

**Lixiviación de fosfatos y nitratos a partir de
fertilizantes inorgánicos y orgánicos bajo
lluvia simulada**

Lenarth Antonio Ferrari Noll

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Lixiviación de fosfatos y nitratos a partir de fertilizantes inorgánicos y orgánicos bajo lluvia simulada

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Lenarth Antonio Ferrari Noll

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2018

Lixiviación de fosfatos y nitratos a partir de fertilizantes inorgánicos y orgánicos bajo lluvia simulada

Lenarth Antonio Ferrari Noll

Resumen. El agua es un recurso vital para los seres vivos, el estudio tiene como fin analizar el impacto de los fertilizantes orgánicos y químicos en la calidad del agua. Se determinó el tipo de relación que existe entre las características físico-químicas del agua escurrida y la cantidad de nutrientes lixiviados. Las variables que se midieron fueron los fosfatos, nitratos, factores físico-químicos (pH y turbidez) del agua y la eficiencia de producción de granos de frijol de las plantas. Se utilizaron tres tipos de fertilizantes; bocashi, biol, fertilizante convencional (Urea y DAP) y un blanco como testigo. Se utilizó frijol rojo (*Phaseolus vulgaris*) variedad SEDA como base para la fertilización y un simulador de lluvia para provocar la lixiviación y determinar cuál de los fertilizantes genera más reducción de arrastre de nutrientes. Para la toma de muestras de agua se aplicó la lluvia y se recolectó el agua percolada durante 24 minutos para su análisis en el laboratorio. Los resultados muestran que el tratamiento con mayor arrastre de nitratos fue el biol ($P < 0.05$) y el mayor arrastre de fosfatos fue el fertilizante convencional ($P < 0.05$). Asimismo, hubo una correlación moderada entre la turbidez del agua y la cantidad de nutrientes arrastrados. Con respecto a los rendimientos de producción de grano del cultivo de frijol, no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos ($P > 0.05$), sin embargo, si hay diferencia significativa entre el blanco y los tratamientos.

Palabras clave: Biol, bocashi, cultivo de frijol, nutrientes, simulación de lluvia.

Abstract. Water is a vital resource for living beings; the study aims to analyze the impact of organic and chemical fertilizers on water quality. The type of relationship that exists between the physical and chemical characteristics of the drained water and the amount of nutrients leached was determined. The variables that were measured were the phosphates, nitrates, physical-chemical factors (pH and turbidity) of the water and the production efficiency of bean grains of the plants. Three types of fertilizers were used; bocashi, biol, conventional fertilizer (Urea and DAP) and a target as a control. Red bean (*Phaseolus vulgaris*) variety SEDA was used as a basis for fertilization and a rain simulator to cause leaching to determine which fertilizer is most effective in reducing nutrient carryover. To collect water samples, the rain was applied and the percolated water was collected for 24 minutes and then analyzed in the laboratory. The results show that the treatment with the greatest drag of nitrates was the biol ($P < 0.05$) and the biggest drag of phosphates was the conventional fertilizer ($P < 0.05$). Likewise, there was a moderate correlation between the turbidity of the water and the amount of nutrients entrained. With respect to the yields of grain production of the bean crop, there were no statistical differences between the treatments ($P > 0.05$), however, if there is a significant difference between the target and the treatments.

Key words: Bean crop, biol, bocashi, nutrients, rain simulator.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	iii
Resumen	iv
Contenido	v
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
4. CONCLUSIONES.....	20
5. RECOMENDACIONES.....	21
6. LITERATURA CITADA.....	22
7. ANEXOS	26

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Fertilizantes para el cultivo de frijol.....	7
2. Proporción de fertilización ara suplir demanda del cultivo de frijol.	8
3. Comparación de medias de lixiviación de fosfatos y nitratos.	12
4. Prueba de comparación de lixiviados de fosfatos bajo lluvia simulada.	13
5. Prueba de comparación de lixiviados de nitratos bajo lluvia simulada.	14
6. Correlación entre nutrientes lixiviados y turbidez.....	16
7. Prueba de comparación de medias para el rendimiento en producción de semilla de frijol.....	17
8. Prueba de Duncan para el rendimiento de frijol en los distintos tratamientos.	18

Figuras	Página
1. Diagrama de flujo de simulación de lluvia y toma de muestras.....	9
2. Esquema del proceso para la toma de muestras de agua	10
3. Comportamiento de lixiviación de fosfatos (PO_4^{3-})	13
4. Comportamiento de lixiviación de nitratos (NO_3^-).....	14
5. Diagrama de cajas de la turbidez que genera cada tratamiento.....	17
6. Diagrama de cajas de los rendimientos de producción de frijol.....	18

Anexos	Página
1. Intensidad, frecuencias y duración de lluvia propuesto (FHIS, 2000)	26
2. Datos para cálculo de peso molar de oxígeno y fósforo en biol.....	26
3. Datos para cálculo de peso molar de hidrógeno y nitrógeno en biol.....	26
4. Mangueras para la colecta de muestras de agua.	27
5. Ubicación de plantas bajo techo de polietileno de baja densidad.....	27
6. Simulador de lluvia.....	28
7. Sistema de colecta de muestras del simulador de lluvia.....	28
8. Toma de precipitación para regulación de lluvia simulada	29
9. Cuadro de cálculos de fertilización inorgánica.	29
10. Cuadro de fertilización orgánica.	30
11. Cuadro de distribución de aplicaciones de fertilizantes a las plantas de frijol.	31

1. INTRODUCCIÓN

El agua dulce es un recurso universal y vital para los seres vivos. Este recurso es altamente demandado por varias actividades humanas, siendo la principal la agricultura, esta utiliza aproximadamente un 70% de toda el agua dulce disponible (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2002). La agricultura deberá aumentar entre un 40 – 45% su producción para cubrir las necesidades de alimento para el año 2025 (Silva, 2017), lo cual incrementará la presión sobre los recursos hídricos, tanto por incrementos en la demanda, como en la generación de escenarios que se propician la contaminación a cuerpos de agua.

Algunas de las actividades agrícolas asociadas a la generación de contaminación son: la escorrentía superficial (generada por las prácticas de labranza mal elaboradas), la salinización del suelo y la lixiviación de químicos (por aplicación inadecuada de agroquímicos) (Ongley, 2013). La contaminación originada de estas actividades puede afectar fuentes tanto superficiales como subterráneas de agua. La agricultura depende del suelo y el agua, por lo que todas las actividades agrícolas. Se deben tomar medidas de prevención que permitan adaptarse al cuidado de la calidad de agua (FAO, 2013).

La contaminación de las fuentes de agua puede tener repercusiones tanto medioambientales como de salud pública, particularmente en las comunidades rurales. Los agricultores en algunos casos cultivan cerca de sus fuentes de agua causando la lixiviación o movimiento de nutrientes en el suelo por escorrentía y arrastre. El fósforo y el nitrógeno son los nutrientes que tienden a lixiviarse, particularmente cuando no existen prácticas de conservación de suelo en pendientes pronunciadas (FAO, 2013).

El nitrógeno se puede encontrar de varias formas en la naturaleza: en amonio (NH_3), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) o nitrógeno puro (N_2) (Sartain, 2012). Uno de las formas más importantes del nitrógeno son los nitratos y amoniaco, debido su alta solubilidad y lo propensos que son a lixiviarse, generando contaminación de fuentes de agua (Iñón, 2017). El nitrato es un compuesto que se puede mover con mucha facilidad sobre la tierra por escorrentía en la época de lluvias, ya que no es fácilmente fijado por las arcillas. Debido a la movilidad de este compuesto, el nivel de nitratos ha aumentado tanto que un 10% de la población mundial consume una concentración de nitratos que puede perjudicar la salud (>10 mg/L) (Ongley, 2013). Se han realizado varios estudios que relacionan el cáncer y las enfermedades crónicas con el consumo de nitratos (Moreno, Soto y González, 2015). El fósforo, por el contrario, se encuentra en dos formas, fósforo orgánico y fósforo mineral. El fósforo inorgánico o mineral, es fácilmente aprovechado por las plantas acuáticas y se mueve con facilidad por medio de las partículas de suelo (Serna, 2011). Una vez que el

fósforo pasa a su cadena final en el suelo, este puede quedar atrapado en arcillas amorfas, como las arcillas alófanas de suelos volcánicos (López, 2006).

Algunos ecosistemas acuáticos superficiales como los lagos y ríos, también se ven afectados por los niveles elevados de fosfatos y nitratos. Esto provoca que las algas proliferen aceleradamente. Conforme estas mueren, se acumulan en el fondo y las bacterias consumen el oxígeno (O₂) para digerir la materia orgánica (Moreta, 2008). Esta condición de ausencia o bajas concentraciones de oxígeno en el agua, se conoce como hipoxia. Los bajos niveles de O₂ (30% bajo el nivel de saturación) causan la muerte de casi todas las especies acuáticas, afectando todo el ecosistema.

Se han realizado experimentos en Plateau, China, con simuladores de lluvia y se demostró que se puede lixiviar hasta un 50% del nitrógeno aplicado al suelo a través de fertilizantes (Hong, Jian-en, Li, Zhang y Wang, 2015). En la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano se realizó una investigación para medir la escorrentía de nutrientes. El estudio consistió de 12 simulaciones de lluvia con una duración de 15 minutos una intensidad de lluvia de 75 mm/h, se encontraron concentraciones de 20 mg/L de nitratos y 2.38 mg/L de fosfatos en el agua escurrida (Cedeño y Vargas, 2011).

Los suelos con altas concentraciones de nutrientes causan mayor cantidad de contaminación debido a la que la solubilidad de estos aumenta en medios con alta conductividad eléctrica. (United States Geological Survey [USGS], 2017). Esta puede ser causada por el uso de fertilizantes tanto químicos como orgánicos. La lixiviación también puede ser causada por la falta de prácticas de conservación en los suelos tales como rotación de cultivos, incorporación de materia orgánica y barbechos (Boesch, 2010). El arrastre de nutrientes de la agricultura es difícil de manejar debido que a la dispersión de las fuentes de arrastre. Los volúmenes de agua escurridos son grandes y esto hace complejo su tratamiento, por lo que se deben buscar medidas para prevenir el movimiento de nutrientes (Palomares, 2011).

