

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo
Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación
**Evaluación del potencial de la estruvita como fertilizante fosforado en
el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris*)**

Estudiante

Katherine Alexandra Castañeda Henríquez

Asesores

Victoria Alejandra Cortés Matamoros, D.C.A.

Iveth Yassmin Rodriguez, M.Sc.

Honduras, agosto 2023

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ERIKA TENORIO MONCADA

Directora Departamento Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos por su invaluable colaboración en mi investigación. Les agradezco por prestarme las instalaciones necesarias para llevar a cabo la parte experimental de campo de mi tesis. Además, quiero agradecerles por brindarme capacitaciones en el manejo del cultivo de frijol, su seguimiento y apoyo, lo cual me permitió llevar a cabo mi investigación de manera más efectiva. Sin su colaboración, este trabajo no hubiera sido posible.

Contenido

Agradecimientos	3
Índice de cuadros	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos	13
Ubicación del Estudio.....	13
Recuperación de Estruvita y Caracterización.....	13
Cálculo de Fertilización: Dosis y Frecuencia de Aplicación	15
Establecimiento del Cultivo	16
Prácticas Culturales y de Mantenimiento	16
Producción de Biomasa y Rendimiento del Cultivo	17
Diseño Experimental	17
Estimación de la Pérdida de Fósforo en Lixiviados	19
Resultados y Discusión.....	20
Precipitación de Estruvita y Análisis de Caracterización.....	20
Productividad de la Biomasa y Rendimiento del Cultivo	21
Pérdida de Fósforo en Lixiviados	26
Conclusiones	29
Recomendaciones.....	30
Referencias.....	31
Anexos.....	34

Índice de cuadros

Cuadro 1 Composición química de las soluciones	14
Cuadro 2 Plan de fertilización	15
Cuadro 3 Separación de medias del peso seco (prueba Duncan).....	25

Índice de Figuras

Figura 1 Arreglo factorial de los tratamientos	18
Figura 2 Diferencia de rendimientos de estruvita por litro tratado	20
Figura 3 Peso a 100 semillas según tratamiento	23
Figura 4 Rendimientos de Kg de frijol por hectárea	24
Figura 5 Peso seco de biomasa por tratamiento	26
Figura 6 Curva de lixiviación de fósforo	27
Figura 7 Curva de pérdida de P por tratamiento	28

Índice de Anexos

Anexo A Sitio de recolección del agua residual	34
Anexo B Proceso de mezcla del agua residual junto con los reactivos.....	35
Anexo C Estruvita precipitada después de 24 h.....	36
Anexo D Conserva de cada muestra de estruvita en placas Petri	37
Anexo E Maceteros con recolector de lixiviados / día de siembra y fertilización	38
Anexo F Diferencia de color en estruvita.....	39
Anexo G Germinación homogénea de las plántulas.....	40
Anexo H Disminución en el desarrollo vegetal del T1.	41
Anexo I Afección en plantas aledañas al experimento	42
Anexo J Resultado del análisis de suelos	43

Resumen

La economía circular es un modelo de producción y consumo que promueve estrategias para el aprovechamiento eficiente de los recursos. En este marco de acción, la implementación de tratamientos para la recuperación de nutrientes como fósforo y nitrógeno a partir de las aguas residuales del sector agrario, se presenta como una alternativa para suplir la demanda de fertilizante. El presente estudio evaluó la eficiencia en recuperación de estruvita a partir de agua residual de la Unidad de Ganado Porcino de Zamorano, para su posterior aplicación en frijol común (*Phaseolus vulgaris*) bajo condiciones semicontroladas. La estruvita se comparó frente a un fertilizante fosfatado convencional, el fosfato diamónico (DAP). Se aplicaron concentraciones equivalentes de fósforo para todos los tratamientos según el requerimiento del cultivo. Dos de los tratamientos fueron fertilizaciones mezcladas de estruvita y DAP (70 - 30 y 30 - 70) en adición a la fertilización con 100% de estruvita y DAP por separado. Las variables productivas evaluadas en el cultivo fueron el rendimiento del cultivo medido en gramos de frijol/planta, el peso a 100 semillas y el peso seco de la biomasa a punto de madurez fisiológica. También, se evaluó el potencial de lixiviación de fósforo en el suelo a través de la recolección periódica de agua lixiviada por tratamiento. Como resultado, no se encontraron diferencias significativas entre el peso de la biomasa del control positivo y los tratamientos donde se mezclaron ambos fertilizantes. De forma descriptiva se asocia la fertilización con estruvita a pesos más altos en semillas, un aumento de 34% del peso de frijol por hectárea productiva y hasta cinco veces más bajos los niveles de lixiviación de P acumulado en agua. En conclusión, la fertilización con estruvita es una alternativa con aprovechamiento potencial en el área agrícola y a su vez es parte de la cadena de tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Aguas residuales, lixiviación de nutrientes, sistema agroalimentario, recuperación de nutrientes

Abstract

The circular economy is a production and consumption model that promotes strategies for the efficient use of resources. Within this framework of action, the implementation of treatments for the recovery of nutrients such as phosphorus and nitrogen from agricultural wastewater is presented as an alternative to meet the demand for fertilizer. The present study evaluated the efficiency of struvite recovery from wastewater from the Zamorano Swine Unit for subsequent application to common bean (*Phaseolus vulgaris*) under semi-controlled conditions. Struvite was compared with a conventional phosphate fertilizer, diammonium phosphate (DAP). Equivalent phosphorus concentrations were applied for all treatments according to crop requirement. Two of the treatments were mixed fertilizations of struvite and DAP (70 - 30 and 30 - 70) to evaluate the full potential of struvite in addition to 100% struvite and DAP treatments. The productive variables evaluated in the crop were crop yield measured in g of beans/plant, weight at 100 seeds and dry weight of biomass at physiological maturity. Phosphorus leaching potential in the soil was also evaluated through periodic collection of leached water per treatment. As a result, no significant differences were found between the biomass weight of the positive control and the treatments that mixed both fertilizers. Descriptively, struvite fertilization is associated with higher seed weights, a 34% increase in bean weight per productive hectare and up to five times lower levels of leaching of accumulated P in water. In conclusion, struvite fertilization is an alternative with potential use in the agricultural area, which in turn is part of the wastewater treatment chain.

Keywords: Agri-food system, nutrient leaching, nutrient recovery, wastewater

Introducción

El modelo actual de producción de alimentos arrastra múltiples consecuencias que generan un impacto negativo y mantienen elevado el número de personas en situación de inseguridad alimentaria a nivel mundial. Parte de la problemática se atribuye al acaparamiento de extensiones territoriales, la desvalorización de la agricultura, contaminación de aguas subterráneas y pérdida de la biodiversidad (Soares et al., 2020). La agricultura industrial se posiciona como el mayor generador de contaminación debido al uso intensivo de combustibles fósiles para fertilización y conservación de los alimentos (Zaldumbide et al., 2017).

La adopción de tecnologías y políticas apropiadas es fundamental para promover sistemas productivos sostenibles y optimizar el uso de los recursos (Barretto et al., 2013). Por ejemplo, la implementación de la economía circular, que tiene como objetivo la creación de valor a partir de los desechos generados, gracias a la transformación de los sistemas que producen y consumen recursos. La valorización de residuos y la recuperación de sus componentes, como los nutrientes, se enmarca dentro de los modelos comerciales circulares y representa una alternativa ante la escasez de insumos agrícolas (Camacho-Otero y Boks, C. y Pettersen, I., 2018).

Por otra parte, el aumento previsto de la fertilización sintética es insuficiente para generar un aumento proporcional de la producción agrícola global en el futuro (Carrascosa y Molina, 2022). Los fertilizantes representan un insumo indispensable para la producción de alimentos, sin embargo, la oferta y demanda se asocia a limitantes como la disponibilidad de la materia, generando fluctuaciones en el precio (Chávez-Díaz et al., 2020). El consumo de roca fosfórica, el cual es un recurso finito, sobrepasa el millón de toneladas anuales solo para fertilizante (Kumar y Unki, A. y Balaji, T., 2019). Mundialmente, la demanda de fósforo (P) está aumentando un 1.5% al año y su extracción actual acabará con las reservas en los próximos 90 -300 años (Reza et al., 2019).

En Honduras, durante el año 2020, se importaron más de 33,456 toneladas de P (FAOSTAT, 2023). Este nutriente sostiene la demanda creciente de producción agrícola al ser uno de los

elementos limitantes en el suelo afectando la calidad de los cultivos (Valle et al., 2022). Sin embargo, las dosis aplicadas generan problemas de residualidad y contaminación, influyendo en procesos de eutrofización en cuerpos de agua (Fernández, 2011).

