

**Efecto del subsoleo y cultivo de cobertura  
(*Dolichos lablab*) en las propiedades físicas del  
suelo y producción de maíz cv. 30F32WHR,  
Zamorano, Honduras**

**Pablo José Galarza Brito**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2011

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Efecto del subsoleo y cultivo de cobertura  
(*Dolichos lablab*) en las propiedades físicas del  
suelo y producción de maíz cv. 30F32WHR,  
Zamorano, Honduras**

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

Presentado por:

**Pablo José Galarza Brito**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2011

**Efecto del subsoleo y cultivo de cobertura (*Dolichos lablab*) en las propiedades físicas del suelo y producción de maíz cv. 30F32WHR, Zamorano, Honduras**

Presentado por:

Pablo José Galarza Brito

Aprobado:

---

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.  
Asesora Principal

---

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

---

Carlos Gauggel, Ph.D.  
Asesor

---

Isidro Matamoros, Ph.D.  
Asesor

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

---

Jeffery Pack, D.P.M.  
Asesor

## RESUMEN

Galarza Brito, P.J. 2011. Efecto del subsoleo y cultivo de cobertura (*Dolichos lablab*) en las propiedades físicas del suelo y producción de maíz cv. 30F32WHR, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 23 p.

La presencia de horizontes compactado limita el crecimiento radicular, reduce aireación, agua y nutrientes disponibles, y potencial de producción. El objetivo fue determinar la eficiencia de utilizar subsolador y cultivo de cobertura (*Dolichos lablab*) para mejorar la condición del suelo e incrementar el rendimiento de maíz. Se evaluaron dos sistemas de acondicionamiento de suelo, subsoleo, cultivo de cobertura seguido de subsoleo y un área sin subsolar. Al iniciar el estudio en marzo del 2010 se identificó en el suelo un horizonte masificado a 14 cm de profundidad. Se utilizaron dos pases de subsolador y se evaluaron las propiedades físicas del suelo. En septiembre del 2010 se sembró maíz y se monitoreó el crecimiento de las plantas. Al momento de la cosecha se cuantificó el rendimiento y se evaluaron las propiedades físicas del suelo. Las plantas en el área donde se subsoló crecieron más que en el área sin subsolar, En el área subsolada se incrementó el rendimiento. Los tratamientos que se subsolaron tuvieron raíces que alcanzaron más de 40 cm de profundidad, mientras en el área sin subsolar no superaron 25 cm de profundidad. Con subsoleo la densidad aparente y la resistencia a la penetración del primer y segundo horizonte se redujeron. Con subsoleo se incrementó el espacio poroso en el primer y segundo horizonte. Se concluye que el subsoleo es significativamente efectivo para mejorar las condiciones físicas del suelo y favorece el desarrollo del cultivo de maíz, incrementando su rendimiento. Los resultados indican que es rentable subsolar.

**Palabras clave:** Compactación de suelos, cobertura, densidad aparente del suelo, espacio poroso del suelo, estructura de suelo.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	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>19</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>20</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>21</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>22</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Eficiencia del primer pase de subsolador en dirección Oeste - Este. Lote 0, sección de Olericultura de la E.A.P. Zamorano, Honduras. Marzo 2010.....	9
2. Eficiencia del segundo pase de subsolador en dirección Noroeste - Sureste. Lote 0, sección de Olericultura de la E.A.P. Zamorano, Honduras. Marzo 2010.....	10
3. Densidad aparente del suelo ( $Mg/m^3$ ), a dos profundidades, en marzo y diciembre de 2010, de los tratamientos: con cobertura sin subsolar, subsoleo y con cultivo de cobertura seguido de subsoleo. Lote 0, sección de Olericultura. E.A.P. Zamorano, Honduras.....	12
4. Espacio poroso del suelo (%), a dos profundidades, en marzo y diciembre de 2010, de los tratamientos con cobertura sin subsoleo, subsoleo y con cultivo de cobertura seguido de subsoleo. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras.....	13
5. Diámetro ponderado medio de los agregados del suelo a dos profundidades, en los tratamientos con cobertura sin subsoleo, subsoleo y con cobertura seguido de subsoleo. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras.....	15
6. Análisis Económico marginal de implementar subsolador en el cultivo de maíz cv. 30F32WHR en un ciclo por año. ....	17
7. Análisis Económico marginal de implementar subsolador y cultivo de cobertura asociado a maíz cv. 30F32WHR en un ciclo por año.....	17
8. Análisis Económico marginal de implementar subsolador en cultivo de maíz cv. 30F32WHR sembrando tres ciclos por año. ....	18
9. Análisis Económico marginal de implementar subsolador y cobertura asociado al maíz cv. 30F32WHR sembrando tres ciclos por año.....	18
Figuras	Página
1. Distribución de tratamientos en el lote 0, sección de olericultura, E.A.P. Zamorano, Honduras.....	3
2. Distribución de calicatas en el área antes y después del subsoleo. Lote 0, sección de Olericultura. E.A.P. Zamorano, Honduras.....	4
3. Parámetros para la evaluación de la eficiencia del subsoleo. ....	5
4. Comparación del perfil de suelo del área sin subsolar y subsolada en marzo y diciembre de 2010 con y sin cobertura. Lote 0 Sección de Olericultura. E.A.P. Zamorano, Honduras.....	11

5. Porcentaje de agregados de diferente diámetro en el primer y segundo horizonte del suelo. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras....	14
6. Efecto del subsoleo en el crecimiento del cultivo de maíz cv. 30F32WHR. Zamorano, Honduras. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras.	16
7. Rendimiento de maíz cv. 30F32WHR, en áreas subsolada, con cultivo de cobertura seguido de subsoleo y con cobertura sin subsolar. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras.....	16

Anexos	Página
1. Subsolador de 110 cm de profundidad trabajando. Lote 0, sección de Olericultura. E.A.P. Zamorano, Honduras, (marzo de 2010).....	22
2. Muestreo de densidad aparente usando un cilindro densímetro. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras, (diciembre de 2010).....	22
3. Comparación de fotografías de raíces en áreas con y sin subsoleo. Lote 0, sección de Olericultura. E.A.P. Zamorano, Honduras, (diciembre de 2010).....	23

## 1. INTRODUCCIÓN

La sección de Olericultura de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, desde 2009 inició un plan de manejo integrado de suelos. En este plan se incluyen cultivos de cobertura utilizando fabáceas (*Dolichos lablab* y *Mucuna priuriens*), rotación de cultivos con maíz y recientemente la implementación de subsoleo. Todas estas prácticas se realizan con el fin de mejorar en el suelo las condiciones físicas y la fertilidad para que sea este un adecuado medio de crecimiento para el cultivo de hortalizas.