La reducción del impacto al ambiente es una de las razones por las que se ha promovido el uso de fertilizantes orgánicos, sin embargo, estos también tienen un nivel de arrastre de fosfatos y nitratos (Behera, Alam, Sharad, Sharma y Sharma, 2003). La agricultura orgánica se promovió bastante debido a su ayuda a la salud humana, con el fin de eliminar la ingesta de residuos de plaguicidas dañinos y aumenta la cantidad de minerales y vitaminas en las hortalizas. (Internacional Federation of Organic Agriculture Movements [IFOAM], 2009).

Estudios demuestran que la aplicación de fertilizantes orgánicos puede mejorar los rendimientos en los cultivos (Robles, 2008). Adicionalmente ayuda a reducir la lixiviación, promueve la fijación de carbono en el suelo y reduce los impactos a la vida acuática (Cuestas, 2011). Los fertilizantes orgánicos deben pasar por un proceso de digestión a través de bacterias que se encuentran en el suelo, lo que hace difícil el movimiento de los nutrientes (Figuroa, 2010). Este proceso de digestión es beneficioso en la mayoría de los casos, pero en algunas ocasiones puede ser una desventaja, ya que fertilizantes no pasan en proceso de descomposición el suficiente tiempo y a las plantas se les dificulta la absorción de los nutrientes del suelo (Yang, 2015). Por otro lado, existen investigaciones que refutan las virtudes de la agricultura orgánica debido a que se afirma que, para cubrir la demanda mundial de alimentos bajo este tipo de agricultura, la frontera agrícola se debería expandir

un 47% y la misma no garantiza la eliminación de procesos de lixiviación de nutrientes aún bajo el uso de fertilizantes orgánicos (Goklany, 2003).

Los productores podrían tener confianza que los fertilizantes orgánicos no causan ningún daño y que mejoran sus rendimientos de producción, sin saber que podrían causar un problema para los cuerpos de agua y las comunidades aledañas. Es por eso, que el presente estudio va dirigido a la comparación de la diferencia de lixiviación entre fertilizantes convencionales y orgánicos y los resultados en rendimientos que estos pueden proporcionar. Para ello se plantearon los siguientes objetivos:

- Comparar las cargas de nitratos y fosfatos exportados bajo eventos simulados de precipitación-percolación en un cultivo bajo aplicación de fertilizantes orgánicos y convencionales.
- Determinar la relación entre la cantidad de nutrientes lixiviados y las características físico-químicas del agua escurrida.
- Determinar el efecto del tipo de fertilizante (orgánico e inorgánico) en el suelo sobre el rendimiento de cultivo de frijol rojo, bajo condiciones de lluvia simulada.

2. METODOLOGÍA

Descripción del sitio de estudio.

La investigación se llevó a cabo en el área verde del edificio del Departamento de Ambiente y Desarrollo de la Escuela Agrícola Panamericana el Zamorano, ubicada en el Valle del Yeguate, Francisco Morazán a 30 km de Tegucigalpa, Honduras. Este lugar se encuentra a una elevación de 800 msnm, con una temperatura anual que puede variar entre 24 a 27°C y un clima de carácter seco tropical, con una precipitación media anual de aproximadamente 1,100 mm (Cedeño y Vargas, 2011).

Diseño del experimento.

El diseño experimental fue completamente al azar. Para las unidades experimentales se utilizaron 3 tratamientos, un blanco y 4 réplicas para cada tratamiento. Se simularon 4 eventos de lluvia y se realizó un ensayo de simulación de lluvia para conocer mejor la dinámica del flujo de agua y los nutrientes. Se utilizaron 15 unidades experimentales debido a que se eliminó una réplica blanca debido a su homogeneidad. Las unidades experimentales constan de suelo franco arenoso tamizado y un tipo de fertilizante que puede ser orgánico o inorgánico, con 2 plantas de frijol en cada una de ellas. El diseño se basó en la aplicación de lluvia simulada para medir la percolación de fosfatos y nitratos. El simulador se calibró por medio de un protocolo que toma en cuenta el volumen y el tiempo en 5 repeticiones para medir la intensidad de la precipitación (Hong et al., 2015). Para la duración de la precipitación se utilizó una gráfica de intensidad, duración y frecuencia (Fondo Hondureño de Inversión Social [FHIS], 2000). Se utilizó el frijol rojo variedad SEDA como cultivo base para la aplicación del fertilizante. Los tratamientos fueron tres, dos orgánicos (bocashi y biol) y uno inorgánico (Urea/DAP). El sustrato en el cual se realizó la siembra fue suelo de la finca agroecológica, el cual se colocó en recipientes plásticos donde posteriormente se trasplantaron las plántulas de frijol. Se tomaron 15 muestras compuestas del agua escurrida para analizarlas en el laboratorio.

Este estudio tiene un enfoque cuantitativo y es de carácter cuasiexperimental porque se manipularon ciertas variables (lluvia, suelo, fertilización, plagas y cultivo), sin lograr controlar todos los factores que rodean el experimento, como la radiación solar, vientos, temperatura, etc. La falta de una aleatorización completa es otro factor que influyó en que el carácter del experimento sea el ya mencionado anteriormente. La investigación tiene un alcance explicativo y correlacional, ya que se exponen las propiedades y características del fenómeno y se determinó si existe algún tipo de relación entre las condiciones del experimento (Sampieri, 2014).

Simulador de lluvia.

Con el fin de mantener homogéneas las condiciones de lluvia para cada evento, se construyó un simulador de lluvia con un modelo modificado a partir de Covert y Jordan (2009). El simulador consiste en un conjunto de bandejas alineadas bajo un aspersor que aplica agua a una serie de recipientes ubicados por debajo del mismo. Se utilizó una altura de tres metros para simular la energía cinética de la lluvia natural y la intensidad de lluvia deseada. Para la lluvia se utilizó agua del sistema de agua potable de Zamorano y el suministro de agua al simulador de lluvia se reguló mediante válvulas y una manguera de jardín de 12 milímetros de diámetro.

Se seleccionó una intensidad de precipitación de 65 mm/hr en eventos de 24 minutos de duración, los cuales corresponden a un tiempo de retorno de 2 años en Zamorano. (FHIS, 2000). Estos eventos generan 18.7 mm de lámina de agua. Para calibrar el simulador a la intensidad seleccionada, se midió el caudal de los aspersores, para esto se tomó muestras de agua con 4 pluviómetros durante 5 minutos cada uno. Se repitió 5 veces y las lecturas se promediaron para estandarizar la intensidad de la lluvia en mm/hr (Kibet et al., 2014).

Las aplicaciones de precipitación se realizaron durante los meses de junio a agosto. Para evitar que la lluvia natural interfiriera, se construyó un techo de polietileno de baja densidad transparente, de modo que la luz pudiera ingresar, pero el agua no. Una posible interferencia es el viento. Para ayudar a reducir la desviación de las gotas se utilizó la boquilla ½ HH-30WSQ Spraying System (Allen, 2017), la cual ayuda a regular el tamaño de gota y su dispersión. Se utilizó una presión de modo que la gota tenía suficiente tamaño para no desviarse mucho por el viento y el alcance del aspersor pudiera cubrir todas las plantas.

Diseño de recipientes para la siembra.

Los recipientes se diseñaron con base en una estructura de galones de polietileno reutilizados, con un volumen de 84 L. Los galones se modificaron de modo que ayudó a coleccionar las muestras de agua y que el frijol se pudiera desarrollar de forma correctamente. Las cajas plásticas tienen una dimensión de 0.40 m de largo, 0.70 m de ancho y 0.30 m de profundidad. Se perforaron dos orificios en las dos esquinas inferiores y otro orificio en la esquina derecha superior del recipiente, estos se conectaron a mangueras para asegurar la recolección del agua en frascos de 1 L (Allen, 2017).

Para poder hacer que el agua percolada se moviera en una sola dirección se ubicaron los recipientes en una pendiente de 5% en la estructura de soporte de los recipientes de modo que toda el agua se dirigía a estos 2 orificios inferiores (Kibet et al., 2014). La magnitud de la pendiente se estableció de esa forma debido a que la mayoría de los cultivos de Zamorano se encuentra entre 5 y 10% de pendiente (Dubón, 2007).

Suelo. El suelo se obtuvo de la finca agroecológica de la Escuela Agrícola Panamericana para obtener ciertas características fisicoquímicas que poseen los suelos más comunes de la zona. El suelo se hizo pasar por un tamiz de 1 x 1 cm con el fin de homogeneizar las muestras eliminando rocas muy grandes, ramas y raíces. El contenido de las unidades de crecimiento fue: suelo franco arenoso, pobre en fósforo y con valores medios-bajos en nitrógeno. Este es suelo poco perturbado y no hay residualidad de aplicaciones de

fertilizantes químicos o pesticidas. La caracterización de nutrientes del suelo se realizó en el laboratorio de suelos del departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria. Después, el suelo se colocó en los recipientes para siembra, los cuales se llenaron hasta una profundidad de 25 cm con suelo. Esa es la profundidad efectiva que las raíces pueden aprovechar mejor (Rosas, 2003). Se dejó un espacio en la superficie de 3.5 cm para dar golpes para eliminar el exceso de aire en el suelo, agregando por último una capa de 2 cm de suelo sin compactar para después realizar la siembra (Kibet et al., 2014).

