

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



Proyecto Especial de Graduación
**Evaluación de tres láminas de riego en suelos de diferentes texturas en
el desarrollo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**

Estudiante

Ingrids Isabel Mata Vigil

Asesores

Gloria Elizabeth Arévalo de Gauggel PhD.

Raphael Wesly Colbert PhD.

Alejandra Sarai Gallo M. Sc.

Honduras, noviembre 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA ODILA TREJO RAMOS

Directora Departamento Ciencias y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	7
Índice de Anexos.....	8
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Materiales y Métodos.....	14
Ubicación	14
Muestras en Suelo	14
Caracterización del Medio	15
Textura.....	16
Densidad Aparente (Dap).....	16
Porosidad	17
Densidad Real (Dr).	18
Traslado y Preparación del Suelo.....	18
Experimento.....	18
Cultivo	19
Siembra	19
Riego	19
Fertilización.....	20
Variables Evaluadas	21
Humedad en el Suelo	21
Cultivo	21
Tratamientos.....	22

Diseño Experimental	23
Análisis Estadístico	24
Resultados y Discusión.....	25
Variables Agronómicas	25
Altura de la Planta.....	25
Altura Final de la Planta	25
Peso Seco de la Planta	27
Variables de Raíz	29
Variables de Suelo.....	32
Características Físicas del Medio	32
Lecturas con Sensores TDR y FDR.....	32
Conclusiones	35
Recomendaciones.....	36
Referencias.....	37
Anexos.....	40

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Etapas de desarrollo de la planta de frijol variedad Amadeus 77 y porcentajes de riego	20
Cuadro 2 Fertilizantes, dosis y días de fertilización en frijol, var. Amadeus 77.....	21
Cuadro 3 Tratamientos utilizados; compuestos por tres tipos de suelo y tres láminas de riego para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas en el desarrollo de frijol var. Amadeus 77. EAP Zamorano, Honduras	23
Cuadro 4 Significancia de los factores tipo de suelo y lámina de riego sobre altura de la planta en (cm) durante el crecimiento de 13 a 41 días después de siembra de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras.....	25
Cuadro 5 Significancia de los factores tipo de suelo y lámina de riego sobre la altura final de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras	26
Cuadro 6 Efecto de los tratamientos sobre la altura final de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras	27
Cuadro 7 Significancia de los factores tipo de suelo y lámina de riego sobre peso seco de hoja, tallo y raíz de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras	28
Cuadro 8 Efecto de los tratamientos sobre el peso seco de hoja, tallo y raíz de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras.....	29
Cuadro 9 Significancia de los factores tipo de suelo y lámina de riego sobre área superficial, diámetro, volumen y longitud de raíz de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras	30

Cuadro 10 Efecto de los tratamientos sobre sobre área superficial, diámetro, volumen y longitud de raíz de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras	31
Cuadro 11 Características físicas del suelo del lote La Vega 2 y 3, Monteredondo, EAP Zamorano. Honduras.....	32
Cuadro 12 Diferencia en lectura de los sensores TDR y FDR en las tres texturas evaluadas utilizando lámina de 352 mm, EAP Zamorano. Honduras	33
Cuadro 13 Estimación de porcentaje de humedad de suelo de los sensores TDR y FDR en las tres texturas evaluadas utilizando lámina de 352mm, EAP Zamorano. Honduras.....	34

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de la ubicación de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) Zamorano y de del lote La Vega 2 y 3.....	14
Figura 2 Mapa de variabilidad espacial de texturas y ubicación de los lotes experimentales en La Vega 2 y 3, Monteredondo, EAP Zamorano, Honduras.....	15

Índice de Anexos

Anexo A DBCA (Diseño de Bloques Completamente al Azar)	40
Anexo B Medias de la concentración de cada elemento por tipo de suelo para el área de experimentación en los lotes Vega 2 y 3, Monteredondo, EAP Zamorano, Honduras	41
Anexo C Porcentaje de riego por etapa de cultivo de frijol, var, Amadeus-77.....	42

Resumen

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) la leguminosa de grano más producida a nivel mundial. Importante en la dieta humana ya que aporta proteínas y minerales. Generalmente, la producción se realiza en condiciones de temporal, cuando la precipitación es insuficiente e impredecible. En Latinoamérica se estima que el estrés hídrico reduce el rendimiento un 73%. Los objetivos fueron evaluar el efecto de la aplicación de tres láminas de riego en suelos de diferente textura y determinar la variabilidad de dos tipos de sensores de humedad (TDR y FDR). Fueron nueve tratamientos con tres repeticiones: tres láminas de riego (352, 320 y 288 mm) en tres tipos de suelo (franco, franco-arenoso y franco-arcilloso) hasta 67 días después de siembra. Se realizó un ANDEVA con separación de medias por Duncan ($P \leq 0.05$) y análisis con SAS-9.4. El desarrollo de la planta fue favorecido con las láminas de 320 y 352 mm en los suelos franco y franco-arcillosos. 288 mm limitó el desarrollo del cultivo en todos los suelos. En suelo franco-arenoso la lámina de 352 mm favoreció al cultivo con altura de planta de 83.6 cm vs 56.8 cm con 288 mm, mientras que la longitud de raíz fue de 132.3 con 352 mm y 111.2 m con 288 mm diferentes entre sí ($P < 0.05$) y mostró en promedio mayores lecturas con ambos sensores. La mayor variabilidad en lecturas de humedad se obtuvo con el sensor FDR con 42.31 % en suelo franco-arcilloso, 43.9 % en franco y con 44.5 % en franco-arenoso.

Palabras clave: humedad, lámina, suelo, textura franca.

Abstract

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the grain legume most produced worldwide. It is important in the human diet, providing proteins and minerals. Generally, common bean production is rainfed but; precipitation in most cases tends to be insufficient and unpredictable. In Latin America, it has been estimated that water stress reduces common bean yield by 73%. The objectives of this research were to evaluate the effect of the application of different irrigation rates on different soil textures on the phenological development of common bean in greenhouse and to determine the variability of two types of moisture sensors (TDR and FDR). There were nine treatments with three replications: three irrigation rates (320 mm, 352 mm, and 288 mm) and three types of soil (loamy, sandy-loam and clay-loam) during a 65-days growing cycle. An analysis of variance (ANOVA) was performed, and Duncan test ($P \leq 0.05$) mean separation. Data were analyzed with the statistical program SAS version 9.4. Crop development was favored by irrigations rates of 320 and 352 mm in loam and clay-loam soil and 288 mm limited crop development in all soil textures. In sandy-loam soil, the plant height was favored by 352 mm irrigation rate; 83.6 cm vs 56.8 cm with 288 mm irrigation rate. Root length was 132.3 m with 352 mm and 111.2 m with 288 mm, different from each other ($P < 0.05$) and shown on average higher moisture with both sensors. The greatest moisture variability was obtained with FDR sensor: 42.31 % in clay-loam soil, 43.9 % in loam and 44.5 we% in sandy-loam.

Keywords: moisture, irrigation rates, soil, loamy texture.

