



**Evaluación del efecto del subsoleo del suelo en  
la producción de frijol Amadeus 77 y  
DEORHO en Zamorano, Honduras**

**Carlos Alberto Bustos Estévez  
Carlos Adolfo Chicaiza Guishcaso**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2011

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRANÓMICA

# **Evaluación del efecto del subsoleo del suelo en la producción de frijol Amadeus 77 y DEORHO en Zamorano, Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado  
Académico de Licenciatura

Presentado por

**Carlos Alberto Bustos Estévez**  
**Carlos Adolfo Chicaiza Guishcaso**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2011

# **Evaluación del efecto del subsoleo del suelo en la producción de frijol Amadeus 77 y DEORHO en Zamorano, Honduras**

Presentado por:

Carlos Alberto Bustos Estévez  
Carlos Adolfo Chicaiza Guishcaso

Aprobado:

---

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.  
Asesora principal

---

Abel Gernat, Ph.D.  
Director  
Carrera de Ingeniería Agronómica

---

Juan Carlos Rosas, Ph.D.  
Asesor

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

---

Ana Vargas Palacios, Ing.  
Asesora

---

Roger Alex Ramos, Lic.  
Asesor

## RESUMEN

Bustos Estévez, CA. y Chicaiza Guishcaso, CA. 2011. Evaluación del efecto del subsoleo del suelo en la producción de frijol Amadeus 77 y DEORHO, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 25 p.

La compactación del suelo es uno de los principales problemas en la agricultura, una vez que el suelo se compacta, recuperarlo no es una práctica convencional y es costosa. Con la demanda actual de alimentos, el suelo corre mayor riesgo de compactación por el uso continuo de mecanización. En la región centroamericana, la producción de frijol se realiza en tierras poco profundas y de laderas en manos de pequeños productores. El Programa de Investigación en Frijol (PIF) de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano es la unidad responsable de la generación y desarrollo de nuevas variedades de frijol resistentes a condiciones adversas, plagas, enfermedades, y con mayor potencial de rendimiento. El objetivo del estudio fue evaluar el rendimiento de las variedades Amadeus 77 y DEORHO y las propiedades físicas del suelo después del subsoleo. Se utilizó un diseño experimental en bloques completamente al azar con arreglo factorial de  $2 \times 2$ . Se realizaron calicatas para obtener muestras para densidad aparente, densidad real, porosidad y resistencia a la penetración y evaluar condiciones del suelo, en los lotes subsolados y no subsolados. La cosecha se realizó y se determinó pesos secos de las estructuras de la planta y rendimientos de grano. La variedad Amadeus 77 y DEORHO respondieron positivamente al efecto del subsoleo, siendo la más productiva la variedad DEORHO (4.20 t/ha) con sólo un aumento de 9% en el rendimiento debido al subsoleo; mientras que la variedad Amadeus 77 (4.08 t/ha) aumentó su rendimiento en 42% en suelos subsolados ( $P \leq 0.05$ ). Las condiciones físicas del suelo muestran un aumento en el espacio poroso y mejor distribución en el tamaño de los agregados del suelo ( $P \leq 0.05$ ) por efecto del subsoleo.

**Palabras clave:** Compactación del suelo, densidad aparente, densidad real, espacio poroso, raíz.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de cuadros y figuras.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>22</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>23</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>24</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Eficiencia del subsoleo (%) del primer pase en dirección (Oeste-Este), en los Lotes 13 y 19. Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras .....	9
2. Eficiencia (%) del segundo pase de subsoleo dirección (Noreste-Sureste), en los Lotes 13 y 19. Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras .....	9
3. Descripción de los suelos de los lotes subsolados 13 y 19 de la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras .....	10
4. Descripción de los suelos de los lotes no subsolados 21 y 25 de la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras .....	13
5. Diámetro ponderado medio (mm) de los agregados de suelo antes y después de subsolado. Sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras .....	16
6. Efecto del subsoleo en la densidad aparente y densidad real en lotes 13 y 19 (subsolado) y lotes 21 y 25 (no subsolados) de la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.....	16
7. Efecto del subsoleo en la porosidad y resistencia a la penetración en el horizonte compactado de los lotes 13 y 19 (subsolado) y lotes 21 y 25 (no subsolados) de la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras .....	17
8. Análisis químico de los lotes subsolados (13 y 19) y no subsolados (21 y 25) de la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.....	17
9. Materia seca de raíces, tallos y vainas; y longitud de raíz y altura de planta de dos variedades de frijol bajo dos sistemas de mecanización subsolado (lotes 13 y 19) y no subsolado (lotes 21 y 25). Sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras .....	18
10. Interacción entre dos sistemas de mecanización y dos variedades de frijol para valores de materia seca de raíces, tallos y vainas; y longitudes en profundidad efectiva de raíz y altura de planta. Sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras .....	19

11.	Efecto de dos sistemas de mecanización y dos variedades de frijol en número de vainas por planta y semillas por vaina, peso de cien semillas, número de semillas por vaina, número de semillas por planta y rendimiento en la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras .....	19
12.	Interacción de dos sistemas de mecanización y dos variedades de frijol, en número de vainas por planta y semillas por vaina, peso de cien semillas, número de semillas por vaina, número de semillas por planta y rendimiento en la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras .....	20
13.	Análisis financiero marginal de implementación del subsoleo en la producción de semilla de frijol variedad Amadeus 77 en la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras .....	21
14.	Análisis financiero marginal, de implementar subsoleo en la producción semilla de frijol variedad DEORHO en la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras.....	21
Figuras .....		Página
1.	Ubicación de las parcelas de evaluación del efecto del subsoleo en dos variedades de frijol en la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras .....	3
2.	Estructuras en bloques angulares y sub-angulares, muy gruesas (>100-50 mm), gruesas (50-20 mm), medianos (20-10 mm), finas (10-5 mm) y muy finos (5-<0.125 mm) de los lotes subsolados 13-19 y no subsolados 21-25 de la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Hondura .....	15

## 1. INTRODUCCIÓN

La compactación del suelo es una de las principales preocupaciones en la agricultura intensiva, ya que la recuperación de suelos compactados es difícil y costosa. Con la demanda actual de alimentos, el suelo corre mayor riesgo de compactación por el crecimiento de la frontera agrícola y el uso excesivo de la mecanización y equipos más pesados para obtener mayor productividad (Arvidsson 2001).

Las actividades agrícolas y algunos procesos naturales conllevan a la degradación física del suelo. El exceso de preparación del suelo bajo condiciones húmedas conduce a la masificación (pérdidas de la estructura del suelo) y pérdida del número y continuidad de poros del suelo (Arévalo y Gauggel 2010). Como resultado de estos procesos de compactación, los suelos se vuelven más densos y se forma el Pie de Arado que es el resultado de un laboreo continuo con el uso de equipos pesados a una misma profundidad. Además, la ausencia de materia orgánica facilita la degradación del suelo volviéndolo menos fértil y más susceptible a la compactación (Taboada y Micucci 2002).

La compactación de los suelos se define como grandes cambios en la estructura del suelo, por la acción de implementos agrícolas utilizados en labranza. Ésta se encarga de voltear, fracturar o preparar el suelo para la siembra que junto con la acción del clima, inician un proceso donde los agregados del suelo entran en contacto y se pierde la estructura y la porosidad deseada en el suelo (Hartmann *et al.* 2008).

Una alternativa para mejorar la estructura del suelo y romper el pie de arado es el subsolado. El subsoleo es una acción de laboreo de suelo que profundiza a 45 cm o más, produciendo grietas con la finalidad de romper el horizonte compactado sin que el suelo sea volteado ya que el implemento avanza frontalmente contra el perfil, lo que deja intacta la fertilidad natural de los horizontes superficiales. Para disminuir la compactación del suelo se ha optado por alternativas de manejo como rotaciones de cultivos, cultivos de cobertura, labranzas reducidas o labranza cero (Soto 1988).

En la sección de Olericultura de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, ha mantenido una producción constante de productos hortícolas, tales como cebolla, brócoli, chile, zanahorias entre otros, en lotes de la Zona II. Por la constante preparación del suelo antes de las siembras, se ha generado compactación, lo que ocasiona un mal desarrollo radicular en las plantas (Rosolem *et al.* 1994).

