

# Manejo diferencial de suelos mediante el uso de prácticas de agricultura de precisión para la producción de semilla de frijol y sorgo<sup>1</sup>

Diego Andrés Rosas Velásquez<sup>2</sup>  
diego.rosas.m21006@alumni.zamorano.edu

Gloria Elizabeth Arévalo Valderrama  
ggauggel@zamorano.edu  
Profesor Asociado de Suelos  
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria  
Universidad Zamorano, Honduras

Renán Pineda Mejía  
repineda@zamorano.edu  
Profesor Asociado de Cultivos Agronómicos  
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria  
Universidad Zamorano, Honduras

**Resumen.** La agricultura de precisión (AP) permite la optimización de la fertilización. La variabilidad de los suelos es un factor que se debe tomar en cuenta en la AP. El objetivo del estudio consistió en implementar la técnica de mapeo de fertilidad de los suelos, para optimizar el uso de fertilizantes y determinar su viabilidad mediante un análisis económico. Se generaron mapas de fertilidad de suelos con muestreo intensivo (cinco por hectárea). Se evaluaron tres programas de fertilización (PF): Unidad de Producción de Granos y Semillas (UPGS) (171N-13P-92K), Propuesta AP (128N-7P-85K-9Ca-12Mg), y Propuesta de Empresa (49N-16P-59K-0Ca-6Mg) para el cultivo de frijol variedad "Tolupán Rojo"; y UPGS (164N-23P-114K-4Ca-2Mg), Propuesta AP (195N-9P-107K-0Ca-6Mg), y Empresa (182N-24P-34K-0Ca-5Mg) y sin fertilización, en el cultivo de sorgo variedad "Sureño": Los experimentos se condujeron en tres tipos de suelos, franco-arenoso (SFA), franco (SF) y franco-arcilloso (SFAR). Los mapas de fertilidad mostraron una variabilidad espacial fisicoquímica de los suelos. La producción de semilla en frijol en SF (2,223 kg/ha) y SFAR (2,100 kg/ha), con mejores condiciones físicas, fueron superiores ( $P=0.02$ ) a SFA (1,333 kg/ha). La biodisponibilidad de P y K fue alta por la acumulación en el suelo y bajo efecto del fertilizante; por lo que se debe ajustar la fertilización teniendo en cuenta la relación de bases en el suelo y la biodisponibilidad de nutrientes. No se presentaron diferencias entre PF en los diferentes suelos en la producción de sorgo.

**Palabras clave:** Análisis foliar, fertilidad de suelos, muestreo intensivo de suelos, programas de fertilización, rendimiento de semilla.

## Differential soil management using precision agriculture practices for bean and sorghum seed production

**Abstract.** Precision agriculture (PA) allows the optimization of fertilization. Soil variability is a factor that must be considered in the PA. The objective of the study was to implement the soil fertility mapping technique to optimize the use of fertilizers and to determine its viability through an economic analysis. Soil fertility maps were generated with intensive sampling (five per hectare). Three fertilization programs were evaluated: Grain and Seed Production Unit (UPGS) (171N-13P-92K), AP Proposal (128N-7P-85K-9Ca-12Mg) and Company Proposal (49N-16P-59K-0Ca-6Mg) for the cultivation of bean variety "Tolupán Rojo"; and UPGS (164N-23P-114K-4Ca-2Mg), AP Proposal (195N-9P-107K-0Ca-6Mg), and Company Proposal (182N-24P-34K-0Ca-5Mg), and without fertilization in the sorghum crop variety "Sureño". The experiments were conducted in three soil types, sandy loam (SFA), loam (SF) and clay loam (SFAR). The fertility maps showed a physical and chemical spatial variability of the soils. Bean seed production in SF (2,223 kg/ha) and SFAR (2,100 kg/ha), with better physical conditions, were superior ( $P=0.02$ ) than SFA (1,333 kg/ha). The bioavailability of P and K was high due to accumulation in the soil and a low effect of the fertilizer; being necessary to adjust the fertilization considering the ratio of bases in the soil and the bioavailability of nutrients. There were no differences between fertilization programs in the different soil types in sorghum production.

**Keywords:** Fertilization programs, foliar analysis, intensive soil sampling, seed yield, soil fertility.

<sup>1</sup> Trabajo parcial de DA Rosas-Velásquez para optar el título de Maestría en Ciencias en Agricultura Tropical Sostenible, Universidad Zamorano, Honduras.

<sup>2</sup> Autor para correspondencia.

## Introducción

La baja adopción de las técnicas de agricultura de precisión (AP) en la producción agrícola se debe al desconocimiento sobre las ventajas que se pueden obtener al utilizarlas efectivamente, en comparación a los sistemas convencionales de la producción agrícola. La AP busca controlar factores externos y obtener datos más precisos que permitan que la producción real para que un cultivo se aproxime más a la de la producción potencial (García y Flego 2008; Natu y Kulkarni 2016). Entre los factores externos que tienen un alto impacto en la agricultura actual que se pueden estudiar mediante la AP, se encuentran la variabilidad de las propiedades físicas, químicas y espaciales del suelo. La variabilidad de las propiedades del suelo es una condición inherente al mismo, debido a que en su formación influyen múltiples factores ambientales y climáticos como la precipitación, materiales depositados, microorganismos, relieve y tiempo, que pueden afectar el uso y distribución del suelo en la agricultura y depende de la naturaleza final de las variables físicas, químicas y biológicas del suelo para la agricultura (Jaramillo J. 2012).

La variabilidad espacial de los suelos es la que se presenta en un área agrícola o no agrícola donde las características físicas como textura y estructura, químicas como pH, conductividad eléctrica, proporciones de macronutrientes y micronutrientes, y biológicas como la presencia de microorganismos, se presentan en los suelos sobre una distribución espacial. Esta variabilidad ha sido ampliamente estudiada en la AP debido a la importancia agrícola y ambiental que conlleva para el recurso suelo y las metodologías utilizadas para su estudio por medio de mapas digitales de fertilidad de suelos (Mieres y Campos 2011; Jaramillo J. 2012). Las investigaciones de Yost et al. (2017), mostraron los beneficios de la adopción de prácticas y técnicas de AP, al incluir el manejo diferencial de la fertilidad de los suelos por áreas, y la utilización de la agricultura de conservación a largo plazo en las producciones agrícolas. La AP y la agricultura de conservación generaron mayores niveles de sostenibilidad y disminución del grado de incertidumbre económica por la variación de rendimientos, al mejorar así la rentabilidad en las producciones de maíz y soya en el estado de Missouri, Estados Unidos de América.

El presente estudio se planteó debido a la falta de datos precisos de la variabilidad espacial de la fertilidad en los suelos, la necesidad de crear manejos diferenciados en las áreas de producción, generar un ahorro en el costo de fertilizantes, hacer aplicaciones efectivas, prevenir la toxicidad en los suelos y evitar generar una sobredosificación de fertilizantes para los cultivos, y evitar la disminución de la calidad física, química y biológica de los suelos de las unidades de producción agrícola de la Universidad Zamorano, ubicada en el Valle del río Yegüare, departamento de Francisco Morazán, Honduras. El propósito de la presente investigación fue generar información de la viabilidad y rentabilidad del uso de las tecnologías de AP, específicamente en los sistemas de producción de granos y semillas de Zamorano, Honduras. Para ello, se analizaron aspectos para generar respuestas a la problemática de bajos rendimientos en los cultivos, aumentar las producciones, hacer uso inteligente de fertilizantes que permitan el ahorro y evitar la sobredosificación de los suelos para su cuidado y sostenibilidad como recurso agrícola. Se propuso evaluar un manejo diferencial en los suelos al usar técnicas de AP en cultivos de granos básicos para el mejoramiento sostenible de la producción, en el área productiva asignada para la investigación. Los objetivos del presente trabajo consistieron en evaluar el efecto de implementar la técnica de mapeo de fertilidad de suelos para aplicar técnicas de agricultura de precisión en la producción de semillas de frijol y sorgo, y determinar la viabilidad de implementar la técnica de mapeo de suelos en conjunto con la generación de programas de fertilización para optimizar el uso de fertilizantes. La hipótesis de la investigación consistió en encontrar diferencias entre los programas de fertilización en interacción con las diferentes texturas de los suelos, por medio de prácticas AP en relación con la agricultura convencional, que permitan la optimización de recursos en la producción de semilla de frijol y sorgo de la Universidad Zamorano.

## Materiales y métodos

El experimento se realizó en los lotes Vega 2 y 3 de Monte Redondo, de la Universidad Zamorano, ubicada en el Valle del Yegüare, municipio San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras, en una zona de vida de bosque seco subtropical (bs-ST) (Holdrige 1962). Según el mapa mundial Köppen-Geiger, el clima del área de investigación es del tipo ecuatorial de verano seco (Kottek et al. 2006). Se presenta una temperatura media anual de 24 °C y una precipitación media anual de 945 mm (Estación meteorológica Campus central de Zamorano 2011-2019). El área de estudio se encuentra en la latitud 13°59'48.10" N y longitud de 86°59'16.51" O.

### ***Generación de mapas de fertilidad de suelos***

Para el diseño y establecimiento del estudio se realizó la toma de muestras de suelo en campo, para posteriormente generar los mapas digitales de fertilidad del área, sobre porcentaje de arcillas, densidad aparente (DAP), nivel de acidez (pH), materia orgánica (MO), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), con base en los resultados obtenidos en el Laboratorio de Análisis de Suelos de Zamorano (LASZ). La elaboración de mapas y puntos de muestreo se realizó por medio del uso del software denominado “QGIS® versión 3.8.2.” y la interpolación de Kriging para la creación de los rangos de disponibilidad espacial de nutrientes en los mapas (Resende y Coelho 2014). Se establecieron 50 puntos de muestreo dentro del área productiva, sobre una cuadrícula o grilla generada sobre el mapa del área productiva para el muestreo en campo (Araújo G et al. 2017; Arévalo 2020). Se generó una grilla o cuadrícula del área de producción, con medidas de 100 m x 100 m para cada uno de los cuadros. Luego se establecieron 10 cuadrículas que quedaron dentro del área de producción de los lotes Vega 2 y 3 y cinco puntos de muestreo por cuadrícula, en los cuales se realizó la toma de muestra con barreno a una profundidad de 0 a 30 cm. Se siguió una ruta sistematizada en zigzag hasta obtener 50 muestras de suelo en toda el área productiva de 7 ha aproximadamente (Figura 1). La intensidad de muestreo equivale a cinco muestras por hectárea, aunque la recomendación para AP es solo tres muestras/ha (Resende y Coelho 2014). El muestreo se intensificó, para mejorar el nivel de detalle para la investigación.