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de grano de mayor producción a nivel mundial, siendo nativo de las Américas, donde tiene un rol importante en la dieta humana aportando proteínas y minerales (Beebe et al. 2017). A pesar de su relevancia son varios los factores que afectan negativamente su producción, entre ellos la incidencia de plagas y enfermedades, uso de variedades en decadencia o la falta de uso de variedades mejoradas, la sensibilidad a factores climáticos y los problemas agro técnicos del cultivo (Alemán et al. 2010).

En cuanto a producción de alimentos se refiere de manera general, el suelo en conjunto con el agua, son considerados la base de los recursos naturales (Paulet-Iturri 1999), ya que el agua cumple con la función de ser el solvente y transportador de nutrientes que las plantas absorben para su óptimo crecimiento y el suelo captura y almacena este solvente (FAO 2015).

El suelo se define como el resultado final de sedimentos geológicos que han sido transformados por factores geológicos, topográficos, climáticos, físicos, químicos y biológicos formando una entidad viva. Entidad que además está compuesta por una asociación entre partículas inorgánicas o minerales que están inextricablemente vinculadas con materia orgánica y gases perfundidos (Sumner y Lawrence 2000). Consecuentemente la disponibilidad de agua en el suelo depende inicialmente de la cantidad de agua existente en el mismo y de las propiedades físicas del suelo, considerando inicialmente la textura y la estructura. Además, es importante reconocer que el agua en el suelo es una entidad muy dinámica. Los cambios en el contenido de agua y en su estado de energía pueden afectar propiedades mecánicas del suelo incluyendo fuerza, compactibilidad, penetrabilidad y la densidad aparente en suelos saturados (Or y Wraith 2000).

El transporte del agua que entra en el suelo está definido por las interconexiones entre los espacios porosos, circulando por los macroporos y ocupando total o parcialmente los poros capilares que es donde puede ser retenida (Porta-Casanellas et al. 2003). Sin embargo, una entidad tan

cambiante y dinámica como lo es el agua en el suelo, rara vez se encuentra un equilibrio termodinámico en el sistema suelo-agua. Por mencionar algunos de los "procesos implicados en el movimiento del agua son el de entrada en el suelo (infiltración, entradas laterales o ascenso a partir de una capa freática); la absorción por parte de las plantas; y la evaporación" (Porta-Casanellas et al. 2003)

Las diferentes texturas en los suelos varían en cuanto a la retención de humedad, no obstante es imperativo tener presente que la cantidad de agua disponible en el suelo para las plantas (ADP) está determinada por la diferencia entre las láminas de agua almacenadas al límite máximo de retención conocido como "Capacidad de Campo" (CC) y el límite mínimo de almacenamiento conocido como "Punto de Marchitez Permanente" (PMP), ambas siendo consideradas a profundidad de interés para las plantas o profundidad radical efectiva (Z_r) (Cid-Lazo et al. 2018).

Generalmente la producción de frijol se realiza en condiciones de temporal, cuando la precipitación en la mayoría de los casos tiende a ser insuficiente e impredecible. En Latinoamérica se ha estimado que el estrés hídrico reduce el rendimiento del frijol un 73% (Acosta-Díaz et al. 2004). Sin embargo, la provisión natural de agua en la mayoría de los casos no es suficiente para que los cultivos expresen su máximo potencial, especialmente porque depende de las condiciones climáticas y son muy variables en cada zona. Por ende, para lograr buenos rendimientos de los cultivos se establecen diseños agronómicos e hidráulicos. De manera que con el diseño agronómico se determinan las necesidades hídricas del cultivo y se establecen los parámetros de riego (dosis, frecuencia, duración, etc.) (Intriago-Vidal y Sacón-Zambrano 2012). Y posteriormente se efectúa el diseño hidráulico, con el cual se determinan con más precisión las características del equipo de riego para que logre entregar el caudal que se estableció en el diseño agronómico (Villafálila y Wyss 2009).

En el cultivo del frijol los efectos por estrés hídrico, dependen de la duración, intensidad y etapa fenológica del cultivo (Nuñez-Barrios et al. 1998). Las plantas de frijol son sensibles al déficit hídrico principalmente por su sistema radicular poco profundo. Hay múltiples rasgos del cultivo que

se ven afectados por estrés hídrico como, la calidad de semilla (dureza), vigor, rendimiento de materia seca y de grano. La sensibilidad a la falta de agua es mayor durante la fase reproductiva (floración y formación de vainas) que durante la fase vegetativa. Del mismo modo se observa reducción en el número y tamaño de hojas, inhibición de la expansión de las mismas o su desprendimiento, y reducción del número total de flores, reduciendo a su vez el número de vainas por planta (Durigon et al. 2019).

Por estas razones, el monitoreo del contenido de en el suelo es fundamental para corroborar que el sistema suministra el caudal necesario de acuerdo con la etapa del cultivo. Para este propósito existen varias formas de medir la humedad, el método gravimétrico ha sido el más utilizado y considerado el método directo, no obstante, en la actualidad ya existen metodologías indirectas como los sensores de humedad. Este monitoreo permite hacer un mejor manejo del riego. La optimización del riego implica aplicar el riego oportunamente y en cantidades adecuadas, para conservar agua y aumentar rentabilidad (Enciso et al. 2007).

Por lo anterior, los objetivos de esta investigación fueron evaluar el efecto de la aplicación de tres láminas de riego en suelos de diferentes texturas en el desarrollo fenológico de frijol en macro túnel y determinar la variabilidad de dos tipos de sensores de humedad; TDR y FDR.

Materiales y Métodos

Ubicación

El experimento se realizó en el macro túnel número tres de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC) de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano ubicada en el Valle de Yegüare, municipio de San Antonio de Oriente, departamento Francisco Morazán, a 30 km de Tegucigalpa, Honduras. La zona tiene una altura de 800 msnm y una temperatura promedio anual de 26 °C. El suelo utilizado en el experimento fue recolectado del lote conocido como La Vega 2 y 3 de Monte Redondo, área dentro de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (Figura 1). Del mismo lote se recolectaron las correspondientes muestras según las características texturales del lote (suelos francos, suelos franco-arenosos y suelos franco-arcillosos), mismas que fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (LSZ).