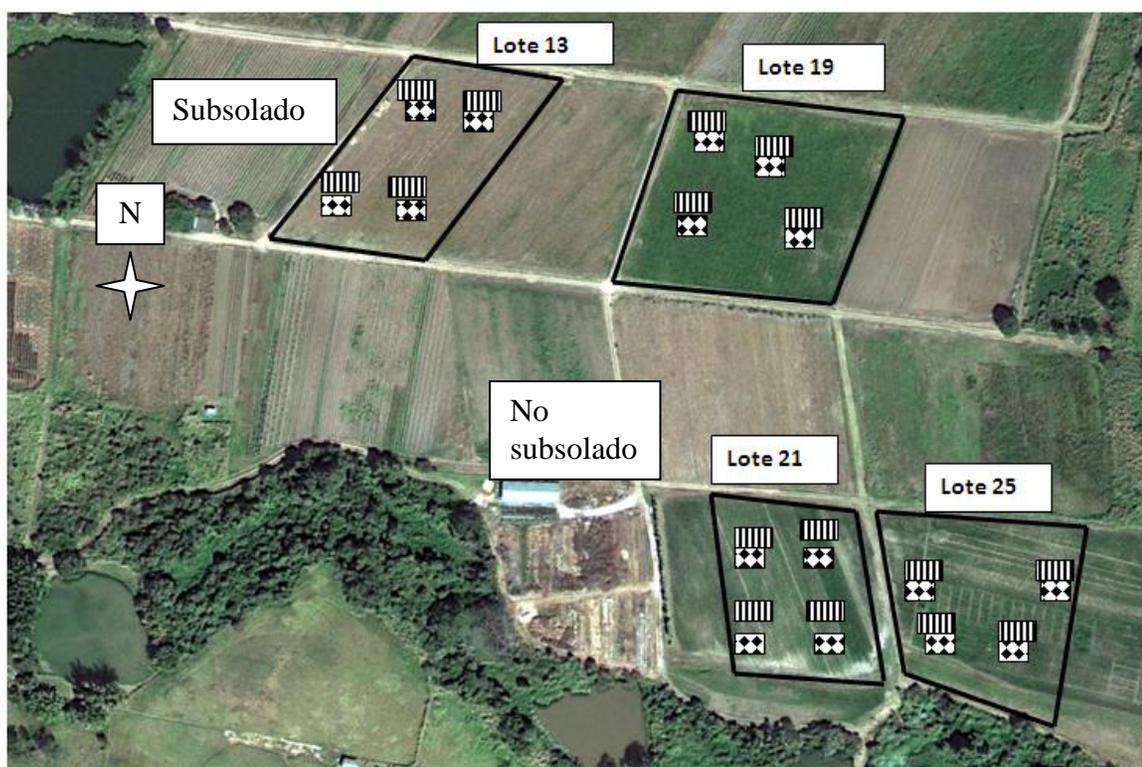
El frijol es un cultivo de suma importancia en la región centroamericana ya que forma parte de los granos básicos, pero la mayor parte de la producción de esta región se lleva a cabo en terrenos de laderas o suelos poco profundos. Esto causa que las raíces del cultivo estén sometidas a condiciones de estrés al no poder penetrar las capas más compactadas del suelo, lo cual le impide tolerar las condiciones de sequía o la baja fertilidad de los suelos.

El Programa de Investigación en Frijol (PIF) de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano ha generado nuevas variedades de frijol que tienen mayor resistencia a las plagas y enfermedades más comunes y mayor tolerancia a la sequía y baja fertilidad de los suelos (Rosas 2001). Esto se convierte en una herramienta fundamental para mejorar la producción por parte de los pequeños y medianos productores de la región.

Este estudio tuvo como objeto evaluar el efecto del subsoleo en el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo y determinar el efecto del mismo en el rendimiento en la producción de las variedades de frijol Amadeus 77 y DEORHO.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La práctica de subsoleo se llevó a cabo en los lotes 13 y 19 de la Zona II, de 0.9 y 1.3 ha, respectivamente. Las parcelas usadas como testigo (sin subsoleo) fueron los lotes 21 y 25 de la Zona II, de 0.9 y 1.4 ha, respectivamente. Las parcelas están ubicadas en la sección de Olericultura de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, localizadas en el Valle del Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, Honduras (Figura 1).



▨ Muestras de propiedades físicas del suelo,

◆ Muestras de rendimiento

Figura 1. Ubicación de las parcelas de evaluación del efecto del subsoleo en dos variedades de frijol en la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

## METODOLOGÍA DE CAMPO

**Subsoleo del suelo y su eficiencia.** Se subsolaron los lotes 13 y 19 de la Zona II; los lotes 21 y 25 no fueron subsolados. La mecanización se realizó en dos etapas.

**Subsolador profundo.** Cada lote fue subsolado a una profundidad de 1 m en dirección Oeste – Este, con 1 m de espaciamiento entre ganchos, halados por un tractor D-8 John Deere.

**Subsolador semi-profundo.** Para mejorar el efecto del subsoleo se realizó un segundo pase a 45° del primero a una profundidad de 0.9 m, con un tractor D-6 John Deere.

**Eficiencia del subsoleo.** La eficiencia del subsoleo se calculó basado en la profundidad de roturación alcanzada en el suelo y su uniformidad. Con el uso de las ecuaciones de eficiencia de penetración [1], eficiencia de fractura [2] y eficiencia neta [3] (Arévalo y Gauggel 2010).

$$E_p = P_r / P_p \quad [1]$$

Donde:  $E_p$  = Eficiencia de penetración.  
 $P_r$  = Profundidad real.  
 $P_p$  = Profundidad potencial.

$$E_f = P_f / P_r \quad [2]$$

Donde:  $E_f$  = Eficiencia de fractura.  
 $P_f$  = Profundidad de fractura.  
 $P_r$  = Profundidad real.

$$E_n = (E_p \times E_f) / 100 \quad [3]$$

Donde:  $E_n$  = Eficiencia neta de fractura.  
 $E_p$  = Eficiencia de penetración.  
 $E_f$  = Eficiencia de fractura.

**Propiedades físicas del suelo.** Se tomaron tres muestras para determinar densidad aparente (DAP) con un cilindro de 5 × 5 cm (altura – diámetro) por cada horizonte descrito en las calicatas, con una muestra de suelo para análisis de gradación de agregados y una muestra disturbada del horizonte superficial para análisis químico. Estos muestreos se realizaron antes y después del pase del subsolador en todas las subparcelas.

## METODOLOGÍA DE LABORATORIO

Todas las muestras de suelo obtenidas de las calicatas se procesaron en el laboratorio, para realizar las diferentes pruebas y análisis.

**Textura.** La textura se determinó en todos los horizontes de las calicatas, por el método de bouyoucos o método del hidrómetro (Arévalo y Gauggel 2009), para obtener los porcentajes de las partículas del suelo y determinar la textura con el uso del triángulo textural (Soil Survey Staff 2010).

**Gradación de agregados.** Los agregados, están en contacto dentro del perfil del suelo, cada agregado tiene un tamaño diferente y resiste diferente intensidad de fuerza para que se pueda fracturar, el espacio que queda entre estos agregados son los espacios porosos que favorecen el intercambio gaseoso, el drenaje y el crecimiento de la raíces (Hartmann *et al.* 2008). Para su análisis se usó el método del tamizado. De cada calicata realizada en las subparcelas, se obtuvo una muestra de un kilogramo por cada horizonte descrito; se midió los agregados en diferentes rangos de tamaño. La muestra de suelo se seco en el horno a 105°C durante 24 horas, posteriormente se midió con regla el diámetro de los agregados >100 mm, 100 a 50 mm, 50 a 20 mm y 20 a 10 mm. Para los tamaños más pequeños se usó una serie organizada de tamices, (tamiz número 10) de 2 a 1 mm, (tamiz número 18) 1 a 0.5 mm, (tamiz número 40) 0.5 a 0.25 mm, (tamiz número 60) 0.25 a 0.1 mm, (tamiz número 100) 0.1 a 0.005 mm y (tamiz número 200) <0.005 mm. El primer tamiz, fue el más grueso (número 10) y es donde inició el tamizado, el último tamiz (número 200) descansó sobre un recipiente de forma similar a los tamices que recibió el material más fino no retenido por el tamiz. Con movimientos mecánicos y manuales, se pasó el suelo por la serie de tamices, para pesarlo por separado el suelo retenido en cada malla (Duque y Escobar 2002).

