

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Efecto del fósforo acumulado en suelos en la producción de Maíz
Tuxpeño y Frijol Amadeus-77 en Zamorano

Estudiantes

Dulis Joel Durón Chevez

Victor Eduardo Amador Urbina

Asesores

Gloria E. Arévalo, Dra.

Ricardo Peña, PhD.

Honduras, julio 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos	13
Localización de la Zona de Estudio	13
Suelos Evaluados.....	13
Maíz var. Tuxpeño.....	17
Frijol Amadeus-77	17
Manejo Agronómico	18
Control de Malezas, Plagas y Enfermedades	18
Fertilización.....	18
Análisis del Suelo.....	19
Análisis de Macronutrientes en Lamina Foliar.....	20
Variables de Estudio y Recolección de Datos Maíz.....	20
Variables de Estudio y Recolección de Datos Frijol	21
Diseño Experimental	22
Análisis Estadístico	23
Resultados y Discusión.....	24
Maíz.....	24
Frijol	28
Resultado Análisis Foliar	33
Análisis de Correlación Entre Masa Aérea Seca y Masa Seca Raíz	35

Conclusiones36

Recomendaciones.....37

Referencias.....38

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Datos de precipitación y temperatura medias, Estación Climatológica Pivote Central, EAP Zamorano, Honduras.	13
Cuadro 2 Características físicas y químicas y de los suelos analizados para determinar el efecto del fósforo acumulado en suelos en la producción de Maíz Tuxpeño y Frijol Amadeus 77, EAP Zamorano, Honduras.	16
Cuadro 3 Requerimiento de nutrientes por tonelada de producción de maíz (Bertsch 2009).	17
Cuadro 4 Requerimiento de nutrientes por tonelada de producción de frijol (Bertsch 2009).	18
Cuadro 5 Planes de fertilización propuestos para maíz y frijol, con y sin fósforo, para la determinación del efecto del fósforo acumulado en suelos, EAP Zamorano, Honduras.	19
Cuadro 6 Tratamientos para medir el efecto del fósforo acumulado en suelos en la producción Maíz Tuxpeño y Frijol Amadeus-77.	22
Cuadro 7 Efecto de la aplicación de dos niveles de fósforo en el crecimiento del cultivo de maíz Tuxpeño, en suelos con diferente nivel de fósforo, EAP Zamorano, Honduras.	25
Cuadro 8 Interacción del nivel de fósforo en el suelo y las dosis de fósforo aplicadas en maíz variedad Tuxpeño, EAP Zamorano, Honduras.	26
Cuadro 9 Efecto de la aplicación de dos niveles de fósforo en el crecimiento del cultivo de frijol Amadeus 77 en suelos con diferente nivel de fósforo, EAP Zamorano, Honduras.	30
Cuadro 10 Interacción del nivel de fósforo en el suelo y las dosis de fósforo aplicadas en frijol Amadeus-77, EAP Zamorano, Honduras.	31
Cuadro 11 Efecto de la aplicación de fósforo en la absorción de nutrientes en el cultivo de maíz Tuxpeño, con dos dosis de fósforo en la fertilización, EAP Zamorano, Honduras.	34
Cuadro 12 Correlación entre las variables de masa seca aérea y masa seca de raíz en suelos con nivel muy alto (a), muy alto (b), alto y medio en fósforo en el cultivo de maíz var. Tuxpeño, EAP Zamorano, Honduras.	35

Cuadro 13 Correlación entre las variables de masa seca aérea y masa seca de raíz en suelos con nivel muy alto (a), muy alto (b), alto y medio en fósforo en el cultivo de frijol var. Amadeus, EAP Zamorano, Honduras.....	35
--	----

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación Zona 3, lote 2C, nivel de fósforo en el suelo Muy alto (a) (169 mg/kg), EAP Zamorano, Honduras.	14
Figura 2 Finca San Nicolás, Pivote-Laguna (amarillo), fósforo muy alto (b) (67 mg/kg) y Portón (verde), fósforo medio (30 mg/kg), EAP Zamorano, Honduras.....	14
Figura 3 Finca Colindres Lote #3, fósforo en el suelo alto (48 mg/kg), EAP Zamorano, Honduras.	15

Resumen

Maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) representan gran parte de proteínas y calorías consumidas mundialmente. El fósforo es indispensable para el crecimiento y diferenciación de organismos, pero su disponibilidad para la planta es limitada. Favorece la captación, almacenamiento y transferencia de energía en el metabolismo de los cultivos. Los objetivos de este estudio fueron determinar el efecto del fósforo acumulado en suelos en la producción de maíz variedad Tuxpeño hasta floración y frijol variedad Amadeus 77 a prefloración, evaluar la aplicación de 0 y 67 kg/ha de fósforo en maíz y 15 kg/ha en frijol según requerimiento y determinar la mejor dosis de fósforo según el nivel en suelos de Zamorano. Los suelos fueron tomados de lotes de producción agrícola con cuatro niveles de fósforo: muy alto (169 y 67 mg/kg), alto (48 mg/kg) y medio (30 mg/kg) extraídos con Mehlich 3. Se usó un diseño BCA para cada cultivo, separación de medias por Duncan y prueba T student para cada suelo. Aplicar fósforo en frijol aumentó el número de trifolios y en maíz redujo el tiempo a floración y disminuyó el diámetro de raíz. La mejor dosis de fósforo para fertilización dependió del cultivo y del fósforo acumulado en el suelo. Fue suficiente el fósforo acumulado en los suelos desde niveles medio (30 mg/kg), alto (48 mg/kg) a muy alto (67 a 169 mg/kg) para suplir la demanda de fósforo en los dos cultivos, a pesar de ser mayor el requerimiento el maíz. La mayor acumulación foliar de fósforo ocurrió en maíz a concentración alta en el suelo.

Palabras clave: acumulación, cultivo, disponibilidad, dosis, energía.

Abstract

Corn (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) account for much of the protein and calories consumed worldwide. Phosphorus is indispensable for the growth and differentiation of organisms, but its availability to plants is limited. It favors the uptake, storage and transfer of energy in crop metabolism. The objectives were to determine the effect of accumulated phosphorus in soils on the production of corn Tuxpeño until flowering and bean Amadeus 77 to pre-flowering, to evaluate the application of 0 and 67 kg/ha of phosphorus in corn and 15 kg/ha in beans according to requirements, and to determine the best dose of phosphorus according to the level in soils. The soils were taken from agricultural production plots with four phosphorus levels: very high (169 and 67 mg/kg), high (48 mg/kg) and medium (30 mg/kg) extracted with Mehlich 3. A randomised block method design was used for each crop, Duncan method separation and Student's t-test for each soil. Applying phosphorus in beans increased the number of trifoliolate and in corn it reduced the time to flowering and decreased root diameter. The best dose of phosphorus for fertilization depended on the crop and the phosphorus accumulated in the soil. Phosphorus accumulated in soils from medium (30 mg/kg), high (48 mg/kg) to very high (67 to 169 mg/kg) levels was sufficient to supply the phosphorus demand of both crops, despite the higher requirement of maize. The highest foliar phosphorus accumulation occurred in corn at high soil concentrations.

Key words: accumulation, cultivation, availability, dosage, energy.