En marzo del 2010 en el lote # 0 de Olericultura se inició el estudio con una descripción del perfil del suelo. Se encontró un horizonte masificado (pie de arado) a 14 cm de profundidad. A pesar de que para el cultivo de hortalizas se hacen camas y esta práctica incrementa la profundidad efectiva del suelo al existir un horizonte compactado se reduce el desarrollo radicular, movimiento de agua dentro del perfil del suelo, disponibilidad de nutrientes y aireación.

El subsolador tiene como objetivo fragmentar las capas profundas y roturar toda la masa del suelo compactado sin voltearlo, eliminando así el pie de arado que se forma en los suelos que han sido preparados por muchos años con arados de discos y vertedera (Alvarado 2004) a humedades no adecuadas. El pie de arado disminuye el espacio de macroporos y el espacio poroso total y aumenta la densidad aparente del suelo (Foth 1985). Este aumento de densidad aparente se denomina compactación y es causada por cargas aplicadas o presiones ejercidas sobre el suelo (Baver *et al*, 1980). Dichas presiones reducen el tamaño entre agregados del suelo y eliminan el espacio ocupado por los planos (Sumner 2000) que es donde se desarrolla el crecimiento radicular. La resistencia a la penetración es el grado de resistencia que tiene el suelo al quebrarse o colapsar cuando se le aplica una fuerza y determina la energía requerida para realizar operaciones de labranza (Baver *et al*, 1980).

La estructura del suelo debe permitir un adecuado equilibrio entre aire y agua. También es importante que la estructura del suelo permita la eliminación de los excesos de humedad por medio de la percolación. En casos donde no hay una estructura adecuada se da un encogimiento del suelo y hay tendencia a formar terrones grandes y masificados. Lo que causa grandes grietas dentro del perfil del suelo y el crecimiento de raíces se reduce (Gavande 1981).

En la agricultura es importante contar con estructura de suelo adecuada en los horizontes donde se desarrolla el cultivo. Adecuada se entiende por la capacidad de los agregados de tamaño y forma adecuados de resistir la destrucción por mecanización o el efecto causado por el agua.

La aireación, movimiento de agua en el perfil del suelo y la penetración de raíces se mantenga a niveles favorables para el desarrollo del cultivo (Baver *et al* 1980). Implementar labores de subsoleo genera resultados favorables en incrementar el rendimiento de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y mejorar las condiciones del suelo como lo demostró Calderón Quizhpe (2007).

En suelos manejados correctamente, la estructura se mantiene estable e influencia directamente las propiedades y funciones del suelo. En condiciones adecuada, con una buena estructura se mejora la aireación, infiltración de agua, absorción de nutrientes, disponibilidad de agua y cantidad de planos a los largo del perfil de suelo. También una estructura adecuada tiene un efecto positivo sobre las interacciones biológicas dentro del perfil de suelo (Sumner 2000).

Los cultivos de cobertura tienen la finalidad de mantener el suelo cubierto cuando no se encuentra con un cultivo, se pueden utilizar diferentes familias de plantas, generalmente se utilizan fabáceas. Las fabáceas se incorporan al suelo cuando aun están verdes por lo que se las denomina abonos verdes, estas incrementan la provisión de nitrógeno en el suelo que favorece al cultivo posterior (Foth 1985). El uso de cultivos de cobertura protege el suelo de la erosión hídrica y eólica, mantiene en el suelo una temperatura constante, mejora estructura pues sus raíces crean planos entre los agregados del suelo, se reduce la pérdida de humedad y contribuyen al control de malezas por competencia (Sumner 2000).

Casi todas las hortalizas (exceptuando el maíz dulce) son plantas dicotiledóneas. Las cuales tienen un sistema radicular pivotante que con la presencia de un horizonte compactado sufrirán deformaciones (zanahoria, camote). El pie de arado dificulta el drenaje y mantiene un exceso de humedad en la zona radicular luego de regar o de lluvias. Esta condición favorece el desarrollo de patógenos (*Pythium* spp.) que afectan a la raíz (López 1994). Si bien se hacen camas para incrementar la profundidad efectiva del suelo, esta acción no compensa completamente el problema de un suelo compactado.

Los objetivos del estudio fueron evaluar la eficiencia del subsoleo para romper pie de arado y mejorar la profundidad efectiva, estructura y porosidad del suelo. Determinar el efecto de subsoleo y cultivos de cobertura en el desarrollo y rendimiento de maíz y el efecto del subsoleo después de nueve meses.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización del estudio y tratamientos.** El estudio se realizó en la sección de Olericultura de la E.A.P., Zamorano, Francisco Morazán, Honduras, con elevación de 800 msnm. El subsolado se realizó en marzo de 2010 durante la época seca. Luego, se estableció el cultivo de maíz en septiembre y se cosechó en diciembre. La precipitación durante el crecimiento del maíz fue de 320 mm (Estación meteorológica Zamorano 2011).

Se subsoló la parte Noroeste del lote. En esta área previo realizar el estudio el terreno se encontraba con malezas y aun habían camas del cultivo anterior en dirección Norte-Sur. También se subsoló en la parte central del lote donde se encontraba un cultivo semillero de *Dolichos lablab*. La parte Este del lote había cultivo de cobertura y no se subsoló (Figura 1).



Figura 1. Distribución de tratamientos en el lote 0, sección de olericultura, E.A.P. Zamorano, Honduras.

Fotografía tomada de Google Earth® 2010

**Descripción morfológica del perfil de suelo.** Ubicados los tres tratamientos en el lote se realizaron dos calicatas en el área subsolada, dos calicatas en el área con cobertura y subsolada y cuatro calicatas en el área no subsolada (Figura 2) para mediante una descripción de perfil de suelo, conocer los horizontes presentes y sus características

físicas como: profundidad potencial, profundidad efectiva, textura, color, estructura, consistencia, resistencia a la penetración, porosidad, características de las raíces y pedregosidad en cada horizonte.

Mediante esta evaluación se identificó un pie de arado a 14 cm de profundidad de 12 cm de grosor, con reducida porosidad y escaso desarrollo de raíces razón por la cual se procedió a subsolar. Después de cada pase de subsolador se realizaron cuatro calicatas en cada área subsolada, ubicadas en la misma posición de la evaluación anterior (Figura 2) con el fin de evaluar eficiencia del subsoleo, su efecto en romper el pie de arado y en la condición del suelo. En diciembre de 2010, cuando se cosechó el maíz, se realizó una última descripción detallada del perfil del suelo utilizando cuatro calicatas por cada tratamiento.



