.5	45.9	38.0	n.s.	12.30																				
0.49	pelet	pH	6.9(b)	6.7(b)	7.0(b)	7.5(a)	7.1(ab)	**	2.30																				
0.49	pelet	CE	15.0(a)	14.1(ab)	12.6(ab)	13.1(ab)	11.6(b)	*	7.34																				
0.49	molido	N-NH ₄	24.8	22.7	25.2	27.5	19.7	n.s.	12.83																				
0.49	molido	N-NO ₃	18.4	20.1	22.8	22.2	19.8	n.s.	15.93																				
0.49	molido	N-m	43.2	42.8	48.0	49.8	39.6	n.s.	10.98																				
0.49	molido	pH	7.0(bc)	6.8(c)	7.0(b)	7.4(a)	7.2(ab)	***	1.43																				
0.49	molido	CE	14.7	13.3	13.3	13.9	12.5	n.s.	8.05																				
0.49	MUSFO	N-NH ₄	37.5	32.8	32.0	31.0	28.0	n.s.	11.01																				
0.49	MUSFO	N-NO ₃	19.8	17.4	16.7	16.2	15.5	n.s.	12.42																				
0.49	MUSFO	N-m	57.3	50.2	48.8	47.2	43.4	n.s.	9.25																				
0.49	MUSFO	pH	7.1(ab)	6.4(b)	6.5(ab)	7.1(a)	6.8(ab)	*	4.00																				
0.49	MUSFO	CE	16.8 (a)	15.0 (ab)	14.4 (ab)	13.8 (ab)	12.4 (b)	*	7.29																				

Nota: CE = Conductividad eléctrica (dS m⁻¹)

La pérdida de iones en solución se debe a procesos de volatilización (Fenn & Hossner, 1985) y procesos de inmovilización-mineralización (Bergamasco et al., 2019; Florio et al., 2016; Truong & Marschner, 2018) y afecta directamente a la variable conductividad eléctrica del lixiviado.

En la tabla 12 se presentan las curvas de liberación acumuladas de nitrógeno amoniacal, nitrógeno nítrico y nitrógeno mineral de los dos fertilizantes órgano-minerales estudiados expresados en g kg^{-1} . Se observa que el nitrógeno mineral liberado a los cuarenta y un días de incubación por la presentación pelet para el OM-14 y el OM-7K es de 85.1 g kg^{-1} y 38 g kg^{-1} , respectivamente. Estos valores no se acercan a los de 106.1 g kg^{-1} y 68.9 g kg^{-1} , esperados.

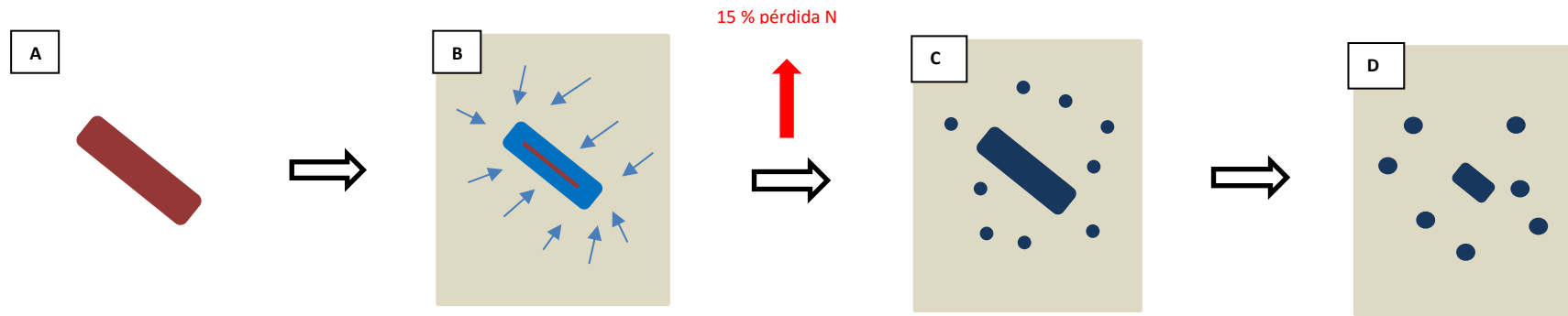


Figura 8. Proceso de liberación propuesto para el fertilizante órgano-mineral peletizado (OM).