Introducción

El maíz (*Zea mays*) junto a otros 14 cultivos, representa el 90% de las proteínas y calorías consumidas por los seres humanos mundialmente. Este cultivo cuenta con 335 millones de t/año de producción aproximadamente (FAO 2020). Esta gramínea es de rápido crecimiento y su ciclo de cultivo de 3-5 meses en honduras dependiendo de la finalidad agrícola de interés, este proporciona un mayor rendimiento con temperaturas moderadas y un suministro adecuado de agua (Cruz 2013).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) es la leguminosa con mayor área sembrada en Centroamérica de proteína en la dieta de la población. La producción mundial de frijol oscila en 27 millones de toneladas, en la cosecha 2019/2020 Honduras reportó una producción de 127 mil toneladas (FAO 2020b). Esta leguminosa contiene altos niveles de componentes químicos (fenoles, almidón resistente, vitaminas, fructooligosacáridos) que han posicionado este grano como un alimento funcional ya que ha demostrado proteger al ser humano contra condiciones tales como, estrés oxidativo, enfermedades cardiovasculares, diabetes y muchos tipos de cáncer (Câmara et al. 2013).

El manejo nutricional de un cultivo es esencial para la producción y se define como toda actividad que intervenga en la absorción de nutrientes por la planta, ya sea los que se encuentran en el suelo o los que se agregan a medida se aplican fertilizantes (Gourcy 2013).

El fósforo es el elemento necesario para el crecimiento y diferenciación de un organismo (Mengel y Kirkby 2000). El fósforo, es responsable de la captación, almacenamiento y transferencia de energía en el metabolismo de los cultivos. Además, forma parte de la estructura de ácidos nucleicos y fosfolípidos que son macromoléculas de mucho interés en todos los procesos fisiológicos de cualquier planta. Como lo indica su nombre, el adenosín trifosfato (ATP) es formado en alta proporción por fósforo, son moléculas que acumulan energía y se forman como resultado de la fotosíntesis de la planta. Asimismo, este elemento es de vital importancia para la generación de células nuevas o procesos de diferenciación de vegetales y frutas; por ejemplo, la producción de raíces al inicio de los

ciclos vegetativos (Fernández 2007). El fósforo es, por lo tanto, importante en la división celular y el desarrollo de nuevos tejidos y está asociado con transformaciones energéticas complejas en la planta. Agregar fósforo por medio de fertilizantes a suelos con bajo contenido de fósforo disponible promueve el crecimiento de las raíces, estimula la propagación vegetativa y acelera la precocidad (Peterson 1999).

Cordell et al. (2009) menciona que gran parte de los suelos en el mundo son deficientes en fósforo, por lo tanto, en sistemas de producción se utilizan fertilizantes a base de fósforo para suplir las necesidades de este elemento. Anualmente se procesan unos 17.5 millones de toneladas de fósforo de las reservas mundiales de fosfatos de roca, de los cuales aproximadamente el 85 % se utiliza en la producción de fertilizantes. Sin embargo Isherwood (1998), afirma que las reservas de roca-P son finitas y se espera que ocurra un agotamiento de las fuentes de calidad en los próximos 50 a 80 años.

Las raíces absorben el fósforo ya sea en forma de ion ortofosfato primario ($\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$), o como ortofosfato secundario (HPO_4^{-2}) y el pH influye enormemente en la proporción con la que son absorbidos por la planta. Cuando se tienen valores de pH básicos o alcalinos en el suelo, se puede reducir la disponibilidad del ($\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$) porque el fósforo reacciona con cationes como el Calcio (Ca^{+2}) o Magnesio (Mg^{+2}) formando, por ejemplo, fosfato de calcio que es una molécula poco soluble en el suelo. Por el contrario, cuando existen valores de pH ácidos en el suelo, se fija el (HPO_4^{-2}) con cationes como el Hierro (Fe^{+2}), Aluminio (Al^{+3}) y Manganeseo (Mn^{+2}), los cuales aumentan su solubilidad a medida que disminuye el pH (pH más ácido) y adsorben fosfatos con mucha intensidad (Fernández 2007).

El fósforo al ser un elemento de alta movilidad en la planta, generalmente los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas más maduras, otros síntomas que presentan las plantas son un macollaje afectado, tasas reducidas de crecimiento de los nuevos retoños y frecuentemente el desarrollo y la apertura de los nuevos brotes florales es insatisfactoria, por otro lado, niveles extremadamente altos de fosfatos en el suelo pueden deprimir el crecimiento generando una

intoxicación por parte de las planta (Mengel y Kirkby 2000). Asher y Lonegaran (1967) encontraron que proporciones muy altas de fosfatos dieron resultado a tasas de crecimiento reducidas en la planta.

Los suelos utilizados en el experimento provinieron de diferentes localidades, en lotes destinados a producción de cultivos agrícolas entre ellos maíz, sorgo y frijol y cultivos hortícolas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto del fósforo acumulado en suelos en la producción de Tuxpeño y Frijol var. Amadeus 77; evaluar el resultado de la aplicación de dos planes de fertilización con variación fosfórica en suelos con diferentes concentraciones de fósforo en la producción de maíz y frijol; y, determinar la mejor dosis de fertilizante fosfórico para diferentes niveles de fósforo en el suelo.

Materiales y Métodos

Localización de la Zona de Estudio

La investigación se llevó a cabo en el área de producción e investigación de Micorriza, localizada en la Escuela Agrícola Panamericana, EAP Zamorano, a 30 km al sur de la ciudad de Tegucigalpa, Francisco Morazán con coordenadas 14°00'40"N 87°00'09"O a 749 msnm. El estudio se realizó durante los meses de febrero a mayo de 2022, con una temperatura media de 23.94°C y 338mm de precipitación ocurrida en el periodo del experimento (Cuadro 1). Se aplicó riego suplementario durante todo el experimento.

Cuadro 1

Datos de precipitación y temperatura medias, Estación Climatológica Pivote Central, EAP Zamorano, Honduras.

Año	2022				
Mes	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Precipitación total
Precipitación (mm)	2.6	1.2	122.6	212.2	338.6
Temperatura (C°)	22.52	24.45	24.86	23.96	

Suelos Evaluados

Se evaluaron cuatro suelos de diferentes lotes de producción en la EAP Zamorano, teniendo cuatro niveles de fósforo: muy alto (a) (169 mg/kg), en el Lote 2C de Zona 3 (Figura 1), muy alto (b) (67 mg/kg) en el lote Portón del Pivote central en la finca San Nicolás (Figura 2), alto (48 mg/kg) en el lote Laguna del Pivote central en la finca San Nicolás (Figura 3) y medio (30 mg/kg) en el lote No.3 en la finca Colindres (Figura 4), seleccionados a partir de los niveles diferenciales de fósforo que presentaban los suelos registrados en la base de datos del Laboratorio de Suelos de Zamorano (LSZ), de acuerdo con los rangos de interpretación que tiene establecido LSZ para el fósforo extraído con la solución extractora Mehlich 3 (Cuadro 2).

Figura 1

Ubicación Zona 3, lote 2C, nivel de fósforo en el suelo Muy alto (a) (169 mg/kg), EAP Zamorano, Honduras.



Figura 2

Finca San Nicolás, Pivote-Laguna (amarillo), fósforo muy alto (b) (67 mg/kg) y Portón (verde), fósforo medio (30 mg/kg), EAP Zamorano, Honduras.



Figura 3

Finca Colindres Lote #3, fósforo en el suelo alto (48 mg/kg), EAP Zamorano, Honduras.



Cuadro 2

Características físicas y químicas y de los suelos analizados para determinar el efecto del fósforo acumulado en suelos en la producción de Maíz

Tuxpeño y Frijol Amadeus 77, EAP Zamorano, Honduras.