### ***Análisis de laboratorio de suelos***

Se realizaron análisis de los parámetros químicos incluyendo pH, materia orgánica (MO), P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe y Zn, de las 50 muestras de suelo obtenidas de los puntos de muestreo del mapa para la generación de los mapas de suelos. Los parámetros físicos analizados fueron textura de suelo por medio del método de hidrómetro de Bouyoucos para conocer las clases texturales (Bouyoucos 1936), y la DAP por el método del cilindro y pesado de suelo en laboratorio (Blake y Hartge 1986). Las variables químicas K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe y Zn fueron analizadas mediante un espectrofotómetro de absorción atómica tipo VarianAA240FS®, para cuantificar las bases del suelo (K, Ca, Mg, Na) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) de las muestras de suelo. El pH de suelos fue medido mediante el método “AOAC 994.16 Alternative 1” (Latimer 2019). El contenido de MO se determinó mediante el método de digestión de Walkley y Black (1934) y la medición de P mediante el proceso de colorimetría de azul de molibdeno (Latimer 2019).

### ***Disponibilidad de elementos e interpretación de los mapas de fertilidad de suelos***

Para la interpretación y establecimiento de los rangos nutricionales en los mapas de fertilidad de suelos para los elementos P, Cu, Fe, Mn y Zn se utilizaron los rangos bajos, normales y altos, utilizados en los análisis de suelos del LASZ según Landon (1991) y Sparks et al. (1996). En el caso del P se creó un primer mapa con los rangos mencionados, pero al no haber diferencias espaciales amplias, se establecieron nuevos rangos (bajo, medio, medio-alto y alto) para generar un segundo mapa en donde se observará a mayor detalle la distribución espacial de las distintas concentraciones de P. Para el establecimiento de los rangos para la interpretación de los elementos bases del suelo como K, Ca, Mg y Na en los mapas de fertilidad de suelos los resultados están dados en mg/kg de suelo, sin embargo, el análisis e interpretación de la información de las bases se hace en función de la saturación de bases (Molina 2007). La saturación de bases consiste en la cantidad de iones cargados positivamente, con exclusión de iones de hidrógeno y aluminio, que son absorbidos en la superficie de las partículas del suelo, se miden y son expresados en porcentaje en relación con la CIC del suelo. Los rangos normales de saturación de bases para K son entre 3 a 5%, Ca entre 50-75%, Mg entre 15 a 20% y para Na, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es menos del 15% (USDA y NRCS 2010).

Para establecer una relación entre la interpretación de las bases (K, Ca, Mg y Na) en relación con la saturación de cada una, se relacionó el porcentaje de saturación de bases (mg/kg) del suelo, para encontrar la variabilidad en los mapas de fertilidad de suelos. Para esto se calculó la saturación de cada elemento expresada en cmol/kg y referida a la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE). Se establecieron rangos “bajo”, “medio” y “alto” en todas las bases. Para el K se generó un primer mapa con ninguna variabilidad; y debido a los altos niveles, el mapa de variabilidad en el contenido de K se dividió en rangos alto, muy alto y extremadamente alto. En Na los niveles siempre fueron normales, ya que se consideró el valor de 4 PSI como límite de normalidad, que corresponde a 920 mg/kg que es el límite que soportan los cultivos muy sensibles a la presencia de Na en el suelo (Lamz y González 2013). Después cada rango se revisó el contenido de mg/kg de suelo (Cuadro 1).

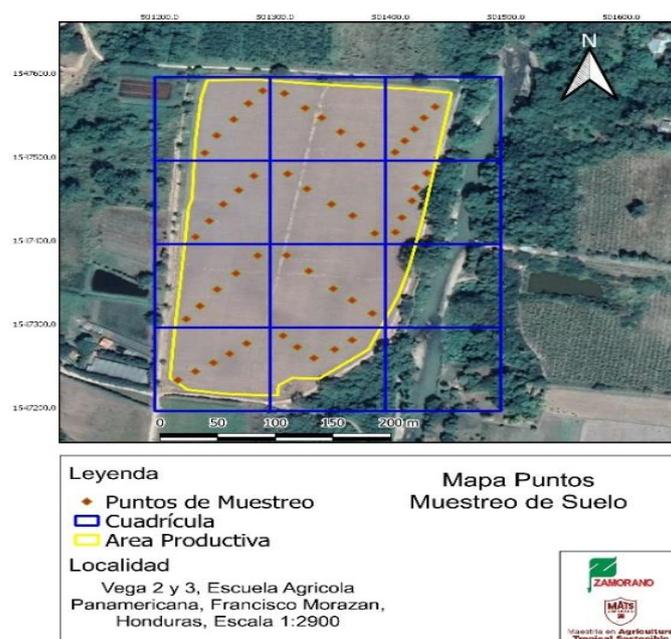


Figura 1. Cuadrícula generada mediante herramienta de creación de vectores en QGIS® sobre el mapa de suelo en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo. Zamorano, Honduras.

Cuadro 1. Rangos de interpretación de la concentración de cada elemento en suelos establecidos en los mapas de fertilidad en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo. Zamorano, Honduras.

Rangos de interpretación	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
	----- mg/kg -----								
Bajo	<14	<126	<1,900	<200	-	<56	<28	<1.7	<1.7
Normal	14-30	126-220	1,900-2,100	200-290	<920	56-112	28-112	1.7-6.5	1.7-3.4
Medio alto	31-47	-	-	-	-	-	-	-	-
Alto	>48	220-373	>2,100	>290	>920	>112	>112	>6.5	>3.4
Muy alto	-	373-554	-	-	-	-	-	-	-
Extremadamente alto	-	> 554	-	-	-	-	-	-	-

### Programas de fertilización

El estudio consistió en medir la efectividad de tres programas de fertilización en tres suelos con condiciones variables, determinadas a partir de los mapas generados por el muestreo intensivo de suelos. Se analizó el programa de fertilización (PF) utilizado por la Unidad de Producción de Granos y Semillas (PF- UPGS) de Zamorano, para la producción de semilla de los cultivos de frijol y sorgo, el cual se basa en suplir los requerimientos nutricionales de N, P y K de cada cultivo por tonelada de producción (Bertsch 2009), y de experiencias anteriores para Ca y Mg, multiplicado por el nivel de producción que se espera y considerando el estado de fertilidad según el análisis de una muestra de suelo representativa del área de producción, sin considerar las variaciones espaciales que puedan ocurrir dentro de esta.

El PF-UPGS se comparó con otros dos PF para los cultivos de frijol y sorgo, identificados como PF-Propuesta AP y PF-Empresa. El PF-Propuesta AP es el PF-UPGS ajustado con base en los resultados de los mapas de variabilidad de la fertilidad de suelo generados como parte de la técnica de AP. En este PF-Propuesta AP, si los niveles de cada elemento en el suelo son altos, se considera que están disponibles para ser absorbidos por la planta, por lo tanto, el nivel de fertilización se redujo en proporciones variables dependiendo del elemento y su condición en el suelo. Si los niveles son normales u óptimos, se provee el

nutriente en forma de fertilizante que el cultivo requiere para no agotar la reserva del suelo; y si los niveles en el suelo son bajos, se ajusta la fertilización según lo que el cultivo requiere y un porcentaje mayor para evitar el agotamiento del suelo. En el caso de N, se debe tomar en cuenta las pérdidas que ocurren en las aplicaciones de este nutriente (Arias et al. 2009), y el autoabastecimiento de este elemento por la fijación simbiótica en el frijol (Pereira et al. 1989; Pierce y Nowak 1999). Con base en estas consideraciones, en el cultivo de frijol se redujo la oferta de N de su requerimiento en un 25%. En el caso del P se disminuyó al 40% la fertilización, el K al 70% del requerimiento del cultivo, el Ca en 50% y el Mg se aplicó según lo requerido. En el PF para el cultivo de sorgo no se redujo la oferta ni se aumentó, se utilizó de manera completa el requerimiento nutricional del sorgo. El tercer tratamiento fue el PF-Empresa utilizado por la empresa DISAGRO®. Este PF-Empresa consistió en la utilización de fertilizantes especializados para las producciones del cultivo de frijol y sorgo. Los tres PF para ambos cultivos correspondieron a la aplicación de una fertilización completa basado en N, P, K, Ca y Mg.

Los fertilizantes utilizados en la formulación PF-UPGS para el cultivo de frijol fueron Urea (46% de N), fosfato diamónico (DAP, 18% de N y 46% de  $P_2O_5$ ), y cloruro de potasio (KCl, 60% de  $K_2O$ ) (Cuadro 2). Los fertilizantes utilizados en la formulación PF-Propuesta para el cultivo de frijol fueron Urea, DAP, KCl, sulfato de magnesio hepta-hidratado ( $MgSO_4$ , 16% de MgO y 12% de S) y nitrato de calcio [ $Ca(NO_3)_2 \cdot NH_4NO_3 \cdot H_2O$ ] (15% de N, y 26% de CaO). Al momento de establecer la comparación de fórmulas no se tomó en cuenta el P ya que en todas las fórmulas se emplearon niveles relativamente bajos (Cuadro 2). Los fertilizantes utilizados en la formulación PF-Empresa para el cultivo de frijol fueron el fertilizante de inicio (20% de N, 19% de  $P_2O_5$ , 8% de  $K_2O$ , 3% de MgO, 3% de S, 0.02% de B y 0.05% de Zn) y el fertilizante de refuerzo (20 % de N, 33% de  $K_2O$ , 4% MgO, 4% de S, 0.02% de B y 0.05% de Zn).