Figura 1

Mapa de la ubicación de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) Zamorano y de del lote La Vega 2 y 3



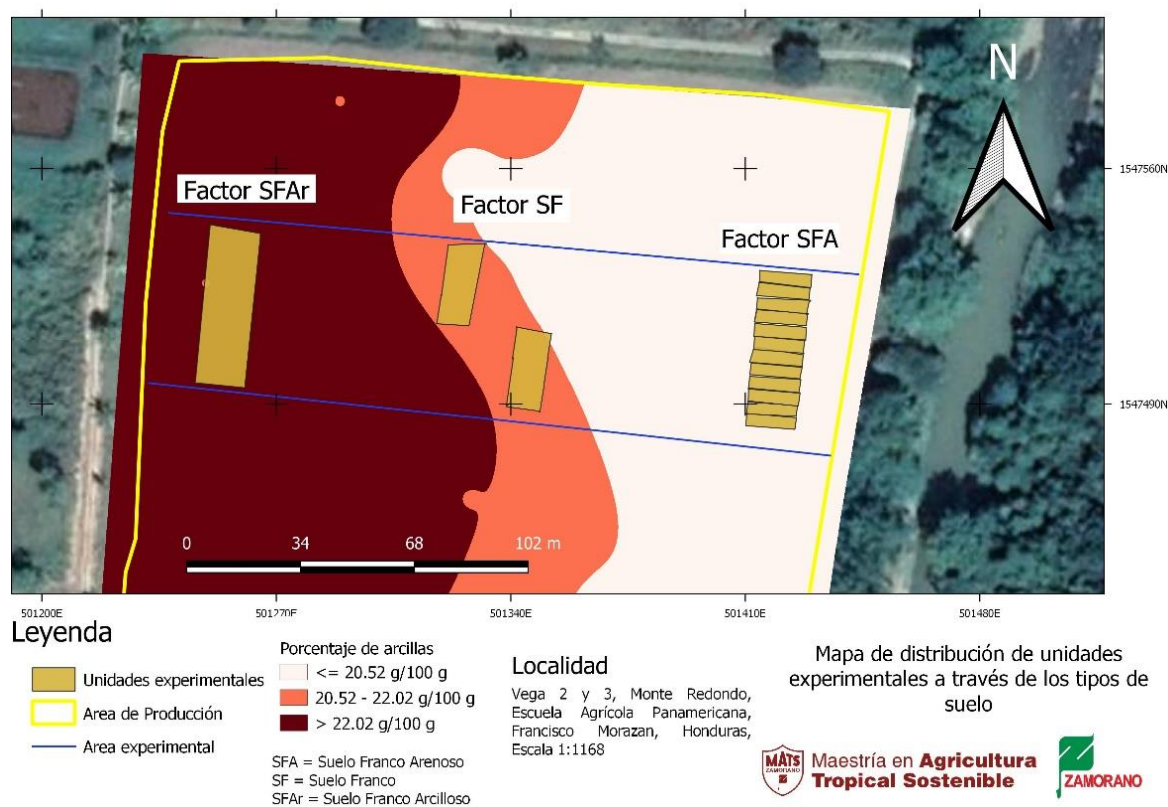
Muestreos en Suelo

Las muestras de suelo correspondieron del lote la Vega 2 y 3. Se recolectaron 20 submuestras en cada tipo de suelo dentro del lote identificados por (Rosas-Velásquez 2021), tomadas en forma de

zigzag, comenzando en el borde sur de cada área textural y terminando en el borde norte. Se utilizó un barreno de copa para sacar las muestras, a una profundidad de 0 a 20 cm de profundidad. Para ubicar cada tipo de suelo se utilizó como guía el mapa de variabilidad espacial de texturas y ubicación de los lotes experimentales en La Vega 2 y 3 (Figura 2).

Figura 2

Mapa de variabilidad espacial de texturas y ubicación de los lotes experimentales en La Vega 2 y 3, Monteredondo, EAP Zamorano, Honduras.



Nota. Tomado de Rosas-Velásquez (2021).

Caracterización del Medio

Las muestras recolectadas y homogeneizadas fueron llevadas al Laboratorio de Suelos de Zamorano (LSZ), donde se les realizaron análisis físicos de textura, densidad aparente (Dap), densidad

real (D_r) y porosidad. Con el fin de conocer las condiciones del suelo antes de establecer el experimento. Los métodos para los análisis del suelo fueron los siguientes:

Textura

En cada suelo se determinó la textura, utilizando el método de Bouyoucos, expresando el porcentaje en peso de arena, limo y arcilla (Andrades-Rodríguez et al. 2015; Arévalo y Gauggel 2019).

Densidad Aparente (D_{ap})

Esta variable fue medida mediante el uso del peso de la unidad de volumen de suelo seco a 105 °C. En una probeta de 50 mL, se colocó suelo hasta la mitad. Posteriormente fue compactado, golpeando suave y constantemente con la mano en la base por un minuto. Se registró el volumen del suelo y fue pesado. Una vez registrados ambos datos se aplicó la (Ecuación 1), (Sandoval E. et al. 2012; Andrades-Rodríguez et al. 2015; Arévalo y Gauggel 2019).

$$D_{ap} = \frac{M_{ss}}{V_t} \quad [1]$$

Donde:

D_{ap} = razón entre masa de las partículas (M_s) y el volumen total de suelo (V_t), incluidos

los espacios porosos entre partículas, expresado en g/cm^3 o Mg/m^3 .

M_{ss} = masa del suelo seco en g.

V_t = volumen total de la muestra en cm^3

Porosidad

Para determinar el porcentaje del espacio poroso, el suelo para medir densidad aparente fue reutilizado. Una probeta de 50 mL fue llenada hasta la mitad con agua, se agregó el suelo y con una varilla se removió lentamente la mezcla y se dejó reposar por cinco minutos. Pasados los cinco minutos se continuó mezclando hasta extraer todo el aire atrapado. Por último, se registró el volumen total de la mezcla de agua y suelo, para calcular el espacio poroso (E. P) en mL y posteriormente el porcentaje de espacio poroso (EP %) (Ecuación 2 y 3) (Arévalo y Gauggel 2019).

Espacio Poroso.

$$E. P (ml) = (V_s (mL) + V_w (mL)) - \text{Volumen de suelo y agua (mL)} \quad [2]$$

Donde:

E. P. = espacio poroso en mL

V_s = volumen del suelo en mL

V_w = volumen del agua en mL

Volumen de suelo y agua (mL) = Mezclados

Porcentaje de Espacio Poroso.

$$EP \% = \frac{E. P(mL) \times 100}{V_s (mL)} \quad [3]$$

Donde:

EP % = espacio entre partículas y material sólido

E. P = espacio poroso en mL

Vs = volumen del suelo en mL

Densidad Real (Dr).

De la (Ecuación 3), se despejo para la Densidad Real (Dr) (Ecuación 4), (Arévalo y Gauggel 2019).

$$Dr = \frac{Dap}{100 - \%EP} \quad [4]$$

Donde:

Dr = densidad de las partículas en un suelo g/cc

Dap = densidad aparente en g/cc

EP % = espacio entre partículas y material sólido en %

Traslado y Preparación del Suelo

El suelo fue recolectado con palas y colocado en sacos debidamente rotulados y posteriormente fueron llevados hasta el macro túnel donde se realizó el experimento. Con el objetivo de que el suelo perdiera humedad, se dejó esparcido sobre lonas durante 48 horas. Una vez el suelo perdió el exceso de humedad, se procedió a perturbar los agregados grandes de suelo.

Experimento

Se utilizaron maceteros de 20 cm de altura con 20 cm de diámetro en la parte superior y 13.5 cm en la base. Se agregó a cada macetero 3.5 kilogramos de suelo seco. Los maceteros se ubicaron en

seis tarimas de un metro de ancho y 10 metros de largo con una altura de 40 cm sobre el suelo, colocando cuatro maceteros a lo ancho. Se colocaron bajo el macetero de la repetición uno y tres en cada tratamiento lisímetros de 09 cm en la base, 12.5 cm de altura y de diámetro en la parte superior. La duración de la investigación fue de 67 días, en los cuales se colectaron datos de humedad de suelo y volúmenes de agua lixiviados recogidos en lisímetros, día de por medio y altura de planta cada cuatro días. Aunque no se obtuvieron datos de lisímetros en ninguna etapa del cultivo.