Finca	Lote	Fósforo suelo	Textura	g/100g			pH*		g/100g			mg/kg (extractable)			
				A	L	Ar	1:1 (H ₂ O)		C.O.	M.O.	N	P	K	Ca	Mg
Zona 3	lote 2C	muy alto (a)	F	38	42	20	6.51	N	1.41	2.43	0.12	169	398 A	2432 A	176 B
Pivote L. Portón		muy alto (b)	F	48	28	24	4.32	E.A	1.19	2.04	0.1	67	392 A	701 B	74 B
Pivote L. Laguna		Alto	F	48	30	22	4.47	E.A	1.37	2.37	0.12	48	412 A	1124 B	136 B
Colindres 3	Lote 3	Medio	FArA	54	22	24	5.16	F.A	1.57	2.7	0.14	30	410 A	2220 M	228 B

Nota. Text. = Textura: F= Franco, FArA= Franco Arcillo Arenoso; A= Arena, L=Limo, Ar= Arcilla C.O.= Carbono orgánico, M.O.= Materia orgánica, P= Fósforo, N= Nitrógeno, K= Potasio, Ca= Calcio, Mg= Magnesio, N=

Neutro, E.A= Extremadamente ácido, F.A= Fuertemente ácido, A= Alto, B =Bajo, M= Medi

Material Vegetal

Maíz var. Tuxpeño

La fertilización del maíz es uno de los puntos más críticos para lograr buenos rendimientos.

El fósforo (P) es quizá el macronutriente más complejo de manejar debido a que, a diferencia del nitrógeno (N) y potasio (K), el fósforo es fácilmente fijado en el suelo. Hay múltiples casos donde los agricultores omiten el análisis de suelo y llegan a aplicar fósforo cuando el suelo tiene excesos de este nutriente (Castellanos 2016). El maíz crece normalmente en suelos con pH entre 5 y 7 y en las regiones áridas el pH fluctúa entre 6.5 y 9 (Ortiz et al. 2021). Bertsch (2009), estima que se requieren cinco kg de fósforo por cada tonelada de maíz producida (Cuadro 3). La siembra se realizó en maceteros de 16 × 8 pulgadas de alto y ancho respectivamente hasta etapa fenológica vegetativa de transición (VT.)

Cuadro 3

Requerimiento de nutrientes por tonelada de producción de maíz (Bertsch 2009).

Elemento	N	P	K	Ca	Mg
kg/ha por t de producción	25	5	19	3.76	5.84

Nota. N= nitrógeno, P= fósforo, K= potasio, Ca= calcio, Mg= Magnesio

Frijol Amadeus-77

Bertsch (2009) estima que se requieren siete kg de fósforo por cada tonelada de frijol a producir (Cuadro 4). Este cultivo requiere un pH óptimo de 5.5 a 7, una humedad relativa moderada de 60-70%, temperaturas de alrededor 20 a 25 °C, una pluviosidad de 350 a 600 mm y suelos de preferencia francos arcillosos y francos arenosos (Bautista 2012). La variedad utilizada en el experimento fue Amadeus-77, resistente al virus del mosaico dorado amarillo del frijol. Posee una excelente adaptación a condiciones de altas temperaturas que predominan en zonas bajas tropicales y una buena tolerancia a la sequía. Tiene un hábito de crecimiento arbustivo indeterminado tipo II. Es una línea de madurez intermedia, que alcanza la floración a los 36 días y la madurez fisiológica a los 69 días (Rosas et al. 2006).

Cuadro 4

Requerimiento de nutrientes por tonelada de producción de frijol (Bertsch 2009).

Elemento	N	P	K	Ca	Mg
kg/ha por t de producción	68	7	49	16	9

Nota. N= nitrógeno, P= fósforo, K= potasio, Ca= calcio, Mg= Magnesio

Manejo Agronómico

Control de Malezas, Plagas y Enfermedades

El control de malezas se realizó de manera manual durante todo el ciclo de cultivo. Para el control de plagas se utilizaron insecticidas comerciales. Estos fueron CONNECT® y KARATE® para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en maíz. En Frijol para el control de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y Saltahojas (*Peregrinus maidis*).

Fertilización

Se diseñaron dos programas de fertilización, el primero consistió en un programa de fertilización basado en los requerimientos nutricionales tanto de maíz, como de frijol con niveles medios de fósforo en el suelo. El segundo programa de fertilización consistió en una aplicación nula de fósforo y la aplicación normal del resto de los nutrientes (Cuadro 5).

El primer programa de fertilización se aplicó una dosis inicial del 100% de fósforo, 50% de nitrógeno, 60% de potasio, 50% de magnesio y 50% de calcio, 20 días después de siembra (DDS). A los 55 DDS se aplicó la fertilización restante, 50% de nitrógeno, 40% de potasio, 50% de magnesio y 50% de calcio. Para el segundo programa de fertilización se realizaron las mismas actividades, excepto que no se aplicó el fertilizante DAP (18-46-0) ya que esa es fuente de fósforo y se sustituyó el N que se aplicaba con el DAP, con la aplicación de nitrato de amonio como fuente de nitrógeno. En frijol se realizó una sola aplicación al 50% de fósforo, nitrógeno y potasio a los 20 DDS ya que ese cultivo solo se llevó hasta la etapa reproductiva R6 y normalmente se realiza la segunda aplicación de fertilizante en la etapa R8. Los fertilizantes utilizados fueron: DAP, nitrato de amonio, KCl, sulfato de magnesio y nitrato de calcio.

Cuadro 5

Planes de fertilización propuestos para maíz y frijol, con y sin fósforo, para la determinación del efecto del fósforo acumulado en suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Maíz con fósforo	146	29	114	40	32
Maíz sin fósforo	135	0	114	40	32
Frijol con fósforo	124	7	85	0	0
Frijol sin fósforo	121	0	85	0	0

Nota. DAP= Fosfato diamónico, MgSO₄= sulfato de magnesio, KCl= cloruro de potasio

Análisis del Suelo

La textura se determinó por medio del método de Bouyoucos (USDA 1993). Tomando la información de la base de datos del Laboratorio de Suelos de Zamorano LSZ, se determinaron suelos con diferentes niveles de fósforo. Es así, como se seleccionaron los lotes: “Laguna y Portón” en el Pivote central, finca San Nicolas, “Lote #3” en la zona de Colindres, y el “Lote 2C” en Zona 3. En estos lotes, se procedió a tomar nuevas muestras de suelo, para obtener el contenido de fósforo que se extrajo con la solución Mehlich-3 y fue determinado por colorimetría en el Laboratorio de Suelos Zamorano (LSZ).

También se realizó la cuantificación de bases (K, Ca, Mg, Na) extraídas con el mismo método. Una vez extraídos los elementos, su concentración se determinó mediante absorción atómica por espectrometría tipo VarianAA240FS® (Arévalo y Gauggel 2019). El nitrógeno se determinó mediante el método de digestión humedad Kjeldahl.

El pH se determinó por el método del potenciómetro que mide la concentración de iones de H⁺ en la solución de suelo en relación 1:1 suelo: agua y se expresa con un parámetro denominado potencial Hidrógeno o pH (Arévalo y Gauggel 2019).

El carbono orgánico (C.O.) se determina por el método de Walkley-Black oxidando la materia orgánica; A partir del se determinó el contenido de materia orgánica del suelo multiplicando el valor del C.O. por 1.724 (Walkley y Black 1934).

Análisis de Macronutrientes en Lamina Foliar

Se recolectó material vegetal al inicio de la floración 60 DDS en la doceava hoja bajo el verticilo, prosiguió a ser guardado en bolsas de papel rotuladas adecuadamente con el número de tratamiento y repetición, los análisis foliares se realizan en esta etapa de desarrollo temprano porque de esta forma es posible identificar y corregir deficiencias de nutrientes durante el mismo ciclo (Jones et al. 1991).