Figura 2. Distribución de calicatas en el área antes y después del subsoleo. Lote 0, sección de Olericultura. E.A.P. Zamorano, Honduras.

**Muestreo de densidad aparente y estructura.** Después del subsoleo en dos calicatas (Figura 2) de el área subsolada se tomaron tres muestras indisturbadas de suelo, en dos profundidades (0-20 cm) y (20-40 cm) para determinar densidad aparente se utilizó un cilindro de 5 cm de longitud y 5 cm de diámetro, con volumen de 98 cm<sup>3</sup>. También se tomaron tres muestras de 800 a 1,400 g para un análisis de estructura. En el área no subsolada se tomaron muestras en las calicatas a las mismas profundidades que se hicieron al inicio del estudio (figura 2). Cuando se cosechó el maíz nuevamente se tomaron muestras en cuatro calicatas de cada tratamiento.

**Subsoleo.** En marzo de 2010, durante la época seca, se realizaron dos pases de subsolador. El primer pase fue en dirección Oeste-Este con dos ganchos rectos de 1.10 m de longitud y 1.20 m de espaciamiento entre los ganchos, halado por un tractor D8 de oruga. Utilizando un tractor de Oruga D6 de menor potencia que el anterior y con dos ganchos de 0.8 m de longitud espaciados a 1.10 m se realizó un segundo pase a 45° del primero, en sentido Noroeste-Sureste. Previo al subsoleo en el área con cobertura se incorporó el cultivo utilizando una rastra liviana. El perfil del suelo tiene una profundidad efectiva de 70 cm limitada por pedregosidad y cuando se subsoló se llevó a la superficie gran cantidad de pedregones y piedras, que se retiraron antes de sembrar.

**Evaluación de la eficiencia del subsoleo.** Después de cada pase de subsolador se realizaron calicatas de 2 m × 1 m × 1 m de profundidad. La eficiencia del subsoleo se determinó midiendo la profundidad del surco dejado por el implemento y la profundidad de fractura entre ganchos, donde la profundidad real (Pr) alcanzada por cada uno de los ganchos, dividida entre la profundidad que pudo haber penetrado el gancho (Pp), da como resultado la eficiencia de penetración (Ep), ecuación [1]. Posteriormente, se midió la profundidad de fractura (Pf) alcanzada entre cada uno de los ganchos y se dividió entre la profundidad real (Pr), obteniendo la eficiencia de fractura (Ef) entre cada gancho, ecuación [2]. Finalmente se obtuvo la eficiencia neta (En) de la mecanización, ecuación [3], como el producto de la eficiencia de penetración (Ep) y la eficiencia de fractura (Ef) expresado en porcentaje (Arévalo y Gauggel 2010) (Figura 3).

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

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

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

Donde: Ep = Eficiencia de penetración, Pr = Profundidad real alcanzada por el implemento, Pp = Profundidad potencial del implemento, Ef =Eficiencia de fractura entre ganchos, Pf = Profundidad de fractura y En= Eficiencia neta del subsoleo.

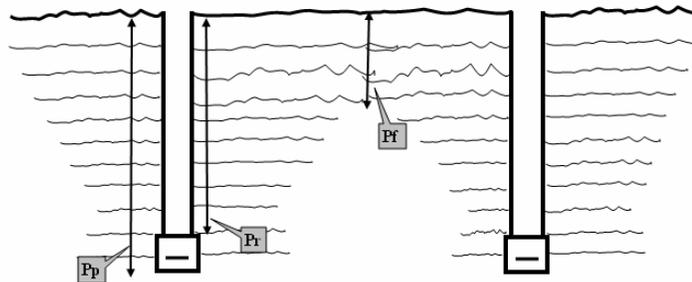


Figura 3. Parámetros para la evaluación de la eficiencia del subsoleo. Tomado de Arévalo y Gauggel (2010).

Donde: Pp = Profundidad potencial del implemento, Pf = Profundidad de fractura y Pr = Profundidad real alcanzada por el implemento.

**Cultivo de maíz (*Zea mays*) cv. 30F32WHR.** Después del subsoleo en el área de estudio, se retiraron de la superficie las piedras extraídas con el subsolador y debido a las condiciones del clima no se pudo realizar ninguna mecanización. En la primera semana de septiembre de 2010, se sembró de forma manual maíz cv. 30F32WHR (Pionner®), Es un híbrido transgénico que presenta resistencia a glifosato. Se sembró a mano, a una distancia de 0.8 m entre surco y 0.2 m entre plantas, con 62,500 plantas por hectárea. Las prácticas agronómicas fueron realizadas por la unidad de ganado de carne de la E.A.P. Zamorano. Se cosechó en diciembre de 2010, con el grano destinado a la Unidad de Ganado de Carne de la E.A.P. Zamorano para alimentación animal, y el rastrojo se

incorporó al suelo. Posteriormente se establecieron cultivos hortícolas (habichuela, lechuga, maíz dulce, melón, sandía y tomate).

**Evaluación de altura de plantas y rendimiento.** Se establecieron cuatro parcelas de 3.2 m × 2.2 m por cada tratamiento, la parte más ancha de la parcela en dirección Este-Oeste en dirección de los surcos. En cada parcela hubo cuatro surcos en los cuales se midieron diez plantas en los dos surcos intermedios. Se midió la planta desde la base del tallo hasta el último nudo antes de la flor masculina. Se determinó altura de las plantas a los 30, 45 y 60 días después de siembra; no se siguió midiendo las plantas porque a los 60 días ya se formó la espiga y las plantas detuvieron su desarrollo vegetativo para iniciar su etapa reproductiva. Para evaluar el rendimiento se cosecharon las plantas de los dos surcos centrales de cada parcela, se desgranó y se pesó el grano.

**Determinación de densidad real, densidad aparente y espacio poroso del suelo.** Se recolectaron las muestras de suelos y se determinó la densidad real ( $D_r$ ) en el laboratorio de suelos de la E.A.P. Zamorano, utilizando el método de la probeta (Arévalo y Gauggel 2009). Al suelo seco al aire se determinó la humedad. Para ello se secó una muestra de 10 g en el horno a 104 °C hasta peso constante. Se tomaron 20 g de suelo ( $P_s$ ) y se colocó en una probeta graduada de 50 ml, se midió 20 ml de agua ( $V_a$ ) y se colocó en la probeta que contenía el suelo, se agitó asegurando que el agua penetrara en todos los espacios del suelo, después de 2 horas se volvió a agitar, se dejó reposar por 4 horas más. Luego se tomó la lectura del nivel de agua y suelo en la probeta ( $V_f$ ), de este valor se restó el volumen de agua agregada ( $V_a$ ), restando la humedad del suelo ( $H_m$ ) y se obtuvo el volumen real ( $V_r$ ) del suelo, ecuación [4]. Con el peso seco de la muestra ( $P_s$ ) y el volumen real de suelo ( $V_r$ ) se calculó la densidad real ecuación [5].

$$V_f - (V_a + H_m) = V_r \quad [4]$$

$$D_r = P_s / V_r \quad [5]$$

Donde:  $V_f$  = volumen de suelo y agua,  $V_a$  = volumen de agua agregado,  $H_m$  = humedad de la muestra,  $V_r$  = volumen real de suelo,  $D_r$  = densidad real de suelo,  $P_s$  = Peso seco de suelo.