Entre las metodologías aplicadas para la recuperación de P, está la precipitación de estruvita ($\text{Mg.NH}_4.\text{PO}_4.6\text{H}_2\text{O}$), que remueve el amonio y el fosfato de aguas residuales para reutilizarse en la agricultura (Campos et al., 2019). El proceso tiene como ventaja la reducción de fosfatos y nitratos del agua residual previo a su desembocadura en mantos acuíferos. Además del contenido en fósforo (P) y nitrógeno (N), la estruvita aporta Magnesio (Mg) que contribuye a la fertilidad del suelo. Asimismo, es un fertilizante concentrado, granulado, sin olores y de liberación lenta (Kumar y Unki, A. y Balaji, T., 2019).

Luego de recolectar el precipitado, este puede procesarse en forma de pellets o polvo, para posterior empaque y comercialización. Existen experiencias alentadoras con respecto a este producto, como la descrita por Aarhusvand (2022), que expone la producción en Dinamarca, donde se asociaron plantas de tratamiento de aguas residuales con desarrolladores de estruvita, teniendo ahora un potencial de exportación de EUR 1.600 millones en fertilizante de alta calidad. La dosificación de la estruvita viene dada por las patentes debido a que debe pasar por un proceso de caracterización.

En la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, se demostró el potencial de recuperación de estruvita a través de distintas fuentes primarias. Según Zapata (2022), bajo condiciones controladas de laboratorio, la eficiencia de remoción de P es mayor al 80% luego de obtener hasta 340 mg de estruvita por cada litro de agua residual proveniente del efluente de digestión anaerobia ubicado en la Unidad de Ganado Porcino. Al considerar el volumen de agua residual generado, se podría recuperar hasta 4,548 g de estruvita diarios representando así un potencial de aprovechamiento para el sector agrícola.

El proceso de producción de estruvita genera menos contaminación al ambiente por metales pesados y además genera una respuesta positiva de absorción de P en los cultivos. Existen estudios

que aseguran que la estruvita tiene una eficiencia agronómica mayor que el fertilizante convencional cuando se evalúa la adsorción de fósforo y generación de biomasa en maíz y pastos (Antonini et al., 2012). Asimismo, en el 2021 se ejecutó un estudio para comparar la fertilización con estruvita y un fertilizante mineral (KPO_4H_2) en frijol común (*Phaseolus vulgaris*) bajo un sistema hidropónico. Los resultados destacaron que el tratamiento con estruvita obtuvo mejores rendimientos en cosecha, reportando un incremento del 25% del peso en gramos de frijol por cada planta cuando se comparó con el tratamiento de fertilizante químico convencional (Arcas-Pilz et al., 2021).

En este contexto, la presente investigación evalúa el potencial de la estruvita recuperada a partir de agua residual de la Unidad de Ganado Porcino, como fertilizante fosforado en la agricultura a partir de los siguientes objetivos específicos: Evaluar el rendimiento del cultivo de frijol a partir de la dosificación de fósforo suplida por estruvita recuperada del efluente en la Unidad de Ganado Porcino en comparación con fosfato diamónico (DAP) y comparar la pérdida de fósforo por lixiviación asociada a procesos de fertilización convencional y con estruvita.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

El estudio se desarrolló dentro de las instalaciones de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras. Los ensayos de laboratorio se ejecutaron en el Departamento de Ambiente y Desarrollo durante los meses de enero a julio. La experimentación en campo fue conducida en las instalaciones de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC), en el Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria desde el mes de marzo hasta junio. La temperatura media durante el crecimiento del cultivo fue de 30 °C y una precipitación anual promedio de 1,100 mm. Para cumplir con los objetivos planteados, primero se realizó la recuperación del fósforo en forma de estruvita y posteriormente se realizaron las labores de campo, muestreo y cosecha.

Recuperación de Estruvita y Caracterización

Tomando como base los resultados obtenidos por Zapata (2022), se seleccionó el efluente del biodigestor en la Unidad de Ganado Porcino de Zamorano, que funciona como tratamiento primario de los purines (Anexo A). En depósitos rotulados de 20 L las muestras del efluente fueron trasladados al laboratorio del Departamento de Ambiente y Desarrollo. El agua se dejó reposar 24 horas para que los sólidos sedimentables precipitarán y posteriormente se filtró con ayuda de mantas desechables. Se realizó la recolección de cuatro lotes para un volumen total de 320 L.

La metodología a utilizar se obtuvo del protocolo propuesto por Zapata (2022), quien recolectó información sobre las condiciones de la muestra y las soluciones requeridas para el proceso de precipitación. Para la formación de estruvita es necesario establecer una cantidad equimolar de Mg^{2+} , NH_4^+ y PO_4^{3-} . Generalmente el contenido de magnesio en digestatos anaerobios es menor que el de fósforo y amonio, por tanto, para maximizar la eficiencia de recuperación de fósforo es necesario agregar Mg^{2+} (Sheets et al., 2015). Se debe tomar en cuenta el pH, debido a que este factor puede limitar la solubilidad de la estruvita producida (Gonzales, 2012). Este valor debe ser mayor a 5.5 para

evitar su dilución durante el proceso de precipitación y, según el protocolo a seguir, para este estudio se mantuvo la solución en 9.6.

El Cuadro 1 describe las soluciones para el control de la relación Mg/P y el ajuste de pH. Los pasos por seguir son la adición de la solución para controlar la relación molar Mg/P, a través de probetas, junto con 6 L del agua residual depositados en una botella para soluciones con capacidad de 9 L. Posteriormente, se requirió agitación mecánica a 400 RPM por 5 segundos, para lo cual se utilizó el equipo “Stir-Pak” 04555-00® (Anexo B). A través de otra probeta, se añadió la solución para control de pH con una agitación constante de 300 RPM. Transcurridas 3 horas se suspendió la agitación y se dejó en reposo 24 horas para la sedimentación del cristal (Anexo C). Por último, se decantó la muestra y se depositó el agua más cargada sobre filtros de papel que permitieron la adsorción y evaporación del agua a temperatura ambiente dejando el producto seco y en forma de polvo. No se utilizan temperaturas altas para este procedimiento debido a la influencia que tiene el calor sobre la modificación de la estructura natural de la estruvita (Pastor, 2008).

Cuadro 1

Composición química de las soluciones

Soluciones preparadas	Composición
Solución para control de pH	NaOH 6N
Solución para control de Mg/P	7.2 g de MgCl ₂ •6H ₂ O / L

Los cristales obtenidos se depositaron en platos Petri para su pesado y almacenamiento a temperatura ambiente (Anexo D). Debido a la mayor cantidad de agua residual se realizó un ajuste en la concentración de la solución para control de pH utilizada en el protocolo de Zapata (2022). Por cada seis litros de agua residual, tratada por ensayo, se adicionó 50 ml de NaOH 6N y 1.5 L de la solución de MgCl₂•6H₂O.

Según las estimaciones, se debía producir un total de 151.21 g de estruvita para iniciar la experimentación de campo. Basándose en los resultados de Zapata (2022), donde se obtienen 909.6 g de estruvita por m³ de agua descartada por el digestato, se debía de tratar 166.23 L. La muestra

compuesta obtenida de estruvita fue estudiada en el Laboratorio de Suelos para caracterizar su composición química y así estimar su aporte de P.

Cálculo de Fertilización: Dosis y Frecuencia de Aplicación

A partir de los resultados de la caracterización del suelo y la concentración promedio de nutrientes en el fertilizante químico utilizado por el pequeño agricultor en Honduras, se realizó el cálculo con respecto a los gramos de fertilizante a adicionar por unidad experimental (U.E). La fertilización rutinaria de frijol para pequeños agricultores es de 200 lb/ha de DAP (18-46-0) al momento de la siembra y 100 lb/ha de Urea (46-0-0) entre los días 25 y 30 del ciclo (Segura, 2010). La cantidad de gramos de fertilizante por planta se tuvo que aplicar de acuerdo con el rendimiento promedio de frijol por hectárea según la densidad de siembra en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (EAP).

A una densidad de siembra de 200,000 plantas por hectárea, se calculó un total de 0.227 y 0.454 g de Urea y DAP, respectivamente, por plántula. Para cumplir con la fertilización total de 100 semillas germinadas se necesitó un total de 45.4 g de DAP y 22.7 g de Urea. De esa manera, la cantidad de fertilizante necesario para la fertilización del ensayo experimental en cada tratamiento y etapa de fertilización se detalla en el Cuadro 2.

Cuadro 2

Plan de fertilización

Tratamientos	Etapa 1: siembra			Etapa 2: 25 días
	Estruvita	DAP	Urea	Urea
(A)	74.6	0	24.7	22.7
(B)	0	45.4	0	22.7
(C)	22.4	31.9	2.9	22.7
(D)	52.21	13.62	6.8	22.7
(E)	0	0	0	0
TOTAL (g)	151.21	90.92	34.4	90.8

Establecimiento del Cultivo

Con el fin de brindar homogeneidad al estudio, se trabajó con el mismo suelo para todos los tratamientos. Este se recolectó en el lote #4, ubicado en La Vega, el cual se caracteriza por presentar una baja fertilidad. Se realizó una mezcla de dos partes de suelo y una parte de arena, con la finalidad de acrecentar la textura arenosa. Se hace notar que la arcilla del suelo puede afectar los datos de los lixiviados debido al incremento en la fijación de fósforo (Lara y Jurado, 2014). Finalizada la mezcla se tomaron cinco submuestras que fueron homogenizadas para la realización de un estudio químico del suelo en el Laboratorio de Suelos.