El tejido a analizar fue lavado para eliminar residuos en la superficie. Se secó en horno a 70°C por 24 horas hasta eliminar la humedad de la muestra, para posteriormente ser molida en un molino marca FRITSCH®, modelo PULVERISETE 15 y el producto de la molienda fue pasado por un tamiz de 35 mesh (0.5mm).

El fósforo se determinó mediante el proceso de digestión húmeda (H_2SO_4 y H_2O_2), por colorimetría de azul de molibdeno (Latimer 2019). La concentración de nitrógeno fue extraída y determinada por el método de Kjeldahl. Los elementos potasio y calcio fueron extraídos mediante el proceso de digestión húmeda y se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica de tipo “Varían AA240FS®” en Laboratorio de Suelos Zamorano (LSZ).

Variables de Estudio y Recolección de Datos Maíz

Las variables medidas en etapa fenológica vegetativa de transición (VT.) Las variables medidas fueron: diámetro de tallo, altura de tallo, días de siembra a floración masculina, masa aérea, largo raíz, diámetro raíz, volumen raíz y masa seca raíz.

Para evaluar la altura del cultivo se utilizó una regla de tres metros de alto (Stadia), desde la base hasta el nudo más viejo de la planta para determinar su desarrollo. Se midió a los 71 DDS en su etapa de floración en donde empieza el desarrollo de grano y termina el crecimiento vegetativo. Para obtener el diámetro de tallo se utilizó un pie de rey y se midió a la altura del primer anillo del tallo (nudo más joven).

Se determinó la materia seca de la biomasa de una planta por macetero al azar por tratamiento en las tres repeticiones a los 71 DDS (etapa vegetativa de transición), se secaron hojas y tallo hasta alcanzar un peso constante en un horno de convección a 70 °C por 72 horas, para luego realizar el pesado y transformación a g/planta.

Para el análisis de raíces de maíz se separó el sistema radical del suelo con mucho cuidado de no dañar ni perder las raíces, para realizar esta actividad con mayor facilidad se saturó el suelo de cada macetero por 30 minutos antes de la limpieza, se introdujo la raíz en baldes, para ser lavada y retirar todo el suelo e impurezas, luego fueron almacenadas en bolsas etiquetadas respectivamente. Se utilizó el escáner Epson® Scan Perfection V700. Con las imágenes y el programa WinRHIZO® del cual se obtuvo la longitud de las raíces (m), diámetro (mm) y volumen (cm³). Una vez escaneadas, se colocaron por separado en bolsas de papel respectivamente identificadas con tratamiento y repetición. Posteriormente fueron llevados por 72 horas al horno a una temperatura de 78 °C, pasado ese tiempo se tomó el peso seco en gramos.

Variables de Estudio y Recolección de Datos Frijol

En este cultivo, los datos fueron tomados al finalizar la fase vegetativa de prefloración R6 40 DDS. Las variables medidas fueron: altura de tallo, número de trifolios, masa aérea, largo raíz, diámetro raíz, volumen raíz y masa seca raíz.

La altura se midió mediante el uso de una cinta métrica en la fase vegetativa de prefloración (R6) desde la base de la planta hasta la yema terminal del tallo a los 40 DDS, se midieron 24 plantas, una planta por macetero alzar por tratamiento en las tres repeticiones. Posterior a esto se decidió retirar el cultivo en este tiempo, ya que fue atacado por trips (*Megalurotrips usitatus*), en las etapas de prefloración y floración y el daño fue muy elevado, se asume que por esta razón hubo aborto floral y por ende no hubo formación de vainas ni datos de producción. Por lo que no era factible que el cultivo continuará con su ciclo.

Se recolectaron muestras de biomasa a los 40 DDS (fase floración R6), una planta por macetero al azar por tratamiento en las tres repeticiones, se secaron hojas y tallo hasta alcanzar un peso constante en un horno de convección a 70 °C por 72 horas, para luego realizar el pesado y transformación a g/planta.

Para la variable de número de trifolios se contó cada uno de los trifolios por planta a los 40 DDS. El cultivo contaba con tres ramas compuestas de trifolios, un trifolio es formado por un conjunto de tres hojas verdaderas de frijol.

Para el análisis de raíces de frijol, se separó el sistema radicular del suelo con mucho cuidado de no dañar ni perder las raíces. Esta actividad se realizó de la misma manera y bajo los mismos parámetros que se hizo en maíz

Diseño Experimental

Cada cultivo se instaló de manera independiente y en cada uno se estableció un diseño de bloques completos al azar (BCA). En cada suelo con un nivel de fósforo particular: (muy alto (a) (169 mg/kg), muy alto (b) (67 mg/kg), alto (48 mg/kg) y medio (30 mg/kg) se aplicaron dos dosis de fertilizante fosfórico: cero y 63 kg/ha de fósforo para maíz y 15 kg/ha de fósforo para frijol para un total de ocho tratamientos por cultivo (Cuadro 6) y tres repeticiones cada uno, formando un total de 24 unidades experimentales por cultivo. La unidad experimental contó con cuatro maceteros cada una. Los datos se tomaron sucesivamente en la misma planta, seleccionada entre los cuatro maceteros de la unidad experimental. Se utilizó un total de 216 macetas de 30 cm de altura con 20 cm de diámetro en la parte superior y 13.5 en la base para maíz y 20 cm × 20 cm para frijol.

Cuadro 6

Tratamientos para medir el efecto del fósforo acumulado en suelos en la producción Maíz Tuxpeño y Frijol Amadeus-77.

Nivel de fósforo en el suelo	Aplicación de Fósforo
Suelo muy alto (a) en fósforo (169 mg/kg)	CON
	SIN

Nivel de fósforo en el suelo	Aplicación de Fósforo
Suelo muy alto (b) en fósforo (67 mg/kg)	CON
	SIN
Suelo alto en fósforo (48 mg/kg)	CON
	SIN
Suelo medio en fósforo (32 mg/kg)	CON
	SIN

Análisis Estadístico

Las variables que se estudiaron se sometieron a un análisis de prueba “t” de student, como factor se evaluaron las dos dosis de fósforo aplicado, analizado por cada nivel de fósforo (4) en el suelo. Para entender el efecto del fósforo acumulado en el suelo, se sometieron a un análisis de varianza para observar la interacción de todos los niveles de fósforo en el suelo (4) con relación a los niveles de fósforo aplicado (2), a pesar de que estos son inherentes a cada tipo de suelo con características propias y diferentes entre ellos. Se realizó separación de medias por Duncan, con una probabilidad α ($P \leq 0.05$) para los datos significativos, con el programa JMP (JMP Statistical Software) versión 16.0®.

Resultados y Discusión

Maíz

Los resultados del estudio mostraron que la dosis de fósforo tuvo un efecto altamente significativo sobre las variables días a floración masculina y diámetro de raíz en suelo con fósforo muy alto (b) (67 mg/kg), lote Portón y suelo alto en fósforo (48 mg/kg), lote Laguna, respectivamente, ambos ubicados en el pivote central Finca San Nicolás. No se observaron diferencias significativas en ninguna de las otras variables medidas como efecto de la dosis de fósforo, en ninguno de los suelos con diferentes niveles de P.

En el suelo con contenido muy alto (a) en fósforo (169 mg/kg) Lote 2C de Zona 3, no se presentó diferencia significativa en las variables analizadas (Cuadro 7). Se identificó una media de mayor precocidad al tratamiento de fertilizante con presencia de fósforo. Se identificó diferencia significativa sobre la variable de diámetro de raíces en el tratamiento de suelo con un alto nivel de fósforo (48 mg/kg), presentando la media más baja con la aplicación de fertilizantes con fósforo.