Cultivo

Se utilizó la variedad de frijol Amadeus 77, esta variedad se caracteriza por ser altamente resistente al virus del mosaico dorado amarillo y al virus del mosaico común. Además, la variedad posee una alta adaptación al calor, intermedia resistencia a la sequía y al exceso de humedad. Fisiológicamente la variedad se caracteriza por ser precoz o intermedia en cuanto a floración y madurez, ya que la floración ocurre 36-38 días después de siembra (DDS) y su madurez fisiológica a los 66-68 DDS (Rosas y Escoto 2002).

Siembra

Después de la preparación de los maceteros, se colocaron cuatro semillas de frijol en cada uno, con la finalidad de asegurar germinación. A los 10 días después de siembra se ejecutó un raleo a fin de conservar la planta que quedase más acorde en cuanto crecimiento con las del resto del experimento, ya que unas germinaron uno o dos días antes que otras.

Riego

El riego se ejecutó de manera manual día de por medio, siendo esta la frecuencia de riego utilizada en cultivo de frijol por las unidades productivas de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Se midieron los volúmenes con probeta. Se tomó como referencia la lámina de riego

utilizada en la UIDC (Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano) de 320 mm/ciclo de cultivo, para determinar los tratamientos. Las etapas del cultivo y los porcentajes de riego por etapa, fueron definidas con la información obtenida de (Ventura-Elías et al. 2018) (Cuadro 1).

Cuadro 1

Etapas de desarrollo de la planta de frijol variedad Amadeus 77 y porcentajes de riego

Etapa	Código	Días	% Riego
Vegetativa			
Germinación	V0	00-06	04.08
Emergencia	V1	07-10	02.23
Hojas primarias	V2	11-13	03.50
Primera hoja trifoliada	V3	14-17	06.05
Tercera hoja trifoliada	V4	18-28	02.17
Reproductiva			
Prefloración	R5	29-39	19.78
Floración	R6	40-43	07.45
Formación de vainas	R7	44-52	12.28
Llenado de vainas	R8	53-59	20.83
Maduración	R9	60-69	02.45

Nota. Adaptado de Ventura-Elías et al. (2018).

Fertilización

La fertilización fue química y homogénea para todos los tratamientos, se realizaron dos aplicaciones, la primera a los 08 (DDS) con 18-46-00 y la segunda a los 25 (DDS) con Urea (Cuadro 2). Se realizaron análisis químicos en el lote de la Vega 2 y 3, en febrero de 2020 (Anexo C) para la investigación realizada por (Rosas-Velásquez 2021). Se determinó que la fertilización fuese homogénea ya que, los resultados de esta investigación mostraron que la fertilidad no fue un factor determinante en el desarrollo del cultivo de frijol y de sorgo, contrario a lo que ocurrió con las texturas de los suelos como factor determinante.

Cuadro 2

Fertilizantes, dosis y días de fertilización en frijol, var. Amadeus 77

Fertilizante	Dosis		Días
	kg/Ha 200,000 plantas	g/240 plantas	
18-46-00	65	77.60	08
Urea	130	155.6	25

Nota. Adaptado de Escoto-Gudiel (2004).

Variables Evaluadas

Los efectos de los diferentes tratamientos fueron evaluados en parámetros del suelo y de la planta.

Humedad en el Suelo

Se hicieron lecturas de humedad día de por medio antes del riego, mediante el uso de dos tipos de sensores FDR (Frequency Domain Reflectory) y TDR (Time Domain Reflectory) a una profundidad promedio de 12 cm. Se tomaron las lecturas a esta profundidad debido al diseño de los sensores y a la altura de los maceteros. Las lecturas realizadas con el sensor FDR, fueron tomadas con el sensor configurado en milivoltios y posteriormente convertidas a porcentaje de humedad. Por otro lado, las lecturas echas con el sensor TDR, fueron tomadas con el sensor configurado en porcentaje de humedad y en modo estándar. Todas las lecturas realizadas con cada sensor se promediaron para poderlas comparar. Los resultados de ambos sensores fueron comparados entre sí, tomando en cuenta la diferencia entre medias en cada tipo de suelo y el coeficiente de variabilidad de cada sensor.

Cultivo

Se evaluó el crecimiento del cultivo midiendo la altura de la planta con cinta métrica desde la base de la planta hasta la yema terminal del tallo para determinar su desarrollo. Se tomaron los datos cada cuatro días, hasta que el cultivo llego a 41 DDS y una toma de datos al momento de finalizar el

experimento. Las plantas fueron retiradas cuando el cultivo llegó a 67 DDS. Se decidió retirar el cultivo en este tiempo, ya que la temperatura en el interior del macro túnel durante los 35 a 43 DDS en las etapas de prefloración y floración fueron muy elevadas, se asume que por esta razón hubo aborto floral y por ende no hubo formación de vainas ni datos de producción. Por lo que era innecesario que el cultivo continuara con su ciclo. Se separó la parte aérea de la planta de la radicular cortando el tallo desde la base. Las hojas y tallos se colocaron por separado en bolsas de papel respectivamente identificadas con bloque, tratamiento y repetición. Posteriormente fueron llevados por 48 horas al horno a una temperatura de 78 °C, pasado ese tiempo se tomó el peso seco en gramos.

Para la evaluación de las raíces en cada repetición de cada tratamiento el procedimiento que se llevó a cabo fue la separación del sistema radicular del suelo con sumo cuidado de no perder ni dañar raíces. Para mayor facilidad al retirar el suelo, cada macetero fue saturado 30 minutos antes de proceder a limpiar las raíces. El macetero se vació sobre un tamiz de 10 mesh y se agregó agua poco a poco hasta retirar todo el suelo e impurezas. Una vez limpias las raíces, estas fueron almacenadas en una solución de alcohol al 20% en envases de cristal, etiquetados respectivamente. Se utilizó el equipo Epson® Scan Perfection V700, para escanearlas. Con las imágenes y el programa WinRHIZO® se obtuvo el diámetro (mm), volumen (cm³), longitud de las raíces (m) y área radicular (cm²). Una vez escaneadas, se les quitó el exceso de humedad y se colocaron por separado en bolsas de papel respectivamente identificadas con bloque, tratamiento y repetición. Posteriormente fueron llevados por 48 horas al horno a una temperatura de 78 °C, pasado ese tiempo se tomó el peso seco en gramos.

Tratamientos

Para evaluar las variables agronómicas se realizaron nueve tratamientos, los cuales fueron la aplicación de tres láminas de riego diferentes en tres diferentes tipos de suelo (Cuadro 3). Para establecer las diferentes láminas se tomó como referencia y como lámina testigo/teórica del 100 %,

la lámina total de riego que se utiliza actualmente en la UIDC (Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano), correspondiente a 320 mm por ciclo de cultivo. La segunda lámina consistió en aumentar 10 % de la teórica y la tercera en disminuir 10 %, en milímetros 352 mm y 288 mm respectivamente.