Los fertilizantes foliares para complementar las fertilizaciones utilizadas para el cultivo de frijol en los PF-UPGS y PF-Propuesta AP, fueron Bayfolan® Forte, fertilizante foliar quelatado a una dosis de 1 L en 200 L/ha de agua a los 32 y 53 DDS. Para PF-Empresa se utilizó un fertilizante foliar inicial con una dosis de 0.7 L/ha en 200 L de agua a los 32 DDS, más un fertilizante foliar quelatado con polialdonatos con una dosis de 1.4 L/ha en 200 L de agua a los 32 y 53 DDS, y un fertilizante sólido de aplicación foliar que contiene fitohormonas (giberelinas) con una dosis de 1.43 kg/ha en 200 L de agua.

En el cultivo de sorgo se evaluó también un testigo absoluto sin fertilización, para medir el efecto de la fertilización basado en las variables de respuesta. En el cultivo de sorgo al igual que el frijol se utilizó un PF-UPGS, un PF-Propuesta AP, un PF-Empresa, y por último el testigo sin fertilización que no utilizó ningún programa de fertilización (PSF) (Cuadro 3). Los fertilizantes utilizados para los PF-UPGS y PF-Propuesta AP en el cultivo de sorgo fueron Urea, DAP, KC, sulfato de magnesio hepta-hidratado, y nitrato de calcio. Los fertilizantes utilizados en PF-Empresa DISAGRO® para el cultivo de sorgo fueron un fertilizante de inicio (22% de N, 17% de  $P_2O_5$ , 5% de  $K_2O$ , 2% de MgO, 2% de S, 0.02% de B y 0.05% de Zn), fertilizante de refuerzo (30% de N, 10% de  $K_2O$ , 1% de MgO y 8% de S) y urea especializada (40% de N y 6% de S). Los fertilizantes foliares para complementar las fertilizaciones en el cultivo de sorgo en el PF-UPGS y PF- Propuesta AP fueron Bayfolan® Forte (1 L en 200 L/ha de agua) a los días 31 DDS.

En el PF- Empresa se utilizó un fertilizante foliar quelatado especializado para el cultivo de sorgo con una dosis de 1.5 L/ha en 200 L de agua a los 32 DDS. Los fertilizantes utilizados para los PF-UPGS y PF-Propuesta para el cultivo de sorgo fueron Urea, DAP, KCl, sulfato de magnesio hepta-hidratado, y nitrato de calcio. Los fertilizantes utilizados en PF-Empresa para el cultivo de sorgo son, un fertilizante de inicio (22% de N, 17% de  $P_2O_5$ , 5% de  $K_2O$ , 2% de MgO, 2% de S, 0.02% de B y 0.05% de Zn), fertilizante de refuerzo (30% de N, 10% de  $K_2O$ , 1% de MgO y 8% de S) y urea especializada (40% de N y 6% de S). Los fertilizantes foliares para complementar las fertilizaciones que fueron utilizadas para el cultivo de sorgo el PF-UPGS y propuesta fueron Bayfolan® Forte, con una dosis de 1 L en 200 L/ha de agua en los días 31 DDS. El PF-Empresa se utilizó un fertilizante foliar quelatado especializado para el cultivo de sorgo sintetizado por la misma empresa con una dosis de 1.5 L/ha en 200 L de agua a los 32 DDS.

Cuadro 2. Composición de los PF-UPGS (171N-92K), PF-Propuesta AP (128N-85K) y PF-Empresa (49N-59K), para la producción del cultivo de frijol variedad “Tolupán Rojo” en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo. Zamorano, Honduras, 2020.

Programa fertilización	DDS*	Dosis (kg.ha <sup>-1</sup> )						
		UREA	DAP	KCl	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	MgSO <sub>4</sub>	20-19-8	20-0-23
UPGS (171N-92K)	7	54	68	41	-	-	-	-
	20	140	-	68	-	-	-	-
	45	86	-	90	-	-	-	-
	<i>Total</i>	<i>280</i>	<i>68</i>	<i>199</i>	-	-	-	-
Propuesta AP (128N-85K)	7	54	36	36	-	50	-	-
	20	158	-	72	23	104	-	-
	45	54	-	72	23	-	-	-
	<i>Total</i>	<i>266</i>	<i>36</i>	<i>180</i>	<i>46</i>	<i>154</i>	-	-
Empresa (49N-59K)	7	-	-	-	-	-	194	-
	20	-	-	-	-	-	-	194
	45	-	-	-	-	-	-	63
	<i>Total</i>	-	-	-	-	-	<i>194</i>	<i>257</i>

\*DDS = Días después de la siembra.

Cuadro 3. Composición de los programas de fertilización PF-UPGS (164N-114K), PF- Propuesta AP (195N-107K) y PF- Empresa (182N-34K), para la producción del cultivo de sorgo variedad “Sureño” en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo. Zamorano, Honduras, 2020.

Programa fertilización	DDS*	Dosis (kg.ha <sup>-1</sup> )							
		UREA	DAP	KCl	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	MgSO <sub>4</sub>	22-17-5	30-0-10	40-0-0-5.7S
UPGS (164N-114K)	17	59	114	45	-	-	-	-	-
	23	150	-	82	-	-	-	-	-
	41	91	-	104	23	23	-	-	-
	<i>Total</i>	<i>300</i>	<i>114</i>	<i>231</i>	<i>23</i>	<i>23</i>	-	-	-
Propuesta AP (195N-107K)	17	91	68	-	-	-	-	-	-
	23	91	30	91	-	30	-	-	-
	41	105	-	123	11	30	-	-	-
	62	91	-	45	11	-	-	-	-
<i>Total</i>	<i>378</i>	<i>98</i>	<i>259</i>	<i>22</i>	<i>60</i>	-	-	-	
Empresa (182N-34K)	17	-	-	-	-	-	195	-	-
	23	-	-	-	-	-	130	-	-
	41	-	-	-	-	-	-	247	-
	62	-	-	-	-	-	-	-	91
<i>Total</i>	-	-	-	-	-	<i>325</i>	<i>247</i>	<i>91</i>	

\*DDS = Días después de la siembra.

### Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue en bloques completos al azar (BCA) con un arreglo factorial en parcelas divididas. Los factores analizados fueron tres tipos de suelo y tres PF en frijol y cuatro en sorgo. Las parcelas principales se ubicaron en las áreas con tipos diferentes de suelo en cuanto al porcentaje de arcilla, densidad aparente, P y Mg disponibles, como se muestran en los mapas de fertilidad en el campo, con el fin de determinar los efectos en la producción de semilla de frijol y sorgo. Los experimentos quedaron distribuidos en tres niveles del factor tipo de suelo que se identificaron en campo, suelo franco arenoso (SFA), suelo franco (SF) y suelo franco arcilloso (SFAr) (Figura 2). En el experimento de frijol la unidad experimental constó de tres hileras dobles de siembra de 10 m de longitud. En sorgo la unidad experimental constó de dos hileras dobles de la misma longitud. Para el análisis estadístico la separación de medias se realizó mediante análisis de varianza (ANDEVA) con las pruebas de Tukey, y un análisis de medias simples para las interacciones. Se utilizó el software “SAS” versión 9.4.

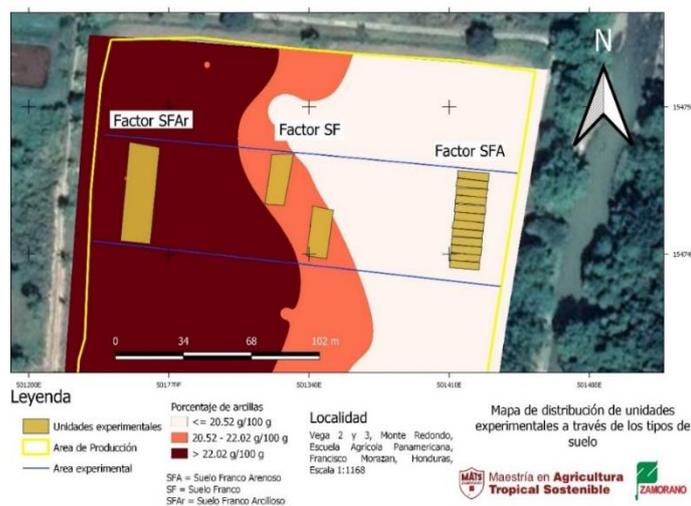


Figura 2. Distribución de unidades experimentales según los tipos de suelo del área experimental, en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo. Zamorano, Honduras.

### ***Manejo agronómico y disposición de siembra***

El ensayo de frijol se condujo del 13 de junio al 26 de agosto del 2020 y el de sorgo entre el 1 de octubre 2020 y el 3 de febrero de 2021, ambos en el mismo lote experimental. El manejo agronómico utilizado en cada cultivo fue el que se utiliza la UPGS de Zamorano, además de incluir las prácticas de control de plagas y enfermedades. El riego fue por goteo en ambos cultivos de acuerdo con los turnos establecidos. El frijol se sembró a 8 cm entre plantas, 50 cm entre hileras y 1.5 m entre hileras dobles (surcos). En sorgo se utilizó una densidad de siembra de 7 cm entre plantas y 50 cm entre hileras y 1.5 m entre hileras dobles (surcos).

### ***Variables de respuesta del frijol variedad “Tolupán Rojo” y sorgo variedad “Sureño”***

**Concentración relativa de clorofila.** Es un indicador del contenido de clorofila en las hojas, que puede ser monitoreado durante su crecimiento; también es usado como un indicador del nivel de N en las hojas y otros tipos de estrés que se puedan presentar en el cultivo. Es una versión modificada del índice de desarrollo de planta y suelo (SPAD, siglas en inglés) (Kuhlgert et al. 2016). Se midió la concentración relativa de clorofila con el medidor electrónico “MultispeQ V2.0 marca PhotosynQ®”. Estas mediciones se hicieron a los 33, 41 y 61 DDS, en cinco plantas por unidad experimental para determinar la cantidad de clorofila relativa en diferentes etapas de desarrollo. En sorgo, se midió a los 47, 67 y 77 DDS, en tres plantas por unidad experimental.