**Diámetro ponderado medio.** El diámetro medio ponderado muestra la distribución de tamaños de agregados esta método se utilizó para determinar el tamaño medio de los agregados distribuidos en cada horizonte del suelo y como pueden ser modificados por el efecto del subsoleo.

**Densidad aparente.** Las muestras se secaron en horno a 105°C durante 24 horas, cada muestra obtenida de un cilindro de 5 × 5 fueron pesadas en bolsas de papel de 4.2 g en la balanza electrónica de precisión. Según el método de prueba de densidad aparente [4] (Soil Survey Staff 1999).

$$D_{ap} = \frac{M_{sc}}{V_{as}} \quad [4]$$

Donde:  $D_{ap}$  = densidad aparente.  
 $M_{sc}$  = masa del suelo seco.  
 $V_{as}$  = volumen aparente del suelo.

**Densidad real.** Para la densidad real, se pesó el contenido de 20 ml de suelo en una probeta. Luego se realizó el cálculo. Según el método de prueba de densidad aparente [5] (Soil Survey Staff 1999).

$$D_r = \frac{M_{ss}}{V_r} \quad [5]$$

Donde:  $D_r$  = densidad real.  
 $M_{ss}$  = masa del suelo seco.  
 $V_r$  = volumen real del suelo.

**Humedad del Suelo.** Para determinar la humedad del suelo, se llevó al horno a 105°C por 24 h para extraer toda la humedad de las muestras de suelo. Después, se sacaron las muestras del horno para tener el peso de las muestras sin humedad. Se hicieron los siguientes cálculos para obtener los resultados [6].

$$\text{Humedad del suelo (\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad [6]$$

Donde:  
 $M_1$  = Masa de la muestra recién extraída.  
 $M_2$  = Masa de la muestra seca en el horno a 105°C después de 24 horas.

**Espacio poroso.** Para medir espacio poroso se colocó 20 cm<sup>3</sup> de suelo más 30 cm<sup>3</sup> de agua en una probeta de 80 cm<sup>3</sup>. Se dejó reposar por 24 horas para que todos los espacios porosos se saturen de agua. Finalmente se tomó nuevamente los datos [7].

$$P = \frac{Dr - Dap}{Dr} \times 100 \quad [7]$$

Donde:

P = porosidad en porcentaje del volumen total de la muestra.

Dr = densidad real del suelo.

Dap = densidad aparente del suelo.

**Análisis químico de suelos.** Se realizó un análisis químico de micro y macro nutrientes del primer horizonte de los lotes 13, 19, 21 y 25 después del subsoleo. Para análisis de K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, se usó la solución extractora Mehlich 3, determinados por espectrofotometría de absorción atómica, en el caso de P, se extrajo por medio de solución extractora Mehlich 3 determinados por colorimetría, B y S se extrajo con por la solución extractora fosfato de calcio, determinados por colorimetría; la materia orgánica se determinó por el método de Walkley & Black y el porcentaje de N se obtuvo según una relación de 5% con el contenido de materia orgánica. Para determinar el pH del suelo se uso la relación de suelo agua 1:1, según los procedimientos del laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (Arévalo y Gauggel 2010).

## CULTIVO

**Siembra.** Se sembraron dos variedades de frijol, Amadeus 77 y DEORHO. Ambas fueron sembradas en lotes subsolados y no subsolados. Se utilizó la misma densidad de siembra, 60 cm entre surcos y 10 cm entre plantas, con dos semillas en cada postura en el mes de octubre del 2010.

**Variáveis agronómicas.** Se midió la altura y peso seco de la planta. La altura se midió al momento de la floración, y el peso seco se determinó al final de la cosecha, de consideró el peso de la raíz, tallo, vaina y la longitud de la raíz.

**Componentes de rendimiento.** Se determinó el número de vainas/planta, número de semillas/planta, el peso de 100 semillas, peso de semillas/vaina, peso de semillas/planta y el rendimiento en kg/ha al final de la cosecha.

**Análisis financiero.** Para evaluar la implementación de la práctica del subsoleo, se utilizaron indicadores financieros VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de retorno), utilizando los costos marginales de la producción del cultivo de frijol, para determinar la rentabilidad de la mecanización en relación al cultivo. El valor del subsoleo se estableció en \$650/ha, para la ganancia marginal del cultivo se tomó en cuenta que el cultivo de frijol sembrado es para la producción de semilla, la cual tiene un valor de venta de \$150 los 45 kilogramos.

**Diseño experimental.** Se utilizó un diseño experimental de Bloque Completos al Azar (BCA) con arreglo factorial  $2 \times 2$  con cuatro repeticiones por tratamiento, para evaluar la interacción que tuvo el subsoleo y no subsoleo en las variedades Amadeus 77 y DEORHO.

**Propiedades físicas del suelo.** En cada lote, se marcó cuatro subparcelas de  $2.5 \times 2.5$  m cada una ubicada aleatoriamente, para medir las condiciones físicas del suelo, con calicatas de  $1.5 \times 1.5$  en el centro de cada subparcelas.

**Subparcelas de rendimiento.** Para el análisis de rendimiento, se dividió cada lote en cuatro subparcelas de  $2.5 \times 2.5$  m, cada una ubicada junto a la subparcela usada en las propiedades físicas del suelo. Cada subparcela comprendía cuatro hileras de siembra, 12 plantas sembradas con dos semillas por postura. Para evitar algún tipo de sesgo, se tomaron datos solo en las hileras del centro.

**Análisis estadístico.** Se utilizó una separación de medias Student-Newman-Keuls (SNK). Aplicando un el modelo lineal general (GLM) analizado con el programa estadístico SAS<sup>®</sup> (Statistical Analysis System) versión 9.1, con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ .

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### VARIABLES DEL SUELO

**Eficiencia del subsoleo.** La eficiencia para el primer pase de subsolador fue de 71%, debido a que la profundidad potencial del suelo fue de 85 cm, que se atribuye a la pedregosidad presente a esta profundidad (Cuadro 1). Este valor es aceptable comparado con el valor de 70% considerado como adecuado (Arévalo y Gauggel 2010).

Cuadro 1. Eficiencia del subsoleo (%) del primer pase en dirección (Oeste-Este), en los Lotes 13 y 19. Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

Calicata	Profundidad (cm)			Eficiencia (%)			
	Potencial	Real	Fractura	Penetración	Fractura	Neta	Promedio
1	85	70	68	82	97	80	
2	85	60	58	71	97	68	71
3	85	77	66	91	86	78	
4	85	70	60	82	86	71	

En el segundo pase la eficiencia fue de 56%, ya que la profundidad de fractura (alcanzada entre implementos), no superó los 54 cm. Esto puede ser a causa de la presencia de terrones grandes después del pase del primer subsolador (Cuadro 2).

Cuadro 2. Eficiencia (%) del segundo pase de subsoleo dirección (Noreste-Sureste), en los Lotes 13 y 19. Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

Calicata	Profundidad (cm)			Eficiencia (%)			
	Potencial	Real	Fractura	Penetración	Fractura	Neta	Promedio
1	85	64	54	75	84	64	
2	85	54	45	64	83	53	56
3	85	56	43	66	77	51	
4	85	55	47	65	85	55	

**Morfología del suelo.** El primer horizonte mostró una profundidad potencial cubre un rango de 12-16 cm, siendo este un horizonte deficiente para el crecimiento radicular debido a su poca profundidad apropiado. La textura franca y presentar estructura de tipo granular clase media. El segundo horizonte es el más profundo con rangos promedio de 34 y 48 cm, este horizonte presenta estructura masificada, no existe presencia de raíces, a pesar de su estructura franca. La resistencia a la penetración es  $>4.5 \text{ kg/cm}^2$ . El tercer horizonte presenta una gran cantidad de grava y piedras de tamaño medio. En todos los lotes se pudo observar motas de color rojo amarillento que evidencian de drenaje pobre, y mal aireado; suelos pesados, con excepción del lote 13 donde se presenta una textura FArL (Cuadro 3).