Cultivo. Con el fin de evaluar la escorrentía y los nutrientes exportados, se establecieron recipientes de crecimiento para la siembra del frijol (*Phaseolus vulgaris*), variedad SEDA. El cultivo, se incorpora en los recipientes con el fin de sujetar el suelo y tener una base para la aplicación de los fertilizantes de modo que se puedan suplir las necesidades nutricionales que el frijol demanda. Para la siembra de la semilla se tomó un distanciamiento de 20 cm entre hilera y 6.25 cm entre plántula, que resulta una densidad de 200,000 plantas por hectárea. La distancia fue suficiente para que las raíces de las plantas no se atrofiaran y puedan crecer y aprovechar de mejor manera los nutrientes (Rosas, 2003)

Se seleccionó el frijol como cultivo para la base de la fertilización debido a su alta importancia en la dieta regional, en los cultivos de subsistencia y por la accesibilidad de la información sobre el mantenimiento y ciclo de vida de la planta (Bouroncle et al., 2015). Con el fin de asegurar la cantidad exacta de plantas en cada unidad experimental, se realizó la siembra de semillas en bandejas de germinación de celdas individuales. Cinco días después de la siembra estas se trasplantaron a los recipientes de crecimiento, de modo que las plántulas se establecieran de forma adecuada. Para la conocer el número de plántulas por unidad de crecimiento se utilizó la densidad de siembra del frijol (200,000 plántulas/ha), transformando las unidades para tener consistencia dimensional resultó en 20 plantas/m². Utilizando el área de los recipientes (0.08516 m²) y la densidad de siembra en m² dio como producto 2 plantas por unidad de crecimiento (Lardizabal, Arias, y Segura, 2013).

Fertilización.

Para el presente estudio se seleccionaron dos fertilizantes orgánicos: biol y bocashi y una combinación de fertilizante inorgánico (Fosfato diamónico [DAP]/Urea). Se realizaron cálculos de fertilización para estimar los requerimientos de nitrógeno y fósforo con base en la demanda del cultivo y el estado nutricional del suelo. El biol se obtiene a partir de la descomposición de materia fecal por bacterias metanogénicas, el bocashi proviene de la descomposición de diferentes fuentes de proteína y carbohidratos a partir de la digestión anaerobia producida por levaduras (Figuroa, 2010). Los fertilizantes se obtuvieron de distintas fuentes dentro de Zamorano. El bocashi se obtuvo de la Unidad de Producción Orgánica, el biol de la Unidad de Ganado Porcino y los fertilizantes convencionales de la Finca Agroecológica Zamorano.

El requerimiento de nitrógeno y de fósforo para el frijol es de 226 kg de nitrato de amonio por hectárea y 103 kg de DAP por hectárea (Lardizabal et al., 2013). Para la fertilización se tomó en cuenta la aplicación de fertilizantes donde menciona los kilogramos que se deben aplicar por hectárea para cada cultivo (Cuadro 1) (Sartain, 2012).

Cuadro 1. Dosis recomendadas de fertilizantes en el cultivo de frijol.

Fertilizante	Kilos por Hectárea
18-46-0	103
Nitrato de Amonio	226

Fuente: Lardizabal et al., (2013)

Fertilización inorgánica. Para la aplicación de nitrógeno, se utilizó urea, por lo que, se convirtió la cantidad de fertilizante aplicado de nitrato, a urea. Para conocer cuánto DAP necesitan las plantas, se utilizaron los valores del Cuadro 1 y se realizó una conversión de área (1 ha = 10,000 m²) y de masa (1 kg = 1,000 g), para multiplicarlo por el área de los recipientes plásticos. Esto dio como resultado 0.877 g de DAP. El análisis de suelo indicó que existía una deficiencia de 21 mg P/kg de suelo. Para que estos nutrientes estén complementen disponibles para planta se debe hacer una aplicación extra que cubra la deficiencia de fósforo.

Para saber la cantidad adicional que se debe aplicar de fósforo, se utilizó el peso y el volumen de suelo que se manejó en el experimento (López, 2006). El cálculo debe tomar en cuenta la densidad aparente para un suelo franco arenoso (1,550 kg/ m³), la profundidad efectiva del recipiente donde se va a sembrar (0.152 m) y el área del mismo (0.08516m²) (Serna, 2011). Tomando en cuenta la deficiencia de fósforo (21 mg P/kg de suelo) y los 20 kg de suelo que contiene cada recipiente, la cantidad adicional de fósforo a aplicar es de 420 mg. La demanda de fertilizante del suelo por deficiencia de fósforo es de 0.42g de P y se realizó la conversión al fertilizante DAP, utilizando el 46% de concentración de fósforo que este contiene. Sumando la necesidad de fósforo la planta y la deficiencia de fósforo del suelo, da como resultado 1.78g de DAP. Este fertilizante aporta una pequeña cantidad de nitrógeno (18%). Esta cantidad se tomó en cuenta para la aplicación de nitrógeno al cultivo.

Para conocer cuánto requiere el cultivo por hectárea, se convirtió de fertilizante a nitrógeno puro. Según el manual de producción USAID se utilizan 2 tipos de fertilizantes que aportan nitrógeno, DAP y nitrato de amonio (Lardizabal, Arias y Segura, 2013), pero en el experimento se utilizó urea. Con el fin de aportar la misma cantidad de nitrógeno primero se calculó la cantidad de nitrógeno que aporta el nitrato de amonio. Después se calculó la cantidad de nitrógeno que aporta el DAP. La demanda del cultivo se representó en la suma del aporte de nitrógeno de los fertilizantes, esta es 97.64 kg de nitrógeno por hectárea el cual se ajustó al área experimental y el contenido de N en la urea. Finalmente se hizo un ajuste por la cantidad de N contenido en el DAP previamente aplicado para un requerimiento final de 1.11 g de fertilizante.

Fertilización orgánica. Una vez con las demandas de nitrógeno ya calculada, solo se debe conocer la concentración de fósforo y nitrógeno en el biol y el bocashi. Debido a que el fertilizante orgánico no cubre demandas por separado se debe tomar como base de fertilización el compuesto con mayor demanda y menor concentración en el biol y el bocashi. Según el análisis de nutrientes, la concentración del bocashi es de 17 g de N/kg y 11.7g de P/kg (Hernandez, 2015) y el biol 1303.4 mg NH₃/L y 257 mg PO₄/L. Se calculó

la demanda de la planta de fósforo a través de la necesidad de fosfato diamónico (DAP) por hectárea (103 kg) (Lardizabal et al., 2013).

Para conocer la cantidad de fósforo que la planta necesita se calculó la concentración de fósforo en el compuesto de DAP, este se encuentra en una concentración del 46%. El cultivo tiene una demanda de 47.28 kg de fósforo por hectárea. Con base en el análisis de suelo se estimó una aplicación de 0.822g de fósforo por recipiente. Una vez con la necesidad de cada elemento calculada, se pudo proceder a calcular el total de cada fertilizante que se aplicó. En el bocashi, la concentración es de 17g de N/Kg y 11.7g de P/Kg por lo que se debe trabajar únicamente con valores de peso de cada elemento. Se utilizó las concentraciones de nutrientes en el bocashi y demanda de nutrientes de la planta (0.831g de N y 0.822g de P), para conocer la cantidad de fertilizante a aplicar. El cálculo resultó en 70.26g para cubrir la demanda de fósforo y nitrógeno.

La aplicación de biol se realizó con el fin de concentrarse en los lixiviados de fosfato que este puede generar. Según los análisis de laboratorio, el biol tiene una concentración de 1,303.4mg NH₃/L y 257mg PO₄/L, lo que representa una concentración de 83.83 mg de P/L y en 1,071.65 mg de N/L. Una vez obtenidas las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el biol, se realizó el cálculo de la cantidad que se aplicó al cultivo. Se utilizó las concentraciones de nutrientes en el biol y demanda de nutrientes de la planta (0.831g de N y 0.822g de P), para conocer la cantidad de fertilizante a aplicar. El cálculo resultó en 9.805 L para cubrir la demanda de fósforo y nitrógeno. Esta cantidad fue calculada según la demanda de fósforo de la planta y la deficiencia de fósforo en el suelo. Se deben aplicar 9.805 L de biol, debido a que el análisis de biol se centra en los lixiviados de fósforo. En el Cuadro 2 se muestra la cantidad de fertilizante que se debe aplicar a cada recipiente para siembra de frijol.

Cuadro 2. Proporción de fertilización para suplir demanda del cultivo de frijol.

Fertilizante	20%	30%	50%	Total
DAP (g)	0.34	0.51	0.86	1.72
UREA (g)	0.22	0.33	0.55	1.11
Bocashi (g)	14.05	21.07	35.12	70.25
Biol (L)	1.96	2.94	4.90	9.80

La fertilización se debe aplicar en diferentes porcentajes según la edad del cultivo, ya que conforme el cultivo crece, esta demanda más agua, más nutrientes y más horas de luz (Lardizabal et al., 2013). Los fertilizantes orgánicos normalmente se mantienen en una relación Carbono-Nitrógeno menor a 20/1, esto por la relación para crear proteínas donde se necesitan varios átomos de carbono y solo uno de nitrógeno. Los fertilizantes orgánicos son pre-digeridos por lo que los compuestos nitrogenados se encuentran en amoníaco, amonio y materia seca, en el caso del biol y en el bocashi se encuentra en forma de hexosamines, purinas, ácidos fulvicos y compuestos amoniacos (Robles, 2008). El fósforo se encuentra en ambos casos como fósforo orgánico tales como: amidas, sales de fosfonio (PH₄⁺), fosfinas (PH₃), óxidos de fosfinas y ácido fosfórico (Cuestas, 2011).

Se realizó un ensayo de fertilización y tres aplicaciones de fertilizante. El ensayo de fertilización consiste en aplicar la misma cantidad que la primera fertilización para observar el comportamiento de los nutrientes a través de los análisis de laboratorio (Allen, 2017). Una vez que la primera fertilización se realiza, los cultivos se guardaron bajo protección de la lluvia. El fertilizante se aplicó a los 10 días después de la germinación (20%), a los 25 días (30%) y a los 35 días (50%) (Lardizabal et al., 2013).