**Biomasa (kg/ha).** Se determinó para analizar las cantidades de materia producida por tipo de suelo y PF, mediante la materia seca (MS) de la biomasa de cuatro plantas por unidad experimental a los 70 DDS (etapa de madurez fisiológica) para el cultivo de frijol. En sorgo, se midió a los 89 DDS en cinco plantas cosechadas por unidad experimental. Las plantas fueron secadas hasta alcanzar peso constante, en un horno de convección a 70 °C por 72 h, para luego realizar el pesado.

El número de vainas por planta en frijol se determinó mediante el conteo de las vainas en 10 plantas cosechadas de cada unidad experimental. El número de semillas por vaina en frijol se determinó contando las semillas de las 10 plantas cosechadas de cada unidad experimental. El peso de 100 semillas (g) se determinó en una muestra al azar de 100 semillas de las 10 plantas cosechadas de cada unidad experimental, las que se pesaron en una balanza de laboratorio a una humedad del 12%, en frijol y sorgo. En sorgo se utilizó un arreglo de datos por logaritmo de base 10 para mejorar la normalidad de los datos del peso de 100 semillas.

**Índice de cosecha (IC).** A la madurez de cosecha (74 DDS) del frijol, se determinó el IC mediante el peso seco de las semillas (PSS) y de vainas (PSV) de 10 plantas por unidad experimental, según la ecuación 1.

$$IC = \frac{PSS}{PSS + PSV} \quad [1]$$

Dónde: IC = índice de cosecha; PSS= Peso seco de semilla de 10 plantas (g); PSV= Peso seco de vainas de 10 plantas (g).

**Rendimiento de semilla (kg/ha).** El rendimiento de semilla por parcela de cada unidad experimental se determinó a los 74 DDS en frijol y a los 120 DDS en sorgo. Se pesaron los granos limpios después de la cosecha y se hizo un ajuste del rendimiento al 12 % de humedad de acuerdo con la ecuación 2.

$$R = \frac{(PC)(10,000)}{AC} \times \frac{(100-Hi)}{(100-Hf)} \quad [2]$$

Dónde: R = Rendimiento (kg/ha); PC = Peso de las semillas (kg/10 pl); AC = 10.6 m<sup>2</sup> para el tipo de suelo franco arenoso y franco arcilloso en frijol; y 5.3 m<sup>2</sup> en sorgo y 10.28 m<sup>2</sup> para el tipo de suelo franco en frijol y 4.24 m<sup>2</sup> en sorgo. Hi = Humedad inicial y Hf= Humedad final al 12 %.

### ***Análisis foliar y biodisponibilidad de nutrientes de los cultivos de frijol y sorgo***

En cada cultivo se realizó análisis foliar para determinar el contenido de N, P, K, Ca, Mg, para evaluar la calidad de absorción de los nutrientes en muestras de frijol a los 34 DDS y en sorgo a 61 DDS, antes de la etapa de floración. En frijol se seleccionaron dos a tres hojas completamente desarrolladas de la parte superior de la planta, y una muestra total de 30 hojas de diferentes plantas. En sorgo se seleccionó la hoja inferior a la hoja bandera y una muestra total de 15 a 25 hojas de diferentes plantas (Jones y Case 1990; Hue et al. 2000). El N se analizó por Kjeldahl “AOAC 2001.11 K” (Latimer 2019). El K, Ca y Mg, se extrajeron por digestión húmeda con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y agua oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y determinados en un espectrofotómetro de absorción atómica tipo “Varian AA240FS®”. La extracción de P se realizó mediante el proceso de digestión húmeda (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y de colorimetría de azul de molibdeno (Latimer 2019). La biodisponibilidad de los nutrientes es cualquier elemento que bajo ciertas condiciones físicas y químicas determinadas en el sistema suelo-planta está en capacidad de ser absorbido por la planta (Barber 1995; Arévalo y Gauggel 2019). Bajo esta premisa se estableció la biodisponibilidad de nutrientes para los cultivos de frijol y sorgo. Se generó una matriz de biodisponibilidad al comparar el contenido de cada elemento en los suelos con relación al nivel alcanzado en el tejido vegetal, para cada tipo de suelo y PF, y sus interacciones. La matriz de biodisponibilidad de nutrientes se realizó para los elementos de N, P, K, Ca y Mg.

### ***Análisis estadístico en muestras de suelos***

Se utilizó el modelo estadístico adaptado al diseño experimental completamente al azar y análisis de varianza (ANDEVA). Se permitió evaluar parámetros de fertilidad de suelo, y análisis de las relaciones entre las bases Ca/Mg, Ca/K, Mg/K y (Ca+Mg)/K en los suelos. Se utilizó el software “SAS versión 9.4”, ANDEVA y comparación de medias mediante la prueba de diferencia mínima significativa (LSD, siglas en inglés) de Fisher para conocer la significancia entre los tipos de suelos.

### ***Análisis financiero para los cultivos de frijol y sorgo***

Para el análisis financiero, se siguió la metodología del presupuesto parcial, para determinar la variación de los costos generados por los PF (CIMMYT 1988). Para determinar el presupuesto parcial, se determinaron los costos variables por cada PF y los ingresos producto de la venta de semilla a la Planta de Procesamiento de Zamorano. Para cada PF se incluye el costo del fertilizante, mano de obra y los costos del análisis de suelos. El PF-UPGS incluyó un solo análisis de suelo, mientras que el PF-Propuesta AP incluye los costos de cinco análisis de suelos por hectárea, más el costo del muestreo y la generación de los mapas de variabilidad de la fertilidad de los suelos aplicados para dos ciclos de producción, que se aplican a los costos variables. En el PF-Empresa se usaron los costos de los fertilizantes especializados para cada cultivo y un costo comercial de manejo de la tecnología de AP. Se determinó el beneficio neto. En cada PF los costos variables asociados directamente para una hectárea. Los costos fijos no se tomaron en cuenta para el análisis financiero.

## Resultados

Los mapas digitales de fertilidad de suelo mostraron diferencias en la distribución espacial del porcentaje de arcillas, densidad aparente, niveles de pH, disponibilidad de P, Mg y K y sirvieron para el establecimiento del ensayo en campo (Figura 3). Las relaciones del contenido Ca/Mg, Mg/K y (Ca+Mg)/K mostraron diferencias significativas en el modelo para los tipos de suelos y valores que están fuera de los rangos adecuados a excepción de la relación Ca/Mg para el tipo de suelo Franco-arenoso que mostró valores dentro del rango adecuado. La relación Ca/K no mostró diferencias significativas en el modelo, y valores que están dentro de los rangos adecuados (Cuadro 4).

Cuadro 4. Significancia de las relaciones Ca/Mg, Ca/K, Mg/K y (Ca+Mg)/K según los tipos de suelo de los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo. Zamorano, Honduras.

Tipo de suelo	Relaciones de elementos (cmolc/kg)			
	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
Franco-arenoso	4.40 b	8.00	1.80 a	9.80 a
Franco	5.20 a	6.60	1.00 b	6.60 b
Franco-arcilloso	5.40 a	5.40	1.20 b	7.60 ab
Valor P	0.02*	0.07	0.01*	0.03*
Coefficiente de variación (%)	10.30	23.87	27.30	22.00
	Relaciones adecuadas (Molina 2007; LASZ 2021)			
	3 a 5	5 a 17	3 a 5	15 a 30

LASZ (Laboratorio de Suelos de Zamorano, 2021).

En el cultivo de frijol la matriz de biodisponibilidad de nutrientes se observó que en la interacción tipo de suelo × PF, el suelo franco arenoso mostró una baja biodisponibilidad de Mg, adecuada de K y un alta de N, P y Ca. Los suelos francos y franco arcilloso mostraron una baja biodisponibilidad de K y Mg, adecuada de N y alta de P y Ca (Cuadro 5). En la interacción del suelo franco arenoso × PF-UPGS se obtuvo una baja biodisponibilidad de K y Mg, adecuada en N y alta biodisponibilidad en P y Ca. Los PF-Propuesta AP y PF-Empresa mostraron una baja biodisponibilidad de Mg, adecuada en K y alta en N, P y Ca. En la interacción del suelo franco y franco arcilloso y los PF, el PF-UPGS (171N-92K) y PF-Propuesta AP (128N-85K) mostraron una baja biodisponibilidad de K y Mg, adecuada en N y alta en P y Ca. El PF-Empresa (49N-59K) presentó una baja biodisponibilidad de Mg, adecuada de N y K, y alta de P y Ca. En la matriz de biodisponibilidad de nutrientes en sorgo, se presentó interacción entre el tipo de suelo y los PF, el tipo de suelo franco arenoso mostró deficiencia de Ca, adecuada biodisponibilidad de N y Mg y alta de P y K. En los suelos francos y franco arcillosos hay una adecuada biodisponibilidad de N, Ca y Mg, y alta de P y K.

En la interacción del suelo franco arenoso y los PF-UPGS (164N-114K) y PF-Propuesta AP (195N-107K), mostraron deficiencia de Ca, adecuada biodisponibilidad de N y Mg, y alta de P y K. El PF-Propuesta AP (195N-107K) y propuesta por compañía de fertilizantes (182N-34K) mostraron una baja biodisponibilidad de Mg, adecuada de K y alta de N, P y Ca (Cuadro 6). En la interacción de los suelos franco y franco arcilloso en y los PF, el PF-UPGS (164N-114K) y PF-Propuesta AP (195N-107K) mostraron una baja biodisponibilidad de K y Mg, adecuada de N y alta en P y Ca. El PF-Empresa (49N-59K) mostró una adecuada biodisponibilidad de N, Ca y Mg, y alta de P y K. El PSF presentó deficiencia de Ca, baja biodisponibilidad de K y Mg, y adecuada de N y P. En la interacción del suelo franco y los PF y PSF mostraron una adecuada biodisponibilidad en N, Ca y Mg, y alta en P y K. La interacción del suelo franco arcilloso y los PF mostraron una adecuada biodisponibilidad en N, Ca y Mg, y alta en P y K. El PSF presentó una deficiencia de N, baja biodisponibilidad de Mg, adecuada de Ca y alta de P y K.