Cuadro 3

Tratamientos utilizados; compuestos por tres tipos de suelo y tres láminas de riego para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas en el desarrollo de frijol var.

Amadeus 77. EAP Zamorano, Honduras

Tipo de suelo	Lámina de riego (mm/ciclo)
Franco arenoso	320
Franco arenoso	352
Franco arenoso	288
Franco	320
Franco	352
Franco	288
Franco arcilloso	320
Franco arcilloso	352
Franco arcilloso	288

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con tres repeticiones por cada tratamiento, ocho plantas por repetición, para un total de 216 unidades experimentales (Anexo A). De las ocho plantas se tomaron datos únicamente en las cuatro centrales para un total de 108 unidades observacionales. Para el análisis del efecto de las diferentes láminas de riego en los diferentes tipos de suelo se realizó un arreglo factorial 3×3 [tres láminas de riego (320 mm, 352 mm y 288 mm) y tres tipos de suelo (franco, franco arenoso y franco arcilloso)].

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias utilizando la prueba Duncan con un nivel de significancia ($P \leq 0.05$). Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis Software) versión 9.4 (SAS 2012). En el caso de los sensores se realizó la separación de medias utilizando la prueba Duncan con un nivel de significancia ($P \leq 0.05$), únicamente de las lecturas registradas de aquellos tratamientos que recibieron la lámina de 352 mm durante el ciclo de cultivo. Para determinar la diferencia entre lecturas de humedad, se encontró la diferencia entre medias de cada tipo de suelo.

Resultados y Discusión

Variabes Agronómicas

Altura de la Planta

La aplicación de las láminas de riego en los diferentes tipos de suelo presentó diferencias muy significativas ($P \leq 0.01$) en el desarrollo del cultivo a los 13 DDS con los factores tipo de suelo y lámina aplicada. Se observaron diferencias muy significativas ($P \leq 0.01$) a los 29 y 33 DDS con el factor lámina de riego y diferencias altamente significativas ($P < .0001$) a los 37 y 41 DDS con el factor lámina de riego. En cuanto a la interacción (tipo de suelo y lámina), no se obtuvieron diferencias significativas durante el ciclo de cultivo (Cuadro 4).

Cuadro 4

Significancia de los factores tipo de suelo y lámina de riego sobre altura de la planta en (cm) durante el crecimiento de 13 a 41 días después de siembra de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras

Factores	Días							
	13	17	21	25	29	33	37	41
Tipo de Suelo	0.0003	0.3469	0.6055	0.9166	0.6692	0.5602	0.4578	0.6953
Lámina	0.0006	0.0514	0.2337	0.3832	0.0002	0.0043	<.0001	<.0001
Suelo×Lámina	0.0647	0.4131	0.3966	0.4515	0.3576	0.8955	0.8276	0.6625

Altura Final de la Planta

En altura final de la planta, la aplicación de las diferentes láminas de riego en los diferentes tipos de suelo presentó diferencias muy significativas ($P \leq 0.01$) con la interacción tipo de suelo y lámina aplicada. Se observo diferencia altamente significativa ($P < .0001$) con el factor lámina aplicada (Cuadro 5).

Cuadro 5

Significancia de los factores tipo de suelo y lámina de riego sobre la altura final de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP

Zamorano. Honduras

Factores	Altura final (cm)
Tipo de Suelo	0.0695
Lámina	<0.0001
Suelo×Lámina	0.0007

En texturas franco-arenosas se encontró diferencia significativa entre el tratamiento con la lámina de 352 mm y los tratamientos con las láminas inferiores. Se observó que el crecimiento de la planta fue favorecido por la lámina de 352 mm, presentando una media de 83.6 cm. En texturas francas y franco arcillosas no hubo diferencia significativa entre los tratamientos con las láminas de 352 mm y 320 mm, por lo tanto, al aplicar una lámina de 352 mm se está suministrando agua en exceso. La lámina de 288 mm en todas las texturas mostró una reducción en la altura final de la planta, en comparación con los otros tratamientos (Cuadro 6). En relación con la reducción en la altura de planta a causa del déficit hídrico, López-Ramírez et al. (2014), afirman que esta reducción es acentuada con la duración del estrés y varía con la etapa de crecimiento.

Cuadro 6

Efecto de los tratamientos sobre la altura final de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras

Tipo de suelo	Lámina de riego (mm)	Altura final de la planta (cm)
Franco arenoso	352	83.6 a
Franco arenoso	320	57.6 b
Franco arenoso	288	56.8 b
Franco	352	78.4 a
Franco	320	83.8 a
Franco	288	56.6 b
Franco arcilloso	352	83.1 a
Franco arcilloso	320	72.9 a
Franco arcilloso	288	57.1 b
R ²		0.71
CV (%)		20.77

Nota. Letras diferentes al lado de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos.

Peso Seco de la Planta

El factor determinante en peso seco de hoja, tallo y raíz fue la lámina aplicada en los diferentes tratamientos. Se obtuvieron las diferencias muy significativas ($P \leq 0.01$) en peso seco de hoja y diferencias altamente significativas ($P < .0001$) en peso seco de tallo, raíz y el peso seco total. (Cuadro 7). En peso seco de tallo, otro factor determinante fue el tipo de suelo, presentando diferencia muy significativa ($P \leq 0.01$) con este factor. Sin embargo, la interacción entre lámina y tipo de suelo no fue un factor determinante en peso seco de la planta, ya que no se obtuvo diferencia significativa en ninguna de las variables.

Cuadro 7

Significancia de los factores tipo de suelo y lámina de riego sobre peso seco de hoja, tallo y raíz de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras

Factores	Peso seco g/planta			
	Hoja	Tallo	Raíz	Total
Tipo de Suelo	0.1509	0.0092	0.6448	0.0762
Lámina	0.0013	<.0001	<.0001	<.0001
Suelo×Lámina	0.4492	0.2146	0.9691	0.3254

Los resultados de peso seco en todas las variables y peso seco total muestran que en texturas franco-arenosas hubo diferencia significativa entre el tratamiento con lámina de 352 mm y los tratamientos con láminas inferiores, por lo tanto, los mejores resultados corresponden a este tratamiento, siendo 352 mm/ciclo la lámina requerida para un buen desarrollo del cultivo en texturas franco arenosas.

En texturas francas y franco-arcillosas no hubo diferencia significativa entre los tratamientos con láminas de 352 mm y 320 mm, si lo hubo con los tratamientos con lámina de 288 mm, en todas las variables en estas texturas, siendo la lámina de 320 mm la adecuada para evitar aplicar agua en exceso (Cuadro 8). Esto coincide con los resultados reportados por Moreno-Limón (1993), quien afirma que el estrés por déficit de humedad reduce severamente el peso seco de frijol. Del mismo modo Kohashi Shibata et al. (2002), reportaron que el estrés hídrico inhibió en diferente grado la acumulación de materia seca en los fitómeros, sus componentes y ramas, así como el área foliar de acuerdo a la posición de la planta y las etapas de desarrollo, presentando una reducción en el área foliar y en el peso seco.

Cuadro 8

Efecto de los tratamientos sobre el peso seco de hoja, tallo y raíz de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano.