Nota: A) OM con 6% de humedad gravimétrica. B) OM en el día cero recibiendo el ingreso de agua debido a estar inmerso un sustrato con 22 % Hg, liberando un 60 – 70% del nitrógeno mineral disponible, se crea un efecto de captura por máximo 24 horas. C) OM con 16 días de incubación manteniendo entre el 80 – 85 % del N mineral disponible, con una pérdida entre 10-15 % por volatilización. Sin proceso de inmovilización observable en pelet, nitrificación activa. D) OM con 41 días de incubación, proceso de inmovilización.

V. CONCLUSIONES

- El peletizado no tiene efecto sobre el porcentaje liberado de nitrógeno mineral y nitrógeno amoniacal en fertilizantes órgano-minerales en un suelo arenoso a 22 %Hg.
- Se ha comprobado un retraso de máximo veinticuatro horas en la liberación de un 15 % de nitrógeno mineral tanto en el estado pelet como el estado molido. Por ello, se demuestra que no es un efecto causado por el peletizado, sino por la fase orgánica presente en el OM.
- La fase orgánica presente en el fertilizante órgano-mineral redujo significativamente el nitrógeno amoniacal; además, aumento significativamente el nitrógeno nítrico.
- El aumento en la relación $N\text{-NO}_3\text{N-NH}_4^{-1}$ reduce significativamente el porcentaje de liberación de nitrógeno nítrico. Siendo el OM-14 el fertilizante que generó mayor cantidad de nitrógeno nítrico.

VI. RECOMENDACIONES

- A partir de los resultados de la presente investigación, el peletizado no es conveniente para generar lenta liberación en las condiciones ensayadas (arena cercana a la saturación). Con una mezcla física se lograría el mismo resultado con respecto a la variable liberación de nitrógeno mineral.
- Será necesario profundizar en el uso de impermeabilizantes que reduzcan la conductividad hidráulica del pelet. Por ejemplo, el uso de lignosulfonatos, cementantes, grasas de bajo punto de fusión, aditivos plásticos y/o harinas.
- Se debe estudiar el microbioma generado en la incubación de un fertilizante órgano-mineral para identificar a los organismos involucrados.
- Se debe continuar con el estudio de fertilizantes órgano-minerales con menor concentración de nitrógeno mineral, menor conductividad hidráulica y con una relación $N-NO_3N-NH_4^{-1}$ de 0.3 o menor. Evitando así la lixiviación y volatilización de nitrógeno mineral.
- Si se incorpora al suelo este fertilizante órgano-mineral en un momento de crecimiento exponencial del cultivo es posible que logre ser más eficiente que un fertilizante convencional debido al proceso de nitrificación presente.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi, M. K., & Khaliq, A. (2016). Nitrogen Mineralization of a Loam Soil Supplemented with Organic–Inorganic Amendments under Laboratory Incubation. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01038>
- Alemi, H., Kianmehr, M. H., & Borghaeae, A. M. (2010). Effect of Pellet Processing of Fertilizer on Slow-Release Nitrogen in Soil. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(2), 74-80. <https://doi.org/10.3923/ajps.2010.74.80>
- Alizadeh, P., Fallah, S., & Raiesi, F. (2012). Potential N mineralization and availability to irrigated maize in a calcareous soil amended with organic manures and urea under field conditions. *International Journal of Plant Production*, 6(4), 493-512. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.762>
- Al-Rawajfeh, A. E., Alrbaihat, M. R., & Alshamaileh, E. M. (2021). Chapter 4— Characteristics and types of slow- and controlled-release fertilizers. En F. B. Lewu, T. Volova, S. Thomas, & R. K.r. (Eds.), *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture* (pp. 57-78). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00004-2>
- Bazan, R. (2017). *Manual de procedimientos de los analisis de suelos y aguas con fines de riego* (Instituto Nacional de Innovación Agraria). INIA.
- Bergamasco, M. A. M., Braos, L. B., Guidini Lopes, I., & Cruz, M. C. P. (2019). Nitrogen mineralization and nitrification in two soils with different pH levels. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(22), 2873-2880. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1689250>
- Bortolin, A., Aouada, F. A., Mattoso, L. H. C., & Ribeiro, C. (2013). Nanocomposite PAAm/methyl cellulose/montmorillonite hydrogel: Evidence of synergistic effects for the slow release of fertilizers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(31), 7431-7439. <https://doi.org/10.1021/jf401273n>
- Bronson, K. F. (2008). Forms of inorganic nitrogen in soil. En *Nitrogen in Agricultural Systems* (pp. 31-55). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr49.c2>