El cultivo de maíz no presentó diferencias significativas en ninguna de las variables en el efecto de las dosis de fósforo aplicadas en el suelo con nivel medio de este nutriente (Cuadro 7). Además, hubo interacción de los niveles de fósforo en el suelo con las dosis de fósforo aplicadas (Cuadro 8). Esto confirma el efecto de la aplicación de fósforo en la variable de días a floración en el suelo de nivel muy alto (b) (67 mg/kg) en fósforo.

Cuadro 7

Efecto de la aplicación de dos niveles de fósforo en el crecimiento del cultivo de maíz Tuxpeño, en suelos con diferente nivel de fósforo, EAP Zamorano, Honduras.

Variable	Aplicación de fósforo	Nivel de fósforo en el suelo							
		Muy alto (a)		Muy alto (b)		Alto		Medio	
		Media ± D.E.	(Pr> t)	Media ± D.E.	(Pr> t)	Media ± D.E.	(Pr> t)	Media ± D.E.	(Pr> t)
Diámetro tallo (cm)	CON	1.56 ± 0.16		1.43 ± 0.23		1.53 ± 0.20		1.36 ± 0.04	
	SIN	1.30 ± 0.16	0.90	1.13 ± 0.20	0.17	1.66 ± 0.16	0.25	1.23 ± 0.16	0.82
Altura del tallo (cm)	CON	231.66 ± 25.36		205.66 ± 30.87		212.66 ± 41.58		212.66 ± 18.37	
	SIN	214.33 ± 42.67	0.67	224.66 ± 11.11	0.22	216.66 ± 20.07	0.45	216.66 ± 27.43	0.43
Floración (DDS)	CON	78.33 ± 1.69		75.66 ± 2.49 b		75.33 ± 2.86		78.33 ± 4.71	
	SIN	76.33 ± 1.88	0.83	85.00 ± 0.00 a	0.01*	74.00 ± 2.82	0.66	74.00 ± 1.41	0.85
Masa seca Aérea (g/planta)	CON	111.83 ± 21.80		140.12 ± 53.02		115.59 ± 25.23		97.61 ± 9.99	
	SIN	87.22 ± 11.00	0.88	107.43 ± 10.07	0.78	140.06 ± 28.63	0.2	91.89 ± 10.42	0.69
Largo Raíz (m)	CON	22.44 ± 2.36		25.36 ± 7.60		23.67 ± 7.88		15.03 ± 2.38	
	SIN	18.98 ± 3.10	0.86	16.10 ± 8.1	0.84	24.07 ± 6.28	0.47	14.95 ± 5.7	0.5
Diámetro Raíz (mm)	CON	0.60 ± 0.07		0.55 ± 0.04		0.56 ± 0.009 b		0.61 ± 0.04	
	SIN	0.57 ± 0.06	0.65	0.61 ± 0.07	0.19	0.63 ± 0.01 a	0.01*	0.59 ± 0.08	0.61
Volumen Raíz (cm ³ /planta)	CON	55.75 ± 18.92		62.06 ± 18.17		59.9 ± 20.59		44.75 ± 10.58	
	SIN	47.66 ± 3.28	0.7	42.01 ± 11.05	0.86	71.59 ± 30.56	0.33	38.22 ± 5.20	0.76
Peso seco raíz (g/planta)	CON	10.20 ± 3.06		11.00 ± 3.15		11.00 ± 1.93		8.5 ± 1.45	
	SIN	7.40 ± 0.29	0.86	7.50 ± 1.31	0.88	11.33 ± 4.30	0.46	7.03 ± 1.14	0.83

Nota. *Significativo al $P \leq 0.05$, muy alto (a)= (169 mg/kg), en el Lote 2C de Zona 3, muy alto (b)= (67 mg/kg) en el lote Portón del Pivote central en la finca San Nicolás, alto= (48 mg/kg) en el lote Laguna del Pivote central en la finca San Nicolás, medio= (30 mg/kg) en el lote No.3 en la finca Colindres.

Cuadro 8

Interacción del nivel de fósforo en el suelo y las dosis de fósforo aplicadas en maíz variedad Tuxpeño, EAP Zamorano, Honduras.

Parámetro	Diámetro			Altura			Floración			Masa aérea			Diámetro raíces			Volumen raíces			Masa raíces		
	R ²	C.V	P	R ²	C.V	P	R ²	C.V	P	R ²	C.V	P	R ²	C.V	P	R ²	C.V	P	R ²	C.V	P
P suelo			0.21			0.97			0.04*			0.2			1			0.29			0.28
Dosis P	0.38	15.91	0.54	0.26	15.53	0.87	0.67	4.11	0.75	0.38	29.2	0.45	0.23	12.2	1	0.44	37.3	0.51	0.44	31.2	0.14
P suelo * Dosis P			0.47			0.85			0.01*			0.41			1			0.63			0.69

Nota. *Significativo al $P \leq 0.05$, CV= Coeficiente de variación, R²= R cuadrado, P= probabilidad.

En el suelo con niveles de fósforo muy alto (a) (169 mg/kg), en el Lote 2C de Zona 3, no se presentaron diferencias significativas, en las variables de desarrollo y crecimiento de la planta, por la aplicación de fertilizante o sin él, lo que es consistente con el experimento realizado por Valverde et al. (2002) quienes mencionan que, en los suelos con alto contenido de fósforo, no se detecta ninguna diferencia importante, en las plantas de maíz 40 días después de la siembra. El comportamiento de la altura y el diámetro del tallo es similar y no existen diferencias estadísticas. Sin embargo, difieren con el estudio de Tariq Masood et al. (2011), donde revelaron que a mayores concentraciones de fósforo por encima del nivel óptimo de fósforo en el suelo, la planta presentará mayor estrés en cuanto al desarrollo de nuevos tejidos, asimismo estas concentraciones no tuvieron diferencia significativa entre sí.

A diferencia del suelo de nivel alto (a) (169 mg/kg), el suelo con fósforo muy alto (b) (67 mg/kg) Lote Portón, Pivote central, Finca San Nicolás, si presentó diferencia significativas en la variable de días a floración en la aplicación de fertilizante con fósforo, tiene una media de menor días a floración (75.66) e indica que al tener una mayor concentración de este elemento en el suelo, el crecimiento se ve acelerado, lo cual se relaciona con lo mencionado por Peterson (1999), que afirma que agregar fósforo por medio de fertilizantes promueve el crecimiento de las raíces, estimula la propagación vegetativa y acelera la precocidad. La aplicación de fósforo para el suelo con nivel muy alto (b) (67 mg/kg) Lote Portón, Pivote Central, Finca San Nicolás, condujo a que la planta llegara a su etapa productiva en menor tiempo.

El efecto de la aplicación de fósforo en el suelo de nivel alto tuvo efecto presentando una diferencia significativa en la variable de diámetro de raíz. Siendo la media más alta el tratamiento sin aplicación de fósforo. Basado en los resultados de muchos estudios experimentales en el laboratorio e invernadero, es ampliamente aceptado que el desarrollo de hongos de micorriza arbuscular dentro de las raíces de las plantas está regulado por fósforo (Nagahashi et al. 1996). Los experimentos *in vitro*

han demostrado que, bajo limitación de fósforo, las raíces de las plantas aumentan la producción de moléculas señal que estimulan el establecimiento de la simbiosis (Nagahashi y Douds 2000). El efecto de la aplicación de fósforo en el suelo de nivel alto tuvo efecto presentando una diferencia significativa en la variable de diámetro de raíz, siendo la media más alta el tratamiento sin aplicación de fósforo.