La evaluación se realizó en base al cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), específicamente con la variedad, "Amadeus 77", siendo esta la variedad de frijol rojo más cultivada y de mayor impacto económico y social en América Central. Las semillas utilizadas, presentan resistencia a la enfermedad del Virus del Mosaico Dorado Amarillo del Frijol (VMDAF), tolerancia al calor y buena adaptación a la diversidad de ambientes (Reyes et al., 2012).

Dentro de una de las estructuras protegidas (casa malla), se dispusieron 50 maceteros con capacidad de 4 lb de sustrato cada uno, dichos maceteros fueron lavados, desinfectados con cloro y secados al sol, previo a su utilización. Estos maceteros se rellenaron con el suelo cosechado y se colocaron tres semillas por macetero para evitar la pérdida de unidades experimentales por falta de germinación. La siembra se realizó el 16 de marzo y la primera fertilización se hizo 5 días después para asegurar el aprovechamiento de los elementos solo por parte de dos plántulas germinadas por macetero (Anexos E y G).

Prácticas Culturales y de Mantenimiento

El riego fue suministrado diariamente con manguera y un adaptador para regular la presión de salida del agua. En este caso, para asimilar las condiciones de riego de los experimentales de la UIDC, se tomó como referencia la cantidad de agua que se le proporcionaba a las plantaciones de frijol ya instaladas dentro de la estructura protegida donde se desarrolló el cultivo. Es decir, un aproximado

de 1.5 L de agua diarios. En los días de fertilización se humedeció el suelo antes y después de la aplicación. Semanalmente se realizó manualmente un control de malezas y se tutoraron las plántulas al día 16 y 30 posterior a la siembra. A los 30 días del ciclo, se registró la incidencia de mosca blanca por lo cual se hizo una aplicación de un producto químico comercial con el principio activo: "Pyriproxyfen" 10% EC.

Producción de Biomasa y Rendimiento del Cultivo

En la etapa de madurez fisiológica, al día 59 del ciclo, se retiró una plántula de cada macetero para realizar las pruebas de biomasa. Estas corresponden al corte desde la base del tallo, luego se colocaron dentro de papel aluminio, que posteriormente se sometieron a un proceso de secado en horno a 70 °C durante 48 horas. Se registró el peso de la biomasa utilizando una balanza analítica con precisión de 0.001 g (Tello, 2018).

Pasados 70 días, se cosechó el frijol y se dividieron los granos según el tratamiento que tuvieron. Se realizó un secado natural al sol durante 12 días para reducir el porcentaje de humedad. Posteriormente, se contabilizaron 100 semillas al azar por cada tratamiento y se pesaron para generar los datos a analizar (Acosta-Díaz et al., 2004). Para el rendimiento de kg por hectárea, se hizo una relación con respecto a la densidad de 200,000 plantas por hectárea utilizada para la fertilización. Y junto con la contabilización de la cantidad de semillas y su peso se estimó la cantidad de kg/ha de frijol por tratamiento.

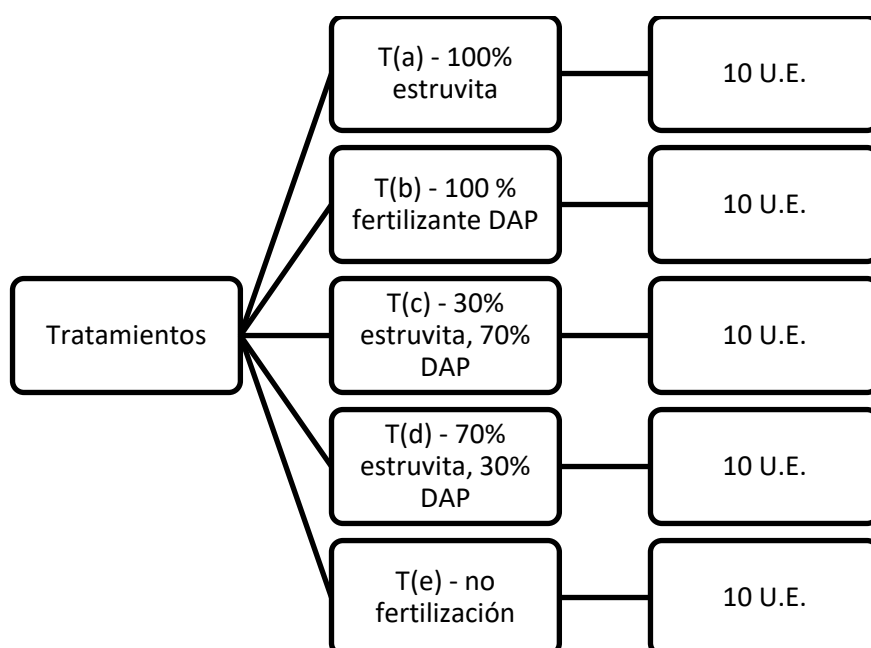
Diseño Experimental

Se implementó un diseño completamente al azar (DCA) de 10 × 5, es decir cinco tratamientos con 10 repeticiones asumiendo que la unidad experimental (U.E.) es un macetero con dos plántulas. El experimento es un modelo fijo, así que se estableció un total de 50 macetas idénticas y se le asignó al azar cualquiera de los cinco tratamientos, los cuales son a) aplicación de estruvita, b) aplicación de fertilizante fosfatado (control positivo), c) Mezcla de 30% estruvita y 70% fertilizante fosfatado, d) 70% estruvita y 30% fertilizante fosfatado y e) no fertilización (control negativo) (Figura

1). Se tomó en cuenta la mezcla de la estruvita con el fertilizante convencional, puesto que esta permite la absorción óptima de P al principio y al final del ciclo de un cultivo (Talboys et al., 2015). El diseño del estudio es experimental puro debido a la presencia de un grupo control negativo que ayudó a la evaluación de los datos de rendimiento final. Dichos datos enfocan la metodología hacia el estudio cuantitativo.

Figura 1

Arreglo factorial de los tratamientos



Los factores analizados de forma descriptiva fueron el peso a 100 semillas y los kg/ha de semillas de frijol por tratamiento. El análisis estadístico se hizo a partir de los datos de biomasa en peso seco. Los residuales de los datos fueron analizados en un gráfico Q-Q para verificar la distribución normal y la ausencia de valores atípicos. Cada serie de datos fue analizada en relación con los tratamientos. Posteriormente, se probó la significancia del modelo a través del Análisis de Varianza, estableciendo el grado de confianza en $p < 0.05$. También, se comprobó la significancia de las

diferencias entre los tratamientos a través de la separación de medias de rango múltiple Duncan usando el programa "InfoStat®".

Estimación de la Pérdida de Fósforo en Lixiviados

Para esta cuantificación del nutriente se recolectó individualmente el agua lixiviada de los maceteros gracias a bolsas plásticas individuales que reposaron debajo de cada macetero durante todo el ciclo. La recolección se hizo cada 15 días para rastrear la dinámica de deposición y lixiviación del fósforo proporcionado en la siembra. El muestreo fue aleatorio estratificado, debido a que dentro del conjunto de macetas con el mismo tratamiento todas las U.E. tuvieron la misma probabilidad de ser elegidas.

Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Ambiente y Desarrollo y resguardadas en temperaturas bajas hasta su análisis. Se realizaron pruebas de fósforo total de la solución a través del método colorimétrico usando el "PhosVer"-3 (326), el cual utiliza el cloruro estañoso como agente reductor de fósforo. La producción de ácido 12-molibdofosforico promovido por la reacción del ácido molíbdico junto con el ortofosfato permite la reducción y se genera el azul de molibdeno detectado por el colorímetro HACH DR/890. Los resultados corresponden a la concentración de fósforo presente en los lixiviados para cada tratamiento para dar respuesta al segundo objetivo planteado en esta investigación. Dichos datos fueron analizados de forma descriptiva, realizando relaciones entre tratamientos a razón de conocer la disminución de pérdida de fósforo a través del riego.