- Cassman, K. G., Dobermann, A., & Walters, D. T. (2002). Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, *31*(2), 132-140. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.2.132>
- Chen, J., Fan, X., Zhang, L., Chen, X., Sun, S., & Sun, R.-C. (2020). Research progress in lignin-based slow/controlled release fertilizer. *ChemSusChem*, *13*(17), 4356-4366. <https://doi.org/10.1002/cssc.202000455>
- Congreves, K. A., Otchere, O., Ferland, D., Farzadfar, S., Williams, S., & Arcand, M. M. (2021). Nitrogen Use efficiency definitions of today and tomorrow. *Frontiers in Plant Science*, *12*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.637108>
- Dalias, P., & Christou, A. (2020). Nitrogen supplying capacity of animal manures to the soil in relation to the length of their storage. *Nitrogen*, *1*(1), 52-66. <https://doi.org/10.3390/nitrogen1010006>
- De Mendiburu, F. (2021). *Statistical Procedures for Agricultural Research*. <https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/agricolae.pdf>
- Delgado, J. A., Del Grosso, S. J., & Ogle, S. M. (2010). ¹⁵N isotopic crop residue cycling studies and modeling suggest that IPCC methodologies to assess residue contributions to N₂O-N emissions should be reevaluated. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *86*(3), 383-390. <https://doi.org/10.1007/s10705-009-9300-9>
- Dubey, H. D. (1968). Effect of soil moisture levels on nitrification. *Canadian Journal of Microbiology*, *14*(12), 1348-1350. <https://doi.org/10.1139/m68-226>
- Ecofi | European Organic-Based Fertilizer Industry Consortium. (s. f.). Recuperado 12 de marzo de 2021, de <http://www.ecofi.info/>, <http://www.ecofi.info/>
- El Sharkawi, H. M., Tojo, S., Chosa, T., Malhat, F. M., & Youssef, A. M. (2018). Biochar-ammonium phosphate as an uncoated-slow release fertilizer in sandy soil. *Biomass and Bioenergy*, *117*, 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.07.007>
- Eriksson, S., & Prior, M. (1990). The briquetting of agricultural wastes for fuel. *FAO Environment and Energy Paper*, No. 11. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19902446614>
- FAO. (2019). *State of food and agriculture 2019 (spanish edition): Moving forward on food loss and waste ... reduction*. FOOD & AGRICULTURE ORG.
- Fenn, L. B., & Hossner, L. R. (1985). Ammonia volatilization from ammonium or ammonium-forming nitrogen fertilizers. En B. A. Stewart (Ed.), *Advances in Soil Science* (Vol. 1, pp. 123-169). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5046-3_4