Para la aplicación de la lluvia se realizó un flujo de traslado, en el cual se deben intercambiar de lugar las unidades experimentales. Una vez que las unidades reciben la lluvia ésta es remplazada por las siguientes réplicas. En la Figura 1 se explica el flujo de las unidades experimentales para recibir la lluvia simulada y tomar los datos. Cada uno de los códigos simboliza un tratamiento siendo A fertilizante químico, B bocashi, C biol y Z es el blanco. Cada uno de los números correspondiente las réplicas de cada tratamiento. Debido a que el simulador solo puede cubrir 4 recipientes, no se pueden simular lluvia para todas las réplicas. Se realizaron 4 simulaciones para regar todas las réplicas. De forma simultanea estas 4 simulaciones representan nada más una repetición del evento de lluvia. Una vez estas reciben la lluvia, se toman los datos y son puestas protección de precipitaciones externas debajo del plástico transparente (Hong et al., 2015).

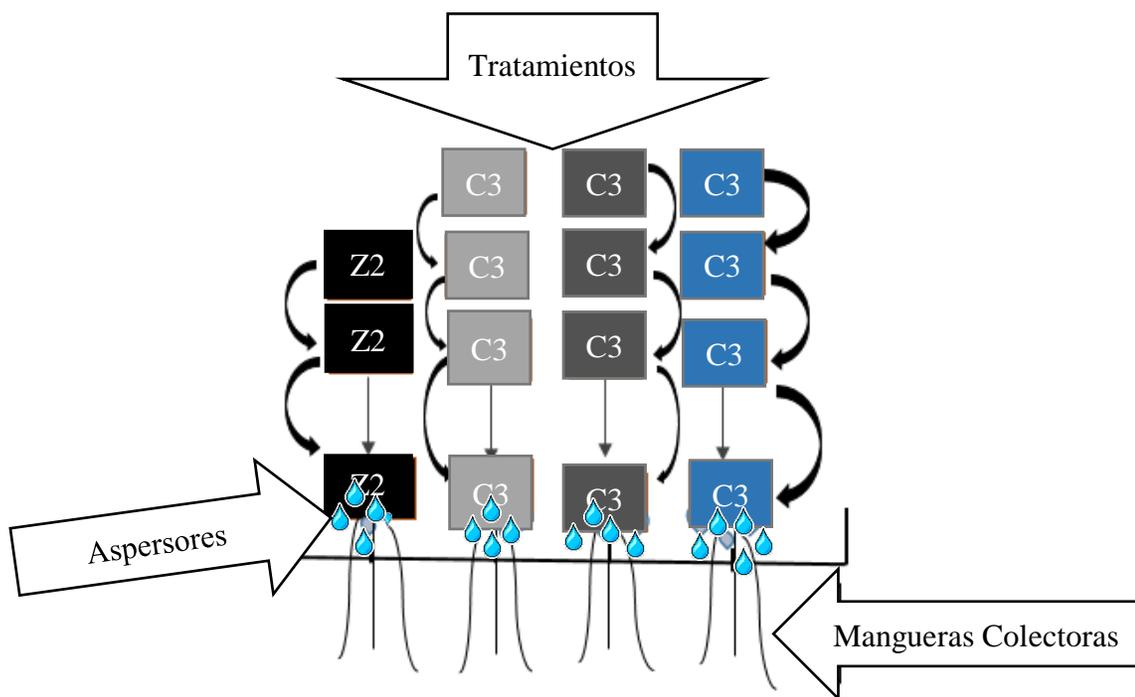


Figura 1. Diagrama de flujo de simulación de lluvia y toma de muestras. Elaboración propia.

Toma de muestras. La toma de muestras del agua se hizo durante toda la simulación de lluvia. Se tomaron muestras de percolación y escorrentía en botellas plásticas de 1 L en lo que dura los 24 minutos de lluvia (Allen, 2017). El ensayo de simulación de lluvia se hizo para ayudar a estabilizar el suelo. Los análisis de laboratorio de dicho ensayo se tomaron

cuenta debido a que ayudan a dar una idea de los lixiviados que se pueden generar en un suelo que fue arado (Hong et al., 2015).

Un día después de fertilizar, se simuló la lluvia para colectar las muestras de agua percolada del suelo. El agua pasa a través del suelo y se junta en las mangueras conectadas en la parte inferior de los recipientes donde crecen las plantas. El agua guiada por las mangueras se dirige a frascos de 1 litro de volumen donde la muestra es colectada. Cuando el cultivo se encontró bajo el techo de plástico, regó con pocas cantidades de agua, de este modo no generó escorrentía o percolación que afecte los resultados del experimento y el suelo siempre se mantuvo en capacidad de campo. Para asegurar la capacidad de campo se realiza la prueba de escurrimiento, donde se presiona el suelo de modo que escurra gotas para saber que si hay humedad en el suelo, pero no en exceso (López, 2006). A continuación, se presenta un esquema que explica cómo se realizó la toma de datos (Figura 2).

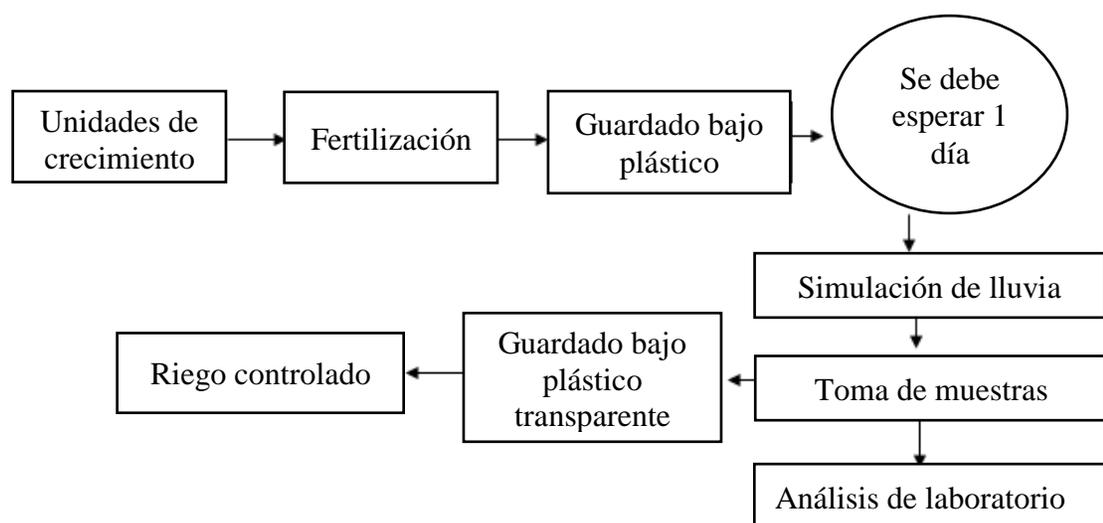


Figura 2. Esquema del proceso para la toma de muestras de agua. Elaboración propia.

Se esperó un día para favorecer la asimilación de los nutrientes aplicados (Cuestas, 2011). Se aplicó la lluvia simulada y se tomó las muestras de agua escurrida. Después, las unidades de crecimiento se colocaron de nuevo bajo protección de la lluvia natural. En el caso de las plantas que recibieron biol como fertilizante, requirieron menor cantidad de riego controlado, ya que el biol contiene grandes cantidades de agua (Instituto Nacional de Investigación Agraria [INIA], 2008). Los análisis de laboratorio se realizaron justo después de que se colectaron las muestras de agua.

Análisis de laboratorio.

Una vez la muestra era ingresada al laboratorio se midió turbidez y pH. Los análisis de turbiedad se realizaron en un turbidímetro portátil modelo 2100 Q. El pH fue medido con un electrodo multiparamétrico marca HACH modelo Pocket Pro. Después éstas fueron filtradas con el fin de retener sedimentos y eliminar interferencia. Se utilizaron filtros con un diámetro de poro de 12.5 µm y una bomba de vacío manual. Los nitratos y fosfatos se

analizaron mediante colorimetría (Colorímetro HACH DR/890). Se utilizó el método NitraVer-5 para el nitrógeno; este utiliza el cadmio como agente reductor (HACH Company, 2000). Para medir los fosfatos se utilizó el método PhosVer-3, utiliza el cloruro estañoso que sirve como agente reductor que ayuda a conocer la concentración de fósforo en el agua. El método consiste en la reacción del ortofosfato con el ácido molidico que termina produciendo ácido 12-molibdofosfórico, este es reducido por el cloruro de estaño y genera azul de molibdeno que es lo que detecta el colorímetro (HACH company, 2000).

Rendimientos en producción de frijol.

El rendimiento se estimó con base en la producción de grano de frijol (Rosas, 2003). Se cuantificó el peso total de los granos secos que produjo cada unidad experimental en los diferentes tratamientos al finalizar el ciclo de producción. Los granos se colectaron en bolsita Ziplock® y se secaron al sol durante 3 días hasta alcanzar aproximadamente un 20% de humedad. Después se pesaron en una balanza analítica para poder obtener la producción de frijol de cada planta con los distintos tratamientos. Esto con el fin de afirmar la absorción adecuada de los nutrientes aplicados a las plantas.

Análisis estadístico. Antes de realizar las pruebas de hipótesis se aplicó la prueba de Shapiro Wilks para conocer si los datos provienen de una distribución normal. Después, se realizó un Análisis De Varianza (ANDEVA) de una vía para los nutrientes lixiviados (nitrógeno y fósforo) y el peso de los granos de frijol. En las variables de respuestas que hubo diferencias significativas se realizó una prueba post hoc de Duncan (Sampieri, 2014). En el caso de los rendimientos de las plantas, se comparó por medio de una prueba de contraste. Asimismo, se realizó una correlación para conocer la relación entre los datos físico químicos del agua y la cantidad de nutrientes arrastrados. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 19® con una significancia del 5%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis estadístico de lixiviado de nutrientes.

La prueba de Shapiro Wilk mostró que los datos de nitratos y fosfatos tienen son normales ($P > 0.05$), debido a que variable, tiene un buen control del error experimental, a diferencia de los de pH que no fueron normales (Morales, 2012). Los factores externos de temperatura del suelo y radiación solar eran muy variables y afectaba las lecturas de pH. Los datos de turbidez se tomaron hasta el último evento de simulación, ya que la alta porosidad del suelo y el hecho de que el suelo fue perturbado genera demasiada variabilidad (León, 2011). Se realizó una prueba de normalidad contrastando la turbidez y los tratamientos, dando como resultado que todos los datos de turbidez tienen una distribución normal ($P > 0.05$).