Cuadro 3. Descripción de los suelos de los lotes subsolados 13 y 19 de la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.

Lote	Calicata	Ho	Prof (cm)	Color	Textura	Pedreg		Estructura			Consistencia		RP (Kg/cm2)	Porosidad				Raíces		Límite	
						tam	%	tipo	grado	clase	hum	moj		forma	tamaño	frec	con	tam	cant	top	nitidez
13	1	Ap	0-40	10YR2/1	FArA			bsa	d	f,m	f	lpg	3	t	m,f	f	C	tg	m	o	a
		Bw	40-78	10YR3/4	ArA	m	10	bsa	m	f,m	f	pg	4.3	t	f	f	Nc	mf	p	p	a
		C	78-109X	10YR4/4	ArA	m	45	bsa	m	m,g	f	npg	4.5	v	f	p	Nc				
13	2	Ap	0-30	7.5YR2.5/2	FArA			la	f	m,g	mf	lpg	1.5	t	m,g	p	C	tg	m	p	d
		A/B	30-49	7.5YR2.5/3	FA			ba	f	m,g	f	lpg	3	t	m	f	C	f	p	p	a
		Bw	49-59X	10YR 4/3	ArA			bsa	n	m,g	mfi	lpg	4.5	t	f	f	Nc	mf	p		
13	3	Ap	0-40	10YR3/2	Far			bsa	d	m,g	f	pg	3.3	t	t	f	C	mf	f	o	a
		Bw	40-58	5YR3/4	ArA			ba	f	g	f	pg	4	t	m,f	f	C			o	a
		C	58-83X	7.5YR3/3	FArL	m,g	55	g	f	m,g	mf	pg	4.5	v	m,f	p	Nc				

Símbolos: Ho: Horizonte. Prof: profundidad. Textura: A: arenoso, FA: franco arenoso, F: franco, FArA: franco arcillo arenoso, FL: franco limoso, FArL: franco arcillo limoso, ArA: arcillo arenoso, Far: franco arcilloso, Ar: arcilloso. Pedreg: pedregosidad, tam: tamaño, tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina. Estructura: tipo: bs: bloque subangulares, g: granular, m: migajosa, l: laminar; clase: tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina; grado: f: fuerte, m: moderado, d: débil. Consistencia: hum: húmedo; s: suelto, mfr: muy friable, fr: friable, f: firme, mf: muy firme; moj: mojado; np: no pegajoso, lp: ligeramente pegajoso, p: pegajoso, mp: muy pegajoso. RP: resistencia a la penetración. Porosidad: forma: t: tubular, v: vesicular, p: planar, c: caóticos; continuidad: con: c: conectados, nc: no conectados tamaño: tt: todos los tamaños, mp: muy grueso, g: grueso, m: mediano, f: finos, mf: muy finos; frec: frecuencia, p: pocos, f: frecuentes, m: muchos. Límite: topo: topografía, o: ondulado, p: plano, i: irregular; nitidez: niti: a: abrupto, c:claro, g: gradual, d: difuso.

Cuadro 3. Continúa.

Lote	Calicata	Ho	Prof	Color	Pedreg			Estructura			Consistencia		RP	Porosidad				Raíces		Límite	
					Textura	tam	%	tipo	grado	clas	hum	moj	(Kg/cm2)	tamaño	forma	con	frec	tam	cant	top	Niti
		Ap	0-28	10YR3/3	Far			bsa	m	m,g	f	lpg	3	f	t	c	F	tg	m	o	A
														v	nc	F					
13	4	Bw	28-54	10YR3/3	AF			bsa	d	m	mfi	lpg	4	f	t	c	P	f	p	p	A
														v	nc	F					
		C	59-99X	10YR3/4	ArA	p	15	la	m	m,g	f	p	4.5	f	t	nc	P	mf	p		
														v	nc	P					
19	5	Ap	0-33	10YR2/2	F			bsa	d	m,f	f	Lpg	4	t	t	c	F	tg	p	o	A
														v	nc	P					
		Ad	33-47	10YR4/4	A			g	d	m,f	mfi	lpg	4	f	v	nc	F			o	g
		Bw	47-76X	7.5YR3/1	ArL	m	45	ba	f	g,mg	fi	pg	4.5	m,f	v	nc	P				
		Ap	0-34	7.5YR2.5/3	FA			bsa,g	d	m,f	f	Lpg	4	t	t	c	M	tg	f	o	g
														v	nc	F					
19	6	Ad	34-53	10YR4/3	FArA			bsa	d	m	f	pg	2.5	f	t	c	F	f	f	o	g
														v	nc	P					
		C	53-73x	10YR4/4	FA	m	40	g	d	f	m,f	lpg	4	m,f	t	c	M	mf	p		

Símbolos: Ho: Horizonte. Prof: profundidad. Textura: A: arenoso, FA: franco arenoso, F: franco, FArA: franco arcillo arenoso, FL: franco limoso, FarL: franco arcillo limoso, ArA: arcillo arenoso, Far: franco arcilloso, Ar: arcilloso. Pedreg: pedregosidad, tam: tamaño, tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina. Estructura: tipo: bs: bloque subangulares, g: granular, m: migajosa, l: laminar; clase: tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina; grado: f: fuerte, m: moderado, d: débil. Consistencia: hum: húmedo; s: suelto, mfr: muy friable, fr: friable, f: firme, mf: muy firme; moj: mojado; np: no pegajoso, lp: ligeramente pegajoso, p: pegajoso, mp: muy pegajoso. RP: resistencia a la penetración. Porosidad: forma: t: tubular, v: vesicular, p: planar, c: caóticos; continuidad: con: c: conectados, nc: no conectados tamaño: tt: todos los tamaños, mp: muy grueso, g: grueso, m: mediano, f: finos, mf: muy finos; frec: frecuencia, p: pocos, f: frecuentes, m: muchos. Raíces: tam: tamaño, tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina cantidad: cant. p: pocos, f: frecuentes, m: muchos Límite: topo: topografía, o: ondulado, p: plano, i: irregular; nitidez: niti a: abrupto, c: claro, g: gradual, d: difuso.

Cuadro 3. Continúa.

Lote	Calicata	Ho	Prof	Color	Textura	Pedreg		Estructura			Consistencia		RP	Porosidad				Raíces		Límite	
						tam	%	tipo	grado	clase	hum	moj	(Kg/cm2)	tamaño	forma	con	frec	tam	cant	top	nití
		Ap	0-22	10YR3/2	F			bsa	d	m,f	f	pg	3.8	m,f	t	c	f	tg	f	o	a
															v	nc	f				
19	7	Ad	22-50	10YR3/1	F	p	15	bsa	m	m	f	lpg	4	f	t	c	f	mf	p	p	a
		Bt	50-90x	10YR4/3	Far	m	20	bsa	f	m,g	f	lpg	4.5	f	t	nc	f		p		
															v	nc	p				
		Ad	0-19	10YR3/3	ArA	p	10	bsa,g	d	m	f	Lpg	3	t	t	c	m	Tg	m	p	g
															v	nc	f				
19	8	Bt	19-35	10YR3/3	ArA	m	18	bsa	d	m	f	lpg	3.3	f	t	c	f	mf	p	p	a
															v	nc	p				
		C	35-74X	7.5YR3/4	ArA	m	55	g	d	f	s	lpg	4	f	t	nc	p				

Símbolos: Ho: Horizonte. Prof: profundidad. Textura: A: arenoso, FA: franco arenoso, F: franco, FArA: franco arcillo arenoso, FL: franco limoso, FarL: franco arcillo limoso, ArA: arcillo arenoso, Far: franco arcilloso, Ar: arcilloso. Pedreg: pedregosidad, tam: tamaño, tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina. Estructura: tipo: bs: bloque subangulares, g: granular, m: migajosa, l: laminar; clase: tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina; grado: f: fuerte, m: moderado, d: débil. Consistencia: hum: húmedo; s: suelto, mfr: muy friable, fr: friable, f: firme, mf: muy firme; moj: mojado; np: no pegajoso, lp: ligeramente pegajoso, p: pegajoso, mp: muy pegajoso. RP: resistencia a la penetración. Porosidad: forma: t: tubular, v: vesicular, p: planar, c: caóticos; continuidad: con: c: conectados, nc: no conectados tamaño: tt: todos los tamaños, mp: muy grueso, g: grueso, m: mediano, f: finos, mf: muy finos; frec: frecuencia, p: pocos, f: frecuentes, m: muchos. Raíces: tam: tamaño, tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g:gruesa, m:mediana, f: fina, mf: muy fina cantidad: cant. p: pocos, f: frecuentes, m: muchos Límite: topo: topografía, o: ondulado, p: plano, i: irregular; nitidez: nití a: abrupto, c:claro, g: gradual, d: difuso.