- Florio, A., Felici, B., Migliore, M., Dell'Abate, M. T., & Benedetti, A. (2016). Nitrogen losses, uptake and abundance of ammonia oxidizers in soil under mineral and organo-mineral fertilization regimes: Effects of mineral versus organo-mineral fertilizers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(7), 2440-2450. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7364>
- Ganetri, I., Essamlali, Y., Amadine, O., Danoun, K., Aboulhrouz, S., & Zahouily, M. (2021). Chapter 7—Controlling factors of slow or controlled-release fertilizers. En F. B. Lewu, T. Volova, S. Thomas, & R. K.r. (Eds.), *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture* (pp. 111-129). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00007-8>
- Goulding, K., Jarvis, S., & Whitmore, A. (2008). Optimizing nutrient management for farm systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 667-680. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2177>
- Guo, H., White, J. C., Wang, Z., & Xing, B. (2018). Nano-enabled fertilizers to control the release and use efficiency of nutrients. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 6, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.009>
- Hara, M. (2001). *Fertilizer pellets made from composted livestock manure*. 11.
- Herr, C., Mannheim, T., Müller, T., & Ruser, R. (2019). Effect of cattle slurry application techniques on N₂O and NH₃ emissions from a loamy soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182(6), 964-979. <https://doi.org/10.1002/jpln.201800376>
- Hirel, B., Tétu, T., Lea, P. J., & Dubois, F. (2011). Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. *Sustainability*, 3(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/su3091452>
- Kim, P., Hensley, D., & Labbé, N. (2014). Nutrient release from switchgrass-derived biochar pellets embedded with fertilizers. *Geoderma*, 232-234, 341-351. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.05.017>
- Klemetsson, L., Svensson, B. H., & Rosswall, T. (1988). Relationships between soil moisture content and nitrous oxide production during nitrification and denitrification. *Biology and Fertility of Soils*, 6(2). <https://doi.org/10.1007/BF00257658>
- Le, T. T. H., Fetting, J., & Meon, G. (2019). Kinetics and simulation of nitrification at various pH values of a polluted river in the tropics. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 19(1), 54-65. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.06.006>
- Li, G., Cheng, G., Lu, W., & Lu, D. (2021). Differences of yield and nitrogen use efficiency under different applications of slow release fertilizer in spring maize. *Journal of*

- Integrative Agriculture*, 20(2), 554-564. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63315-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63315-9)
- Li, Y., Chapman, S. J., Nicol, G. W., & Yao, H. (2018). Nitrification and nitrifiers in acidic soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 116, 290-301. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.10.023>
- Linn, D. M., & Doran, J. W. (1984). Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal*, 48(6), 1267-1272. <https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800060013x>
- López-Mosquera, M. E., Cabaleiro, F., Sainz, M. J., López-Fabal, A., & Carral, E. (2008). Fertilizing value of broiler litter: Effects of drying and pelletizing. *Bioresource Technology*, 99(13), 5626-5633. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.034>
- Lu, J., Hong, Y., Wei, Y., Gu, J.-D., Wu, J., Wang, Y., Ye, F., & Lin, J.-G. (2021). Nitrification mainly driven by ammonia-oxidizing bacteria and nitrite-oxidizing bacteria in an anammox-inoculated wastewater treatment system. *AMB Express*, 11(1), 158. <https://doi.org/10.1186/s13568-021-01321-6>
- Mao, H., Wang, K., Wang, Z., Peng, J., & Ren, N. (2020). Metabolic function, trophic mode, organics degradation ability and influence factor of bacterial and fungal communities in chicken manure composting. *Bioresource Technology*, 302, 122883. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122883>
- Mazeika, R., Staugaitis, G., & Baltrusaitis, J. (2016). Engineered pelletized organo-mineral fertilizers (OMF) from poultry manure, diammonium phosphate and potassium chloride. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(4), 2279-2285. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01748>
- McAllister, C. H., Beatty, P. H., & Good, A. G. (2012). Engineering nitrogen use efficient crop plants: The current status. *Plant Biotechnology Journal*, 10(9), 1011-1025. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2012.00700.x>
- Mulvaney, R. L., Khan, S. A., & Ellsworth, T. R. (2009). Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. *Journal of Environmental Quality*, 38(6), 2295-2314. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0527>
- Munoz-Hernandez, G., Domínguez-Domínguez, J., & Alvarado-Mancilla, O. (2006). An easy laboratory method for optimizing the parameters for the mechanical densification process: An evaluation with an extruder. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal*, VIII(Agricultural Engineering International), 20.