Para determinar densidad aparente del suelo se pesaron las muestras tomadas en campo con el cilindro densímetro ( $P_m$ ). Se calculó la densidad aparente ( $D_{ap}$ ) ecuación [6], por el método de cilindro densímetro (Arévalo y Gauggel 2009).

$$D_{ap} = P_m / V_c \quad [6]$$

Donde:  $D_{ap}$  = densidad aparente,  $P_m$  = peso de la muestra indisturbada y  $V_c$  = volumen del cilindro.

Con los valores de densidad real ( $D_r$ ) y densidad aparente ( $D_{ap}$ ), se determinó el espacio poroso ( $E_p$ ) expresado en porcentaje ecuación [7].

$$E_p = 100 - ((D_{ap} \times 100) / D_r) \quad [7]$$

Donde:  $E_p$  = Espacio poroso

**Evaluación del diámetro ponderado medio de la estructura de suelo.** Mediante un análisis granulométrico se determinó el porcentaje de partículas del suelo que se encuentran como agregados y el porcentaje como partículas como tal (arenas y limo). La agregación de las partículas del suelo ocurre por procesos físicos y químicos. El tamaño de los agregados puede variar de migajoso ( $< 2$  mm) a bloque subangulares (5-20 mm) o prismas y columnas ( $> 100$  mm) esto determina la cantidad, tamaño y conexión de poros tan importante para la relación suelo-planta.

En diciembre de 2010 se tomaron dos muestras en cada calicata a profundidad de 0 a 20 cm y dos muestras a profundidad de 20 a 40 cm. Posteriormente se separaron los agregados de suelo mayores a 5 mm, midiendo con un pie de rey los agregados y partículas de menor tamaño fueron separadas utilizando diferentes tamices. Luego de separar los agregados y agruparlos dentro de 11 categorías ( $>100$  mm, 100-50 mm, 50-20 mm, 20-10 mm, 10-5 mm, 5-2.5 mm, 2.5-1mm, 1-0.5 mm, 0.5-0.25 mm, 0.25-0.125 mm y  $< 0.125$  mm), se midió el volumen de ellos como el volumen de agua desplazada por inmersión aislando el suelo con plástico para agregados mayores a 5 mm y utilizando probetas para agregados más pequeños. Se determinó el porcentaje de agregados de cada categoría respecto al volumen y peso total de la muestra tomada.

**Diseño experimental y análisis estadístico.** El estudio se realizó utilizando un diseño completamente al azar (DCA) y parcelas divididas, con tres tratamientos: subsoleo, cultivo de cobertura seguido de subsoleo y con cobertura sin subsolar con cuatro repeticiones. La unidad experimental para evaluar desarrollo del cultivo y rendimiento fueron parcelas de 3.2 m  $\times$  2.2 m y para la evaluación de propiedades físicas del suelo en dos profundidades de 0 – 20 cm y de 20 hasta 40 cm se utilizaron como unidades experimentales calicatas de 2 m  $\times$  1 m  $\times$  1 m de profundidad.

El análisis estadístico se realizó utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS<sup>®</sup> 9.1). Se utilizó separación de medias LSD, utilizando un valor de alfa de 0.05 para los datos de crecimiento de plantas y rendimiento y un alfa de 0.1 para los datos edáficos.

**Análisis financiero marginal.** Se realizó un análisis financiero, con el fin de determinar si el ingreso por la producción adicional obtenida únicamente con la implementación de cultivos de cobertura y subsoleo, cubre los costos de subsolar y deja algún margen de ganancia. Se analizaron dos escenarios: subsolar y sembrar maíz con y sin *Dolichos lablab*. Los costos asociados al ingreso marginal fueron el costo de subsolar una hectárea (\$650.00) y el costo de la semilla (\$20) y una siembra manual de *Dolichos lablab* (tres jornales, \$30). El escenario contemplado fue subsolar cada cinco años y siembra de *Dolichos lablab* cada ciclo asociado con el maíz.

Se utilizó como referencia el Valor Actual Neto (VAN), con una tasa de descuento del 12% y un periodo de cinco años, utilizando Microsoft Office Excel 2007<sup>®</sup>. Si el VAN es positivo indica que el ingreso marginal cubre los costos de subsolar y se obtiene una ganancia.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Eficiencia del subsoleo.** Como parte del plan de mejoramiento de suelos en el área de Olericultura durante la época de lluvia (mayo-octubre), se rotaron cultivos hortícolas con maíz. El ciclo de maíz coincidió con el periodo de estudio por lo que el efecto de subsoleo y cobertura se evaluó en el maíz cv. 30F32WHR. El cual se sembró en septiembre de 2010 y se cosechó en diciembre del mismo año. Después de la cosecha de grano se incorporó el rastrojo y se inició nuevamente un ciclo de producción de hortalizas. Particularmente ese año el periodo de lluvias fue mayor de lo normal, lo que no permitió ningún tipo de mecanización posterior al subsoleo y la siembra de maíz se realizó en forma manual. Al momento de subsolar en una parte del lote había un semillero de *Dolichos lablab* que se mantenía como cultivo de cobertura y como parte del estudio se evaluó el sinergismo entre cultivo de cobertura y subsoleo.

En la parte Oeste del lote donde únicamente se subsoló, la profundidad potencial del suelo fue limitada por fragmentos de roca a 60 cm de profundidad. En la parte central del lote donde había *Dolichos lablab*, antes de subsolar los fragmentos de roca se encontraron a 70 cm de profundidad. La presencia de fragmentos de roca redujo la profundidad potencial de ambos subsoladores de 110 cm de profundidad potencial del primer subsolador y de 80 cm de profundidad potencial del segundo subsolador únicamente pudieron penetrar 60 cm en la parte Oeste y 70 cm en la parte central del lote.

La eficiencia neta promedio del subsoleo en el primer pase fue 81% en ambos tratamientos subsolados (Cuadro 1). En el segundo pase para el área sin cobertura la eficiencia neta promedio fue de 90% y para el área con cobertura previa de 84% (Cuadro 2). Una labor de subsoleo se considera aceptable si se obtiene una eficiencia neta de subsoleo mayor al 70% (Arévalo y Gauggel 2010).