Cuadro 4. Descripción de los suelos de los lotes no subsolados 21 y 25 de la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

Lote	Calicata	Ho	Prof	Color	Textura	Pedreg		Estructura			Consistencia		RP	Porosidad				Raíces		Límite	
						tam	%	tipo	grado	clase	hum	moj	(Kg/cm2)	tamaño	forma	con	frec	tam	cant	top	niti
21	9	Ap	0-17	10YR3/4	Far			bsa	d	m,g	f	lpg	3.3	f	t	c	f	f,mf	f	p	a
		Ad	17-27	10YR4/2	ArA			bsa	m	f,mf	f	lpg	4.5	f	t	nc	p			p	a
		Ad2	27-72X	10YR4/3	Ar			p	f	m,g	mfi	pg	4.5	mfi	t	nc	p				
21	10	Ap	0-25	10YR3/3	ArA			bsa	m	m,f	fi	lpg	3.5	f	t	nc	f	mf	f	p	a
		Ad	25-42	10YR4/3	ArA	m	45	bsa	f	g	fi	lpg	4.5	mf	t	nc	p			p	a
		C	42-78X	10YR3/4	Far	g	55	ba	f	m,g	mfi	pg	4.5	mf	t	nc	p				
21	11	Ap	0-33	10YR3/3	F			bsa	d	m,g	f	Lpg	3.3	t	t	c	f	f	f	p	g
		Bw	33-55	10YR4/4	FA			bsa	d	m,g	mf	np	3.3	f	t	c	f			p	a
		C	55-67X	7.5YR3/3	ArA			bsa	m	m,g	fi	lpg	3.5	f	t	nc	f				
21	12	Ap	0-30	10YR2/1	Far			bsa, g	d	m,g	fi	Lpg	3.7	f	t	nc	f	mf	f	p	a
		Ad	30-66	10YR3/4	ArA			bsa	d	m,g	F	np	4.5	f	t	nc	f			p	a
		C	66-79X	10YR4/3	Far	p	55	bsa	f	m,g	fi	lpg	4.5	f	v	nc	p				

Símbolos: Ho: Horizonte. Prof: profundidad. Textura: A: arenoso, FA: franco arenoso, F: franco, FAra: franco arcillo arenoso, FL: franco limoso, FarL: franco arcillo limoso, ArA: arcillo arenoso, Far: franco arcilloso, Ar: arcilloso. Pedreg: pedregosidad, tam: tamaño, tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina. Estructura: tipo: bs: bloque subangulares, g: granular, m: migajosa, l: laminar; clase: tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina; grado: f: fuerte, m: moderado, d: débil. Consistencia: hum: húmedo; s: suelto, mfr: muy friable, fr: friable, f: firme, mf: muy firme; moj: mojado; np: no pegajoso, lp: ligeramente pegajoso, p: pegajoso, mp: muy pegajoso. RP: resistencia a la penetración. Porosidad: forma: t: tubular, v: vesicular, p: planar, c: caóticos; continuidad: con: c: conectados, nc: no conectados tamaño: tt: todos los tamaños, mp: muy grueso, g: grueso, m: mediano, f: finos, mf: muy finos; frec: frecuencia, p: pocos, f: frecuentes, m: muchos. Raíces: tam: tamaño, tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g:gruesa, m:mediana, f: fina, mf: muy fina cantidad: cant. p: pocos, f: frecuentes, m: muchos Límite: topo: topografía, o: ondulado, p: plano, i: irregular; nitidez: niti a: abrupto, c:claro, g: gradual, d: difuso.

Cuadro 4. Continúa.

Lote	Calicata	Ho	Prof	Color	Textura	Pedreg		Estructura			Consistencia		RP	Porosidad				Raíces		Límite	
						tam	%	tipo	grado	clase	hum	moj	(Kg/cm2)	tamaño	forma	con	frec	tam	cant	top	nit
		Ap	0-25	10YR2/2	FAR			bsa	m	m	f	p	4.5	f	t	nc	p	mf	p	p	a
															v	nc	f				
25	13	Bw	22-55	10YR3/3	ArA	p	15	ba	m	m	f	lpg	4.5	g	t	nc	f			p	a
															v	nc	f				
		C	55-84X	10YR3/3	ArL	g	60	la	f	m	fi	lpg	4.5	mf	t	nc	p				
															v	nc	p				
		Ap	0-45	10YR2/1	Ar			bsa	m	f	fi	lpg	4	f	v	nc	f	mf	p	o	a
25	14	Ad	45-60x	10YR4/2	ArA			la	m	f	fi	np	4.5	m	v	nc	m	mf	p	p	a
		C	60-75X	10YR4/4	ArA	m	65	bsa	m	m,g	f	np	4.5	f	v	nc	p				
		Ap	0-44	10YR2/1	FAR			bsa	m	m	f	lpg	2.3	m	v	nc	f	mf	p	p	a
25	15	Bw	40-64	10YR4/3	ArA			bsa	d	mf	f	np	3.5	f	v	nc	m			p	a
		C	64-90x	10YR5/3	FA	g	55	g	d	mf	mf	np	4.5	f	t	nc	p				
															v	nc	p				
		Ap	0-23	10YR3/4	Far			bsa	d	m,g	f	lpg	3.5	f	t	c	f	f,mf	f	p	a
															v	nc	f				
25	16	Ad	23-35	10YR4/2	ArA			bsa	m	f,mf	f	lpg	4.5	f	t	nc	p			p	a
															v	nc	f				
		Ad2	35-62X	10YR4/3	Ar			p	f	m,g	mfi	pg	4.5	mfi	t	nc	p			p	a
															v	nc	p				

Símbolos: Ho: Horizonte. Prof: profundidad. Textura: A: arenoso, FA: franco arenoso, F: franco, FArA: franco arcillo arenoso, FL: franco limoso, FarL: franco arcillo limoso, ArA: arcillo arenoso, Far: franco arcilloso, Ar: arcilloso. Pedreg: pedregosidad, tam: tamaño, tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina. Estructura: tipo: bs: bloque subangulares, g: granular, m: migajosa, l: laminar, clase: tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina. Consistencia: hum: húmedo; s: suelto, mfr: muy friable, fr: friable, f: firme, mf: muy firme; moj: mojado; np: no pegajoso, lp: ligeramente pegajoso, p: pegajoso, mp: muy pegajoso. RP: resistencia a la penetración. Porosidad: forma: t: tubular, v: vesicular, p: planar, c: caóticos; continuidad: con: c: conectados, nc: no conectados tamaño: tt: todos los tamaños, mp: muy grueso, g: grueso, m: mediano, f: finos, mf: muy finos; frec: frecuencia, p: pocos, f: frecuentes, m: muchos. Raíces: tam: tamaño, tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g:gruesa, m:mediana, f: fina, mf: muy fina cantidad: cant. p: pocos, f: frecuentes, m: muchos Límite: topo: topografía, o: ondulado, p: plano, i: irregular; nitidez: niti a: abrupto, c:claro, g: gradual, d: difuso.