Un pH fuertemente ácido y la fijación de fósforo en el suelo con un nivel medio (30 mg/kg) en el lote No.3 en la finca Colindres, probablemente produjo que no se presentaran diferencias significativas de las aplicaciones de este elemento. Los suelos donde existe una gran fijación de fósforo (por adsorción por sesquióxidos y minerales de arcilla) requieren muy altas aplicaciones de fertilizantes fosforados para moderar los efectos de la fijación. Las dosis de aplicación de fósforo deberían estar entre 10 y 50 % más altas que la cantidad de el elemento que absorbe el cultivo en función de su cosecha (Mengel y Kirkby 2000). El suelo de nivel medio de fósforo (30 mg/kg), lote 3 de la finca Colindres, presentaba un pH de 5.16 y según Stevenson (1986), es a pH de 5.20 donde tiene la capacidad de retener mayor fósforo. Los suelos de Zamorano tienen un comportamiento corresponde a mineralogía alofánica por tener carga dependiente de pH (Pérez 2016). Al tener arcillas alófanas la capacidad de intercambio catiónico depende del pH que presente el suelo, aplicar Cal para un incremento de pH es necesario (Stevenson 1986).

Frijol

En el estudio sobre frijol se encontraron diferencias significativas en la variable de número de trifolios como efecto de las dosis utilizadas de fósforo en suelo alto en fósforo (48 mg/kg) en el Lote El Portón del Pivote central, ya que aplicar fósforo como fertilizante disminuye de 15 a 11 trifolios por planta (Cuadro 9). Todas las variables evaluadas se presentan durante la etapa de crecimiento vegetativo, excepto por la variable de número de trifolios que presenta un crecimiento de diferenciación de nuevos tejidos. Es el elemento nitrógeno el responsable del crecimiento vegetativo. Al no haber una diferencia de nitrógeno en la aplicación no se presentó un efecto significativo en el crecimiento vegetativo. Mengel y Kirkby (2000), afirman que la absorción de N a la planta controla en

gran medida la tasa de crecimiento de esta y una alta tasa de crecimiento ocurre solo cuando hay abundante N. Además, hubo efecto de las dosis de fósforo aplicadas en el cultivo de frijol, reflejadas en el número de trifolios de la planta (Cuadro 10). Esto confirma que las dosis de fósforo aplicadas no tuvieron ningún efecto sobre las demás variables evaluadas.

Cuadro 9

Efecto de la aplicación de dos niveles de fósforo en el crecimiento del cultivo de frijol Amadeus 77 en suelos con diferente nivel de fósforo, EAP Zamorano, Honduras.

Variable	Aplicación de fósforo	Nivel de fósforo en el suelo							
		Muy alto (a)		Muy alto (b)		Alto		Medio	
		Media ± D.E.	(Pr> t)	Media ± D.E.	(Pr> t)	Media ± D.E.	(Pr> t)	Media ± D.E.	(Pr> t)
Altura	CON	11.83 ± 1.83	0.24	11.1 ± 2.40	0.82	11.43 ± 1.78	0.94	12.43 ± 0.66	0.96
	SIN	13.9 ± 1.09		13.13 ± 1.29		11.53 ± 0.54		12.46 ± 0.88	
N°. Trifolios	CON	12.66 ± 1.88	0.11	11.3 ± 2.49	0.96	11.00 ± 0.81 b	0.01*	17.33 ± 2.49	0.54
	SIN	16.33 ± 1.69		16.3 ± 1.69		15.33 ± 1.24 a		16.00 ± 1.41	
Masa Aérea	CON	20.06 ± 0.74	0.89	15.63 ± 6.13	0.63	14.39 ± 6.16	0.07	16.09 ± 4.66	0.57
	SIN	19.53 ± 5.42		18.62 ± 7.8		24.98 ± 5.39		19.13 ± 5.27	
Longitud raíces	CON	7.23 ± 0.88	0.24	7.29 ± 4.05	0.53	9.17 ± 1.75	0.33	5.05 ± 4.45	0.62
	SIN	5.49 ± 1.55		7.58 ± 3.01		7.04 ± 2.125		5.36 ± 7.03	
Volumen raíces	CON	9.76 ± 0.39	0.22	6.74 ± 3.53	0.67	9.02 ± 1.53	0.19	6.22 ± 0.24	0.63
	SIN	6.97 ± 2.69		8.2 ± 2.13		7.01 ± 1.03		6.56 ± 0.89	
Masa raíces	CON	1.33 ± 0.39	0.35	1.18 ± 0.70	0.46	1.25 ± 0.27	0.44	1.05 ± 0.08	0.8
	SIN	1.14 ± 0.51		1.13 ± 0.35		1.21 ± 0.29		0.12 ± 0.20	

Nota. *Significativo al $P \leq 0.05$, muy alto (a)= (169 mg/kg), en el Lote 2C de Zona 3, muy alto (b)= (67 mg/kg) en el lote Portón del Pivote central en la finca San Nicolás, alto= (48 mg/kg) en el lote Laguna del Pivote central en la finca San Nicolás, medio= (30 mg/kg) en el lote No.3 en la finca Colindres.

Cuadro 10

Interacción del nivel de fósforo en el suelo y las dosis de fósforo aplicadas en frijol Amadeus-77, EAP Zamorano, Honduras.

Parámetro	Altura			N° Trifolios			Masa aérea			Longitud raíces			Volumen raíces			Masa raíces		
	R ²	C.V	P	R ²	C.V	P	R ²	C.V	P	R ²	C.V	P	R ²	C.V	P	R ²	C.V	P
P suelo			0.59			0.07			0.86			0.28			0.49			0.97
Dosis P	0.46	13.26	0.16	0.79	11.89	0.01*	0.47	32.4	0.16	0.37	38.5	0.45	0.43	29	0.43	0.14	41	0.87
P suelo × Dosis P			0.6			0.09			0.55			0.77			0.38			0.94

Nota. *Significativo al $P \leq 0.05$, CV= Coeficiente de variación, R²= R cuadrado, P= probabilidad

El fósforo es el responsable de los procesos de desarrollo de nuevos tejidos en la planta (Peterson 1999), y es la variable de número de trifolios la que se relaciona con este término. Al tener presencia de niveles muy altos de fósforo en ambos suelos las fertilizaciones con y sin fósforo no pudieron expresar diferencia alguna en el crecimiento de la planta. El estudio de Tariq Masood et al. (2011), reveló que en mayores concentraciones por encima del nivel óptimo de fósforo la planta presentará mayor estrés en cuanto al desarrollo de nuevos tejidos. Asimismo, estas concentraciones no tuvieron diferencia significativa entre sí. En adición a eso Sánchez et al. (2018) en su investigación afirman que niveles de fósforo mayores a los adecuados generan una toxicidad en la planta, de igual manera no se presenta diferencia entre niveles considerados tóxicos. Aplicar o no aplicar fósforo a suelos de nivel muy alto (a) (169 mg/kg), en el Lote 2C de Zona 3 y muy alto (b) (67 mg/kg) en el lote Portón del Pivote central en la finca San Nicolás en este no va a presentar un menor o mayor rendimiento en la planta de frijol.

Se presentó un efecto sobre el suelo alto (48 mg/kg) en el lote Laguna del Pivote central en la finca San Nicolás en fósforo debido a que, al aplicar fertilizante fosforado a un suelo alto en este elemento, provoca un exceso del elemento en la solución de este. De igual manera, Oliva et al. (1995) evaluaron distintas concentraciones de fósforo en la variable de número de hojas de la planta y afirmaron que las concentraciones superiores a las óptimas del elemento no generan un aumento significativo en el número de hojas.