Resultados y Discusión

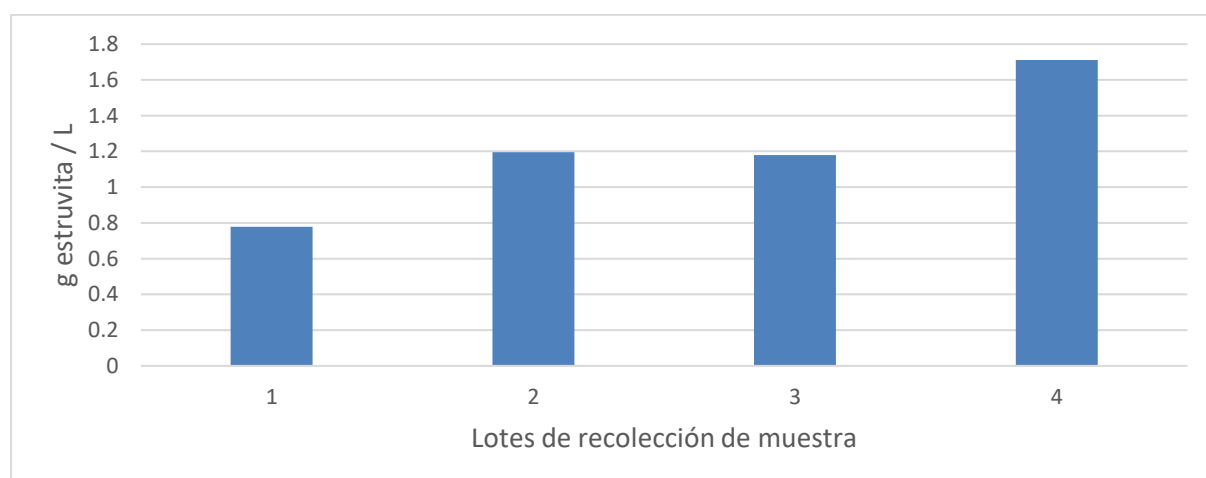
Precipitación de Estruvita y Análisis de Caracterización

Se realizó un pretratamiento a un total de 149.37 L de agua residual, proveniente de la salida del biodigestor de la Unidad de Ganado Porcino, repartidos en 27 lotes para el proceso de precipitación. El agua se recolectó en distintas ocasiones y esto provocó que tuviera diferencias en la turbidez y variaciones en el rendimiento por litro tratado (Figura 2). A mayor presencia de sólidos suspendidos se presentaban coloraciones más oscuras en el producto final (Anexo F). Es decir, las muestras de estruvita generadas por los primeros experimentos contenían más impurezas que las muestras consecuentes.

Los rendimientos variaron desde los 1.5 g de estruvita/L tratado en agua de alta turbidez hasta 0.9 g de estruvita/L tratado en el agua con menor contenido de sólidos en suspensión. En el tratamiento de efluentes con mayor turbiedad, color y sólidos suspendidos se modifica el tamaño y rasgos del cristal obtenido, a la vez que aumenta la dificultad para el manejo de los lodos obtenidos (Sarría et al., 2018). Finalmente, se obtuvieron 166.88 g de estruvita, es decir, un promedio de 1.12 g de estruvita/L tratado aumentando el rendimiento reportado por Zapata (2022)

Figura 2

Diferencia de rendimientos de estruvita por litro tratado



Teóricamente, la estruvita se puede describir químicamente por su masa atómica y porcentaje de masa en la molécula. La estruvita (5-28-0) contiene 28% de P_2O_5 o aproximadamente 12% de fósforo y 5% de nitrógeno en forma de amonio (Jiménez, 2019). Los resultados de la muestra compuesta obtenida de estruvita fueron de 12.17 g de fósforo/ 100 g de estruvita apoyando así las primeras estimaciones.

La disponibilidad de P en el suelo depende principalmente del pH y la presencia de algunos minerales. Los resultados del análisis de suelo dictaminaron que este contaba con un pH de 6.69. Esto indica que el pH del sustrato está cerca del rango óptimo de disponibilidad de P hacia el cultivo, el cual es de 6 a 6.5 (Castellanos, 2010) (Anexo J). También se encontraron niveles altos de Potasio (K) y Calcio (Ca), así como niveles medios de P y Na y niveles bajos de materia orgánica, N total y Mg. Se tomó en cuenta la concentración de P en el suelo para calcular el requerimiento del cultivo en fertilizante, considerando la dosificación de P en solución para alcanzar la saturación del P fijado.

Productividad de la Biomasa y Rendimiento del Cultivo

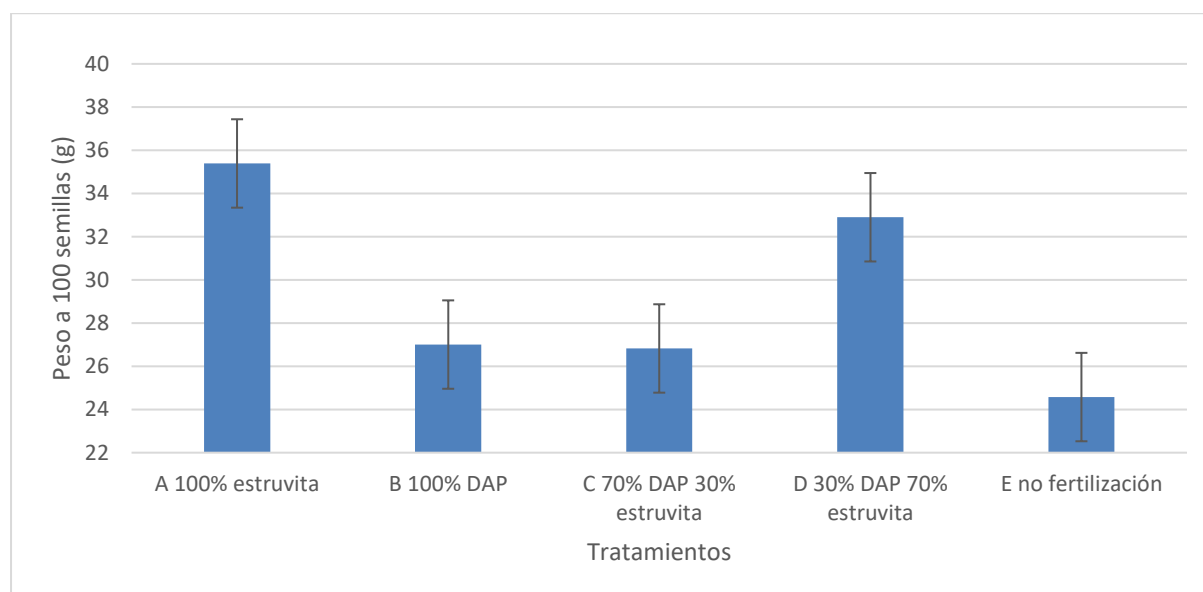
Existen aspectos importantes del periodo vegetativo que se reportaron durante el ciclo del cultivo. Transcurridos 10 días posterior a la siembra y cinco desde la fertilización, se notó que las plántulas del tratamiento A (100% estruvita) tenían una elongación y robusticidad menor que el resto, incluso comparado con el control negativo (Anexo H). Los maceteros fueron revisados, pero no se detectaron signos de enfermedad o plagas en las plantas. Lo anterior pudo estar asociado a problemas de fitotoxicidad asociados con la disponibilidad de P, puesto que las formas de P en DAP son más solubles en agua y se distribuyen con mayor facilidad en el suelo favoreciendo la pérdida por lixiviación. Si los niveles de fósforo corresponden a una aplicación mayor a los requerimientos del cultivo, este puede presentar problemas de emergencia y crecimiento. Sin embargo, estudios exponen que este efecto es compensado por el aumento en rendimiento final de las plantas cultivadas (Ferraris et al., 2008).

En el día 45 del ciclo se comenzó a observar una alta incidencia de plagas en los cultivos experimentales aledaños. La afección se dio en menor medida por parte de ácaros (*Tetranychus spp.*) y con mayor frecuencia de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) (Anexo I). Ambas plagas afectan de manera directa el proceso de fotosíntesis. Los ácaros extraen savia de las plantas y provoca la aparición de pequeñas manchas de tonalidad blanquecina o amarillenta en la parte superior de las hojas. Esta afección puede ocasionar la caída prematura de las hojas y, en casos más graves, la muerte de toda la planta (Zurita y Lozada, 2011). En el caso de la mosca blanca, las aplicaciones periódicas de insecticidas no suelen acabar con la plaga y aunque esta se mantenga durante todo el ciclo, esta actividad evita que se reflejen efectos negativos significativos sobre el cultivo (Acosta-Díaz et al., 2004).

La media del peso a 100 semillas de los tratamientos está dentro de la categoría de tamaño mediano de semilla. Este rango está entre 25 – 40 g / 100 semillas (Ulloa et al., 2011). A excepción del control negativo que está justo por debajo del rango (Figura 3). Se valora que el tratamiento con mayor peso por semilla fue el fertilizado solamente con estruvita como fuente de fósforo, seguido por el tratamiento D, el cual se componía de 70% de fertilización con estruvita. Esto se debe a que la estruvita es un compuesto de disolución lenta y baja solubilidad en agua, es decir, puede hacer permisible formas de P y N durante períodos más prolongados (Arcas-Pilz et al., 2021). Y como se ha demostrado en otros estudios, la aplicación de fertilizantes en etapas tardías del ciclo aumenta el peso a 100 semillas (Machado et al., 1982). Igualmente, la fertilización fraccionada permite reducir la dosis de fertilización sin afectar el rendimiento ni el crecimiento, a la vez que aumenta la eficiencia agronómica de los nutrientes aplicados (Alvarado-Camarillo et al., 2021).