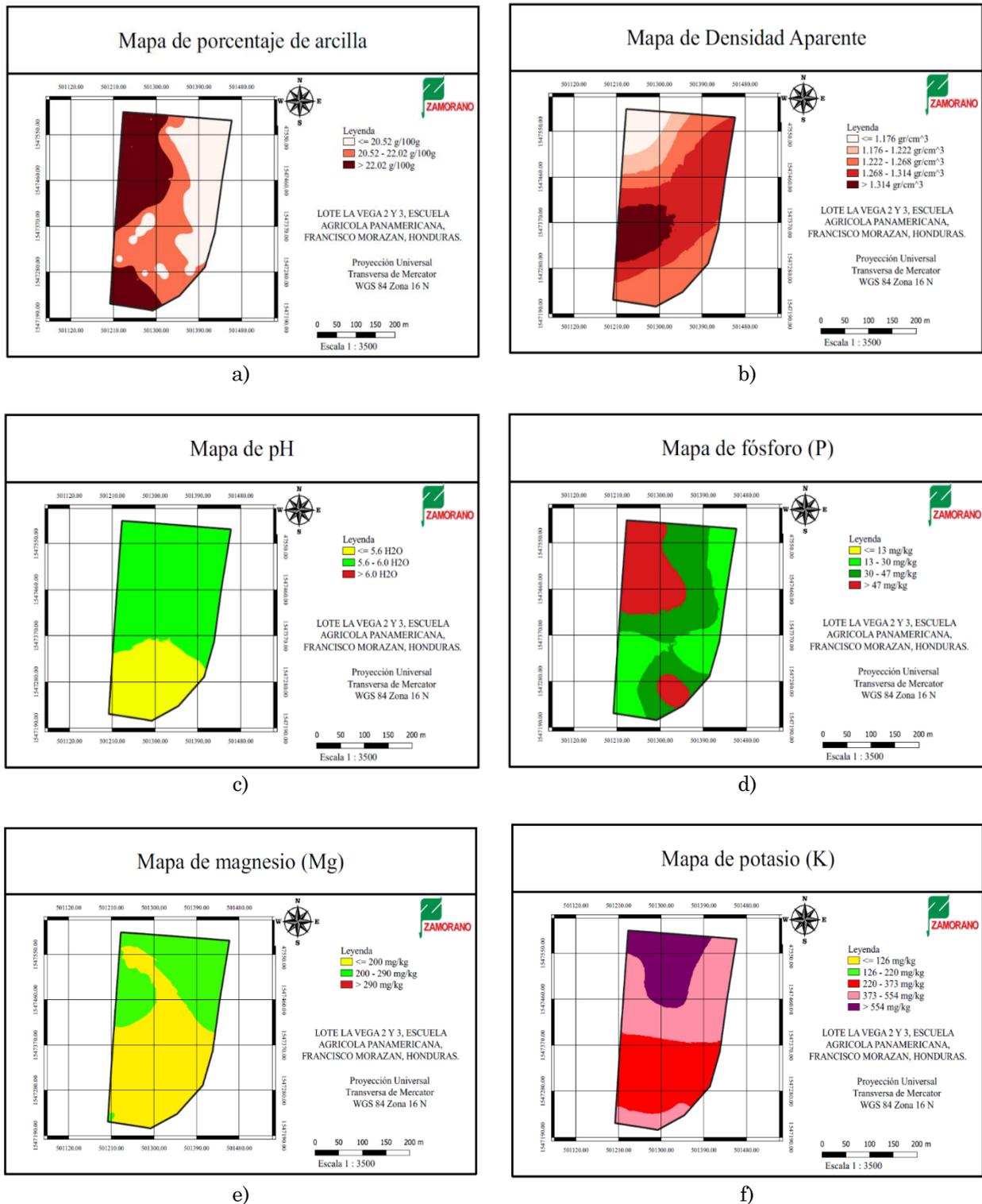


Figura 3. Mapas digitales de la distribución espacial del porcentaje de a) arcillas, b) densidad aparente, c) pH, d) fósforo, e) magnesio, y f) potasio, en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo. Zamorano, Honduras.

### ***Variables de respuesta del cultivo de frijol variedad “Tolupán Rojo”***

Se obtuvo un 92% de germinación, con una población total de 180,000 plantas/ha y una floración a los 38 DDS. Los coeficientes de variación están dentro del rango de normalidad para cada una de las variables analizadas (<math>< 30\%</math>), lo que indica un buen manejo del experimento en campo. No se presentaron diferencias significativas en el modelo para las concentraciones de clorofila a los 41 y 61 DDS, materia

seca de biomasa, índice de cosecha, número de vainas por planta, número de semillas por vainas, y en el peso de 100 semillas (Cuadro 7).

Se presentaron diferencias significativas en el modelo en las concentraciones de clorofila a los 33 DDS ( $P=0.003$ ) y en el rendimiento de semilla de frijol ( $P=0.01$ ). La concentración de clorofila a los 33 DDS, no hubo diferencias significativas en los factores tipo de suelo y PF, pero si en sus interacciones ( $P=0.002$ ). Las concentraciones más altas de clorofila se presentaron en las interacciones de suelo franco arenoso x PF-Empresa (49N-59K) (46.5), suelo franco arcilloso x PF-UPGS (171N-92K) (46.7), y suelo franco arcilloso x PF-Propuesta AP (128N-85K) (45.9). De manera general, se observó el aumento en la cantidad relativa de clorofila para todos los tipos de suelo y los PF, según el avance de las etapas fisiológicas a lo largo del ciclo de producción del cultivo de frijol. Se obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento de semilla de frijol, en el factor tipo de suelo ( $P=0.02$ ), y en el suelo franco arcilloso (2,100 kg/ha) y suelo franco (2,223 kg/ha) se obtuvieron rendimientos más altos que en el suelo franco arenoso (1,333 kg/ha). Entre las interacciones suelo x PF no hubo diferencia.

Cuadro 5. Disponibilidad de nutrientes para el cultivo de frijol variedad “Tolupán Rojo” según el tipo de suelo y el programa de fertilización (PF) en la Vega 2 y 3, Monte Redondo, Universidad Zamorano, Honduras.

Tipo de suelo y programas de fertilización	Disponibilidad		
	Baja	Adecuada	Alta
Franco-arenoso vs Programas de fertilización (PF)	Mg	K	N, P, Ca
Franco vs Programas de fertilización	K, Mg	N	P, Ca
Franco-arcilloso vs Programas de fertilización	K, Mg	N	P, Ca
Franco-arenoso vs PF- UPGS (171N-92K)	K, Mg	N	P, Ca
Franco-arenoso vs PF- Propuesta AP (128N-85K)	Mg	K	N, P, Ca
Franco-arenoso vs PF- Empresa (49N-59K)	Mg	K	N, P, Ca
Franco vs PF- UPGS (171N-92K)	K, Mg	N	P, Ca
Franco vs PF- Propuesta AP (128N-85K)	K, Mg	N	P, Ca
Franco vs PF- Empresa (49N-59K)	Mg	N, K	P, Ca
Franco-arcilloso vs PF- UPGS (171N-92K)	K, Mg	N	P, Ca
Franco-arcilloso vs PF- Propuesta AP (128N-85K)	K, Mg	N	P, Ca
Franco-arcilloso vs PF- Empresa (49N-59K)	Mg	N, K	P, Ca

Cuadro 6. Evaluación de la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de sorgo variedad “Sureño” en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, Universidad Zamorano, Honduras.

Factores tipo de suelo y programas de fertilización	Deficiencias	Disponibilidad		
		Baja	Adecuada	Alta
Franco-arenoso vs Programas de fertilización	Ca		N, Mg	P, K
Franco vs Programas de fertilización			N, Ca, Mg	P, K
Franco-arcilloso vs Programas de fertilización			N, Ca, Mg	P, K
Franco-arenoso vs PF- UPGS (164N-114K)	Ca		N, Mg	P, K
Franco-arenoso vs PF- Propuesta AP (195N-107K)	Ca		N, Mg	P, K
Franco-arenoso vs PF- Empresa (182N-34K)			N, Ca, Mg	P, K
Franco-arenoso vs PSF	Ca	K, Mg	N, P	
Franco vs PF- UPGS (164N-114K)			N, Ca, Mg	P, K
Franco vs PF- Propuesta AP (195N-107K)			N, Ca, Mg	P, K
Franco vs PF- Empresa (182N-34K)			N, Ca, Mg	P, K
Franco vs PSF			N, Ca, Mg	P, K
Franco-arcilloso vs PF- UPGS (164N-114K)			N, Ca, Mg	P, K

### ***Variables de respuesta del cultivo de sorgo variedad “Sureño”***

Se obtuvo un 92% de germinación, con una población total de 188,571 plantas/ha y floración a los 75 DDS. Los coeficientes de variación están dentro del rango de normalidad para cada una de las variables analizadas (< 30%), lo que indica un buen manejo del experimento en campo.

No se presentaron diferencias significativas en el peso de 100 semillas y rendimiento de semilla de sorgo (Cuadro 8). A los 47, 66, 77 DDS hubo diferencias significativas en la concentración de clorofila. A los 47 DDS no hubo diferencias por el tipo de suelo, pero si en los PF ( $P=0.0004$ ), siendo altas en los tres PF (48.6 a 51.2) y más baja en el PSF (43.6). En las interacciones de los factores tipo de suelo x PF no se mostraron diferencias significativas. No se obtuvieron diferencias significativas en el factor tipo de suelo en la concentración de clorofila a los 66 y 77 DDS, pero si en los PF ( $P=0.02$ ) con las concentraciones más altas (61.4 a 62.5) que el PSF (55.2) a los 66 DDS y (63.9 a 64.5) a los 77 DDS ( $P=0.005$ ) en el PSF (56). Las interacciones de los factores tipo de suelo x PF no mostraron diferencias significativas. Las interacciones de los factores tipo de suelo x PF no mostraron diferencias significativas. De manera general se observó aumento de las concentraciones relativas de clorofila para los factores de tipo de suelo y PF, según el avance de las etapas fenológicas a lo largo del ciclo de producción del cultivo de sorgo.