Cuadro 1. Eficiencia del primer pase de subsolador en dirección Oeste - Este. Lote 0, sección de Olericultura de la E.A.P. Zamorano, Honduras. Marzo 2010.

Tratamiento	Profundidad (cm)				Eficiencia (%)			
	Calicata	Potencial	Real	Fractura	Penetración	Fractura	Neta	Promedio
Subsoleo	1	60	70	55	117	79	92	81
	2	60	60	42	100	70	70	
Cobertura, subsoleo	1	70	77	48	110	62	69	81
	2	70	82	65	117	79	93	

Cuadro 2. Eficiencia del segundo pase de subsolador en dirección Noroeste - Sureste. Lote 0, sección de Olericultura de la E.A.P. Zamorano, Honduras. Marzo 2010.

Tratamiento	Calicata	Profundidad (cm)			Eficiencia (%)			
		Potencial	Real	Fractura	Penetración	Fractura	Neta	Promedio
Subsoleo	1	60	61	62	102	102	103	90
	2	60	49	46	82	94	77	
Cobertura, subsoleo	1	70	62	53	89	85	76	84
	2	70	67	64	96	96	91	

**Efecto del subsoleo y cultivo de cobertura en las propiedades físicas del suelo.** La comparación del perfil de suelo del área sin subsolar con los perfiles de suelo de los tratamientos subsolado y cultivo de cobertura seguido de subsoleo en marzo y diciembre de 2010 muestran en el área sin subsolar un horizonte masivo a 14 cm de profundidad que no se modifica por siembra. La resistencia a la penetración (RP) a partir de 14 cm de profundidad es mayor a  $4.5 \text{ kg/cm}^2$  y el crecimiento radicular alcanza como máximo 30 cm de profundidad (Figura 4).

El perfil de suelo en el área sin cobertura subsolada en marzo de 2010, después de realizar las labores de mecanización profunda y en diciembre del mismo año no presentó horizonte compactado y la profundidad efectiva del suelo aumentó de 14 cm a 52 cm. La RP a 52 cm fue  $1.2 \text{ kg/cm}^2$  y se observaron raíces abundantes de todos los tamaños hasta 40 cm de profundidad. En el área que previo al subsoleo tenía *Dolichos lablab* el perfil de suelo en marzo y diciembre de 2010 no tuvo un horizonte masivo y la resistencia a la penetración inmediatamente después del subsoleo (marzo del 2010) bajo a  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  y nueve meses después (diciembre de 2010) subió a  $1.2 \text{ kg/cm}^2$  a una profundidad de 0 - 30 cm y a  $2.5 \text{ kg/cm}^2$  a una profundidad de 30 - 50 cm manteniendo condiciones adecuadas para el desarrollo radicular. La profundidad efectiva del suelo fue de 50 cm y se encontraron raíces abundantes de todos los tamaños hasta los 40 cm de profundidad (Figura 4).

**Efecto del subsoleo y cultivo de cobertura en la densidad aparente del suelo.** La densidad aparente del suelo a una profundidad 0 -20 cm en el área sin subsolar fue 1.6 Mg/t mayor que en los tratamientos subsolados, los cuales no presentaron diferencia significativa entre sí ( $P < 0.1$ ). Nueve meses después (diciembre de 2010) cuando se cosechó el maíz la densidad aparente del área sin subsolar se mantuvo igual que en la condición inicial. En los tratamientos subsolados hubo compactación definida por aumento de la densidad aparente en este tiempo, causado por el acomodamiento de los agregados en el tiempo y efecto de la humedad, pero los valores se mantuvieron cercanos al valor definido para el tipo de textura<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Arévalo Gloria.2009. Densidad Aparente del Suelo en: Propiedades Físicas de los Suelos. Ciencias del Suelo y Agua. E.A.P. Zamorano, Honduras.