Se realizó una prueba ANDEVA para comparar las medias de los valores de lixiviación de fosfatos, nitratos. En el Cuadro 3 se muestra que el valor F es de 18.77 para fosfatos y 7.05 para nitratos, este refleja una alta variabilidad entre los datos tomados de cada tratamiento. El valor P es menor a 0.05, demostrando que hay diferencia estadísticamente significativa entre la lixiviación de nutrientes de distintos tratamientos.

Cuadro 3. Comparación de medias de lixiviación de fosfatos y nitratos.

Variable de respuesta		Grados de libertad	F	Significancia
Fosfatos	Inter-grupos	3	18.77	.000
	Intra-grupos	16		
	Total	19		
Nitratos	Inter-grupos	3	7.05	.003
	Intra-grupos	16		
	Total	19		

Se realizó una prueba de Duncan, con el fin de dar conocer cuál de los tratamientos produce mayor cantidad de lixiviados. El fertilizante convencional es el que mayor nivel de arrastre de fosfatos tuvo con una media estadística de 18.85 mg/L, después el biol con 6.45 /L y por último, el bocashi con 5.19 mg/L. No existe diferencia significativa entre el biol, el blanco y el bocashi, por lo que el arrastre de nutrientes no es diferente estadísticamente. En el Cuadro 4 se puede apreciar la prueba de Duncan para los tratamientos del experimento.

Cuadro 4. Prueba de comparación de lixiviados de fosfatos bajo lluvia simulada.

Tratamiento	N	1	2
Blanco	5	3.009	
Bocashi	5	5.192	
Biol	5	6.545	
Fertilizante convencional	5		18.851
Significancia		.168	1.000

La diferencia de lixiviación se debe a que el suelo con fertilizantes químicos tiene a ser menos rico en flora bacteriana y fúngica, la cual ayuda a estabilizar el suelo, por lo que, los fosfatos son más susceptibles al arrastre (Correa, 2013). Otro factor a tomar en cuenta es el grosor de la textura. La proporción de las partículas de suelo muestra que este suelo es franco-arenoso. Debido a la alta porosidad de la arena, los nutrientes se mueven con mayor facilidad y aumenta la lixiviación (López, 2006). En la Figura 3, se puede observar el comportamiento de los nutrientes a través del experimento. Esta muestra la lixiviación de fosfatos de cada tratamiento, el que mayor cantidad de lixiviados generó fue el fertilizante convencional. El biol en los últimos muestreos mostró una concentración casi igual de fosfatos que el blanco. El bocashi se mantuvo muy uniforme durante todos los muestreos.

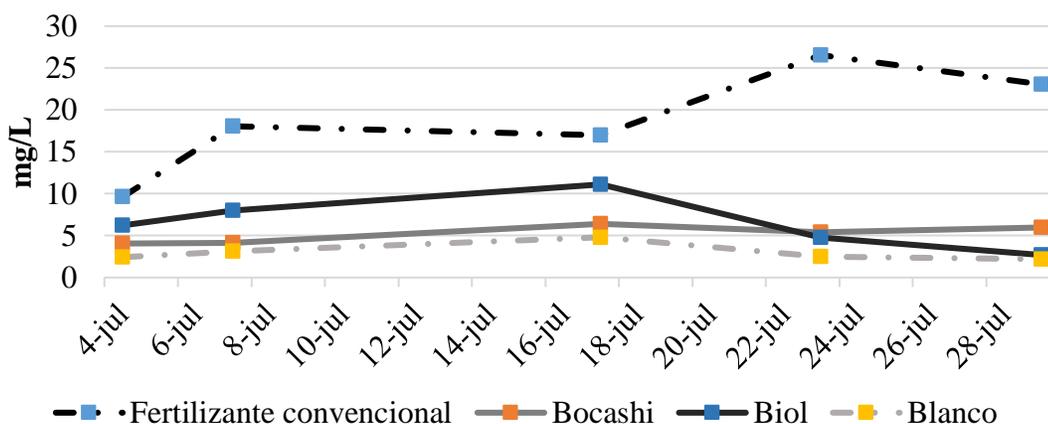


Figura 3. Comportamiento de lixiviación de fosfatos (PO_4^{3-}) durante el estudio. Elaboración Propia.

En la Figura anterior, se puede apreciar que el biol lixivía la mayoría de sus nutrientes en la parte media del experimento y después esta disminuye hasta el punto de estar casi al mismo nivel de lixiviación que el blanco. Esto se debe a la gran porción líquida que tiene el biol (Goklany, 2003). También, se puede observar que el biol, el blanco y el bocashi tienen distribuciones muy parecidas, a diferencia del fertilizante convencional el cual está muy por encima de los demás tratamientos por las razones mencionadas anteriormente. Se

realizó otra prueba de Duncan para saber cuál de los tratamientos presenta mayor arrastre de nitratos. En el Cuadro 5 se observa que el único valor que presenta una diferencia significativa es el biol, llegando a una media de 16.49 mg/L. Después sigue el fertilizante convencional con 8.49 mg/L y por último se encuentra el bocashi con 5.79 mg/L.

Cuadro 5. Prueba de comparación de lixiviados de nitratos bajo lluvia simulada.

Tratamiento	N	1	2
Blanco	5	5.678	
Bocashi	5	5.790	
Fertilizante convencional	5	8.498	
Biol	5		16.49
Sig.		.339	1.00

El biol es el que más alto valor de nitratos arrastró, esto se debe a que la fertilización del biol se centró en analizar la lixiviación de fosfatos, por lo que se debe suplir la demanda de fósforo del cultivo y la deficiencia del suelo. El fosfato es una limitante para la eutrofización, por ello la aplicación de biol se centró en el arrastre de fosfatos que este puede provocar (Moreta, 2008). Se aplica aproximadamente 6 veces más de lo que necesita el suelo en nitrógeno. El biol tiene una concentración muy baja de fósforo (257mg PO₄/L), comparada a la de nitrógeno (1303.4mg NH₃-N/L), los valores de lixiviación de nitrógeno se ven afectados por la desigual porción de nutrientes. En la Figura 4 se muestra la lixiviación de los nitratos a través de todo el experimento.

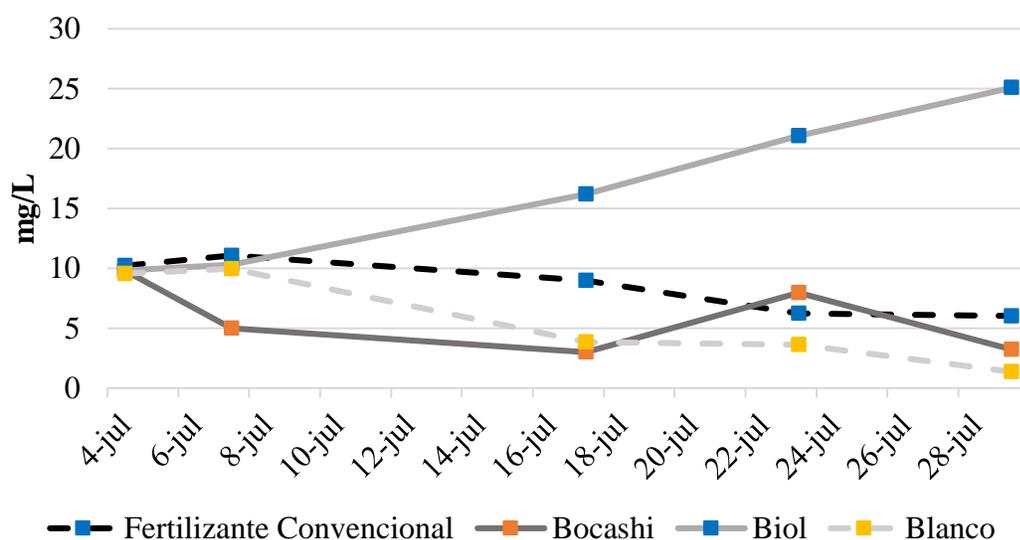


Figura 4. Comportamiento de lixiviación de nitratos (NO₃⁻) durante el estudio. Elaboración propia.

El segundo tratamiento que más lixiviados generó fue el fertilizante convencional, con una media de 8.49 mg/L y la diferencia es mínima entre la media de nitratos lixiviados del blanco y el bocashi. La lixiviación de los fertilizantes se produce por un proceso llamado nitrificación. Las bacterias (nitrobacter, nitrosomas y nitrococcus) oxidan el ion de amonio o el amoniaco a nitritos, después otro grupo de bacterias aerobias siguen oxidándolo hasta llegar a nitrato (Iñon, 2017). Los fertilizantes (principalmente el biol) contienen amonio o amoniaco y estos tienden a ser nitrificados (Figueroa, 2010). Los recipientes de crecimiento se diseñaron con dos mangueras en la parte inferior para colecta de las muestras, el suelo tenía un mayor flujo de aire. Esto puede facilitar el proceso de oxidación de los nutrientes que se encuentran en el sustrato (Iñon, 2017).

Factores del suelo. Hay ciertos factores que intervinieron en la retención de los nutrientes, como los factores físicos del suelo, en este caso la textura. El amonio y los nitratos suelen quedar atrapados en acillas expansivas como la motmorillonita (Serna, 2011). A diferencia de los compuestos nitrogenados, el fósforo se mueve fácilmente a través de las arcillas en pH básico. Las arenas por su parte, son partículas grandes promueven el movimiento de nutrientes entre ellas (Sartain, 2012).