- Nielsen, T. H., & Revsbech, N. P. (1998). Nitrification, denitrification, and N-liberation associated with two types of organic hot-spots in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(5), 611-619. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00211-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00211-3)
- Oenema, O., Brentrup, F., Lammel, J., & Bascou, P. (2016). Nitrogen Use Efficiency (NUE): Guidance Document for assessing NUE at farm level. *Wageningen University*. <http://www.eunep.com/wp-content/uploads/2019/09/NUE-Guidance-Document.pdf>
- Olk, D. C. (2008). Organic Forms of Soil Nitrogen. En *Nitrogen in Agricultural Systems* (pp. 57-100). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr49.c3>
- Ozlu, E., & Kumar, S. (2018). Response of soil organic carbon, pH, electrical conductivity, and water stable aggregates to long-term annual manure and inorganic fertilizer. *Soil Science Society of America Journal*, 82(5), 1243-1251. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.02.0082>
- Pare & Allaire. (2010). Improving physical properties of organo-mineral fertilizers: substitution of peat by pig slurry composts. *Applied Engineering in Agriculture*, 26(3), 447-454. <https://doi.org/10.13031/2013.29945>
- Pelster, D. E., Watt, D., Strachan, I. B., Rochette, P., Bertrand, N., & Chantigny, M. H. (2019). Effects of initial soil moisture, clod size, and clay content on ammonia volatilization after subsurface band application of urea. *Journal of Environmental Quality*, 48(3), 549-558. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.09.0344>
- Puga, A. P., Grutzmacher, P., Cerri, C. E. P., Ribeirinho, V. S., & Andrade, C. A. de. (2020). Biochar-based nitrogen fertilizers: Greenhouse gas emissions, use efficiency, and maize yield in tropical soils. *Science of The Total Environment*, 704, 135375. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135375>
- Purnomo, C. W., Indarti, S., Wulandari, C., Hinode, H., & Nakasaki, K. (2017). Slow release fertiliser production from poultry manure. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 1531-1536. <https://doi.org/10.3303/CET1756256>
- Purnomo, C. W., Respito, A., Sitanggang, E. P., & Mulyono, P. (2018). Slow release fertilizer preparation from sugar cane industrial waste. *Environmental Technology & Innovation*, 10, 275-280. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.02.010>
- Purnomo, C. W., & Saputra, H. (2021). Chapter 6—Manufacturing of slow and controlled release fertilizer. En F. B. Lewu, T. Volova, S. Thomas, & R. K.r. (Eds.), *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture* (pp. 95-110). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00006-6>