**Gradación de agregados.** El efecto de cualquier mecanización agrícola busca romper los agregados más grandes para convertirlos en estructuras más pequeñas, que beneficien el desarrollo radicular y el intercambio de agua y aire para un buen desarrollo del cultivo (Duque y Escobar 2002). Los agregados del primer horizonte de los lotes 13 y 19 sufrieron cambios después de la mecanización ya que disminuyó el porcentaje de agregados > a 100 mm para dar lugar a agregados más pequeños. En el segundo horizonte se tiene el mayor cambio, el porcentaje de agregados entre 100 mm y 20 mm aumentó considerablemente mientras que agregados > a 100 mm disminuyó, en el tercer horizonte no se ve cambios en porcentaje de tamaño de agregados no hubo variación por efecto del subsoleo (Figura 2).

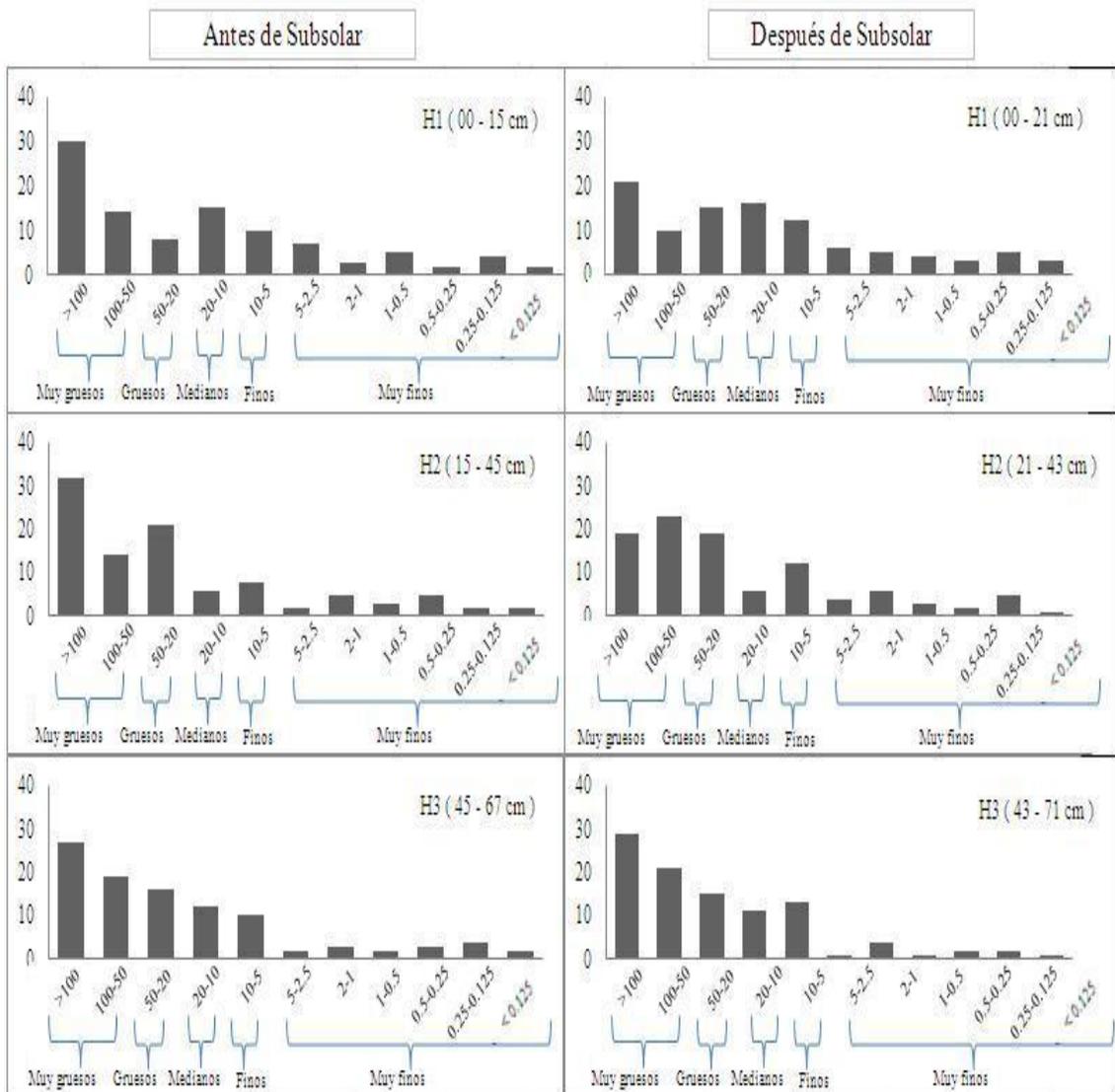


Figura 2. Estructuras en bloques angulares y sub-angulares, muy gruesas (>100-50 mm), gruesas (50-20 mm), medianos (20-10 mm), finos (10-5 mm) y muy finos (5-<0.125 mm) de los lotes subsolados 13-19 y no subsolados 21-25 de la sección de Olericultura Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

**Diámetro ponderado medio.** Se encontraron diferencias significativas en el diámetro ponderado medio de los agregados, para los tratamientos subsolado y no subsolado (Cuadro 5). El tamaño de estos agregados no se mantuvo igual ya que, por efecto del subsolado los agregados se rompieron dando lugar a agregados más pequeños.

Cuadro 5. Diámetro ponderado medio (mm) de los agregados de suelo antes y después de subsolado. Sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

Tratamientos	Lotes	Horizonte		
		1	2	3
No subsolado	21-25	23.2 <sup>b</sup>	26.1 <sup>b</sup>	22.6 <sup>b</sup>
Subsolado	13-19	16.4 <sup>a</sup>	18.5 <sup>a</sup>	17.0 <sup>a</sup>

La diferencia entre valores de la misma columna seguidos de diferentes letras es significativo ( $P \leq 0.05$ )

**Propiedades Físicas del suelo.** Los suelos subsolados muestran diferencia significativa en la densidad aparente, en todos los horizontes se presentaron valores menores que en los suelos no subsolados. La densidad real no presentó diferencia significativa, en ninguno de los sistemas de mecanización y ningún horizonte, esto se podría atribuir a que el suelo es un conjunto de minerales similares y por eso no exista diferencia (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto del subsolado en la densidad aparente y densidad real en lotes 13 y 19 (subsolado) y lotes 21 y 25 (no subsolados) de la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

Fuentes de Variación	Densidad aparente ( $t/m^3$ )			Densidad real ( $t/m^3$ )		
	Horizonte			Horizonte		
	1	2	3	1	2	3
Subsolado	1.39 <sup>b</sup>	1.40 <sup>b</sup>	1.38 <sup>b</sup>	2.21 <sup>a</sup>	2.28 <sup>a</sup>	2.21 <sup>a</sup>
No Subsuelo	1.50 <sup>a</sup>	1.54 <sup>a</sup>	1.55 <sup>a</sup>	2.25 <sup>a</sup>	2.28 <sup>a</sup>	2.23 <sup>a</sup>

La diferencia entre valores de la misma columna seguidos de diferentes letras es significativo ( $P \leq 0.05$ )

La porosidad en los suelos subsolados muestran una diferencia significativa en relación con los suelos no subsolados esto demuestra que la porosidad aumenta debido a que el suelo se fracturó y permitió que los agregados más grandes se fracturen dejando más espacio poroso, la porosidad esta en relación directa con la densidad aparente (Wheeler *et al.* 2002). La resistencia a la penetración no presentó una diferencia significativo, entre los suelos subsolados y no subsolados, debido a la presencia de suelos pesados con alto contenido de arcilla (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del subsoleo en la porosidad y resistencia a la penetración en el horizonte compactado de los lotes 13 y 19 (subsolado) y lotes 21 y 25 (no subsolados) de la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

Fuentes de Variación	Poros (%)			Resistencia a la penetración		
	Horizonte			Horizonte		
	1	2	3	1	2	3
Subsoleo	41.93 <sup>a</sup>	42.73 <sup>a</sup>	41.50 <sup>a</sup>	4.19 <sup>a</sup>	4.33 <sup>a</sup>	4.33 <sup>a</sup>
No Subsoleo	33.18 <sup>b</sup>	32.25 <sup>b</sup>	30.68 <sup>b</sup>	4.20 <sup>a</sup>	4.29 <sup>a</sup>	4.29 <sup>a</sup>