El pH influyó en la accesibilidad de los nutrientes ya que si este es muy ácido (valores menores a 5.8) muchos de los nutrientes no se encuentran disponibles para el cultivo (Sartain, 2012). Algunos fertilizantes como la urea se descomponen en amonio si hay pH altos (>9), después este nutriente necesita ser deprotonado en amoniaco para poder ser aprovechado por las plantas (Sartain, 2012). El fósforo solo está disponible en pH de 5.5 a 7, ya que, si este es muy ácido, se forma di-hidrógeno fosfato ($H_2PO_4^-$) el cual no puede aprovechar la planta. Si es muy alcalino éste reacciona con el sodio del suelo (Na) y se vuelve soluble. En este estado el fósforo está disponible, pero es arrastrado con facilidad por el agua (López, 2006). El pH del suelo utilizado es de 5.84, este es un valor moderadamente ácido que se presume influyó en los procesos de la lixiviación del suelo.

La urea es una sal que contiene un 46% de nitrógeno, es soluble en agua hasta 78 g en 100 ml. Una vez disuelto se necesita la ureasa que producen las plantas para reducir el compuesto, produciendo carbonato de diamónico $(NH_4)_2CO_3$, que después por hidrolisis, termodegradación y degradación microbiana, se convierte en $NH_3 + CO_2 + H_2O + H_2$. En este punto, el amoniaco ya está disponible para que la planta lo aproveche. Sin embargo, si está expuesto al aire puede producir óxido nitroso (N_2O) que se volatiliza. Por medio de acción microbiana aerobia y ambiental se oxida produciendo iones de nitrato que pueden ser aprovechados por la planta y también se pueden lixiviar (Sartain, 2012).

El DAP contiene un 18% de nitrógeno y un 46% de fósforo, es un compuesto alcalino por lo que funciona mejor en suelos con pH bajo a 7.5. Por hidrolisis se deriva en; dos moléculas de amonio ($2NH_3$) y en 1 molécula ácido tetrafosórico (H_3PO_4). En este punto la planta puede provechar el ácido fosfórico (H_3PO_4) rompiendo los enlaces de hidrogeno y absorbiendo el fosfato (Sartain, 2012).

La materia orgánica (M.O.) es otra parte del suelo que afecta la dinámica de los nutrientes. La materia orgánica está compuesta de 3 materiales: ácido fúlvico, ácido húmico y huminas, de los cuales hay compuestos complejos no identificados (Sartain, 2012). Sin embargo, los

compuestos que aprovecha la planta son nitrato y amonio la cual es transformada por nitrato reductasa. Esta es una enzima que produce la planta para mejorar la absorción de compuestos nitrogenados. El amonio (NH_4^+) es aprovechado por la planta rompiendo los enlaces de hidrógeno (Serna, 2011). La muestra de la finca muestra valores medio-bajos de concentración de M. O. lo que se presume ayudó a mejorar la retención de nutrientes.

Por último, se realizó una correlación lineal con respecto a los nutrientes y turbidez. Se utilizó el coeficiente de Pearson ya que las distribuciones de los datos son normales. En el Cuadro 6, se observa que existe una relación positiva media entre la cantidad de fosfatos arrastrados y la turbidez. El fósforo se encuentra adherido a las partículas de suelo y su arrastre incrementa la turbiedad de forma paralela (Sartain, 2012). No se realizó una correlación del pH debido a la alta varianza y la irregularidad de los datos.

Cuadro 6. Correlación entre nutrientes lixiviados y turbidez.

Correlaciones		Nitratos	Fosfatos	Turbidez
Nitratos	Coeficiente de correlación	1.00	0.06	-0.381
	Significancia		0.84	0.16
Fosfatos	Coeficiente de correlación	0.06	1.00	0.58
	Significancia	0.83		0.02
Turbidez	Coeficiente de correlación	-0.38	0.58	1.00
	Significancia	0.16	0.02	
	N	15.00	15.00	15.00

Existe una relación inversa entre la cantidad de nitrógeno arrastrado y la turbidez de la muestra, sin embargo, esta no es significativa. En la Figura 5, se observa que el que mayor cantidad de arrastre de suelo generó fue el fertilizante convencional y el que menos generó fue el biol. La reducción de arrastre de nutrientes puede ser debido a la cantidad de M.O. y los hongos del suelo, ya que el biol está cargado de ambos tanto de microorganismos como de M.O. se pudo generar condiciones ideales para reducir el arrastre de suelo (Cuestas, 2011). Se presume que el arrastre de fosfatos depende mucho de la flora microbiana del suelo en especial distintas clases de hongos (López, 2006).

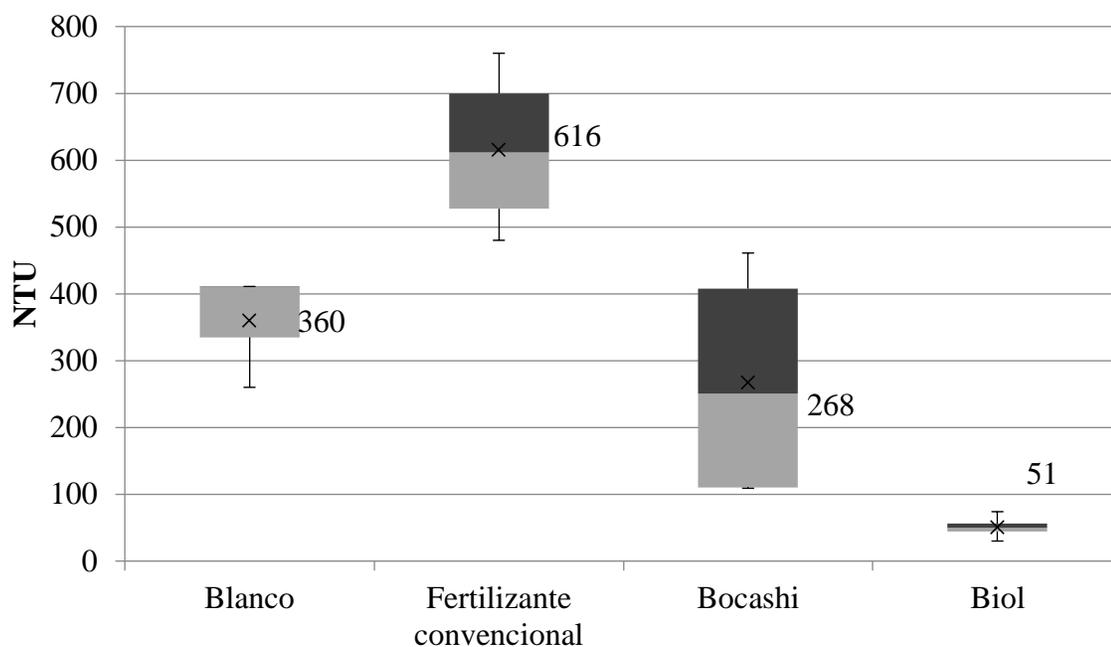


Figura 5. Diagrama de cajas de la turbidez que genera cada tratamiento. Elaboración propia

Se realizaron 4 tomas de datos de turbiedad de cada tratamiento de la última simulación de lluvia cuando el suelo ya estaba más estable. Se puede observar que el tratamiento que mayor varianza muestra es el bocashi y que los datos de turbidez más uniformes los tiene el biol. A pesar de que en el blanco no se aplicó ningún fertilizante, siempre existió turbiedad en las muestras de agua.

Rendimientos de producción.

Se evaluó el rendimiento en los tratamientos con base en la producción de grano de frijol. Debido a que se comprobó la distribución normal de los datos, se realizó una ANDEVA de una sola vía para saber si hay diferencia significativa entre los diferentes tratamientos aplicados a las plantas de frijol (Cuadro 7).

Cuadro 7. Prueba de comparación de medias para el rendimiento en producción de semilla de frijol.

Factor	Valor F	Significancia
Inter-grupos	3.652	0.047
Intra-grupos		

La probabilidad asociada indica que hay diferencias significativas al 0.05. El valor F muestra que no hay mucha variabilidad interna, lo que quiere decir que los valores de las repeticiones fueron homogéneos (Sampieri, 2014). Se observa en la Figura 6 que la mayor

varianza en los datos es el bocashi, seguido del fertilizante convencional, el biol y el blanco tienen una variabilidad muy pequeña. El valor más alto de producción se encuentra en el bocashi con una producción de 35.57 g de frijol y el valor más bajo de rendimientos lo tiene el blanco con 18.22 g de frijol. Las medias de gramos de granos de frijol producido fueron de 27.5g (Fertilizante convencional), 26.8g (Bocashi), 29.8g (Biol) y 20.1g (Blanco).

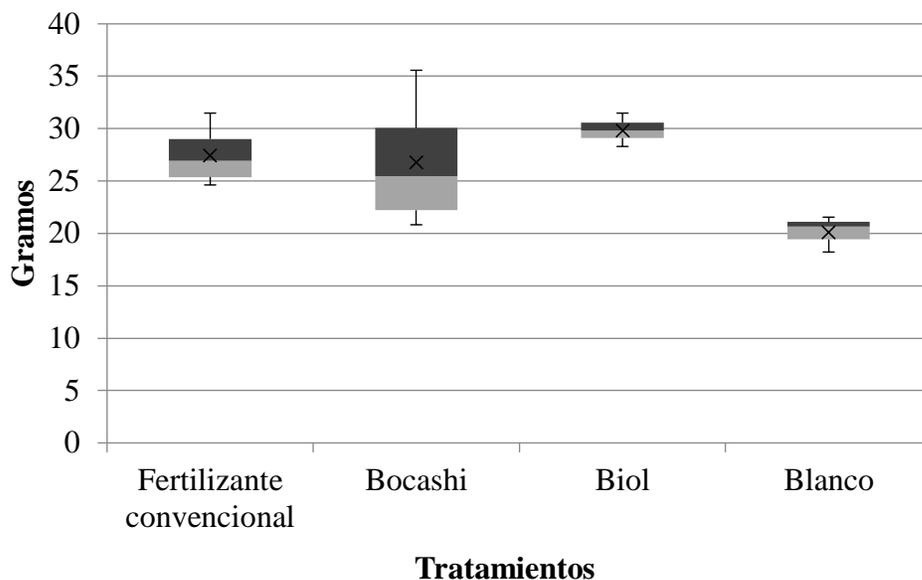


Figura 6. Diagrama de cajas de los rendimientos de producción de frijol. Elaboración propia.