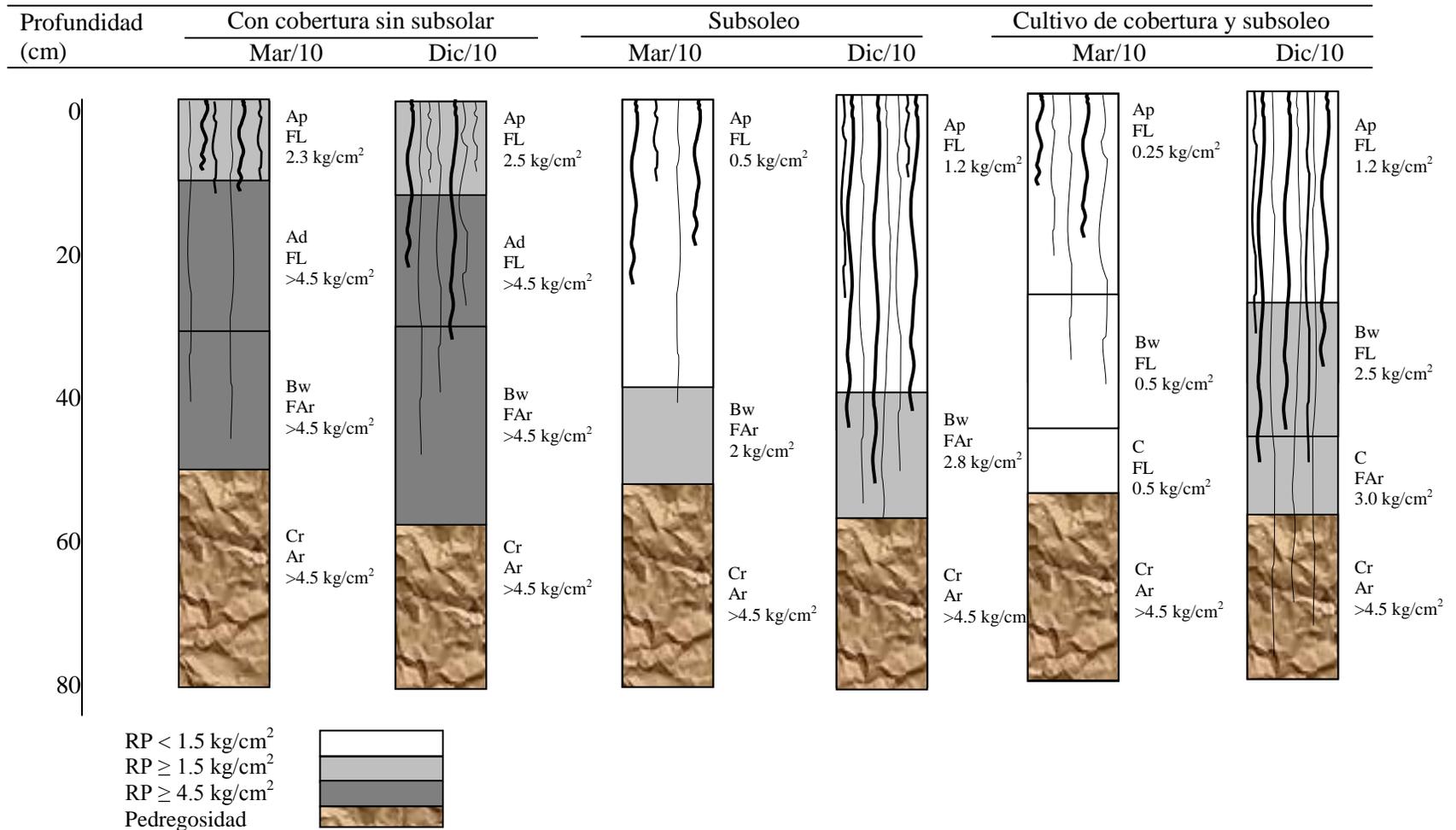


Figura 4. Comparación del perfil de suelo del área sin subsolar y subsolada en marzo y diciembre de 2010 con y sin cobertura. Lote 0 Sección de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras. Horizontes: Ap.- Horizonte superficial de origen mineral tiene propiedades asociadas con labranza. Ad.- Horizonte superficial compactado (pie de arado). Bw.- Horizonte formado por debajo del A, donde se ha destruido toda o casi toda la estructura del material parenteral. C.- Horizonte afectado por procesos pedogenéticos que carece de características de otros horizontes. Textura del horizonte: FL.- Franco limoso. FAr.- Franco arcilloso. Ar.- Arcilloso.

De 20 – 40 cm de profundidad en el área sin subsolar al inicio del estudio la densidad aparente fue de 1.87 Mg/m<sup>3</sup> y cuando se cosechó el maíz de 2.02 Mg/m<sup>3</sup> significativamente mayor ( $P < 0.1$ ) que los tratamientos subsolados. En el tratamiento de cultivo de cobertura seguido de subsoleo la densidad aparente en el segundo horizonte fue de 1.31 Mg/m<sup>3</sup> al inicio del estudio y 1.39 Mg/m<sup>3</sup> cuando se cosechó el maíz, fue mayor que el tratamiento que únicamente se subsoló 1.41 Mg/m<sup>3</sup> y 1.43 Mg/m<sup>3</sup>, respectivamente, pero sin diferencia significativa ( $P < 0.1$ ) dejando ver el efecto positivo de la materia verde en el momento de subsolar que ocupa espacio entre agregados y con el tiempo se descompone y mejora la porosidad del suelo. El efecto del subsoleo en la densidad aparente del suelo se mantuvo después de nueve meses, confirmando que el efecto del subsolador en horizontes profundos es constante en el mediano plazo.

Cuadro 3. Densidad aparente del suelo (Mg/m<sup>3</sup>), a dos profundidades, en marzo y diciembre de 2010, de los tratamientos: con cobertura sin subsolar, subsoleo y con cultivo de cobertura seguido de subsoleo. Lote 0, sección de Olericultura. E.A.P. Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Textura	Hor <sup>e</sup>	Densidad Aparente (Mg/m <sup>3</sup> )				
			Óptimo <sup>¶</sup>	0-20 cm		20-40 cm	
				DS <sup>‡</sup> Mar-10	9m DS <sup>‡</sup> Dic-10	DS Mar-10	9m DS Dic-10
No subsolado	FL <sup>ϕ</sup>	Ap/Ad/Bt	1.34	1.60 <sup>a</sup>	1.69 <sup>a</sup>	1.87 <sup>a</sup>	2.02 <sup>a</sup>
Subsoleo	FL <sup>ϕ</sup>	Ap/Bt	1.34	1.08 <sup>d</sup>	1.32 <sup>bc</sup>	1.41 <sup>b</sup>	1.43 <sup>b</sup>
Cobertura, subsoleo	FL/FAr <sup>κ</sup>	Ap/Bt	1.26	1.17 <sup>cd</sup>	1.38 <sup>b</sup>	1.31 <sup>b</sup>	1.39 <sup>b</sup>

<sup>¶</sup> Arévalo G, 2009. Densidad Aparente del Suelo en: Propiedades físicas de los suelos. Ciencia del Suelo y Agua. E.A.P. Zamorano, Honduras.

<sup>abc</sup> Valores con diferente letra difieren entre sí ( $P < 0.1$ )

Hor<sup>e</sup> Horizontes

<sup>ϕ</sup> Franco limoso, <sup>κ</sup> Franco Limoso/ Franco Arcilloso.

<sup>‡</sup> Después de subsolar, <sup>F</sup> nueve meses después de subsolar.

**Efecto del subsoleo y cultivo de cobertura en la porosidad del suelo.** A profundidad de 0 - 20 cm la porosidad de suelo en el área no subsolada fue menor que en los tratamientos subsolados ( $P < 0.1$ ), entre subsoleo y cobertura seguido de subsoleo no hubo diferencias en el espacio poroso. A profundidad de 20 - 40 cm en el área no subsolada se mantuvo la reducida porosidad en el suelo respecto a los tratamientos que se subsolaron ( $P < 0.1$ ). Nueve meses después del subsoleo en el área sin subsolar se redujo la porosidad. Mientras que en el tratamiento subsolado se incrementó el espacio poroso debido a que con el subsolador se rompió el horizonte masivo y permitió el crecimiento de raíces que crearon nuevos poros en el suelo. En el tratamiento con cultivo de cobertura previo subsoleo, la porosidad se mantuvo constante sin diferencias significativas ( $P < 0.1$ ) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Espacio poroso del suelo (%), a dos profundidades, en marzo y diciembre de 2010, de los tratamientos con cobertura sin subsoleo, subsoleo y con cultivo de cobertura seguido de subsoleo. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Textura	Hor <sup>ε</sup>	Espacio poroso (%)				
			Óptimo <sup>¶</sup>	0-20 cm		20-40 cm	
				DS <sup>‡</sup>	9m DS <sup>‡</sup>	DS <sup>‡</sup>	9m DS <sup>‡</sup>
			Mar-10	Dic-10	Mar-10	Dic-10	
No subsolado	FL <sup>Φ</sup>	Ap/Ad/Bt	49	30 <sup>cd</sup>	22 <sup>d</sup>	24 <sup>bc</sup>	17 <sup>c</sup>
Subsoleo	FL <sup>Φ</sup>	Ap/Bt	49	46 <sup>a</sup>	42 <sup>ab</sup>	32 <sup>ab</sup>	40 <sup>a</sup>
Cobertura, subsoleo	FL/FAr <sup>Ⓜ</sup>	Ap/Bt	52	42 <sup>ab</sup>	33 <sup>bc</sup>	37 <sup>a</sup>	34 <sup>ab</sup>

<sup>¶</sup> Arévalo G, 2009. Densidad Aparente del Suelo en: Propiedades físicas de los suelos. Ciencia del Suelo y Agua. E.A.P. Zamorano, Honduras.