Figura 3

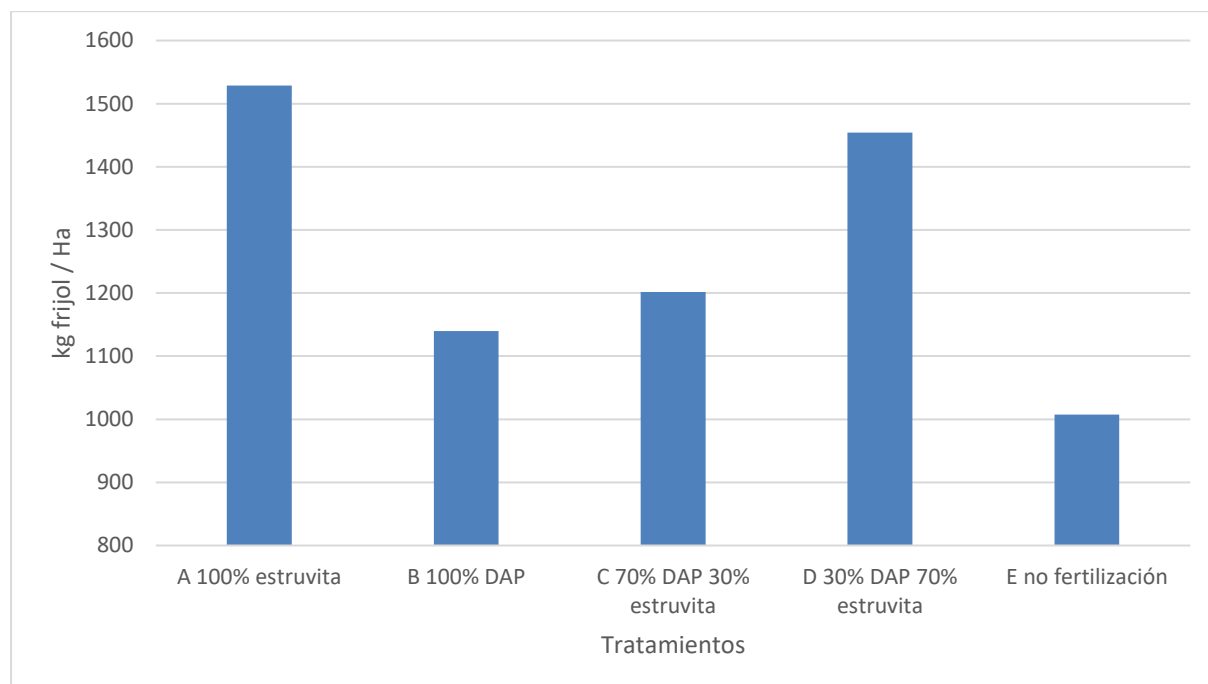
Peso a 100 semillas de frijol según tratamiento



Se realizó una estimación del rendimiento en kilogramos de frijol por hectárea (Figura 4). Tomando en cuenta que la cantidad de semillas cosechadas por tratamiento no tuvo una variación mayor a las 19 semillas. El tratamiento con menor número de semillas fue el E (no fertilización) con 205 semillas. Y el tratamiento con mayor número de semillas fue el C (70% DAP y 30% estruvita) con 224. De forma descriptiva se establece que el tratamiento A (100% estruvita) obtuvo los mejores rendimientos, con un promedio de 1,528.8 kg/ha. Es decir, más de 500 kg de frijol/ha adicional con respecto al control negativo. Por lo que se considera que la fertilización tiene un efecto positivo en el rendimiento del frijol. El tratamiento A (100% estruvita) tuvo un aumento de más de 300 kg de frijol/ha en relación con el control positivo (B 100% DAP). Esto asocia el resultado a que la fertilización con estruvita tiene una influencia en el aumento del rendimiento del frijol (Arcas-Pilz et al., 2021).

Figura 4

Rendimientos de kg de frijol por hectárea



La correlación de Pearson entre los datos de peso seco y peso fresco de la biomasa resulto en $r = 97\%$. Es decir, que son datos muy similares, por tanto, solo se tomó en cuenta el primer factor. También se evaluaron los residuales a través de un gráfico Q-Q y no se encontraron valores atípicos. Se estimó que existe un 76% de influencia por parte de los tratamientos sobre el desempeño de la planta para generar follaje. Según el Cuadro 3, el tratamiento E (no fertilización), denominado también como control negativo, fue el que obtuvo los pesos más bajos de materia seca. Esto es congruente con resultados de experimentos similares donde la falta de fertilización afecta directamente la producción de biomasa debido a la escasez de nutrientes en el suelo para favorecer el enraizamiento y la adsorción, que a su vez permite el crecimiento del cultivo (Lezama, 1996).

Cuadro 3

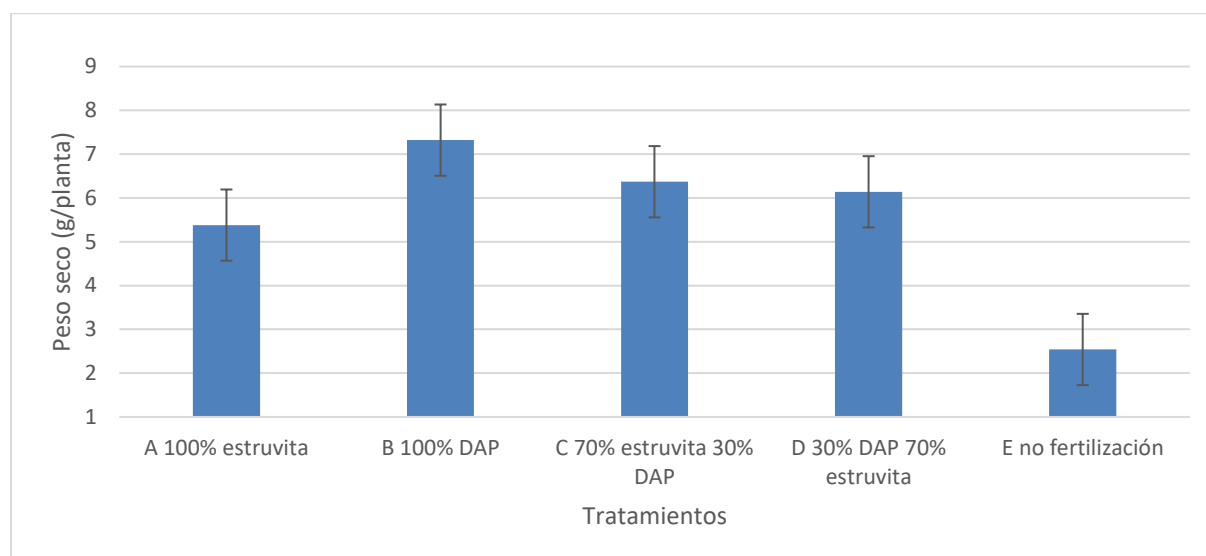
Separación de medias del peso seco (prueba Duncan)

Tratamientos	Media	E.S.			
E (no fertilización)	2.54	0.41	A		
A (100% estruvita)	5.38	0.41		B	
D (30% DAP-70% estruvita)	6.14	0.41		B°	C°
C (70% DAP-30% estruvita)	6.37	0.41		B°	C°
B (100% DAP)	7.32	0.41			C