Honduras

Tipo de suelo	Lámina de riego (mm)	g/planta			
		Hoja	Tallo	Raíz	Total
Franco arenoso	352	3.25ab	1.76ab	1.33a	6.35a
Franco arenoso	320	2.83bc	1.35cd	1.14ab	5.32bc
Franco arenoso	288	2.83bc	1.40cd	1.01b	5.24bc
Franco	352	3.58a	1.95a	1.28a	6.81a
Franco	320	3.50a	1.80ab	1.14ab	6.44a
Franco	288	2.83bc	1.45cd	1.01b	5.25bc
Franco arcilloso	352	3.33ab	1.82ab	1.22a	6.38a
Franco arcilloso	320	3.25ab	1.62bc	1.13ab	6.00ab
Franco arcilloso	288	2.42c	1.32d	0.96b	4.70c
R ²		0.45	0.56	0.43	0.55
CV (%)		25.76	19.36	22.64	18.39

Nota. Letras diferentes al lado de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos. CV: coeficiente de variación. R2:

coeficiente de determinación.

Variables de Raíz

El factor determinante en las diferentes variables radicales fue la lámina, con excepción de la variable volumen de las raíces (cm³). Por otra parte, se obtuvo diferencias muy significativas ($P \leq 0.01$) en las variables de área superficial (cm²), diámetro (mm) y longitud (m) (cuadro 9).

Cuadro 9

Significancia de los factores tipo de suelo y lámina de riego sobre área superficial, diámetro, volumen y longitud de raíz de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras

Factores	Área superficial (cm ²)	Diámetro (mm)	Volumen (cm ³)	Longitud (cm)
Suelo	0.3187	0.1754	0.2977	0.5339
Lamina	0.0058	0.0007	0.0843	0.0002
Suelo×Lamina	0.6751	0.8069	0.7259	0.4779

El efecto en longitud y área superficial es expresado significativamente para los tratamientos conformados por la lámina de 352 mm en suelo franco arenoso. Observándose diferencias significativas entre el tratamiento con lámina de 352 mm y los tratamientos con láminas inferiores. En tratamientos con texturas francas, la diferencia significativa se observó en los tratamientos con lámina de 288 mm, en donde se aprecia menor longitud y área superficial de las raíces. En texturas franco-arcillosas, con respecto al área superficial la diferencia significativa se observó con la lámina de 352 mm.

En la longitud de las raíces en texturas franco-arcillosas, la diferencia significativa se observó en el tratamiento con la lámina de 288 mm, el cual obtuvo la media con menor valor, lo cual indica que una limitada disponibilidad de agua limita el crecimiento de la raíz. En cuanto al diámetro las diferencias significativas en los tres tipos de textura corresponden a los tratamientos con lámina de 288 mm, los cuales obtuvieron los valores de medias más altos, lo que sugiere que la restricción de humedad hace más gruesas las raíces. El volumen de raíz, en texturas franco-arenosas presento diferencia significativa en el tratamiento con lámina de 320 mm, reduciendo el volumen radicular del mismo modo, en texturas francas y franco arcillosas la diferencia significativa se obtuvo en los tratamientos con lámina de 288 mm (Cuadro 10).

Es sugerido por Polanía et al. (2009), que un sistema radicular superficial y abundante es más efectivo en la absorción de nutrientes en los primeros 20 cm del suelo donde los nutrientes están concentrados, además señala que el aumento del área superficial radicular mediante el desarrollo de raíces finas puede ser una estrategia para permitir mayor adquisición de agua y nutrientes. Los mismos autores encontraron menores valores en volumen de raíces en tratamientos bajo sequía, al igual que diámetros altos y longitudes cortas bajo la misma condición de estrés hídrico. De acuerdo con Cruz (2011), la conformación del sistema radicular dependerá de las condiciones, si el cultivo se encuentra bajo condiciones de escasez, la planta puede sufrir alteraciones en su distribución y conformación radicular.

Cuadro 10

Efecto de los tratamientos sobre sobre área superficial, diámetro, volumen y longitud de raíz de la planta de frijol var. Amadeus 77 para la evaluación de la lámina de riego en suelos de diferentes texturas, EAP Zamorano. Honduras

Tipo de suelo	Lámina de riego (mm)	Área superficial (cm ²)	Diámetro (mm)	Volumen (cm ³)	Longitud (m)
Franco arenoso	352	1,387ab	0.33b	11.88ab	132.31ab
Franco arenoso	320	1,214b	0.33b	10.31b	114.39bcd
Franco arenoso	288	1,240b	0.36a	11.34ab	111.22cd
Franco	352	1,499a	0.35ab	13.18a	137.49a
Franco	320	1,356ab	0.35ab	12.03ab	123.48abc
Franco	288	1,201b	0.36a	11.02ab	105.17cd
Franco arcilloso	352	1,338ab	0.35ab	11.93ab	122.29abcd
Franco arcilloso	320	1,271b	0.34b	10.89b	121.79abcd
Franco arcilloso	288	1,194b	0.37a	11.01b	104.00d
R ²		0.43	0.63	0.47	0.40
CV (%)		19.56	07.5	23.17	19.09

Nota. Letras diferentes al lado de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos. CV: coeficiente de variación. R²: coeficiente de determinación.

Variables de Suelo

Características Físicas del Medio

El suelo franco arenoso presentó mayor densidad aparente. El suelo franco mostró mayor porcentaje de espacio poroso, al igual que mayor densidad real (Cuadro 11). Tal como es planteado por Salamanca-Jiménez y Sadeghian-Khalajabadi (2005), los suelos con textura arenosa presentan una densidad aparente entre 1.1 y 1.6 g/cm³, mientras que los suelos con texturas conformadas por partículas menores la densidad aparente es menor de 1.1 g/cm³.

Cuadro 11

Características físicas del suelo del lote La Vega 2 y 3, Monteredondo, EAP Zamorano. Honduras

Tipo de suelo	Densidad aparente g/cm ³	Espacio poroso %	Densidad real g/cm ³
Franco arenoso	1.11	52.93	2.10
Franco	0.89	57.17	2.31
Franco arcilloso	0.87	50.50	2.00

Lecturas con Sensores TDR y FDR

En las lecturas de humedad tomadas con el sensor TDR, se aprecia que el suelo con menor variabilidad fue el suelo franco arcillo arcilloso con 34.5 %, seguido del suelo franco con 37.5 % y por último el suelo franco arenoso con 38.37 %. El mismo comportamiento es observado en las lecturas echas con el sensor FDR, el suelo franco arcilloso mostró menor variabilidad con 42.31 %, seguido del franco con 37.5 % y por último el suelo franco arenoso con 44.50 % (Cuadro 12). Al comparar la variabilidad entre sensores, el sensor FDR mostró una mayor variabilidad en todas las texturas. Por otro lado, las lecturas de humedad registradas con el sensor TDR, fueron mayores en todas las texturas en comparación con las lecturas tomadas con el sensor FDR. En relación con la diferencia en estimación entre ambos sensores fue mayor en suelos con textura franco-arcillosa con 0.70 % (Cuadro 12).