En producción de biomasa medida en materia seca, no se obtuvieron diferencias significativas en el factor tipo de suelo, pero si en PF ( $P=0.0009$ ) que mostraron cantidades de materia seca más altas (>18,622 kg/ha) que el PSF (14,356 kg/ha). Las interacciones de los factores tipo de suelo x PF no mostraron diferencias significativas.

### ***Análisis financiero de costos variables en la producción de frijol variedad “Tolupán Rojo” y sorgo variedad “Sureño”***

Al no presentar en el análisis de dominancia dos PF dominantes con relación a los tipos de suelo para calcular una tasa de retorno margina (TRM), se procedió a realizar un análisis de residualidad económica para obtener el plan de fertilización con relación al tipo de suelo que mayor residualidad generó. Se generó un análisis de costos variables en cada uno de los PF con relación a los tipos de suelos para el cultivo de frijol. El valor residual en cada tipo de suelo con relación a los PF confirma que la relación del suelo franco y franco arcilloso con el PF-UPGS (171N-92K) es el más rentable, con el residuo más alto (\$ 1,880.00), para la producción de semilla de frijol variedad “Tolupán Rojo”, con el que se obtiene un mayor beneficio que otros PF (Cuadro 9).

Para el cultivo de sorgo únicamente se procedió a realizar un análisis de residualidad por PF al no presentar dos PF no dominados que permitieran calcular la TRM. El residuo para cada uno de los PF evaluados confirma que el testigo sin fertilización fue el más rentable con un residuo más alto (\$ 3,654.63) con el cual para la producción de semilla de sorgo variedad “Sureño” se obtiene un mayor beneficio en comparación con de los PF evaluados (Cuadro 10).

## **Discusión**

De manera general al tomar en cuenta todos los tipos de suelo y los PF analizados se obtuvieron valores cerca del rendimiento potencial de la variedad “Tolupán Rojo” dentro del rango de 2,200 a 2,500 kg/ha (Rosas et al. 2019). La respuesta del frijol ante la variabilidad de suelos fue bastante evidente en su rendimiento de semilla en los tipos de suelo. La disponibilidad de elementos en suelo según los mapas de fertilidad y las matrices de biodisponibilidad de nutrientes, no mostraron diferencias entre los PF, para generar una variación significativa en el rendimiento de frijol variedad “Tolupán Rojo” (Cuadro 5) (Figura 3). Todos los PF suplieron la necesidad nutricional del cultivo de frijol en los tres tipos de suelo, ya que el frijol es un cultivo adaptable a zonas de baja fertilidad (Rosas et al. 2019).

**Cuadro 7.** Efectos simples e interacciones de los tipos de suelo y programas de fertilización en las variables de respuesta del frijol variedad “Tolupán Rojo” en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, Universidad Zamorano, Honduras.

Factores	Concentración de Clorofila			Materia Seca (kg/ha)	Índice de cosecha (0-1)	Número de semillas por vaina	Número de vainas por planta	Peso 100 semillas (g)	Rendimiento de semilla (kg/ha)
	<sup>33</sup> DDS	41 DDS	61 DDS						
<b>Modelo</b>									
Coefficiente de variación (%)	3.1	3.3	5.9	25.7	9.1	13.2	23.0	4.10	17.4
Valor P	0.003**	0.07	0.51	0.60	0.70	0.22	0.61	0.26	0.01*
<b>Tipo de suelo (PS)</b>									
Franco-arenoso	44.2	50.5	53.2	6,399	0.43	3.8	13.7	23.1	1,333 b
Franco	42.5	50.0	52.9	5,934	0.44	4.0	14.7	22.6	2,223 a
Franco-arcilloso	45.8	52.8	55.2	6,552	0.42	4.1	14.8	23.3	2,100 a
Valor P	0.26	0.16	0.35	0.63	0.69	0.77	0.71	0.56	0.02*
<b>Programas de fertilización (PF)</b>									
PF-UPGS (171N-92K)	43.7	51.1	53.4	6,182	0.44	4.1	14.0	23.6	1,864
PF-Propuesta AP (128N-85K)	44.2	51.0	54.3	5,764	0.42	3.9	14.3	22.8	1,907
PF-Empresa (49N-59K)	44.6	51.2	53.7	6,938	0.43	3.9	14.8	22.7	1,884
Valor P	0.84	0.95	0.68	0.30	0.58	0.77	0.86	0.10	0.94
<b>Interacción PS x PF</b>									
Franco-arenoso x PF-UPGS	41.3 c	51.4	51.4	6,031	0.43	4.3	12.5	23.2	1,157
Franco-arenoso x PF-Propuesta AP	44.8 ab	49.6	54.9	5,115	0.43	3.5	15.5	23.1	1,365
Franco-arenoso x PF-Empresa	46.5 a	50.4	53.3	8051	0.42	3.8	13.0	23.2	1,476
Franco x PF-UPGS	42.9 bc	49.1	53.1	6,069	0.44	4.0	16.0	23.5	2,356
Franco x PF-Propuesta AP	42.1 c	50.5	53.4	5,786	0.44	4.3	12.8	22.2	2,164
Franco x PF-Empresa	42.6 c	50.4	52.3	5,946	0.43	3.8	15.3	22.2	2,148
Franco-arcilloso x PF-UPGS	46.7 a	52.7	55.6	6,446	0.44	4.0	13.5	24.1	2,080
Franco-arcilloso x PF-Propuesta AP	45.9 a	52.9	54.6	6,392	0.38	4.0	14.5	22.9	2,193
Franco-arcilloso x PF-Empresa	44.8 ab	52.9	55.5	6,818	0.44	4.3	16.3	22.9	2,027
Valor P	0.002**	0.46	0.66	0.46	0.35	0.27	0.34	0.56	0.52

**Cuadro 8.** Efectos simples e interacciones de los tipos de suelo y programas de fertilización en las variables de respuesta del sorgo variedad “Sureño” en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, Universidad Zamorano, Honduras.

Factores	Concentración de clorofila			Materia seca	Peso 100 semillas	Rendimiento de semilla
	47 DDS	66 DDS	77 DDS	(kg/ha)	(g)	(kg/ha)
<b>Modelo</b>						
Coefficiente de variación (%)	7.6	5.2	4.0	29.0	7.9	16.5
Valor P	0.11	0.02*	0.0006**	0.68	0.61	0.37
<b>Tipo de suelo (PS)</b>						
Franco-arenoso	46.9	60.8	61.9	18,145	2.6	6,092
Franco	48.6	61.1	62.6	17,870	2.4	5,687
Franco-arcilloso	48.8	59.3	62.0	19,540	2.5	5,624
Valor P	0.28	0.54	0.87	0.65	0.05	0.35
<b>Programas de fertilización (PF)</b>						
PF-UPGS (164N-114K)	51.2 a	61.4 a	63.9 a	20,200 ab	2.5	5,730
PF-Propuesta AP (195N-107K)	48.6 a	62.5 a	64.5 a	20,895 a	2.5	6,237
PF-Empresa (182N-34K)	49.1 a	62.5 a	64.4 a	18,622 ab	2.5	5,788
PSF	43.6 b	55.2 b	56.0 b	14,356 b	2.6	5,448
Valor p	0.0004**	0.02*	0.005**	0.009**	0.51	0.06
<b>Interacción PS x PF</b>						
Franco-arenoso x PF-UPGS	48.9	59.4	62.6	21,283	2.7	6,014
Franco-arenoso x PF-Propuesta AP	47.2	63.9	63.7	20,022	2.6	6,391
Franco-arenoso x PF-Empresa	48.2	64.1	64.8	17,272	2.6	6,144
Franco-arenoso x Sin fertilizante	43.2	55.8	56.7	14,003	2.6	5,819
Franco x PF-UPGS	52.4	61.8	64.0	18,253	2.4	5,469
Franco x PF-Propuesta AP	48.8	61.8	64.1	21,072	2.3	6,204
Franco x PF-Empresa	48.7	62.2	63.6	20,029	2.5	5,422
Franco x Sin fertilizante	44.7	58.5	58.6	12,225	2.6	5,654
Franco-arcilloso x PF-UPGS	52.1	62.9	65.1	21,163	2.5	5,708
Franco-arcilloso x PF-Propuesta AP	49.8	61.8	65.7	21,593	2.5	6,117
Franco-arcilloso x PF-Empresa	50.3	61.2	64.7	18,566	2.6	5,798
Franco-arcilloso x Sin fertilizante	43.0	51.3	52.7	16,839	2.6	4,871
Valor p	0.94	0.09	0.07	0.89	0.75	0.92

**Cuadro 9.** Análisis de residuos de los programas de fertilización UPGS, propuesta AP y de la empresa del cultivo de frijol variedad “Tolupán Rojo” en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, Universidad Zamorano.

Tipo de suelo	Programa de fertilización	Costos variables	Beneficio neto	Costo de oportunidad	Residuo
Franco-arenoso	PF-UPGS (171N-92K)	\$ 411.23	\$ 1,255.02	\$ 411.23	\$ 843.79
Franco-arenoso	PF-Propuesta AP (195N-107K)	\$ 537.55	\$ 1,128.70	\$ 537.55	\$ 591.15
Franco-arenoso	PF-Empresa (49N-59K)	\$ 559.17	\$ 1,107.08	\$ 559.17	\$ 547.91
Franco	PF-UPGS (171N-92K)	\$ 411.23	\$ 2,291.27	\$ 411.23	\$ 1,880.04
Franco	PF-Propuesta AP (195N-107K)	\$ 537.55	\$ 2,164.95	\$ 537.55	\$ 1,627.40
Franco	Empresa (49N-59K)	\$ 559.17	\$ 2,143.33	\$ 559.17	\$ 1,584.16
Franco-arcilloso	PF-UPGS (171N-92K)	\$ 411.23	\$ 2,291.27	\$ 411.23	\$ 1,880.04
Franco-arcilloso	PF-Propuesta AP (195N-107K)	\$ 537.55	\$ 2,164.95	\$ 537.55	\$ 1,627.40
Franco-arcilloso	PF-Empresa (49N-59K)	\$ 559.17	\$ 2,143.33	\$ 559.17	\$ 1,584.16

**Cuadro 10.** Análisis de residuos de fertilización UPGS, propuesta AP, empresa y testigo sin fertilización del cultivo de sorgo variedad “Sureño” en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, Universidad Zamorano.