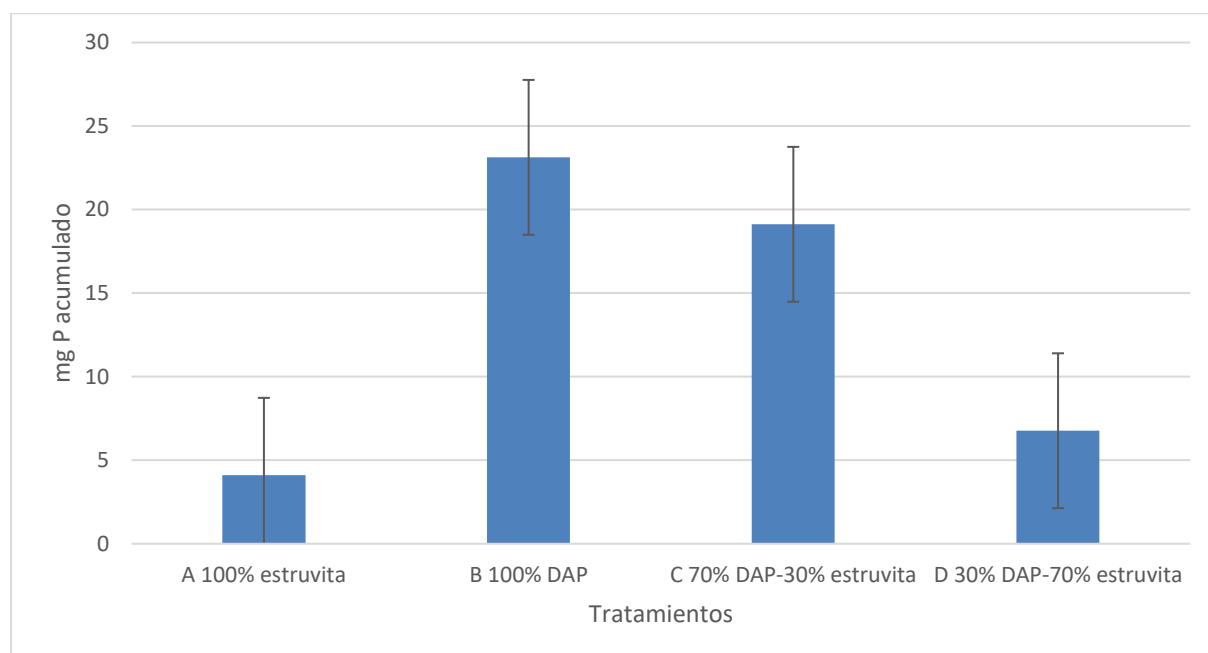
Nota. ° Las medias con letra común no tienen diferencias significativas ($P>0.05$).

El tratamiento E (no fertilización) fue precedido por el tratamiento A (100% estruvita), esto se debe al retraso de crecimiento presenciado en las primeras semanas del experimento por parte del tratamiento A. Se encontró una diferencia significativa entre el tratamiento A (100% estruvita) y el tratamiento B (100% DAP), lo cual concuerda con estudios pasados donde se reporta que en la fertilización con estruvita la tasa de suministro de P no es suficiente durante las etapas clave para la producción de biomasa (Talboys et al., 2015). Apoyando este resultado, también se ha comprobado que los niveles de P en la vegetación son menores cuando se fertiliza con estruvita (Arcas-Pilz et al., 2021).

El tratamiento C (70% DAP-30% estruvita) y D (30% DAP-70% estruvita) no tuvieron diferencias significativas con respecto al control positivo. La mezcla de ambos fertilizantes permite la asimilación del P al principio del ciclo, donde necesita nutrientes para el crecimiento y al final, que son necesarios para la generación del fruto (Talboys et al., 2015). La comparación de la fertilización con estruvita y fertilizante convencional no tiene diferencias significativas en la asimilación del P por parte del cultivo, lo único que difiere son las etapas en las que el P tiene una solución mayor en el medio (Brye et al., 2022). El tratamiento C (70% DAP-30% estruvita), con una media de 6.34 fue el que se acercó en mayor medida al rendimiento en biomasa del control positivo (Figura 5).

Figura 5*Peso seco de biomasa por tratamiento***Pérdida de Fósforo en Lixiviados**

La estruvita es considerada un fertilizante de liberación lenta debido a la estabilidad de la molécula y su baja solubilidad (Arcas-Pilz et al., 2021). Los resultados de las concentraciones apoyaron fielmente esta discusión al presentar mayores concentraciones de P total en aquellos tratamientos que contenían mayor proporción de fertilizante convencional (DAP). Sin embargo, es hasta que se realiza el cálculo según el volumen recolectado que se obtienen los valores reales de la pérdida acumulada de miligramo de P (Figura 6). Como se puede observar, el tratamiento que más miligramo de P acumuló en sus lixiviados durante todo el ciclo fue el B (100% DAP). Esto se puede explicar porque el fertilizante DAP es altamente soluble en agua y provoca una lixiviación rápida del producto en el suelo (Nadarajan y Sukumaran, 2021).

Figura 6*Curva de lixiviación de fósforo*

En comparación con los gramos de P agregados en la fertilización, en el tratamiento B (100% DAP) se perdió aproximadamente el 34% del P en solo 56 días. Muy por encima del promedio perdido en el tratamiento A (100% estruvita), el cual fue de solo el 6% del P agregado. Los estudios previos apoyan la discusión sobre la generación de una menor cantidad de lixiviados de P en la fertilización con estruvita (Reza et al., 2019). Si los lixiviados generados por los tratamientos con estruvita presentan una concentración baja de fósforo, significa que la planta ha absorbido la mayor parte o que aún hay una cantidad significativa de estruvita sin disolverse en el sustrato (Arcas-Pilz et al., 2021).

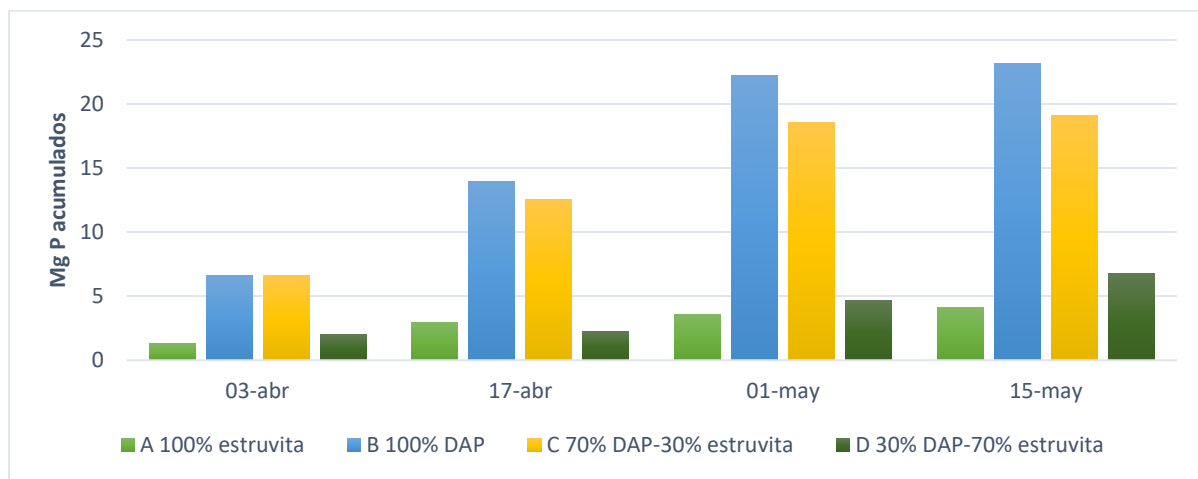
Se estima que, durante el ciclo de vida de un cultivo, este solamente absorbe del 10 - 15% del fósforo aplicado en la fertilización (Castellanos, 2010). Por tanto, se espera que el P restante pueda ser removido por lixiviación o fijado en formas poco móviles del elemento al suelo. Al relacionar este experimento con los análisis de suelos aplicados a las muestras de suelo, se puede atribuir que, por los niveles medios de P, se necesitó fijar un mayor porcentaje del nutriente en el suelo. A razón de

generar una saturación del compuesto y así empezar a tener formas solubles y aprovechables para el cultivo (Castellanos, 2010).

En la Figura 7, se obtuvo una curva de acumulación de mg de P acumulados durante las etapas del ciclo muestreadas. Se denota que el tratamiento B (100% DAP) y C (70% DAP) tuvieron comportamientos similares de deposición de nutrientes. Asimismo, los tratamientos A (100% estruvita) y D (70% estruvita) mantuvieron ambos una acumulación baja y estable durante todo el ciclo.

Figura 7

Curva de pérdida de P por tratamiento



Conclusiones

El uso de la estruvita como fertilizante representa una alternativa para la mejora de la productividad del cultivo de frijol, ya que podría incrementar hasta en un 24% el rendimiento del peso en kilogramos de frijol por hectárea con respecto a la fertilización fosfatada con DAP. De igual manera, la fertilización con estruvita favorece el aumento de peso de la semilla.

La combinación de estruvita con DAP favorece los procesos de absorción de fósforo por el cultivo durante todo el ciclo, lo cual se manifiesta en una menor pérdida de este nutriente por lixiviación en conjunto con una mayor productividad del cultivo reflejado en el peso y cantidad de semillas cosechadas en comparación a la fertilización completamente convencional a base de DAP.

Al incrementar la proporción de estruvita en la dosificación del fertilizante se reduce la pérdida de fósforo por lixiviación hasta en un 34%, favoreciendo la disponibilidad del elemento en el suelo durante periodos más prolongados y reduciendo los impactos asociados a la alta carga de nutrientes que afectan los cuerpos de agua a consecuencia de la producción de lixiviadas en actividades agrícolas.

Recomendaciones

La Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, cuenta con múltiples efluentes agrícolas con altas cargas de nutrientes. Sin embargo, la precipitación de estruvita sigue siendo de alto costo por la producción a pequeña escala. De esta manera, se recomienda estudiar la implementación de un proyecto piloto que pueda adaptarse a un pretratamiento de mayor escala tomando en cuenta la viabilidad económica y los impactos internos y externos del proceso y del descarte de nutrientes en cuerpos receptores.