A tasas muy altas de absorción de fósforo se presentan tasas de crecimiento reducidas (Asher y Lonegaran 1967). En adición Tariq Masood et al. (2011), demostraron que concentraciones de 100kg/ha presentan mayores rendimientos de producción que concentraciones de 150 y 200 kg/ha. Esto nos quiere decir que un incremento de fósforo mayor a lo adecuado no nos refleja un incremento proporcional de rendimiento en la planta.

Los resultados presentan que no hay diferencia alguna si se aplica o no fertilizante fosforado en condiciones del suelo de nivel medio de fósforo (30 mg/kg) en el lote No.3 en la finca Colindres.

Aplicar fósforo a suelos de nivel medio no va a presentar una baja en el rendimiento, en otro orden de cosas, tampoco se llega a niveles tóxicos que induzcan un menor rendimiento en la planta de frijol. Esto lleva a la misma discusión sobre los niveles medios de fósforo ocurridos en el cultivo de maíz (Cuadro 7), sobre la presencia altos niveles de arcilla, pH fuertemente ácido y la fijación de fósforo en el suelo de nivel medio donde no hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) por aplicación de este elemento y bajo las mismas consideraciones para su aplicación (Mengel y Kirkby 2000). El suelo de nivel medio fósforo presentó un pH de 5.16 y según Stevenson (1986), es a pH de 5.20 donde tiene la capacidad de retener mayor fósforo. El mismo comportamiento fue encontrado en los cultivos de maíz y frijol en el nivel medio de P, pese a que los requerimientos y dosis aplicadas fueron diferentes en los dos casos.

Resultado Análisis Foliar

El efecto de aplicar fósforo en suelos con distintas concentraciones de fósforo: nivel muy alto (a) (169 mg/kg), muy alto (b) (67 mg/kg), alto (48 mg/kg), y medio (30 mg/kg), no tuvo efecto sobre la cantidad de nitrógeno, potasio, magnesio y calcio acumulado en la planta en ninguno de los suelos. No obstante, se obtuvo un efecto significativo de aumento en la concentración de fósforo en lamina foliar en suelo alto en fósforo, siendo la media con más concentración cuando se aplicó fósforo (Cuadro 11). En nitrógeno, potasio, calcio y magnesio no se alcanzaron los niveles de absorción óptimos, con relación a los establecidos por Beton Jones. En cambio, en el fósforo se presentaron niveles altos de absorción. Esto es debido a que, al aplicar fertilizante fosforado a un suelo alto en este elemento, provoca un exceso del elemento en la solución del suelo y facilita su absorción. Por otro lado, niveles extremadamente altos de fosfatos en el suelo pueden deprimir el crecimiento generando una intoxicación por parte de las planta (Mengel y Kirkby 2000). Las altas concentraciones fósforo afectan de manera negativa el crecimiento de la planta (Cuadro 8). Asher y Lonegaran (1967), encontraron que proporciones muy altas de fosfatos dieron resultado a tasas de crecimiento reducidas en la planta.

Cuadro 11

Efecto de la aplicación de fósforo en la absorción de nutrientes en el cultivo de maíz Tuxpeño, con dos dosis de fósforo en la fertilización, EAP Zamorano, Honduras.

Elemento en lamina foliar	Aplicación de fósforo	Nivel de fósforo en el suelo							
		Muy alto (a)		Muy alto (b)		Alto		Medio	
		Media ± D.E.	(Pr> t)	Media ± D.E.	(Pr> t)	Media ± D.E.	(Pr> t)	Media ± D.E.	(Pr> t)
Nitrógeno (3 a 3.5%) ^β	CON	1.12 ± 0.04	0.84	1.48 ± 0.08	0.51	1.43 ± 0.01	0.28	1.17 ± 0.09	0.82
	SIN	1.22 ± 0.06		1.38 ± 0.17		1.36 ± 0.07		1.15 ± 0.07	
Fósforo (0.25 a 0.45%)	CON	0.50 ± 0.02	0.26	0.48 ± 0.02	0.67	0.48 ± 0.00 a	0.01*	0.45 ± 0.01	0.98
	SIN	0.47 ± 0.01		0.47 ± 0.02		0.46 ± 0.00 b		0.45 ± 0.02	
Potasio (2 a 2.5%)	CON	1.34 ± 0.02	0.31	0.05 ± 0.02	0.66	1.37 ± 0.24	0.54	1.32 ± 0.01	0.78
	SIN	1.32 ± 0.00		0.05 ± 0.12		1.35 ± 0.03		1.31 ± 0.02	
Calcio (0.25 a 0.5%)	CON	0.64 ± 0.01	0.47	0.63 ± 0.02	0.53	0.61 ± 0.02	0.23	0.61 ± 0.04	0.95
	SIN	0.59 ± 0.01		0.58 ± 0.02		0.58 ± 0.00		0.61 ± 0.04	
Magnesio (0.13 a 0.30)	CON	0.33 ± 0.02	0.35	0.37 ± 0.00	0.96	0.37 ± 0.02	0.06	0.32 ± 0.03	0.84
	SIN	0.32 ± 0.00		0.36 ± 0.03		0.32 ± 0.00		0.33 ± 0.05	

Nota. *Significativo al $P \leq 0.05$, muy alto (a)= (169 mg/kg), en el Lote 2C de Zona 3, muy alto (b)= (67 mg/kg) en el lote Portón del Pivote central en la finca San Nicolás, alto= (48 mg/kg) en el lote Laguna del Pivote central en la finca San Nicolás, medio= (30 mg/kg) en el lote No.3 en la finca Colindres. β = Valores medios por Beton Jones Plant Análisis Handbook.

Análisis de Correlación Entre Masa Aérea Seca y Masa Seca Raíz

Según el análisis de correlación entre las variables de masa aérea seca y masa de raíz seca en ambos cultivos, se encontró una correlación lineal positiva de 0.6, que indica que estas dos variables están asociadas en sentido directo. En otras palabras, a mayor masa seca de raíz, mayor será la masa aérea seca y viceversa para los dos cultivos maíz (Cuadro 12) y frijol (Cuadro 13).

Cuadro 12

Correlación entre las variables de masa seca aérea y masa seca de raíz en suelos con nivel muy alto (a), muy alto (b), alto y medio en fósforo en el cultivo de maíz var. Tuxpeño, EAP Zamorano, Honduras.

VARIABLES	Masa aérea seca	Masa raíz seca
Masa aérea seca	1	0.6*
Masa raíz seca	0.6*	1

Nota. *correlación media

Cuadro 13

Correlación entre las variables de masa seca aérea y masa seca de raíz en suelos con nivel muy alto (a), muy alto (b), alto y medio en fósforo en el cultivo de frijol var. Amadeus, EAP Zamorano, Honduras.

VARIABLES	Masa aérea seca	Masa raíz seca
Masa aérea seca	1	0.6*
Masa raíz seca	0.6*	1

Nota. *correlación media

Conclusiones

Fue suficiente el nivel de fósforo acumulado en los suelos desde niveles medio (30 mg/kg), alto (48 mg/kg) a muy altos (67 a 169 mg/kg) para suplir la demanda de este elemento en los cultivos de maíz y frijol, a pesar de ser mayor el requerimiento del maíz (5 kg/ha por t de producción).

Aplicar fósforo en suelo alto en fósforo (48 mg/kg) disminuyó del diámetro de la raíz en el cultivo del maíz y el número de trifolios en el cultivo de frijol. Por otra parte, en suelos con un nivel muy alto de fósforo (67 mg/kg), aplicar fósforo se reflejó en alcanzar la madurez reproductiva en menos días. Sin embargo, a niveles mayores (169 mg/kg) o niveles medios (30 mg/kg) la aplicación de fósforo en el suelo no muestra efecto.