Programa de fertilización	Costos variables	Beneficio neto	Costo de oportunidad	Residuo
PF-UPGS (164N-114K)	\$ 434.06	\$ 3,220.57	\$ 434.06	\$ 2,786.50
PF-Propuesta AP (195N-107K)	\$ 579.78	\$ 3,074.85	\$ 579.78	\$ 2,495.07
PF-Empresa (182N-34K)	\$ 588.83	\$ 3,065.80	\$ 588.83	\$ 2,476.97
Testigo sin fertilización	\$ 0	\$ 3,654.63	\$ 0	\$ 3,654.63

Se demostró que la textura del suelo es un factor determinante para los niveles de rendimiento de semilla de frijol. Los suelos francos y franco arcilloso no mostraron diferencias significativas en el rendimiento y obtuvieron las medias más altas, 2,223 kg/ha y 2,100 kg/ha, respectivamente y en el suelo franco arenoso el rendimiento fue menor (1,333 kg/ha). La dominancia de arena en el suelo disminuye los rendimientos de semilla de frijol y el cultivo se desarrolla mejor en suelos con texturas franco arcillosa y francas (Arias et al. 2007; Escoto 2015). Las partículas de arena pierden más rápido la humedad lo que causa que las plantas de frijol sufrieran de estrés hídrico antes que en suelos franco y franco arcilloso que conservan más humedad (Zotarelli et al. 2013). Las partículas de arena tienden a retener una temperatura mayor a 25°C y provocan estrés al cultivo de frijol (Hepper et al. 2008), ya que este cultivo crece mejor dentro de un rango de temperatura de 16 a 25 °C (Lardizabal et al. 2013). La variabilidad espacial de los factores físicos y químicos del suelo en esta investigación explicó las diferencias entre los rendimientos de producción de semilla de frijol (Bravo et al. 2011).

El cultivo de sorgo variedad "Sureño" no tuvo una respuesta estadísticamente significativa en el rendimiento de semilla, ni en el tipo de suelo ni los PF y sus interacciones. Los rendimientos fueron similares al rendimiento potencial de la variedad “Sureño” (5,500 a 6,500 kg/ha) (Mejía, 2020). La materia seca de la biomasa mostró diferencias estadísticamente significativas (P=0.009) para en el cultivo de sorgo (**Cuadro 8**). Las mayores cantidades de biomasa se produjeron en los PF en relación con PSF. La disponibilidad de elementos en suelo según los mapas de fertilidad, y las matrices de biodisponibilidad de nutrientes, no mostraron diferencias entre los PF y el PSF, como para generar una alta variación en rendimiento de semilla de sorgo variedad “Sureño” (Cuadro 5) (Figura 3).

Todos los PF pudieron suplir la necesidad nutricional del cultivo de sorgo en los tres tipos de suelo, el PSF indicó que el cultivo de sorgo pudo alcanzar una buena producción únicamente con las concentraciones de elementos disponibles en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo (Figura 3). Se obtuvo de manera general un rendimiento alto de 5,801 kg/ha dentro del rango del rendimiento potencial para el ciclo de producción de sorgo al tomar los factores tipo de suelo y los PF. El sorgo es un cultivo adaptable a zonas de baja fertilidad y absorbió de manera adecuada los nutrientes necesarios para su producción, se adaptó a la variabilidad de la fertilidad de suelos y humedad presente en los lotes Vega 2 y 3 (Salvador et al. 2007; Morán 2012; Morán y Villeda 2012).

La variabilidad espacial en cuanto a los factores físicos y químicos en esta investigación ayudó a comprender las diferencias en la fertilidad de los suelos, las diferencias nutricionales analizadas en el tejido vegetal y las matrices de biodisponibilidad de nutrientes del cultivo de sorgo (Machado et al. 2002).

El análisis financiero de costos variables permitió determinar la viabilidad financiera de la técnica de mapeo de fertilidad en suelos y la generación de PF, una técnica relacionada a las prácticas de AP en el manejo diferencial de suelos. Se analizaron los beneficios económicos obtenidos a partir de cada uno de los PF utilizados. Los costos de aplicación de estas técnicas deben diferirse a más de dos ciclos de producción para que puedan ser comparables con la tecnología comercial que no invierte en la tecnología de AP. En el cultivo de frijol al tomar en cuenta cada uno de los tipos de suelo con relación a los PF, se obtuvo un mejor beneficio económico en el tipo de suelo con el PF que en la suma total de costos variables tuviera el menor gasto económico, siendo estos los suelos francos y franco arcilloso con el PF-UPGS (171N-92K) (**Cuadro 9**). Sin embargo, al tomar en cuenta los análisis de biodisponibilidad de nutrientes (Cuadro 5), el programa de PF-UPGS (171N-92K) genera una alta residualidad y concentración de nutrientes por lo cual es necesario bajar las dosis de fertilización del P y K por medio aplicaciones diferenciales en los suelos.

Se enfatiza la importancia de generar los mapas de fertilidad de suelos, porque se pueden detectar las variabilidades químicas del suelo, y el análisis de matrices de biodisponibilidad de nutrientes, que puedan afectar al cultivo y así adecuar los PF de acuerdo con las necesidades nutricionales (Bravo et al. 2011). La alta variabilidad de elementos en el suelo es debido a las altas cantidades de P, K, Fe y Mg, además de los desniveles nutricionales observados en Mg, tanto en sus relaciones con las bajas cantidades de Ca (Cuadro 4).

En el cultivo de sorgo variedad "Sureño" no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tipos de suelos y los PF, para el rendimiento de semillas de sorgo, dada la naturaleza del cultivo (Salvador et al. 2007; Morán 2012; Morán y Villeda 2012). Los PF no afectaron los rendimientos de semilla de sorgo (**Cuadro 8**). Al tomar en cuenta los factores de los costos variables en cada PF, el testigo sin fertilización presentó un mejor beneficio económico que la suma total de costos variables ya que tuvo el menor gasto económico (**Cuadro 10**).

Dentro de los costos variables de cada PF se consideró el costo de la elaboración de los mapas de fertilidad de suelos para el PF-Propuesta y se dividió entre el ciclo producción de frijol y sorgo, debido que uno de los fines de la creación de los mapas de fertilidad de suelos es que puedan ser utilizados en al menos un periodo de un año a año y medio y/o el número de ciclos de producción que se crean necesarios donde no cambien los niveles de fertilidad en los suelos (Resende y Coelho 2014).

En el cultivo de sorgo variedad "Sureño", los costos variables más bajos ocurrieron en el PSF (testigo absoluto), ya que no incurrió en ningún costo porque no se utilizó ningún fertilizante. Se demuestra que el PF con los mejores beneficios económicos fue el PSF, seguido del PF-UPGS (164N-114K) (**Cuadro 10**). En este programa se evidencia una alta residualidad y concentración de nutrientes absorbidos del suelo, según los análisis de biodisponibilidad de nutrientes (Cuadro 6). Es necesario bajar las dosis de fertilización del P y K por medio de aplicaciones diferenciales en los suelos. Se debe tomar en cuenta que el suelo ya contaba un niveles medios y altos de elementos minerales, por lo cual las cantidades de fertilizantes aplicadas debieron ser menores para generar un mayor ahorro en los costos de producción. El testigo sin fertilización en sorgo obtuvo altos rendimientos de semilla estadísticamente iguales a los de los PF, sin realizar acciones de fertilización muestra que el cultivo absorbió únicamente los nutrientes necesarios. La variedad de sorgo "Sureño" es una variedad adaptada a suelos de bajo niveles de fertilidad (Molina 2007; Salvador et al. 2007; Morán y Villeda 2012).

Al final se enfatiza la importancia de generar los mapas de fertilidad de suelos porque se pueden detectar las variaciones físicas y químicas del suelo que puedan afectar el desempeño del cultivo y así adecuar los PF con las necesidades nutricionales (Machado et al. 2002). Las diferencias nutricionales en los análisis de las matrices de biodisponibilidad de nutrientes permiten generar un mejor análisis de la respuesta de los cultivos a la fertilidad de suelos y los PF, para lograr un correcto manejo diferenciado de los suelos.

## Conclusiones

La generación y utilización de mapas de fertilidad de suelos permitieron detectar variaciones en las características físicas y químicas del suelo, especialmente en la concentración de P y K en niveles altos y se identificaron tres tipos de suelo, franco arenoso, franco y franco arcilloso, cada uno con sus características físicas diferenciales en la distribución espacial. En la producción de frijol, la textura del suelo fue determinante en el rendimiento. Los mejores resultados se obtuvieron en los suelos franco y franco arcilloso con producciones similares y superiores a las del suelo franco arenoso. En sorgo no hubo diferencias significativas con base en los tipos de suelo.

En frijol, se obtuvo un mejor beneficio económico con el PF-UPGS (171N-92K) debido a las fuentes utilizadas y al bajo costo de muestreo del suelo, a pesar de que este programa genera una alta residualidad de P y K en el suelo y altas concentraciones en el cultivo y no incluyó Mg que es deficiente.

En sorgo, el PF-Propuesta AP (195N-107K) generó la mayor producción de biomasa, sin embargo, se obtuvo un mejor beneficio económico con el testigo sin fertilización para la producción de semilla, por no incurrir en costos de compra y aplicación de fertilizantes al obtenerse rendimientos similares a los PF, ya que los niveles de fertilidad en el suelo fueron suficientes para suplir la demanda del cultivo para producción de semilla.

Los PF evaluados y sus interacciones con los tipos de suelo no mostraron diferencia en la producción de los cultivos de frijol Tolupán y sorgo Sureño, lo que infiere que el alto contenido de nutrientes en el suelo suple su demanda nutricional para producción de semilla.