<sup>abc</sup> Valores con diferente letra difieren entre sí ( $P < 0.1$ )

Hor<sup>ε</sup> Horizontes

<sup>Φ</sup> Franco limoso, <sup>Ⓜ</sup> Franco Limoso/ Franco Arcilloso.

<sup>‡</sup> Después de subsolar, <sup>F</sup> nueve meses después de subsolar.

**Efecto del subsoleo en el diámetro ponderado medio de los agregados y el porcentaje de agregados de diferente tamaño.** Por fenómenos físicos, químicos y biológicos las partículas del suelo (arena, limo y arcilla) tienden a formar agregados. El tipo y tamaño de estos dependerá del grado de transformación que tenga el horizonte del suelo (Sumner 2000). En horizontes agrícolas 0-25 cm de profundidad es deseada una estructura granular y de bloques subangulares finos y medios, con bloques subangulares y angulares medios y gruesos para el horizonte subsiguiente que favorecen el movimiento de agua y aire a través del perfil del suelo por la presencia de abundantes poros (Arévalo y Gauggel 2009).

Después de subsolar en suelo bajo cobertura de *Dolichos lablab* y en suelo en barbecho, el 65% de agregados agrupados por peso tuvo 50 - 100 mm de diámetro, que corresponden a bloques subangulares muy gruesos. En el primer horizonte del suelo que no se subsoló hubo 25% de los agregados entre 2.5 – 1.0 mm que corresponden a bloques subangulares muy finos. En el segundo horizonte (20 - 40 cm) el tratamiento de cobertura seguido de subsoleo tuvo bloques muy gruesos y prismas finos (50 - 100 mm) y en el tratamiento únicamente subsolado los agregados fueron bloques gruesos y muy gruesos (20 - 100 mm). En el área sin subsolar hay agregados de menor diámetro con predominio de bloques gruesos y muy gruesos (20 - 50 mm) porque no ha ocurrido un cambio en la estructura del suelo y estos bloques se mantienen masivos. Caso similar ocurre cuando se observa la relación entre el volumen de los agregados y el diámetro de los mismos (Figura 5).

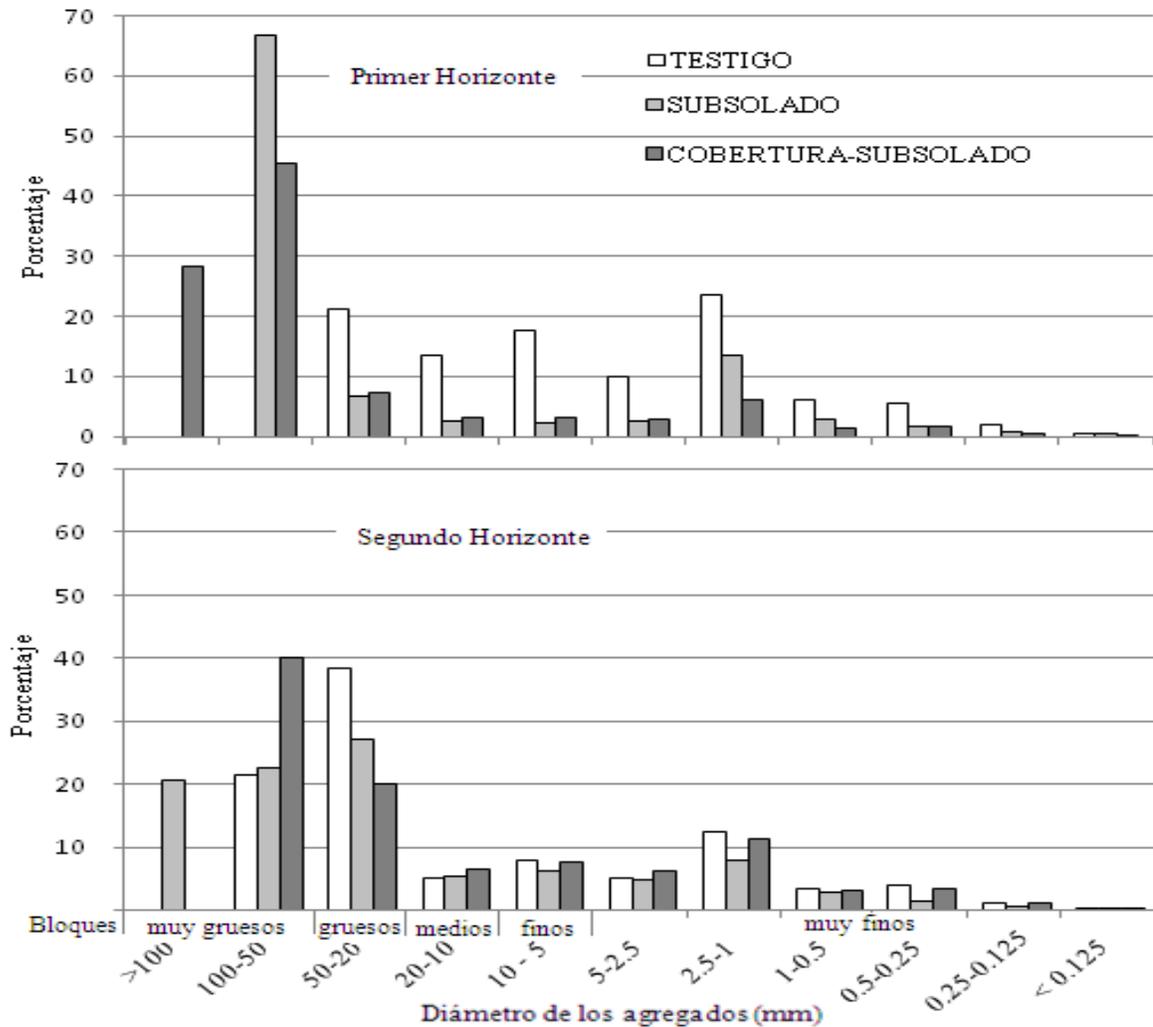


Figura 5. Porcentaje de agregados de diferente diámetro en el primer y segundo horizonte del suelo. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras.