La mejor dosis de fertilizante fosfórico para diferentes niveles de fósforo en el suelo es determinada por el nivel de fósforo en el suelo y el requerimiento del cultivo.

Aplicar fósforo en los dos cultivos generó efectos fisiológicos y mayor acumulación foliar de fósforo en maíz en los suelos con concentración muy alta (67 mg/kg) y alta (48 mg/kg), que se pueden relacionar con el pH extremadamente ácido en esos suelos que limita la absorción de este nutriente.

Recomendaciones

Evaluar un mayor número de dosis de fósforo aplicados a suelos con diferentes concentraciones de P.

Evaluar la aplicación de distintas dosis de fósforo en más cultivos, ya sea hortalizas y frutales.

Evaluar el estudio hasta etapas de producción

Evaluar el estudio a diferentes densidades de siembra.

Evaluar comportamiento de los microorganismos (micorrizas y otros organismos benéficos) a distintas dosis aplicadas y concentraciones de fósforo en el suelo.

Evaluar el estudio fuera del macetero y en las condiciones en donde se extrajo el suelo.

Referencias

- Arévalo GE, Gauggel CA. 2019. Manual de Prácticas de Laboratorio: Curso De Manejo De Suelos y Nutrición Vegetal. 2ª ed. Tegucigalpa, Honduras: LITOCOM. ISBN: 978-99979-811-1-0.
- Asher CJ, Lonegaran JF. 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture: I. growth and phosphorus content. *Soil Science*. 103(4):225. https://journals.lww.com/soilsci/citation/1967/04000/response_of_plants_to_phosphate_concentration_in.1.aspx. doi:aspx.
- Bautista LA. 2012. Cultivo de frijol. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 30 de jun. de 2022; consultado el 30 de jun. de 2022]. <https://es.slideshare.net/labautistas/cultivo-de-frijol>.
- Bertsch FH. 2009. Absorción de nutrientes por los cultivos. 1ª ed. San Jose, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Cámara C, Urrea C, Schlegel V. 2013. Pinto Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a Functional Food: Implications on Human Health. *Agriculture*. 3(1):90–111. doi:10.3390/agriculture3010090.
- Castellanos JC. 2016. Fertilización fosfórica en maíz. [sin lugar]: [sin editorial]. <https://semillastodoterreno.com/wp-content/uploads/2014/02/formulaci%3%b3n-de-la-fertilizaci%3%b3n-fosforada-en-el-ma%3%adz1.pdf>.
- Cordell D, Drangert J-O, White S. 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*. 19(2):292–305. doi:10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.
- Cruz OF. 2013. Manual para el cultivo de maíz en Honduras: Programa Nacional de Maíz – DICTA. 3ª ed. Tegucigalpa, Honduras: Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). 27 p. ; [consultado el 28 de jun. de 2022]. <https://dicta.gob.hn/files/2013,-Manual-cultivo-de-maiz--G.pdf>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020a. Statistics Crops Productions Beans Production. Honduras. [sin lugar]: Food and Agriculture Organization of the United Nations; [actualizado el 24 de jun. de 2022; consultado el 28 de jun. de 2022]. <https://www.fao.org/faostat/en/>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020b. Statistics Crops Productions quantities of Maize. [sin lugar]: Food and Agriculture Organization of the United Nations; [actualizado el 24 de jun. de 2022; consultado el 28 de jun. de 2022]. <https://www.fao.org/faostat/en/>.
- Fernández TM. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*; [consultado el 28 de jun. de 2022]. 41(2):51–57. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>.
- Gourcy FR. 2013. Nutrición vegetal. Aguascalientes Mexico: Universidad autonoma de Aguascalientes. https://www.academia.edu/download/48499345/planta_nutri.pdf.
- Isherwood KF. 1998. Mineral fertilizer use and the environment. 2ª ed. Paris: IFA, International fertilizer industry Association. 51 p. ISBN: 2-9506299-3-8.
- Jones JB, Mills HA, Wolf B. 1991. Plant analysis handbook: A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. 1ª ed. Athens, GA: Micro-Macro Publishing. 213 p. ISBN: 9781878148001.

- Latimer GW, editor. 2019. Official methods of analysis of AOAC International. 21ª ed. Gaithersburg, Md.: AOAC International. ISBN: 9780935584899. eng.
- Mengel K, Kirkby EA. 2000. Principios de nutrición vegetal. 4ª ed. Basilea/Suiza: EEA INTA Pergamino. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/principios%20de%20nutrici%c3%93n%20vegetal.pdf.
- Nagahashi G, Douds DD. 2000. Partial separation of root exudate components and their effects upon the growth of germinated spores of AM fungi. *Mycological Research*. 104(12):1453–1464. doi:10.1017/S0953756200002860.
- Nagahashi G, Douds Jr. DD, Abney GD. 1996. Phosphorus amendment inhibits hyphal branching of the VAM fungus *Gigaspora margarita* directly and indirectly through its effect on root exudation. *Mycorrhiza*. 6(5):403–408. doi:10.1007/s005720050139.
- Oliva MA, Barros NF de, Mouza Gomes MM de. 1995. Muerte apical en eucalipto y manejo nutritivo de plantaciones forestales: aspectos fisiológicos del problema. *bosque*. 16(1):77–86. doi:10.4206/bosque.1995.v16n1-08.
- Ortiz M, Delatorre Castillo JP, Sepúlveda I, Low C, Ruiz KB, Delatorre Herrera J. 2021. Efectos de distintas concentraciones de boro y pH en el crecimiento de *Zea mays* var. Capia blanco, un maíz ancestral de Chile. *Idesia*. 39(2):111–119. doi:10.4067/S0718-34292021000200111.
- Pérez RJ. 2016. Determinación de la necesidad de cal en los suelos agrícolas de Zamorano, Honduras [tesis pregrado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- Peterson JM. 1999. Suelos - Parte 6: Fósforo y Potasio en el Suelo. Lincoln Nebraska: Universidad de Nebraska. <https://digitalcommons.unl.edu/passel/121/>.
- Rosas JC, Castro A, Flores E. 2006. Mejoramiento genético del frijol rojo y negro mesoamericano para Centroamérica y El Caribe. *Agron. Mesoam*. 11(2):37. doi:10.15517/am.v11i2.17305.
- Sánchez ES, Ruiz JM, Romero L, Preciado P, Flores MA, Márquez C. 2018. ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero? *Ecosist. Recur. Agropec*. 5(15):387–398. doi:10.19136/era.a5n15.1757.
- Smith SE, Read DJ. 2010. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3ª ed. [sin lugar]: Elsevier Science. 1 online resource. ISBN: 9780080559346. en.
- Stevenson F. 1986. *Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. 2ª ed. New York: J. Wiley. 308 p. (A Wiley-Interscience publication). ISBN: 0471822183. eng. <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0607/85012042-d.html>.
- Tariq Masood, Gul R, MUNSIF F. 2011. Effect of different phosphorus levels on the yield and yield components of maize. *Sarhad Journal of Agriculture*. 27(2). http://www.aup.edu.pk/sj_pdf/2-%20effect%20of%20different%20phosphorus%20levels%20on%20the.pdf.
- [USDA] United States Department of Agriculture. 1993. *Soil Survey Manual*. Washington D. C.: United States Department of Agriculture. 18. en.
- Valverde F, Ramos M, Parra R. 2002. Evaluación de sistemas de labranza de conservación del suelo y fertilización con fósforo en maíz, al tercer año de estudio. [sin lugar]: [sin editorial]. esp. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2512>.

Walkley A, Black Ia. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37(1):29. https://journals.lww.com/soilsci/citation/1934/01000/an_examination_of_the_degtjareff_method_for.3.aspx3. doi:aspx.