- R Core Team. (2022). *R: The R Project for Statistical Computing* [Software]. <https://www.r-project.org/>
- Sahrawat, K. L. (2008). Factors affecting nitrification in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(9-10), 1436-1446. <https://doi.org/10.1080/00103620802004235>
- Shaviv, A., & Mikkelsen, R. L. (1993). Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation- A review. *Fertilizer Research*, 35(1-2), 13-24. <https://doi.org/10.1007/BF00750216>
- Singh, A., Kumar, A., Jaswal, A., Singh, M., & Gaikwad, D. S. (2018). *Nutrient use efficiency concept and interventions for improving nitrogen use efficiency*. 9.
- Sistani, K. R., Adeli, A., McGowen, S. L., Tewolde, H., & Brink, G. E. (2008). Laboratory and field evaluation of broiler litter nitrogen mineralization. *Bioresource Technology*, 99(7), 2603-2611. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.069>
- Smil, V. (1999). Nitrogen in crop production: An account of global flows. *Global Biogeochemical Cycles*, 13(2), 647-662. <https://doi.org/10.1029/1999GB900015>
- Subbarao, G. V., Ito, O., Sahrawat, K. L., Berry, W. L., Nakahara, K., Ishikawa, T., Watanabe, T., Suenaga, K., Rondon, M., & Rao, I. M. (2006). Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems—Challenges and opportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(4), 303-335. <https://doi.org/10.1080/07352680600794232>
- Swelum, A. A., El-Saadony, M. T., Abd El-Hack, M. E., Abo Ghanima, M. M., Shukry, M., Alhotan, R. A., Hussein, E. O. S., Suliman, G. M., Ba-Awadh, H., Ammari, A. A., Taha, A. E., & El-Tarabily, K. A. (2021). Ammonia emissions in poultry houses and microbial nitrification as a promising reduction strategy. *Science of The Total Environment*, 781, 146978. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146978>
- Teutscherova, N., Houška, J., Navas, M., Masaguer, A., Benito, M., & Vazquez, E. (2018). Leaching of ammonium and nitrate from Acrisol and Calcisol amended with holm oak biochar: A column study. *Geoderma*, 323, 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.004>
- Trenkel, M. E. (2010). *Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture* (2nd ed). International fertilizer industry association (IFA).
- Truong, T. H. H., & Marschner, P. (2018). Respiration, available N and microbial biomass N in soil amended with mixes of organic materials differing in C/N ratio and

- decomposition stage. *Geoderma*, 319, 167-174.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.012>
- Wang, J., Tu, X., Zhang, H., Cui, J., Ni, K., Chen, J., Cheng, Y., Zhang, J., & Chang, S. X. (2020). Effects of ammonium-based nitrogen addition on soil nitrification and nitrogen gas emissions depend on fertilizer-induced changes in pH in a tea plantation soil. *Science of The Total Environment*, 747, 141340.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141340>
- Wickham, H., Chang, W., & Henry, L. (2021). *Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics*. <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/ggplot2.pdf>
- Wild, P. L., Kessel, C. van, Lundberg, J., & Linqvist, B. A. (2011). Nitrogen availability from poultry litter and pelletized organic amendments for organic rice production. *Agronomy Journal*, 103(4), 1284-1291. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0005>
- Yang, L., Zhu, G., Ju, X., & Liu, R. (2021). How nitrification-related N₂O is associated with soil ammonia oxidizers in two contrasting soils in China? *Science of the Total Environment*, 770, 143212. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143212>
- Zebarth, B. J., Chabot, R., Coulombe, J., Simard, R. R., Douheret, J., & Tremblay, N. (2011). Pelletized organo-mineral fertilizer product as a nitrogen source for potato production. *Canadian Journal of Soil Science*. <https://doi.org/10.4141/S04-071>

VIII. ANEXOS

Anexo N° 1. Análisis de laboratorio.

A- OM-14.



SOLICITANTE : ABONOS VIVOS SAC
PREDIO : ABONOS VIVOS SAC
MATRIZ : FERTILIZANTE SOLIDO

ANÁLISIS N° : 586-1DEOS -2021
LUGAR : CHINCHA
FECHA DE RECEP. 31/05/2021

INFORME DE ANÁLISIS ENMIENDA ORGANICA SÓLIDA - ESPECIAL

MUESTRA : MUESTRA N° 01

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Nitrógeno Total (N)	10.61	%	NTP 311.011 - 2010	Kjeldahl
Fósforo Total (P ₂ O ₅)	3.60	%	NTP 311.528 - 2011	Colorimétrico
Potasio Total (K ₂ O)	3.72	%	NTP 311.532 - 2012	FAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

Donde :

% Masa / Masa

NTP: Norma Técnica Peruana.

FAAS: Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

NOTA:

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular
Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú
Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563
Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

B- OM-7.