Si se comparan las medias únicamente, el valor que mayor producción de granos de frijol tiene es Biol (29.84 g). Debido a su alta disponibilidad de nutrientes a través del amoníaco y el aporte a la proliferación de la flora microbiana del suelo (Figuerola, 2010). Esto facilita la absorción de los nutrientes generando mejores rendimientos (Yang, 2015). En el Cuadro 8 se aprecia que el nivel de significancia para cada uno de los tratamientos. Se puede observar entre tratamientos no hay diferencia estadísticamente significativa. Sin embargo, en todos los casos existe diferencia entre el rendimiento del blanco y del tratamiento, siendo el biol el que mayor diferencia muestra (0.008) en contraste con el blanco.

Cuadro 8. Prueba de Duncan para el rendimiento de frijol en los distintos tratamientos.

	Fertilizante convencional	Bocashi	Biol	Blanco
Fertilizante convencional	0.000	0.815	0.416	0.033
Bocashi	0.815	0.000	0.301	0.049
Biol	0.416	0.301	0.000	0.008
Blanco	0.033	0.049	0.008	0.000

Sin importar que tratamiento se utilice, el nivel de producción de granos de frijol no se verá afectada. Sí existe diferencia significativa entre el blanco y los fertilizantes utilizados, debido a que la mayoría de las veces el suelo no posee los nutrientes necesarios para optimizar la producción agrícola.

4. CONCLUSIONES

- La mayor concentración de nitratos lixiviados ocurrió en el biol, debido que se aplicó grandes cantidades para cubrir la deficiencia de fósforo del suelo y comparar el comportamiento del fósforo que aporta el biol. El bocashi fue el que menos lixiviados de nitrato generó.
- La mayor concentración de fosfatos lixiviados ocurrió en el fertilizante convencional. El biol fue el que menos lixiviados de fosfato generó.
- Existe una relación media entre la turbidez y el arrastre de fósforo en el agua recolectada debido a la afinidad de las partículas de fósforo al suelo.
- Se determinó que sí hay diferencia significativa entre la producción de grano de frijol entre el blanco y los distintos tratamientos. No existe diferencia estadística de los niveles de producción entre los fertilizantes orgánicos e inorgánicos, sin embargo, la media más alta de producción se obtuvo al aplicar biol.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar la viabilidad de combinar el biol con un fertilizante químico que sea fuente de fosfato.
- Investigar las interacciones de los fertilizantes orgánicos en diferentes texturas de suelo, de modo que esto ayude a mejorar los rendimientos de producción con fertilización orgánica.
- Realizar el experimento en suelos no disturbados, de modo que las condiciones que se asemejen los más posibles a la situación real en campo.
- Ampliar los parámetros evaluados en los lixiviados para establecer relaciones que expliquen el arrastre de nutrientes en el suelo

6. LITERATURA CITADA

- Allen, M. (2017). *Design and construction of a rainfall simulator*. Recuperado de: [https://etd.auburn.edu/bitstream/handle/10415/5593/Thesis MAH_ XZF_ JV_ FIN AL.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://etd.auburn.edu/bitstream/handle/10415/5593/Thesis%20MAH_XZF_JV_FIN%20AL.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Behera, K., Alam, A., Sharad, V., Sharma, H., & Sharma, V. (2003). *The ins and outs of organic farming*. Recuperado de: [https://www .researchgate.net/publication/226271466_Organic_Farming_History_and_Techniques](https://www.researchgate.net/publication/226271466_Organic_Farming_History_and_Techniques)
- Boesch, D. (2010). *Causes and Consequences of nutrient over-environment of coastal waters*. Recuperado de: [http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB_ECOLOGIA/Lagunas_ Costeras_ files/boescherice.pdf](http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB_ECOLOGIA/Lagunas_Costeras_files/boescherice.pdf)
- Bouroncle, C., Imbach, P., Läderach, P., Rodriguez, B., Medellin, C., Fung, E., Mantínez, R., Donatti, C., (2015). *Cambio climático y seguridad alimentaria*. Recuperado de: [https://www.conservation.org/publications/Documents/La-Agriculture-de Honduras-y-el-Cambio-Climatico.pdf](https://www.conservation.org/publications/Documents/La-Agriculture-de-Honduras-y-el-Cambio-Climatico.pdf).
- Castillo, F., Gonzales, W., López, I., Figueroa, A., Corrales, D., Guzmán, H., y Corrales, J. (2015) *Water quality warnings based on clusters analysis in Colombia Rivers Basins*. Recuperado de: [http://www.redalyc.org/pdf/4115 /411542295001.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/4115/411542295001.pdf)
- Cedeño, I., y Vargas, I. (2011). *Caracterización hidrológica, de erosión y arrastre de nutrientes en suelos agrícolas bajo condiciones de simulación de lluvia, Zamorano*. Recuperado de: [https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/453/ 1/IAD-2011-T008.pdf](https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/453/1/IAD-2011-T008.pdf)
- Correa, O. (2013). *Los microorganismos del suelo y su rol indiscutido en la nutrición vegetal*. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/306960003/download>
- Cuestas E. (2011). *Aplicación de biol y fertilización química*. Recuperado de: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4664/1/T-ESPE-IASA%20I-004573.pdf>.

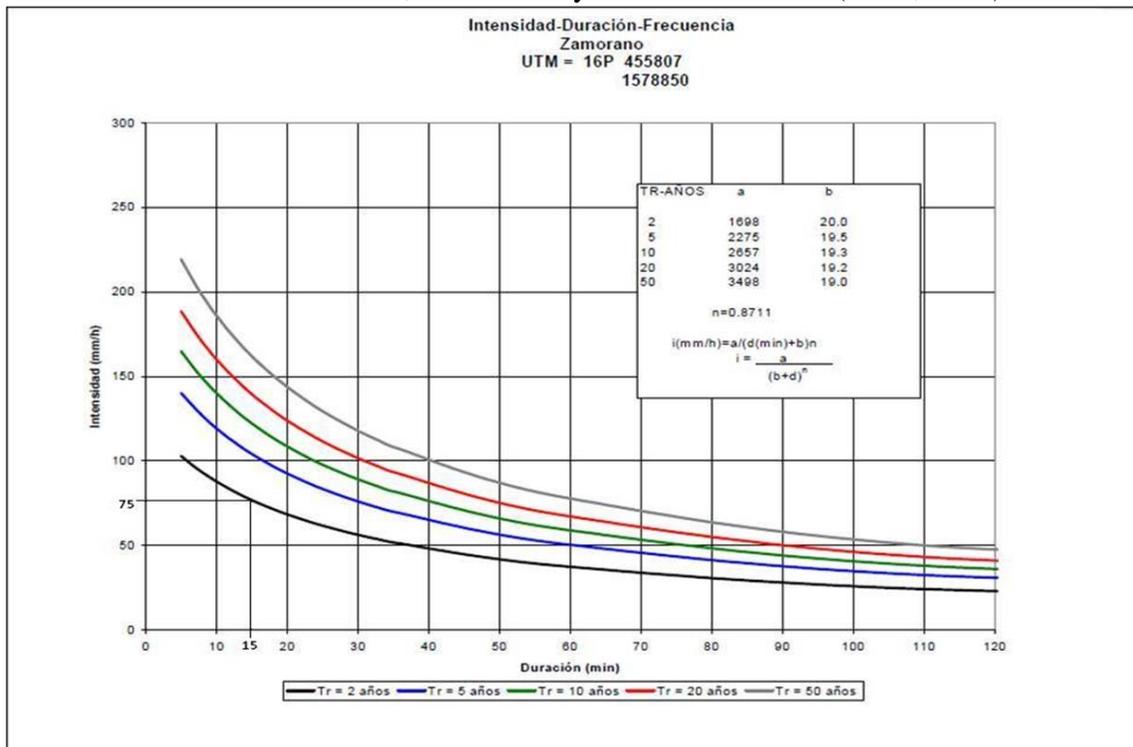
- Departamento de Desarrollo Sostenible. (2013). *Los fertilizantes, en cuanto contaminantes del agua*. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s05.htm>
- Federation of Organic Agriculture Movements. (2009). *La Agricultura Orgánica y la Salud Humana*, Recuperado de: https://www.ifoam-eu.org/sites/default/files/page/files/oa_humanhealth_es.pdf
- Figuerola, N. (2010). *Abonos orgánicos Protegen el suelo y garantizan alimentación sana*. Recuperado de: http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf
- Fondo Hondureño de Inversión Social. (2000). *Manual de referencias Hidrológicas para el diseño de obras de drenaje Menor*. Honduras: Biblioteca Nacional.
- Goklany, I. (2003). *The ins and outs of organic farming*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/10996953_The_Ins_and_Outs_of_Organic_Farming
- Hernández, S. (2014). *Metodología de la investigación 5ta edición*. Mexico D.F., México. Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana.
- Henandez, C. (2015). *Análisis de abonos orgánicos para cantidad de nutrientes que posee el bocashi realizado por el laboratorio de suelo zamorano*.
- Hong, W., Jian-en, G., Li, X.-h., Zhang, S.-l., & Wang, H.-j. (2015). *Acumulación de nitratos y lixiviación en la superficie y en agua subterránea basado en simulación de lluvia*. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4546371/#pone.0136274.ref045>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, (2007). *Determinación de nitratos en aguas por espectrofotometría ultravioleta*. Recuperado de : <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Nitrato+en+agua+por+Espectrofotometr%C3%ADa+UV.pdf/ee058d7c-98fd-4d6c-924c-b4e5864c2d32>
- Instituto Nacional de Investigación Agraria, (2008). *Tecnologías innovativas apropiadas a la conservación insitu de la agro biodiversidad*. Recuperado de http://ong-adg.be/bibliadg/bibliotheque/opac_css/doc_num/fiches_techniques/biol.pdf
- Iñón, N. (2017). *Ciclo del nitrógeno*. Recuperado de: <http://www.iib.unsam.edu.ar/archivos/docencia/licenciatura/biotecnologia/2017/QuimicaBiol/1495120476.pdf>
- Jordan, P., y Covert, A. (2009). *Water portable rainfall simulator*. Recuperado de: https://www.for.gov.bc.ca/ftp/rsi/external!/publish/Wildfire_Risk_Analysis/Publications/
- Kibet, Leonardo; Saporito, Louis; Allen, Arthur; May, Eric; Kleinman, Peter; Hashem,