Implementar la técnica de mapeo de suelos en conjunto con la generación de PF para optimizar el uso de fertilizantes no genera un beneficio económico ya que los costos de muestreo intensivo y análisis de suelo elevaron los costos variables de los PF.

## Literatura citada

- Araújo G, Ferraz S, Oliviera MS de, Da Silva FM, Avelar RC, Da Silva FC, Ponciano Ferraz PF. 2017. Methodology to determine the soil sampling grid for precision agriculture in a coffee field. *DYNA*. 84(200):316–325. doi:10.15446/dyna.v84n200.52740.
- Arévalo GE, Gauggel CA. 2019. Manual de prácticas de laboratorio 2019: Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal. 2ª ed. Honduras: Zamorano.
- Arias E, Sadeguián S, Mejía B, Morales SC. 2009. Lixiviación del nitrógeno en algunos suelos de la zona cafetera y su relación con la textura. *Cenicafé*. 60(3):239–252. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc060%2803%29239-252.pdf>.
- Arias JH, Jaramillo M, Rengifo T. 2007. Manual técnico: Buenas prácticas agrícolas en la producción de frijol voluble. Colombia: FAO. 167 p. ISBN: 978-92-5-305827-3. <https://cutt.ly/ymXLBvX>.
- Barber SA. 1995. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. Second Edition. New York, NY: Wiley. 414 p. ISBN: 0471587478. <http://www.loc.gov/catdir/description/wiley033/94022899.html>.
- Bertsch F. 2009. Absorción de nutrimentos por los cultivos: 2009. 1ª ed. Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 308 p. ISBN: 978-9968-9422-3-2. <https://es.scribd.com/document/338818419/Absorcion-de-nutrimentos-por-los-cultivos-2009-pdf>.
- Blake GR, Hartge KH. 1986. Bulk density. En: Klute A, editor. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*. 2ª ed. United States of America: American Society of Agronomy, Inc; Soil Science Society of America, Inc. p. 363–375 (Agronomy; vol. 9).
- Bouyoucos GJ. 1936. Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. *Soil Science*. 42(3):225–230. doi:10.1097/00010694-193609000-00007.
- Bravo C, Cabrera J., Carvallo M, Cánchica H, Ramírez E, González I. 2011. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con el rendimiento de frijol (*Vigna unguiculata* L.) en una parcela experimental de los llanos centrales venezolanos. En: Martínez J, Sánchez N, editores. *Estudios en la zona no saturada del suelo*. España: Universidad de Salamanca-CIALE. p. 79–84 (Jornadas sobre Investigación en la Zona No Saturada del Suelo). <http://zonanosaturada.com/zns11/publications/p79.pdf>.
- [CIMMYT] Centro International de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 1988. *La Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. Edición completamente revisada. México: CIMMYT. v, 79. ISBN: 968-6127-24-0. <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Escoto ND. 2015. Manual para el cultivo de frijol en Honduras. III. Honduras: Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA). <https://cutt.ly/DmX9Ycx>.
- García E, Flego F. 2008. Agricultura de precisión. *Revista Ciencia y Tecnología*. 8:99–116. <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>.
- Hepper E, Urioste A, Belmonte V, Buschiazzo D. 2008. Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de los suelos de la región semiárida pampeana central. *Ciencia del Suelo*. 26(1):29–34. <https://cutt.ly/JmX757U>.
- Holdrige LR, cartógrafo. 1962. Mapa ecológico de Honduras. Estados Unidos de América: LITHO. A. HOEN. & CO. [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/images/Eudasm/latinamerica/images/maps/download/hn2000\\_1bi.jpg](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/images/Eudasm/latinamerica/images/maps/download/hn2000_1bi.jpg).
- Hue NV, Uchida U, Ho MC. 2000. Sampling and analysis of soils and plant tissues: How to take representative samples, how the samples are tested. En: Silva JA, Uchida RS, editores. *Plant nutrient management in Hawaii's soils: Approaches for tropical and subtropical agriculture*. Hawaii: College of tropical agriculture and human resources; University of Hawaii at Manoa. p. 23–30. <http://128.171.57.22/bitstream/10125/1910/pnm2.pdf>.
- Jaramillo J. DF. 2012. Variabilidad espacial del suelo: Bases para su estudio. *Revista de la Facultad de Ciencias*. 1(1):73–87. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/download/49004/50077>.
- Jones BJ, Case VW. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. En: Westerman RL, editor. *Soil testing and plant analysis*. 3ª ed. United States of America: Soil Science Society of America, Inc. p. 389–427 (SSSA Book Series; vol. 3).
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *metz*. 15(3):259–263. doi:10.1127/0941-2948/2006/0130.
- Kuhlgert S, Austic G, Zegarac R, Osei-Bonsu I, Hoh D, Chilvers L. M, Roth MG, Bi K, TerAvest D, Weebadde P, et al. 2016. MultispeQ Beta: a tool for large-scale plant phenotyping connected to the open PhotosynQ network. *R Soc Open Sci*. 3(10):160592. eng. doi:10.1098/rsos.160592.
- Lamz A, González MC. 2013. Revisión bibliográfica La salinidad como problema en la agricultura: La mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*. 34(4):31–42. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v34n4/ctr05413.pdf>.
- Landon JR. 1991. Booker tropical soil manual: A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. 1ª ed. United States of America: Longman Scientific & Technical. 474 p. 9780470217139 vol. ISBN: 978-0-582-00557-0.
- Lardizabal RD, Arias S, Segura R. 2013. Manual de producción de frijol. 1ª ed. Honduras: USAID-ACCESO. 23 p. ISBN: 978-99926-794-3-2.
- Latimer G, editor. 2019. Official methods of analysis of AOAC international: 21st Edition, 2019. 21ª ed. United States of America: AOAC International. 3 volumes. 3 vol. (vol. 1). ISBN: 0-935584-89-7.
- Machado S, Bynum E, Archer T, Bordovsky J, Rosenow D, Peterson C, Bronson K, Nesmith D, Lascano R, Wilson L, et al. 2002. Spatial and temporal variability of sorghum grain yield: Influence of soil, water, pests, and diseases relationships. *Precision Agriculture*. 3(4):389–406. doi:10.1023/A:1021597023005.
- Mieres L, Campos R. 2011. Caracterización de variabilidad del suelo. *Voces y Ecos*. Año XIII(27):27–30. <https://cutt.ly/4mCokCp>.
- Molina E. 2007. Análisis de suelos y su interpretación. Costa Rica: Amino Grown International. <https://cutt.ly/cmGA9R0>.
- Morán A. 2012. Sorgo DICTA-29 BMR: Sorgo doble propósito, especial para ensilaje. Honduras: SAG, DICTA, INTSORMIL, USAID. <https://cutt.ly/bmCp49m>.
- Morán A, Villeda M. 2012. Sorgo Sureño Normal: El sorgo tradicional de Honduras de doble propósito. Honduras: SAG, DICTA, INTSORMIL, USAID. Scientific Publications Informe no. 11. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=intsormilpubs>.
- Natu AS, Kulkarni SC. 2016. Adoption and utilization of drones for advanced precision farming: A review. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. 4(5):563–565. doi:10.17762/ijritcc.v4i5.2237.
- Pereira PA, Burris RH, Bliss FA. 1989. 15N-determined dinitrogen fixation potential of genetically diverse bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant and Soil*. 120(2):171–179. doi:10.1007/BF02377066.
- Pierce FJ, Nowak P. 1999. Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*. 67:1–85. doi:10.1016/S0065-2113(08)60513-1.
- Resende ÁV, Coelho AM. 2014. Muestreo para mapeo y manejo de la fertilidad del suelo. En: Chaturni, Evandro., Magdalena, Carlos., editor. *Manual de agricultura de precisión*. Uruguay: Montevideo: PROCISUR/IICA. p. 47–57. [http://www.procisur.org.uy/adjuntos/Manual\\_AP\\_01web.pdf](http://www.procisur.org.uy/adjuntos/Manual_AP_01web.pdf).

- Rosas JC, Rodríguez I, Escoto D, Meza N. 2019. Propuesta de liberación de la variedad de frijol “Tolupan Rojo”: Presentada ante el: Comité Nacional de Liberación de Variedades e Híbridos Vegetales Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) República de Honduras. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana/Zamorano, DICTA, SAG.
- Salvador H, Hernández MA, Ayala JH, Guzmán RF, Borja CA, Alvarado M, Calderón VR. 2007. Guía técnica del sorgo: (*Sorghum bicolor*, L. Moench). 1ª ed. El Salvador: Ministerio de Agricultura y Ganadería, INTSORMIL, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). <https://cutt.ly/xmJF8tZ>.
- Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME. 1996. Methods of soil analysis: Part 3 Chemicals methods. United States of America: Soil Science Society of America Book Series, American Society of Agronomy (SSSA Book Series; vol. 5). ISBN: 9780891188254.
- [USDA] United States Department of Agriculture, [NRCS] Natural Resources Conservation Service. 2010. Keys to soil taxonomy. 11ª ed. United States of America: Natural Resources Conservation Service (NRCS); United State Department of Agriculture (USDA).
- Walkley A, Black A. 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):29–38. doi:10.1097/00010694-193401000-00003.
- Yost MA, Kitchen NR, Sudduth KA, Sadler EJ, Drummond ST, Volkmann MR. 2017. Long-term impact of a precision agriculture system on grain crop production. *Precision Agriculture*. 18(5):823–842. doi:10.1007/s11119-016-9490-5.
- Zotarelli L, Dukes MD, Morgan KT. 2013. Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. *EDIS*. 2013(2). doi:10.32473/edis-ae496-2013.

Recibido octubre 12, 2021; aceptado noviembre 11, 2021.

Cómo citar: Rosas-Velásquez DA, Gauggel GE, Pineda R. 2021. Manejo diferencial de los suelos mediante el uso de prácticas de agricultura de precisión para la producción de semilla de frijol y sorgo. *Ceiba. Zamorano Investiga*: 83–101.