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : ABONOS VIVOS SAC

ANÁLISIS N° : 218-01EOS -2022

PREDIO : ABONOS VIVOS SAC

LUGAR : LIMA

MATRIZ : FERTILIZANTE SÓLIDO

FECHA DE RECEP. : 09-02-2022

INFORME DE ANÁLISIS DE ENMIENDA ORGÁNICA SÓLIDA - NUTRICIONAL
MUESTRA : MUESTRA N° 01. 7-7-19

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
pH a T = 24.5 °C (E.S)	7.55		MEOS - 001	Electrométrico
Conductividad Eléctrica a 25 °C.(E.S.)	302.00	dS/m	MEOS - 002	Electrométrico
Carbonato de Calcio	6.16	%	MEOS - 003	Gravimétrico
Humedad	9.28	%	MEOS - 004	Gravimétrico
Materia Orgánica	41.57	%	MEOS - 005	Gravimétrico
Carbono Orgánico	24.11	%		
Cenizas Totales	41.95	%	MEOS - 006	Gravimétrico
Impurezas	1.04	%	MEOS - 007	Gravimétrico
Nitrógeno Total (N _T)	6.89	%	MEOS - 008	Dumas
Fósforo Total (P ₂ O ₅)	3.96	%	MEOS - 009	Colorimétrico
Potasio Total (K ₂ O)	15.30	%	MEOS - 010	FAAS
Calcio Total (CaO)	4.23	%	MEOS - 011	FAAS
Magnesio Total (MgO)	0.72	%	MEOS - 012	FAAS
Azufre Total (S)	0.27	%	MEOS - 013	Turbidimétrico
Sodio Total (Na)	0.71	%	MEOS - 014	FAAS
Cloro Total (Cl)	5.80	%	MEOS - 015	Argentométrico
Cobre Total (Cu)	22.95	ppm	MEOS - 016	FAAS
Zinc Total (Zn)	344.50	ppm	MEOS - 017	FAAS
Manganeso Total (Mn)	356.50	ppm	MEOS - 018	FAAS
Hierro Total (Fe)	1062.00	ppm	MEOS - 019	FAAS
Boro Total (B)	62.00	ppm	MEOS - 020	Colorimétrico
C / N	3.50			

Los resultados están expresados en muestra original.

DONDE:

% : Masa / Masa

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

ppm : mg / Kg

MEOS : Método Propio del Laboratorio.

(E.S) : Extracto de Saturación

NOTA:

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2251 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

C- Análisis de guano de gallina ponedora seco.



INFORME DE ENSAYO N° 210011269/2021

Razón social: GRUPO ALIMENTA SAC **RUC:** 20600458630
Domicilio legal: MZA N1 LOTE. 7 URB. LOS HUERTOS DE VILLA (AV ALAMEDA LOS HORIZONTES MZ N1 LT7) LIMA - LIMA - CHORRILLOS **CMA:** CMA5930/2021

Producto declarado: ESTIERCOL DE GALLINA / MOE
Número de Muestras: 01
Presentación: Envase sellado / Una (01) unidad de 1.7kg aprox.
Procedencia: No Aplica
Condición de la muestra: Temperatura Ambiente
Muestreado por: El cliente
Procedimiento de muestreo: No Aplica
Plan de muestreo: No Aplica
Fecha y hora de muestreo: No Aplica
Coordenadas: No Aplica
Punto de muestreo: No Aplica
Fecha de recepción de la muestra: 02/12/2021
Código de Laboratorio: 210011269
Fecha de inicio de análisis: 02/12/2021
Fecha de término de análisis: 13/12/2021
Fecha de emisión: 17/12/2021

Página 1 de 3

Físico Químicos			
Análisis	LCM	Unidad	Resultados
Potasio (K2O)	0,01	%	4,00
Nitrogeno (N)	0,01	%	1,08
pH	0,01	Unidad de pH	8,34
Conductividad Eléctrica (C.E.)	0,01	uS/cm	15.270,00
Fósforo (P2O5)	0,01	%	4,88
Materia orgánica	0,01	%	26,78
Magnesio (MgO) Total	0,01	%	1,33

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE UN DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de PACIFIC CONTROL CMA S.A.C. Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado de sistemas de calidad de la entidad que lo produce.
FR-13-15-01 / V02, 2020.10.10

Our general term and conditions are available in full www.pacificcontrol.us or at your request
Offices, Resident Inspectors, Joint Ventureships, and Representatives throughout the world

TIC Council is an international association representing independent testing, inspection and certification companies.