Cuadro 12

Diferencia en lectura de los sensores TDR y FDR en las tres texturas evaluadas utilizando lámina de

352 mm, EAP Zamorano. Honduras

Tipo de suelo	Sensor TDR		Sensor FDR		Diferencia entre sensores	
	% HS	CV (%)	% HS	CV (%)	Diferencia	P
Franco Arenoso	11.07 a	38.37	10.80 a	44.5	0.27	0.0380
Franco	10.02 b	37.51	09.53 b	43.9	0.49	<0.0001
Franco Arcilloso	10.32 b	34.50	09.51 b	42.3	0.70	<0.0001

Nota. Letras diferentes al lado de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos. % HS: Media de porcentaje de humedad de suelo (ciclo del cultivo).

Las lecturas de humedad registradas por ambos sensores FDR y TDR, muestran diferencia significativa en la textura franco-arenosa, en la cual se registraron las lecturas más altas de 11.07 % y 10.8 %. No hubo diferencia significativa entre textura franca y franco arcillosa (Cuadro 13). Este comportamiento en suelos franco arenosos coincide con los resultados obtenidos por Chabla-Carrillo (2019), en los cuales se observa que las medias con valores más altos corresponden a este tipo de suelo. Aunque las lecturas más altas fueron registradas en texturas franco arenosas, González-Ortíz (2020), sugiere que los espacios porosos debido al mayor tamaño de las partículas de arena producen perturbaciones en las mediciones con sensores de humedad de este tipo. Por otro lado, la alta variabilidad del sensor FDR puede deberse a su alta sensibilidad según las propiedades del suelo en comparación con otras tecnologías como la de reflectometría de dominio del tiempo (TDR), por lo que, se recomienda su calibración individual para cada tipo de suelo (Geesing et al. 2004).

Cuadro 13

Estimación de porcentaje de humedad de suelo de los sensores TDR y FDR en las tres texturas evaluadas utilizando lámina de 352mm, EAP Zamorano. Honduras

Tipo de suelo	Sensor TDR %HS	Sensor FDR %HS
Franco Arenoso	11.07 a	10.80 a
Franco	10.02 b	09.53 b
Franco Arcilloso	10.32 b	09.51 b
P	0.032	0.0017
R ²	0.024	0.0260
CV (%)	36.80	43.670

Nota. Letras diferentes al lado de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos. % HS: Media de porcentaje de humedad de suelo (ciclo del cultivo).

Conclusiones

El desarrollo en general del cultivo de frijol var. Amadeus-77, fue mejor en suelos con texturas francas y franco-arcillosas, bajo el régimen de riego con lámina de 320 mm por ciclo de cultivo.

En suelos con textura franco-arenosa es requerida una lámina de 352 mm por ciclo de cultivo, para un óptimo desarrollo de este, bajo las condiciones de esta investigación.

El desarrollo del cultivo es limitado bajo el régimen de riego de una lámina de 288 mm, independientemente del tipo de textura en el suelo, bajo las condiciones de esta investigación.

El sensor TDR, presentó menor variabilidad en sus lecturas.

Recomendaciones

Se recomienda replicar el estudio bajo las mismas condiciones, registrando la temperatura del macro túnel como factor determinante en el desarrollo del cultivo, ya que la temperatura en el interior del macro túnel entre los 35 a 43 DDS en las etapas de prefloración y floración fueron muy altas, por lo que se presume que hubo aborto floral ya que no hubo formación de vainas.

También se recomienda replicar el estudio en suelos que varíen más en cuanto a textura y hasta que el cultivo llegue a madurez fisiológica para poder evaluar otras variables agronómicas.

Al implementar y comparar diferentes sensores de humedad, se recomienda llevar un control con el método gravimétrico.

Referencias

- Acosta-Díaz E, Trejo-López C, Ruiz-Posadas LdM, Padilla-Ramírez JS, Acosta-Gallegos JA. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *Terra Latinoamericana*; [consultado el 2 de oct. de 2021]. 22(1):49–58. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311208006.pdf>.
- Alemán S, Dominguez A, Fuentes D, Miranda L, Pérez K, Pernía Y, Sosa B, Maryla D, Infante D. 2010. Estudio anatómico y bioquímico en materiales cubanos y venezolanos de *Phaseolus vulgaris* L. bajo condiciones de estrés hídrico. *Revista de Estudios Transdisciplinarios*; [consultado el 2 de oct. de 2021]. 2(1):89–99. <https://www.redalyc.org/pdf/1792/179221238009.pdf>.
- Andrades-Rodríguez M, Moliner-Armedia A, Masaguer-Rodríguez A. 2015. *Prácticas de edafología: Métodos didácticos para análisis de suelos*. Logroño, España: Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones. ISBN: 9788460851172.
- Arévalo G, Gauggel C. 2019. *Manual de laboratorio de ciencia de suelos y agua*. 4ª ed. Tegucigalpa: Litocom.
- Beebe S, Ramirez-Villegas J, Álvarez P, Ricaurte J, Mora A, Guerrero A, Rosas JC, Rodríguez Baide JM, Van den Berg M. 2017. *Modelación del frijol en Latinoamérica: estado del arte y base de datos para parametrización: Estado del arte y base de datos para parametrización*. Luxembourg: Publications Office. ISBN: 9789279773402. spa.
- Chabla-Carrillo JE. 2019. *Uso eficiente del agua de riego mediante sondas de capacitancia FDR, en el cultivo de banano [Trabajo de titulación, tesis pregrado.]*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala. 65 p; [consultado el 20 de oct. de 2021]. <https://cutt.ly/sRZARKs>.
- Cid-Lazo G, Herrera-Puebla J, López-Seijas T, González-Robaina F. 2018. Estimation of water available for plants in cuban soils as a function of prevailing texture. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 27(4):1–17. <https://cutt.ly/dRZAAiW>.
- Cruz S. 2011. *Inductores de desarrollo radicular en el rendimiento y calidad de frijol (Phaseolus vulgaris L.) [Tesis]*. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. 41 p; [consultado el 19 de oct. de 2021]. <https://cutt.ly/DRkX5wm>.
- Durigon A, Evers J, Metselaar K, van Jong Lier Q de. 2019. Water Stress Permanently Alters Shoot Architecture in Common Bean Plants. *Agronomy*. 9(3):160. doi:10.3390/agronomy9030160.
- Enciso JM, Porter D, Xavier P. 2007. *Uso de sensores de humedad del suelo para eficientar el riego*. Texas: Texas A&M AgriLife Extension Service; [consultado el 8 de oct. de 2021]. 14 p. <https://cutt.ly/xRZAL3u>.
- Escoto-Gudiel ND. 2004. *El cultivo de frijol: Manual técnico para uso de empresas privadas, consultores individuales y productores*. Tegucigalpa, Honduras: [sin editorial]; [consultado el 26 de oct. de 2021]. 37 p. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/REf01e74.pdf>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015. *Los suelos almacenan y filtran agua: Estas funciones contribuyen a la seguridad alimentaria y generan resiliencia ante inundaciones y sequías*. Roma, Italia: FAO; [consultado el 2 de oct. de 2021]. 2 p. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils-2015/docs/Fact_sheets/print_IYS_Water_es.pdf.