La diferencia entre valores de la misma columna seguidos de diferentes letras es significativo ( $P \leq 0.05$ )

**Condición química del suelo.** Todos los lotes presentaron bajo contenido de M.O, N, Mg y B. Con alto contenido de K, Fe y Mn; los lotes subsolados (13 y 19) presentaron pH de neutro a ligeramente ácido y también alto contenido de P; los lotes no subsolados (21 y 25) presentan pH moderadamente ácido, el contenido de P presenta un rango de moderado a alto, Zn de medio a alto. (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis químico de los lotes subsolados (13 y 19) y no subsolados (21 y 25) de la sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

# Lab.	Muestra	Textura	%			pH (H <sub>2</sub> O)	%		mg/Kg (extractable)											
			Arena	Limo	Arcilla		M.O.	N <sub>total</sub>	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	
11-S-1904	Antes de subsoleo zona 2-L13 H1 C1	Franco Arenoso	54	28	18	6.44	1.64	0.08	alto	alto	Alto	bajo	Normal	Bajo	Normal	Alto	Alto	Normal	Bajo	
11-S-1905	Después de subsoleo zona 2-L13 H1ro	Franco	52	30	18	6.19	2.36	0.12	alto	alto	Alto	bajo	Normal	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	
11-S-1906	Antes de subsoleo zona 2-L-19 H1ro	Franco Arenoso	54	28	18	6.85	1.83	0.09	alto	alto	Normal	bajo	Normal	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Normal	
11-S-1907	Después de subsoleo zona 2-L-19 H1ro	Franco Arenoso	56	28	16	6.73	2.03	0.10	211.21	450	1830	160	98	13.75	4.3	241	192	5.2	0.4	
11-S-1908	Antes de subsoleo zona 2-L-21 H1ro	Franco	50	32	18	6.00	1.78	0.09	alto	alto	Normal	bajo	Normal	Normal	Bajo	Alto	Alto	Normal	Normal	
11-S-1909	Después de subsoleo zona 2-L-21	Franco	46	36	18	5.98	1.90	0.09	alto	alto	Normal	bajo	Normal	Normal	Alto	Alto	Alto	Normal	Normal	
11-S-1910	Antes de la cosecha de subsoleo zona 2-L-25	Franco	44	30	26	5.83	1.90	0.09	Normal	alto	Normal	bajo	Normal	Bajo	Alto	Alto	Alto	Bajo	Normal	
11-S-1911	Después de la cosecha de subsoleo zona 2-L-25	Franco	50	30	20	5.66	2.10	0.10	Normal	alto	Normal	bajo	Normal	Bajo	Normal	Alto	Alto	Normal	Normal	
Rango medio							2.00	0.20	13	Por. Saturación de bases					20	1.7	56	28	1.7	0.5
							4.00	0.50	30						80	3.4	112	112	3.4	8.0

## VARIABLES DEL CULTIVO

**Producción de materia seca.** Los valores de producción de materia seca en el sistema subsolado fueron mayores que en no subsolado. Las variables agronómicas altura, peso de la raíz, tallo, vaina y la longitud de la raíz presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), ya que la mayor cantidad de poros en el suelo, ayudan a las raíces a extenderse a lo largo y ancho del perfil, pudiendo captar más nutrientes para su desarrollo. La variedad Amadeus 77 mostró una tendencia con valores superiores significativos que la variedad DEORHO, por sus características genotípicas que expresan el potencial de crecimiento vegetativo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Materia seca de raíces, tallos y vainas; y longitud de raíz y altura de planta de dos variedades de frijol bajo dos sistemas de mecanización subsolado (lotes 13 y 19) y no subsolado (lotes 21 y 25). Sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

Fuentes de variación	Peso g/planta			Longitud raíz (cm)	Altura plantas (cm)
	Raíz	Tallo	Vaina		
Subsoleo	61	179	205	32	49
No Subsoleo	39	114	145	28	42
SNK	5.62*	8.77*	7.04*	3.39*	2.28*
Amadeus 77	52	168	199	30	48
DEORHO	48	125	152	30	43
SNK	5.62ns	8.77**	7.04**	3.38ns	2.27**

\*,\*\* y ns significativo ( $P \leq 0.05$ ), altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) y no significativo respectivamente.

En la interacción de cultivo y mecanización, las dos variedades con el sistema subsolado mostraron los valores más altos de materia seca en comparación con los no subsolados (Cuadro 10). La variedad Amadeus77 fue la variedad que presentó los valores más altos en condiciones de subsoleo comparadas con la variedad DEORHO. La variable longitud de raíz no presentó diferencia significativa entre las variedades y los sistemas, esto se atribuye que las raíces del frijol no profundizan mucho el suelo y con las condiciones aptas estas se extienden horizontalmente (Bonser *et al.* 1996). Cada variedad de frijol expresa su potencial genético en relación directa a la mejor condición del suelo obtenida ya que después del subsoleo aumenta su crecimiento vegetativo.

Cuadro 10. Interacción entre dos sistemas de mecanización y dos variedades de frijol para valores de materia seca de raíces, tallos y vainas; y longitudes en profundidad efectiva de raíz y altura de planta. Sección de Olericultura. Zona II, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

Fuentes de variación	Peso g/planta			Longitud raíz (cm)	Altura plantas (cm)
	Raíz	Tallo	Vaina		
Amadeus 77 Subsulado	62.7 <sup>a</sup>	219.3 <sup>a</sup>	252.5 <sup>a</sup>	31.5 <sup>a</sup>	52.4 <sup>a</sup>
DEORHO Subsulado	58.5 <sup>b</sup>	138.8 <sup>b</sup>	158.0 <sup>b</sup>	32.2 <sup>a</sup>	44.7 <sup>a</sup>
Amadeus 77 No Subsulado	40.3 <sup>c</sup>	116.0 <sup>c</sup>	145.0 <sup>c</sup>	28.6 <sup>a</sup>	43.5 <sup>b</sup>
DEORHO No Subsulado	37.7 <sup>c</sup>	111.8 <sup>c</sup>	145.8 <sup>c</sup>	28.0 <sup>a</sup>	41.3 <sup>b</sup>

La diferencia entre valores de la misma columna seguidos de diferentes letras es significativo ( $P \leq 0.05$ )

**Variables del rendimiento del cultivo.** Los valores de rendimiento en el sistema subsulado, fueron mayores que en el no subsulado. Todas las variables presentaron diferencias significativas, exceptuando el peso de 100 semillas (Cuadro 11), ya que las dos son variedades comerciales mejoradas para tener semillas del mismo peso promedio 24-26 g (Rosas 2001).

El sistema subsulado presentó una tendencia con valores superiores al sistema no subsulado específicamente en el rendimiento kg/ha, debido a que el fósforo es uno de los principales nutrientes para la producción de frijol (Mengel y Kirkby 2000), este nutriente se encuentra en los horizontes superficiales, cuando la raíz no encuentra ningún impedimento para su desarrollo estas se extienden horizontalmente lo que ayuda en la mayor absorción de nutrientes y en consecuencia que aumente la formación de semillas y el rendimiento (Bonser *et al.* 1996). La variedad DEORHO mostró una tendencia con valores superiores en rendimiento significativos que la variedad Amadeus 77, por su mayor número de vainas y peso de semilla por vaina (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efecto de dos sistemas de mecanización y dos variedades de frijol en número de vainas por planta y semillas por vaina, peso de cien semillas, número de semillas por vaina, número de semillas por planta y rendimiento en la sección de Olericultura Zona II, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras.

Fuentes de variación	Número de Vainas /planta	Número Semillas/planta	Peso (g)100 semillas	Peso(g) Semillas /vaina	Peso(g) Semillas /planta	Rendimiento (kg/ha)
Subsulado	23.2	6.7	26.9	1.8	41.5	4145
No Subsulado	19.2	6.2	26.6	1.6	30.8	3081
SNK	1.37*	0.43*	0.62ns	0.11*	2.20*	220*
DEORHO	23.2	6.5	26.7	1.7	40.1	4009
Amadeus 77	19.2	6.2	26.8	1.7	32.2	3217
SNK	1.36*	0.43ns	0.62ns	0.11*	2.20*	220*

\*, \*\* y ns significativo ( $P \leq 0.05$ ), altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) y no significativo respectivamente.