Para la producción de un cristal más homogéneo se recomienda analizar las características físicas del efluente como la turbidez, sólidos totales y sólidos suspendidos; a su vez evaluar si estas características hacen agregados de otros compuestos químicos en el producto final y su afección al cultivo.

Se recomienda realizar este estudio con una reducción en la periodicidad de los muestreos de agua lixiviada con el fin de obtener una curva de pérdida de P más detallada y tomar decisiones informadas durante el periodo vegetativo. Asimismo, realizar análisis de suelos posterior a la cosecha para calcular el balance de fósforo del sistema.

Para ampliar el estudio agronómico del cultivo se recomiendan análisis foliares de nutrientes y medir variables morfológicas y fenológicas en la etapa de crecimiento del cultivo.

Referencias

- Aarhusvand. (2022). *PhosphorCare*. <https://www.aarhusvand.dk/om-os/partnerskaber/phosphorcare/>
- Acosta-Díaz, E., Trejo-López, C., Del Mar Ruiz-Posadas, L., Padilla-Ramírez, J. y Acosta-Gallegos, J. (2004). Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *Terra Latinoamericana*, 22(1), 49–58. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311208006.pdf>
- Alvarado-Camarillo, Valdez Aguilar, Cepeda-Dovala, Rubí-Arriaga y Pineda-Pineda (2021). Aplicación fraccionada de fertilizantes vía fertirriego y la eficiencia del nitrógeno, fósforo y potasio en calabacita. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7(1). <http://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/144>
- Antonini, S., Arias, M., Eichert, T. y Clemens, J. (2012). Evaluación en invernadero y del impacto ambiental de diferentes fertilizantes de estruvita derivados de la orina como fuentes de fósforo para las plantas. *Chemosphere*, 89(10), 1202–1210. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.07.026>
- Arcas-Pilz, V., Rufi-Salís, M., Parada, F., Petit-Boix, A. y Gabarrell, X. y Villalba, G. (2021). Fósforo recuperado para una agricultura urbana más resistente: Evaluación del potencial fertilizante de la estruvita en hidroponía. *The Science of the Total Environment*, 799, 149424. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149424>
- Barretto, A., Berndes, G. y Sparovek, G. y Wirsenius, S. (2013). La intensificación de la agricultura en Brasil y sus efectos en los patrones de uso de la tierra: Un análisis del período 1975-2006. *Global Change Biology*, 19(6), 1804–1815. <https://doi.org/10.1111/gcb.12174>
- Brye, K., Omidire, N., English, L., Parajuli, R., Kekedy-Nagy, L., Sultana, R., Popp, J., Thoma, G. y Roberts, T. y Greenlee, L. (2022). Evaluación de la estruvita como fuente alternativa de fertilizante-fósforo para el arroz regado por inundaciones. *Sustainability*, 14(15), 9621. <https://doi.org/10.3390/su14159621>
- Camacho-Otero, J. y Boks, C. y Pettersen, I. (2018). El consumo en la economía circular: Una revisión de la literatura. *Sustainability*, 10(8), 2758. <https://doi.org/10.3390/su10082758>
- Campos, J., Crutchik, D., Franchi, Ó., Pavissich, J., Belmonte, M., Pedrouso, A. y Mosquera-Corral, A. y Del Val Río, Á. (2019). Recuperación de Nitrógeno y Fósforo de Residuos Agroalimentarios Pretratados Anaeróbicamente: Una revisión. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2(91), Artículo 91. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00091>
- Carrascosa, M. y Molina, R. (2022). *Identificación de factores de transcripción de Solanum Lycopersicum L. implicados en la eficiencia de uso de nitrógeno* [[tesis de maestría]]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Castellanos, J. (2010). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas* (2ª ed.). Intagri.
- Chávez-Díaz, I., Zelaya, L., Cruz, C., Rojas, E., Ruíz, S. y los Santos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro- biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1423–1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>
- FAOSTAT. (2023). *Honduras*. <https://www.fao.org/faostat/en/#country/95>

- Fernández, M. (2011). Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas. *Gestión De Residuos Orgánicos De Uso Agrícola*, 25.
- Ferraris, G., Caamaño, A. y Capridi, A. (2008). *Efectos sobre la fitotoxicidad y el rendimiento de dosis crecientes de fertilizantes fosforados y nitrogenados en trigo*. Desarrollo Rural INTA Pergamino.
[http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/f8b97d9fdafd5f510325790300536221/\\$file/fitotoxicidad%20y%20eficiencia%20de%20los%20fertilizantes_santa%20luc%c3%ada.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/f8b97d9fdafd5f510325790300536221/$file/fitotoxicidad%20y%20eficiencia%20de%20los%20fertilizantes_santa%20luc%c3%ada.pdf)
- Gonzales, P. (2012). *Estudio de viabilidad para la recuperación de fósforo en forma de estruvita (NH₄MgPO₄ · 6H₂O) a partir de aguas amarillas y aguas residuales domésticas*. Universidad de los Andes, Colombia.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/25161/u627870.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jiménez, I. (2019). *Estruvita: Fuente de fósforo reciclada obtenida a partir de residuos urbanos y agroindustriales* [[tesis de maestría]]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Sevilla.
- Kumar, A. y Unki, A. y Balaji, T. (2019). Production of slow release crystal fertilizer from wastewater through struvite crystallisation. A review. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6, 1872–1879.
- Lezama, J. (1996). *Efecto de cobertura muerta y fertilización sobre el comportamiento de la cenosis y el crecimiento y rendimiento del cultivo del frijol común (Phaseolus vulgaris L.)* [[tesis de doctorado], Universidad Nacional Agraria]. repositorio.una.edu.ni.
<https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/1563>
- Machado, J., Rosolem, C., Balduci, J. y Nakagawa, J. (1982). Aplicación foliar de frijol (Phaseolus vulgaris), estudio de época de aplicación de Nitrogeno. *Turrialba*, 32, 417–421.
- Nadarajan, S. y Sukumaran, S. (2021). Chemistry and toxicology behind chemical fertilizers. En *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture* (pp. 195–229). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00012-1>
- Pastor, A. (2008). *Estudio de la precipitación y recuperación del fósforo presente en las aguas residuales en forma de estruvita (MgNH₄PO₄ · 6H₂O)* [, Universidad Politécnica de Valencia]. CrossRef. <https://riunet.upv.es/handle/10251/2190>
- Reyes, B., Maredia, M. y Bernsten, R. (2012). Variedades mejoradas de frijol en Centro América y Ecuador generan beneficios económicos a agricultores. *Dry Grain Pulses*(1), 4.
- Reza, A., Shim, S., Kim, S., Ahmed, N. y Won, S. y Ra, C. (2019). Nutrient Leaching Loss of Pre-Treated Struvite and Its Application in Sudan Grass Cultivation as an Eco-Friendly and Sustainable Fertilizer Source. *Sustainability*, 11(15), 4204. <https://doi.org/10.3390/su11154204>
- Sarria, N., Larrahondo, D. y Mazuera, H. (2018). Análisis de la viabilidad técnica para la recuperación de estruvita e hidroxapatita a partir del agua residual generada en campus universitarios: Caso de estudio Universidad Autónoma de Occidente. *Investigación formativa en ingeniería* 2, 95–102. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8716647>
- Segura, R. (2010). *Manual de producción de frijol*. Cuenta del Desafío del Milenio de Honduras.
<http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/handle/123456789/87>

- Sheets, J., Yang, L., Ge, X. y Wang, Z. y Li, Y. (2015). Beyond land application: Emerging technologies for the treatment and reuse of anaerobically digested agricultural and food waste. *Waste Management*, 44, 94–115. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.037>
- Soares, P., Almendra-Pegueros, R., Benítez-Brito, N., Fernández-Villa, T., Lozano-Lorca, M., Valera-Gran, D. y Navarrete-Muñoz, E. (2020). Sistemas alimentarios sostenibles para una alimentación saludable. *Revista Española De Nutrición Humana Y Dietética*, 24(2), 87–89. <https://doi.org/10.14306/renhyd.24.2.1058>
- Talboys, P., Heppell, J., Roose, T., Healey, J. y Jones, D. y Withers, P. (2015). Struvite: a slow-release fertiliser for sustainable phosphorus management?, 401, 109–123. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2747-3>
- Tello, B. (2018). *Evaluación del rendimiento de dos variedades de frijol al aplicar diferentes concentraciones de biol de cerdo como fertilizante orgánico* [Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. bdigital.zamorano.edu. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6385>
- Ulloa, J., Rosas Ulloa, P., Ramírez Ramírez, J. y Ulloa Rangel, B. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Fuente Año*, 3(8), 5–9.
- Valle, S., Giroto, A., Dombinov, V., Robles-Aguilar, A. y Jablonowski, D. y Ribeiro, C. (2022). Struvite-based composites for slow-release fertilization: A case study in sand. *Nature Portfolio*, 12(14176). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18214-8>
- Zaldumbide, D., Solano, J. y Gonzales, A. (2017). Sustainable food systems for the cities of the future: Potential of urban agriculture for small entrepreneurs in Canton Machala. *INNOVA Research Journal*, 2(8.1), 112–116. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n8.1.2017.348>
- Zapata, M. (2022). *Captura y remoción de fósforo de efluentes agrícolas en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano para su recuperación como estruvita*.
- Zurita, H. y Lozada, A. (2011). *Evaluación de productos orgánicos para el control de araña roja (*Tetranychus urticae* Koch) en el cultivo de fresa (*Fragaria vesca*)* [[tesis de maestría]]. Universidad Técnica de Ambato. [tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana].