- Fawzy; Bryant, Ray. (2014). *Medicine National Institutes of Health*. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4161236/>
- Lardizabal, R., Arias, S., & Segura, R. (2013). *Manual de producción de frijol*. Recuperado de: www.sag.gob.hn/dmsdocument/2956
- León, G. (2011). *Edafología*. Caldas. I. pp. 35-56.
- López A. J. (2006). *Manual de Edafología*. Recuperado de: [http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-c2dccc3d62/edafologia% 20 del% 20 suelo.pdf](http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-c2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf).
- Morales, A. (2014). *Evaluación de vulnerabilidad a contaminación de las aguas subterráneas del valle del Yeguaré*. Recuperado de: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3315/1/IAD-2014-T015.pdf>
- Morales, A. (2012). *Estadística y Probabilidades*. Recuperado de: [http://www.x.edu.uy/inet/ EstadisticayProbabilidad.pdf](http://www.x.edu.uy/inet/EstadisticayProbabilidad.pdf)
- Moreno, B., Soto, K., & González, D. (2015). *El consumo de nitrato y su potencial efecto benéfico sobre la salud cardiovascular*. Recuperado de: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182015000200013 &script=sci_arttext
- Moreta, J. C. (2008). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. Recuperado de repositorio.utn.edu.:[http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/720/2/06% 2 0NUT% 20099% 20TESIS.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/720/2/06%20NUT%20099%20TESIS.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2013). *Climate - Smart Agriculture*. Roma, Italia: IUCN.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). *El agua y la agricultura*. Recuperado de: <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>
- Ongley, E. (2013). *Contaminación agrícola de los recursos hídricos*. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s03.htm#TopOfPage>
- Palomares, A. E. (2011). *Contaminación por nitratos y Técnicas para su tratamiento*. Recuperado de: <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>
- Pantoja, J. L. (2012). *Descripción de equipos de labranza*. Recuperado de: [http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/4878/7/Anexo% 207. pdf](http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/4878/7/Anexo%207.pdf)
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2000). *Perspectivas del medio ambiente mundial*. Recuperado de: [http://www.colsan.edu.mx/investigacion/agua ysociedad/proyectogro/Documentos/Trabajos/Nabor% 20Nicol% 20E1s% 20Rojas.pdf](http://www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectogro/Documentos/Trabajos/Nabor%20Nicol%20E1s%20Rojas.pdf)

- Raudes, M., y Sagastume, N. (2009). *Manual de Conservación de Suelo*. Recuperado de: https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_3_Manual_Conservacion_de_Suelos.pdf
- Robles S. A. (2008). *Estudio sobre el Valor Fertilizante de los productos*. Recuperado de: http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf.
- Rosas J. C. (2003). *El cultivo del frijol común en América tropical*. Recuperado de: [bdigital zamorano. https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2424/1/prueba%2009.pdf](https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2424/1/prueba%2009.pdf)
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación 6ta edición*. México: Marcela I. Rocha García.
- Sartain J. (2012). *Environmental Nutrient Management*. Gainesville, Florida. Newell Hall
- Serna, G. L. (2011). *Edafología*. Caldas, Colombia. Espacio Gráfico y comunicaciones S.A.
- United States Geological Survey. (2017). *Nitrogen and Water*. Recuperado de: <https://water.usgs.gov/edu/nitrogen.html>
- Yang, V. (2015). *What are the Benefits of Organic Fertilizer*. Recuperado de: <https://www.linkedin.com/pulse/what-benefits-organic-fertilizer-aimee-sutipa>

7. ANEXOS

Anexo 1. Gráfico de intensidad, frecuencias y duración de lluvia (FHIS, 2000).



Anexo 2. Datos para cálculo de peso molar de oxígeno y fósforo en biol.

Elemento	Átomos	Peso molecular g/mol	Total g/mol
Fósforo	1	30.974	30.974g/mol
Oxígeno	4	15.999	63.996g/mol

Anexo 3. Datos para cálculo de peso molar de hidrógeno y nitrógeno en biol.

Elemento	Átomos	Peso molecular g/mol	Total
Hidrógeno	3	1.007g/mol	3.021g/mol
Nitrógeno	1	14.007g/mol	14.007g/mol

Anexo 4. Mangueras para la colecta de muestras de agua.



Anexo 5. Ubicación de plantas bajo techo de polietileno de baja densidad.



Anexo 6. Simulador de lluvia.



Anexo 7. Sistema de colecta de muestras del simulador de lluvia.



Anexo 8. Toma de precipitación para regulación de lluvia simulada.



Anexo 9. Cálculos de fertilización inorgánica.

Descripción	Ecuación
Calculo de requerimiento de fertilizante DAP de las plantas.	$\frac{103 \text{ kg DAP}}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ Ha}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 0.08516 \text{ m}^2 = 0.877\text{g de DAP}$
Cálculo de peso de suelo utilizado en los recipientes de crecimiento.	$0.0851 \text{ m}^2 \times 0.152 \text{ m} \times 1,550 \text{ kg/m}^3 = 20 \text{ kg de suelo}$
Cálculo demanda de DAP para cubrir la deficiencia de fósforo del suelo	$0.42 \text{ g de P} \times \frac{100 \text{ g DAP}}{46 \text{ g P}} = 0.91 \text{ g DAP}$
Cálculo de aplicación de fertilizante para cubrir la deficiencia de fósforo en el suelo.	$20 \text{ kg} \times \frac{21 \text{ mg P}}{1 \text{ kg suelo}} = 420 \text{ mg P}$
Cálculo de aporte de nitrógeno que realiza la aplicación de DAP	$1.78 \text{ g } 18-46-0 \times 18\% = 0.32\text{g de N}$
Cálculo de demandad de nitrógeno por hectárea.	$226 \text{ kg} \times 0.35 = 79.1 \text{ kg} \frac{\text{N}}{\text{ha}}$

Continuación **Anexo 9.** Cálculos de fertilización Inorgánica.

Descripción	Ecuación
Cálculo de aporte de nitrógeno del DAP por hectárea.	$103 \text{ kg} \times 0.18 = 18.54 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}}$
Cálculo de necesidad bruta de nitrógeno de las plantas de frijol dentro del recipiente de siembra.	$\frac{97.64 \text{ kg}}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ ha}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{g}}{\text{Kg}} \times 0.08516 \text{ m}^2 = 0.831 \text{ g de N}$
Cálculo de necesidad neta de nitrógeno de las plantas de frijol dentro del recipiente de siembra.	$0.831 \text{ g N} - 0.32 \text{ N} = 0.511 \text{ g N}$
Cálculo de aplicación de urea al cultivo.	$0.511 \text{ g N} \times \frac{100 \text{g Urea}}{46 \text{g N}} = 1.11 \text{g de Urea}$
Calculo de necesidad de fósforo de las plantas del experimento, con base en la demanda de DAP del cultivo de frijol en una hectárea.	$103 \text{ kg} \times 0.46 = 47.28 \frac{\text{kg P}}{\text{ha}}$
Conversión de unidades para necesidad de fósforo de las plantas.	$\frac{47.28 \text{ kg P}}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ ha}}{1 \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times 0.08516 \text{ m}^2 = 0.402 \text{ g de P}$

Anexo 10. Cálculos de fertilización orgánica.

Descripción	Ecuación
Cálculo de aplicación de bocashi para cubrir demanda de nitrógeno	$0.831 \text{ g N} \times \frac{1000 \text{ g bocashi}}{17 \text{ g N}} = 48.88 \text{ g de bocashi}$
Cálculo de aplicación de bocashi para cubrir demanda de fósfor	$0.822 \text{ g P} \times \frac{1,000 \text{ g Bocashi}}{11.7 \text{ g P}} = 70.26 \text{ g de bocashi}$
Cálculo de porcentaje del fósforo elemental en la molécula de fosfato.	$\frac{30.974 \text{ P g/mol}}{94.07 \text{ PO}_4 \text{ g/mol}} \times 100 = 32.62\%$
Cálculo de porcentaje del nitrógeno elemental en la molécula de amoniaco.	$\frac{14.007 \text{ N g/mol}}{17.034 \text{ NH}_3 \text{ g/mol}} \times 100 = 82.22\%$
Calculo de concentraciones de fósforo elemental en el boil.	$257 \text{ mg PO}_4 \times 32.62\% = 83.83 \text{ mg de P/L}$
Cálculo de concentraciones de nitrógeno puro en el boil.	$1303.4 \text{g NH}_3 \times 82.22\% = 1071.65 \text{mg de N/L}$

Continuación **Anexo 10.** Cálculos de fertilización orgánica.

Descripción	Ecuación
Calculo de cantidad de biol a aplicar con respecto a la necesidad de fósforo.	$822 \text{ mg P}^* \frac{1000 \text{ ml Biol}}{83.83 \text{ mg P}} = 9,805 \text{ ml de biol}$
Cálculo de cantidad de biol a aplicar con respecto a la necesidad de nitrógeno.	$831 \text{ mg N} \times \frac{1000 \text{ ml biol}}{1071.65 \text{ mg N}} = 775.43 \text{ ml de biol}$

Anexo 11. Cuadro de distribución de aplicaciones de fertilizantes a las plantas de frijol.

Fertilizaciones	Fecha	Simulación de Lluvia	Fecha
Ensayo	03/07/2018	Ensayo	04/07/2018
20%	09/07/2018	Primera simulación	10/07/2018
30%	15/07/2018	Segunda simulación	16/07/2018
50%	22/07/2018	Tercera simulación	23/07/2018
N/A	N/A	Cuarta simulación	29/07/2018