En la interacción de cultivo y mecanización, las dos variedades subsoladas mostraron diferencias significativas. La variedad Amadeus 77 presentó los valores más altos de producción en comparación con las mismas no subsoladas (Cuadro 12). La variedad Amadeus 77 fue la variedad que respondió de mejor manera al subsoleo aumentando su producción en 42%, y DEORHO en 9%. Cada variedad de frijol expresa su potencial genético (Rosas 2001) en relación directa a la mejor estructura del suelo obtenida después del subsoleo, lo que aumenta su crecimiento radicular y absorción de mayor cantidad de nutrientes lo que se traduce en aumento de la productividad.

Cuadro 12. Interacción de dos sistemas de mecanización y dos variedades de frijol, en número de vainas por planta y semillas por vaina, peso de cien semillas, número de semillas por vaina, número de semillas por planta y rendimiento en la sección de Olericultura Zona II, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras.

Fuentes de variación	Número Vainas /planta	Número Semillas/ planta	Peso (g)100 semillas	Peso(g) Semillas /vaina	Peso(g) Semillas /planta	Rendimiento (kg/ha)
DEORHO Subsolado	23.2 <sup>a</sup>	6.8 <sup>a</sup>	26.6 <sup>a</sup>	1.82 <sup>a</sup>	42.1 <sup>a</sup>	4208 <sup>a</sup>
Amadeus 77 Subsolado	23.1 <sup>a</sup>	6.5 <sup>b</sup>	27.2 <sup>a</sup>	1.77 <sup>b</sup>	40.8 <sup>a</sup>	4081 <sup>a</sup>
DEORHO No Subsolado	23.1 <sup>a</sup>	6.1 <sup>b</sup>	26.8 <sup>a</sup>	1.65 <sup>b</sup>	38.1 <sup>b</sup>	3808 <sup>b</sup>
Amadeus 77 No Subsolado	15.3 <sup>b</sup>	5.8 <sup>c</sup>	26.3 <sup>a</sup>	1.54 <sup>c</sup>	23.5 <sup>c</sup>	2352 <sup>c</sup>

La diferencia entre valores de la misma columna seguidos de diferentes letras es significativo ( $P \leq 0.05$ )

**Análisis Financiero.** El efecto del subsoleo se ve marcado en la productividad. El análisis financiero muestra los rendimientos del frijol Amadeus 77 son 1728 kg/ha/año, generando un ingreso marginal bruto de US\$ 5705.7/año; Es altamente rentable ya que paga el costo del subsoleo el cual se realiza cada cinco años, la inversión por subsoleo genera un VAN al 12% de US\$ 19449, con una TIR de 858% a lo largo del proyecto (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis financiero marginal de implementación del subsoleo en la producción de semilla de frijol variedad Amadeus 77 en la sección de Olericultura Zona II, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras.

Parámetros de referencia	Año					
	0	1	2	3	4	5
Subsolado	-650					
Ingreso marginal bruto (\$/ha)		5705.7	5705.7	5705.7	5705.7	5705.7
Costo subsolar (\$/ha)		130.0	130.0	130.0	130.0	130.0
Ingreso marginal neto (\$/ha)	-650	5575.7	5575.7	5575.7	5575.7	5575.7
VAN <sup>β</sup> 12%.	\$19,449					
TIR <sup>α</sup>	858%					

VAN<sup>β</sup> (valor actual neto), TIR<sup>α</sup> (tasa interna de retorno)

El efecto del subsoleo se ve marcado en la productividad. El análisis financiero muestra los rendimientos del frijol DEORHO son 400 kg/ha/año, generando un ingreso marginal bruto de US\$ 1320 por año, es rentable ya que paga el costo del subsoleo el cual se realiza cada cinco años, la inversión por subsoleo genera un VAN al 12% de US\$ 3639.68, con una TIR de 182% a lo largo del proyecto (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis financiero marginal, de implementar subsoleo en la producción semilla de frijol variedad DEORHO en la sección de Olericultura Zona II, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras.

Parámetros de referencia	Año					
	0	1	2	3	4	5
Subsolado	-650					
Ingreso marginal bruto (\$/ha)		1320	1320	1320	1320	1320
Costo subsolar (\$/ha)		130	130	130	130	130
Ingreso marginal neto (\$/ha)	-650	1190	1190	1190	1190	1190
VAN <sup>β</sup> , 12%.	\$3,639					
TIR <sup>α</sup>	182%					

VAN<sup>β</sup> (valor actual neto), TIR<sup>α</sup> (tasa interna de retorno)

## 4. CONCLUSIONES

- La producción de frijol para semilla responde al mejoramiento en la condición física del suelo por subsoleo en suelos compactados.
- El impacto del tratamiento subsoleo fue mejor en la variedad Amadeus 77 ya que mejoró en 42% la producción en comparación de la variedad DEORHO que solo aumento en 9% el rendimiento por efecto del subsoleo.
- En el suelo la densidad aparente y el porcentaje de poros, son buenos indicadores del efecto del subsolar, no así la resistencia a la penetración, en las condiciones empleadas en este trabajo.
- Las parcelas que fueron subsoladas, muestran valores más altos en la cantidad de espacio poroso lo que mejora el drenaje, el tamaño y la aireación de las raíces. Los suelos no subsolados mostraron mayores valores de densidad aparente y menor espacio poroso lo que demuestra su estado de compactación.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Implementar el subsoleo, los suelos compactados en las áreas bajo la producción de frijol en la Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Honduras.
- Evaluar las diferentes variedades de frijol en condiciones de suelos compactados y rehabilitados.
- Separar el efecto del fósforo y el subsoleo en próximas investigaciones.

## 6. LITERATURA CITADA

Arévalo, G. y C. Gauggel. 2010. Manual del curso de manejo de suelos y nutrición vegetal. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 75 p.

Arévalo, G. y C. Gauggel. 2009. Manual de laboratorio de ciencia de suelos y aguas. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 46 p.

Arvidsson, J. 2001. Subsoil compaction caused by heavy sugar beet harvester in southern Sweden. I. Soil physical properties and crop yield in six field experiments. *Soil y Tillage Research* 60:67-78.

Bonser, A. M, J. Lynch. y S, SNAPP. 1996. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. Blackwell Publishing and New Phytologis. vol.132, pp. 281-288.

Duque, G y C, Escobar. 2002. Geomecánica (en línea). Consultado el 10 septiembre del 2011. Disponible en <http://www.galeon.com/geomecanica/>

Hartmann, C. R, Poss. A D, Noble. A.L, Jongsku. E, Bourdon. D, Brunet. G, Lesturgez. 2008. Subsoil improvement in a tropical coarse textured soil: Effect of deep-ripping and slotting. *Soil y Tillage Research* 99:245-253.

Mengel K. y Kirkby E.A. 2000. Principios de Nutrición Vegetal, 4ta. Edición 1ra. en español. Instituto Internacional de la Potasa, Basilea, Suiza. p. 219-225.

Murphy, B. Foster, M. Price, K. (2004). Grassland management effects on soil bulk density. *Kansas Academy of Science*. vol.107, n.1/2, pp. 45-54.

Rosas, J. 2001. Amadeus 77. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 12p

Rosolem Almeida, C.A. A.C, Silveira y L.V, Sacramento do Silva. 1994. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. *Bragantia*. vol.53, n.2, pp. 259-266.

SAS®. 2009. User's Guide. Statistical Analysis System Inc., Carry, NC, USA. Version 9.01

Soil Survey Staff. 1999. Soil Quality Test Kit Guide USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.88 p.

Soto Molina, S. 1988. Introducción al estudio de maquinaria agrícola. México DF, México, Editorial Trillas. 100-108 p

Taboada, M.A.y F.G, Micucci. 2002. Fertilidad Física de los Suelos. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 79 p.

Wheeler, M A. Trlica, M.J. Frasier G.W. y J.D. Reeder. 2002. Seasonal grazing affects soil physical properties of a montane riparian community. Allen Press and Society for Range Managemen. vol.55, pp. 49-56.