Anexos

Anexo A

Sitio de recolección del agua residual



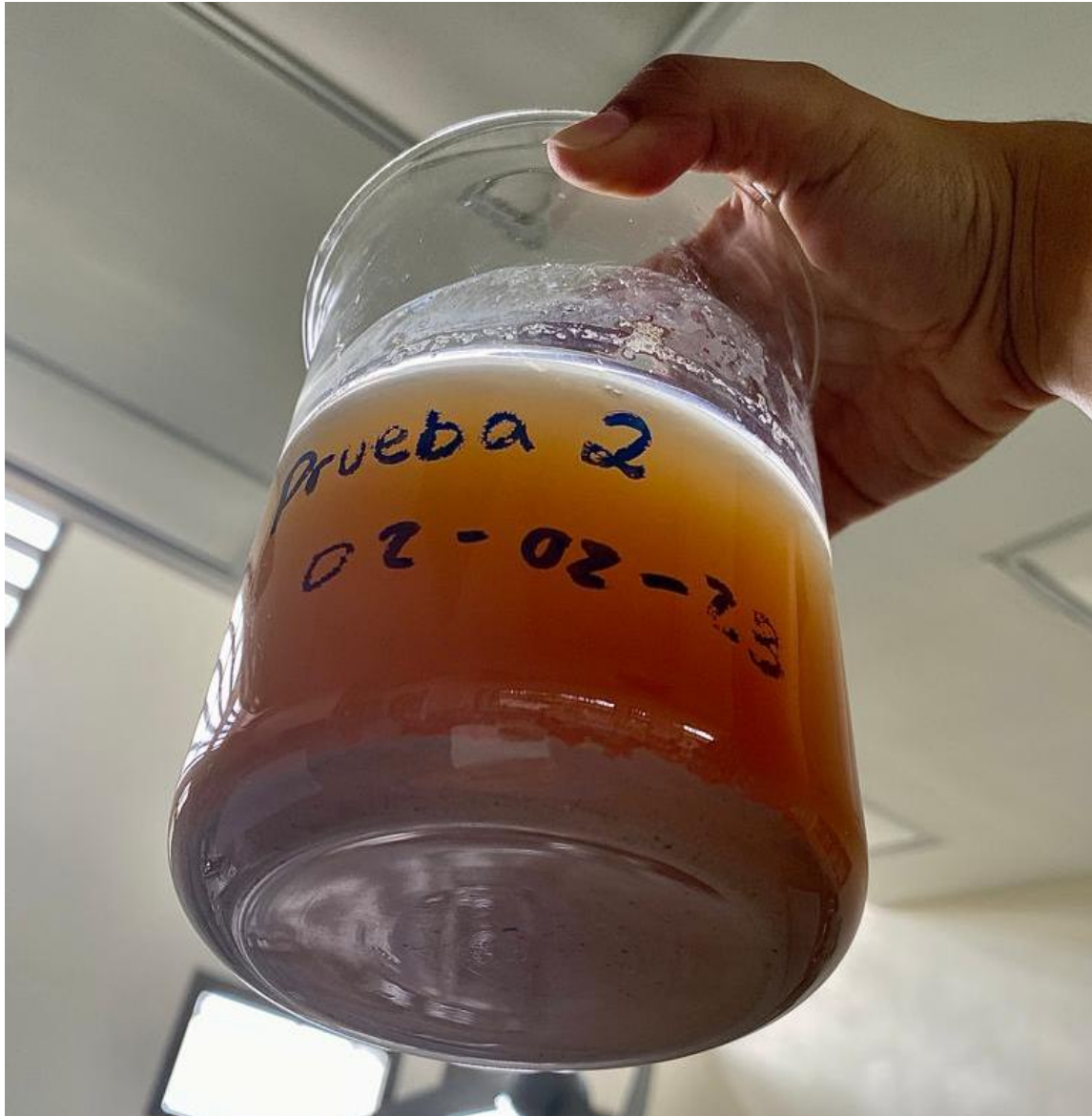
Anexo B

Proceso de mezcla del agua residual junto con los reactivos



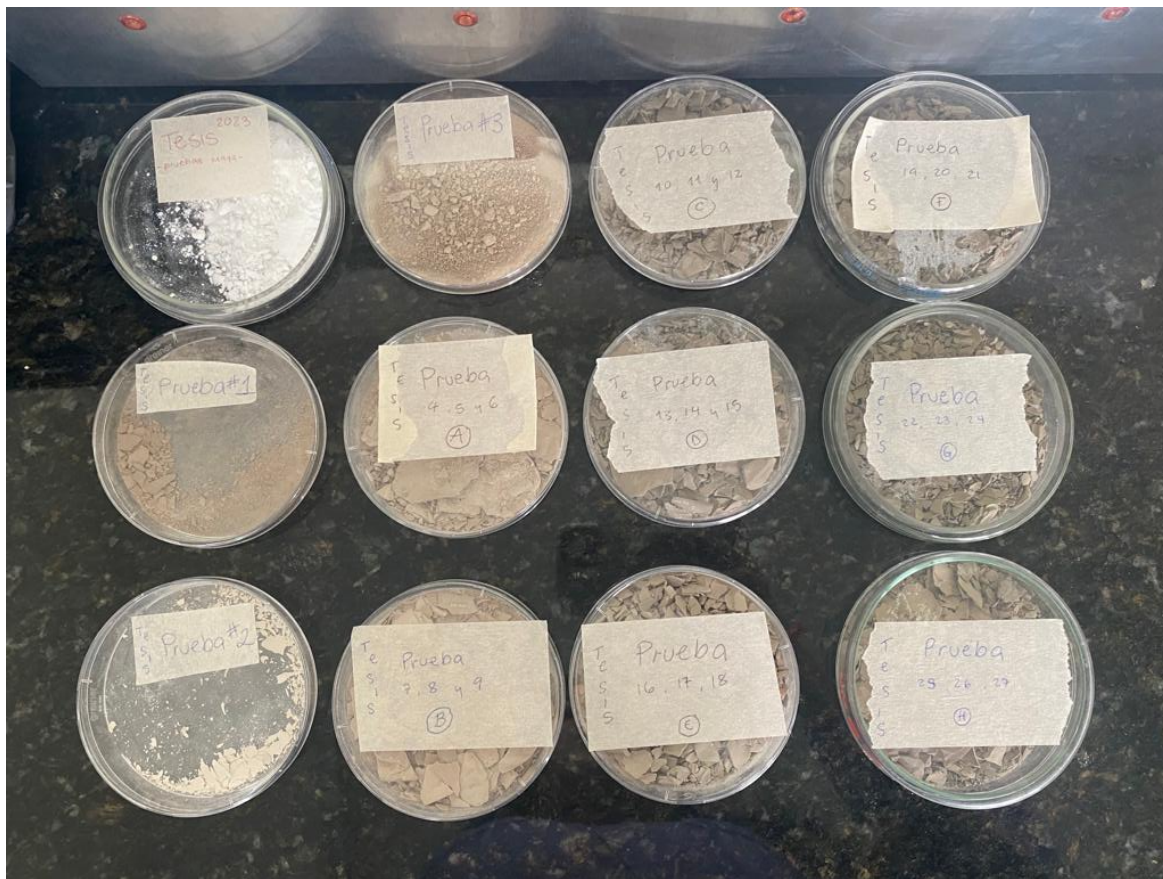
Anexo C

Estruvita precipitada después de 24 h



Anexo D

Conserva de cada muestra de estruvita en placas Petri



Anexo E

Maceteros con recolector de lixiviados / día de siembra



Anexo F

Diferencia de color en estruvita



Anexo G*Germinación homogénea de las plántulas*

Anexo H

Disminución en el desarrollo vegetal del tratamiento A



Anexo I

Afección en plantas aledañas al experimento



Anexo J

Resultado del análisis de suelos

pH	g/100g			mg/kg (extractable)				
	C.O.	M.O.	N total	P	K	Ca	Mg	Na
6.69	0.46	0.79	0.04	25	285	1417	137	21
Rango Medio		2 4	0.2 0.5	13 30	Por: Saturación de bases			