- Geesing D, Bachmaier M, Schmidhalter U. 2004. Field calibration of a capacitance soil water probe in heterogeneous fields. *Soil Res.* 42(3):289. doi:10.1071/SR03051.
- González-Ortíz CF. 2020. Evaluación de un nuevo sensor de humedad de suelo inalámbrico de bajo costo [Tesis de maestría]. Talca, Chile: Universidad de Talca. <https://cutt.ly/9RZA98j>.
- Intriago-Vidal AB, Sacón-Zambrano JL. mar. 2012. Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo para pimiento (*Capsicum annuum* L.) en el área convencional, ESPAM-MFL [Tesis]. Manabí, Ecuador: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manuel Félix López; [consultado el 19 de oct. de 2021]. <https://cutt.ly/rRk4ZU2>.
- Kohashi Shibata J, Galván Tovar M, García Esteva A, Yáñez Jiménez P, Martínez Villegas E, Ruíz Posadas L. 2002. Estrés hídrico y su efecto en el crecimiento de los fitómeros del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México*; [consultado el 19 de oct. de 2021]. 28(1):65–75. <https://www.redalyc.org/pdf/608/60828107.pdf>.
- López-Ramírez CY, Guevara-Campos LA, Alvarado-Martínez OA. 2014. Evaluación de materiales criollos y mejorados de frijol (*Phaseolus vulgaris*), irradiados con rayos gamma en la búsqueda de tolerancia a la sequía, San Andrés, Municipio de Ciudad Arce, La Libertad [Tesis]. El Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador. 128 p; [consultado el 19 de oct. de 2021]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5914/1/13001573.pdf>.
- Moreno-Limón S. ene. 1993. Estudio morfoanatómico y algunos aspectos ecofisiológicos de especies silvestres de frijol (*Phaseolus* spp) en Nuevo León [Tesis]. Monterrey, Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León; [consultado el 19 de oct. de 2021]. <https://cutt.ly/ZRkClSL>.
- Nuñez-Barrios A, Ritchie J, Smucker AJ. 1998. El efecto de sequía en el crecimiento, la fotosíntesis y la intercepción de luz en frijol común. *Agronomía Mesoamericana*; [consultado el 7 de oct. de 2021]. 9(2):1–8. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v09n02_001.pdf.
- Or D, Wraith JW. 2000. Soil water content and water potential relationships. En: Sumner ME, editor. *Handbook of soil science*. Boca Raton Fla: CRC Press. p. 53–83.
- Paulet-Iturri M. 1999. Los recursos de agua y suelo para la agricultura y el desarrollo rural. COMUNIICA; [consultado el 2 de oct. de 2021]. (11):35–50. <http://repiica.iica.int/docs/b1782e/b1782e.pdf>.
- Polanía JA, Rao IM, Beebe S, García R. 2009. Desarrollo y distribución de raíces bajo estrés por sequía en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en un sistema de tubos con suelo. *Agronomía Colombiana*; [consultado el 19 de oct. de 2021]. 27(1):25–32. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180314730004.pdf>.
- Porta-Casanellas J, López-Acevedo Reguerín M, Roquero de Laburu C. 2003. *Edafología: Para la agricultura y el medio ambiente*. 3a ed., rev. y ampliada. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 929 p. ISBN: 84-8476-148-7.
- Rosas JC, Escoto D. 2002. *Amadeus-77*. Tegucigalpa, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Universidad Zamorano, Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria/Secretaría de Agricultura y Ganadería; [consultado el 20 de oct. de 2021]. 14 p. <http://www.dicta.gob.hn/files/2002-Amadeus-77-g.pdf>.

- Rosas-Velásquez DR. 2021. Manejo diferencial de los suelos mediante agricultura de precisión y convencional para la producción de semilla de frijol y sorgo [Tesis de Grado de Maestría]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Salamanca-Jiménez A, Sadeghian-Khalajabadi S. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelo de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*; [consultado el 28 de oct. de 2021]. 56(4):381–397. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%29381-397.pdf>.
- Sandoval E. M, Dorner F. J, Seguel S. O, Cuevas B. J, Rivera S. D. 2012. *Metodos de análisis físicos del suelo*. Chile: [sin editorial]. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/59208>.
- SAS Institute. 2012. *SAS/STAT user's guide*. SAS Institute Inc., Cary
- Sumner ME, Lawrence W. 2000. Introduction. En: Sumner ME, editor. *Handbook of soil science*. Boca Raton Fla: CRC Press.
- Ventura-Elías R, Clará-Melara A, Bruno O, Parada JR. 2018. Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). El Salvador: CENITA-Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal; [consultado el 9 de oct. de 2021]. 37 p. <https://cutt.ly/TRZAjgj>.
- Villafálila E, Wyss F. 2009. *Riego en horticultura: Guía para la instalación de pequeños sistemas de riego*. Santo Pipó, Misiones: INTA; [consultado el 19 de oct. de 2021]. 50 p. <https://cutt.ly/ARk7X2q>.

Anexos

Anexo A

DBCA (Diseño de Bloques Completamente al Azar)

B 1

Borde				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
Borde				

B 2

Borde				
4				
8				
6				
2				
9				
3				
5				
7				
1				
Borde				

B 3

Borde				
5				
9				
8				
3				
6				
7				
1				
4				
2				
Borde				

Anexo B

Medias de la concentración de cada elemento por tipo de suelo para el área de experimentación en los lotes Vega 2 y 3, Monterredondo, EAP Zamorano, Honduras

Tipo de suelo	pH	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc
		(g/100g)	(mg/kg)								
Franco-arenoso	5.79	0.08	27 b	473	1,893	256 a	21	1.16 b	304	178	1.14
Franco	5.96	0.09	45 ab	653	1,809	214 b	25	1.08 b	338	197	0.96
Franco-arcilloso	5.83	0.10	54 a	605	1,876	202 b	29	1.42 a	334	178	0.96
Valor P	0.50	0.30	0.03*	0.09	0.17	0.0005**	0.09	0.01*	0.55	0.07	0.33
CV%	1.94	7.13	16.50	10.46	1.82	3.55	10.18	6.15	9.42	3.75	11.15
Niveles adecuados											
	6.00-6.50	0.20 a 0.50	13 a 30	126 a 220	1,900 a 2,100	200 a 290	< 51	1.70 a 6.50	56 a 112	28 a 112	1.70 a 3.40

Nota. Tomado de Rosas-Velásquez (2021).

Anexo C

Porcentaje de riego por etapa de cultivo de frijol, var, Amadeus-77

Etapa Fenológica	Días	Fecha	% Riego
V0 Germinación	6	07 de julio	4.078
V1 Emergencia	4	13 de julio	2.236
V2 Hojas primarias	3	17 de julio	3.508
V3 Primera hoja trifoliada	4	20 de julio	6.052
V4 Tercera hoja trifoliada	11	24 de julio	21.71
R5 Prefloración	11	04 de agosto	19.78
R6 Floración	4	15 de Agosto	7.456
R7 Formación de vainas	9	19 de Agosto	12.28
R8 Llenado de las vainas	7	26 de Agosto	20.833
R9 Madurez fisiológica	10	2 de septiembre	2.456
Total de Días	69		