Pacific Control, Calidad y Medio ambiente
Laboratorios y certificaciones

Phone central: (+511) 660 2323
Panamericana Sur Km 23.5- Santa Rosa de Llanavilla Mz Q Lote 07 y 08 - Villa el Salvador

JE/CYP/CYP

Físico Químicos			
Análisis	LCM	Unidad	Resultados
Humedad	0,01	%	21,14
Relación Carbono Nitrógeno (C/N)	---	---	14
Sensoriales			
Análisis	LCM	Unidad	Resultados
Olor	---	---	Característico, exento de olores extraños.
Color	---	---	Característico del producto, marrón.

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

Tipo de análisis	Norma de Referencia
Potasio (K ₂ O)	BC-CMA-471 Determinación de Potasio (K ₂ O) Total
Nitrogeno (N)	Nitrogen Determination in Nitrate Containing Fertilizers according to AOAC 955.04-D (Kjeldahl Method) – Block Digestion.
pH	EPA Method 9045 D. Rev. 4 2004 Soil and Waste pH
Conductividad Eléctrica (C.E.)	ISO 11265: SOIL QUALITY: DETERMINATION OF THE SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTIVITY. 1994
Fósforo (P ₂ O ₅)	Método de Olsen Modificado, Extracto NaHCO ₃ 0.5M, pH 8.5
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Magnesio (MgO) Total	BC-CMA-463 Determinación de Magnesio (MgO) Total
Humedad	Loss on drying (vol.4) Not more than 1.5 % (105°C, 4h) JECFA (1996)
Relación Carbono Nitrógeno (C/N)	BC-CMA-403 Determinación relación Carbono/nitrógeno para abonos y fertilizantes.
Olor	NTP-ISO 4121:2008 (Revisada el 2014). ANALISIS SENSORIAL. Directrices para la utilización de escalas de respuestas cuantitativas.
Color	NTP-ISO 4121:2008 (Revisada el 2014). ANALISIS SENSORIAL. Directrices para la utilización de escalas de respuestas cuantitativas.

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE UN DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de PACIFIC CONTROL CMA S.A.C. Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado de sistemas de calidad de la entidad que lo produce.
FR-13-15-01 / V02, 2020.10.10

Our general term and conditions are available in full www.pacificcontrol.us or at your request
Offices, Resident Inspectors, Joint Ventureships, and Representatives throughout the world

TIC Council is an international association representing independent testing, inspection and certification companies.



Pacific Control, Calidad y Medio ambiente
Laboratorios y certificaciones

Phone central: (+511) 660 2323

Panamericana Sur Km 23.5- Santa Rosa de Llanavilla Mz Q Lote 07 y 08 - Villa el Salvador

JE/CYP/CYP

Observaciones

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió


 **Quim. Celino Yahuana Palacios**
Gerente de Laboratorio
PACIFIC CONTROL CMA SAC 

FIN DE DOCUMENTO

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE UN DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de PACIFIC CONTROL CMA S.A.C. Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado de sistemas de calidad de la entidad que lo produce.
FR-13-15-01 / V02, 2020.10.10

Our general term and conditions are available in full www.pacificcontrol.us or at your request
Offices, Resident Inspectors, Joint Ventureships, and Representatives throughout os the world

TIC Council is an international association representing independent testing, inspection and certification companies.



Pacific Control, Calidad y Medio ambiente
Laboratorios y certificaciones

Phone central: (+511) 660 2323
Panamericana Sur Km 23.5- Santa Rosa de Llanavilla Mz Q Lote 07 y 08 - Villa el Salvador

JE/CYP/CYP