En los tratamientos que se subsolaron los agregados fueron de mayor tamaño expresado en diámetro ponderado medio, entre 54 - 63 mm para el primer horizonte en los tratamientos subsolado y cobertura seguido de subsolo respectivamente y 41 - 43 mm para el segundo horizonte. En el área sin subsolar el diámetro medio ponderado de los agregados fue menor, 12.80 mm y 29.56 mm, en primer y segundo horizonte, respectivamente, pero se encontraban compactados. Esto se explica debido a que la acción del subsolador en romper el horizonte masivo y extremadamente firme de 12 cm de grosor que estaba a 14 cm de profundidad en el suelo, deja como resultado agregados de gran tamaño que por acción de mecanización (rastra) e interacción con las raíces con el tiempo llegarán a fraccionarse en bloques medios y gránulos, creando abundantes planos donde circula agua y aire (Cuadro 5).

Cuadro 5. Diámetro ponderado medio de los agregados del suelo a dos profundidades, en los tratamientos con cobertura sin subsoleo, subsoleo y cobertura seguido de subsoleo. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Textura	Horizonte	DMP <sup>φ</sup> (mm)	
			0-20 cm	20-40 cm
No subsolado	FL <sup>φ</sup>	Ap/Ad/Bt	12.80 <sup>c</sup>	29.56 <sup>bc</sup>
Subsoleo	FL <sup>φ</sup>	Ap/Bt	54.41 <sup>a</sup>	43.59 <sup>ab</sup>
Cobertura, subsoleo	FL/FAr <sup>κ</sup>	Ap/Bt	63.22 <sup>ab</sup>	41.18 <sup>ab</sup>

<sup>abc</sup> Valores con la diferente letra difieren entre sí (P < 0.05) Prueba LSD.

<sup>φ</sup> Diámetro medio ponderado de los agregados del suelo

<sup>φ</sup> Franco limoso, <sup>κ</sup> Franco Limoso/ Franco Arcilloso.

**Efecto del subsoleo y cultivo de cobertura en el crecimiento y rendimiento de maíz cv. 30F32WHR.** Los tratamientos con subsoleo no presentaron diferencia en el crecimiento y el tamaño final de la planta. En el tratamiento con cobertura seguido de subsoleo las plantas alcanzaron 2.01 m y en el área solo con subsoleo 1.94 m. En el área no subsolada el crecimiento a lo largo del periodo vegetativo y la altura final de las plantas fue de 1.66 m significativamente (P < 0.05) menor (Figura 6).

En el estudio de Pantoja Guamán (2005) la altura de las plantas de maíz Dekalb D-343 y HB 104 fue mayor en el área con subsoleo hasta la floración, pero luego la plantación se homogenizó en su etapa reproductiva siendo igual en las áreas subsoladas y no subsoladas. Con condiciones climáticas similares utilizando subsoleo la altura a floración de plantas de maíz cv. 30F32WHR fue menor (P < 0.05) en el área no subsolada, que se explica porque hay un horizonte masivo a 14 cm de profundidad y las raíces crecieron únicamente hasta 25 cm de profundidad, teniendo esta planta menos superficie para absorción de agua y nutrientes.

El tratamiento con *Dolichos lablab* antes del subsoleo y el tratamiento con subsoleo únicamente presenta diferencias significativas (P < 0.05) en el crecimiento en los primeros 30 días. Siendo el tratamiento con cobertura de menor tamaño que el tratamiento subsolado. Esto se explica a que en esta parte del lote hubo rastros en el suelo y los microorganismos del suelo descomponen la materia orgánica y compiten con el cultivo por el nitrógeno, que es el elemento responsable del desarrollo vegetativo (Baver *et al*, 1980). Pero más adelante las plantas en esa área tuvieron un mejor crecimiento debido a que la materia orgánica favorece la absorción de nutrientes y reduce la pérdida de agua y nutrientes.

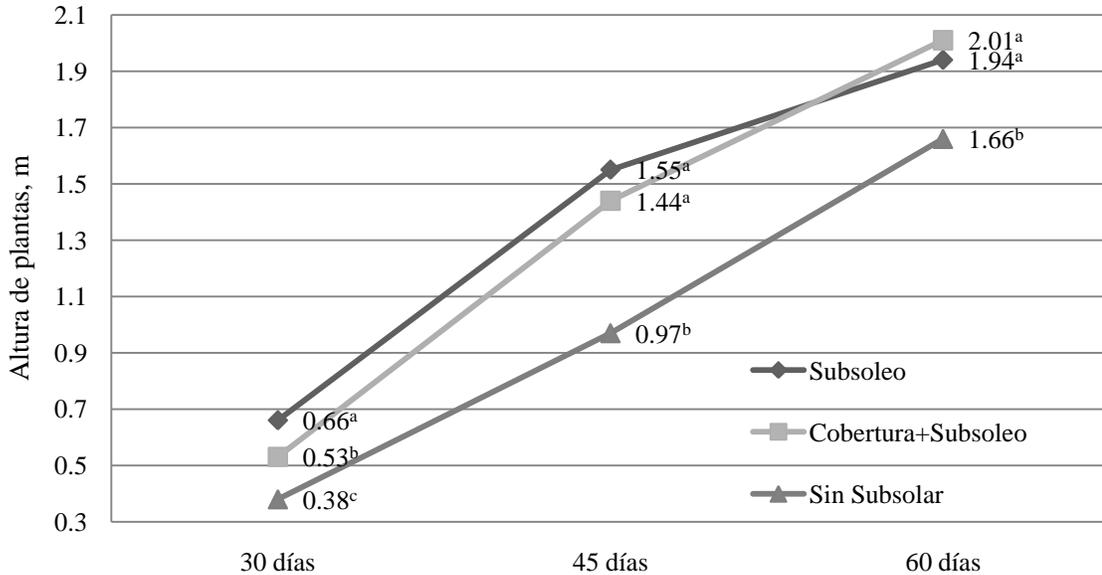


Figura 6. Efecto del subsoleo en el crecimiento del cultivo de maíz cv. 30F32WHR. Zamorano, Honduras. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras.

El rendimiento de grano de maíz del área donde hubo cultivo de cobertura seguido de subsoleo fue 35% mayor que en el área sin subsolar y el subsoleo sin cobertura produjo 30% más que el área sin subsolar (Figura 7). Si bien es cierto la diferencia entre los tratamientos subsolados con y sin cultivo previo de *Dolichos lablab* no es estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ), la cobertura aumentó la materia orgánica presente en el suelo, estabilizó agregados e incrementó la biodiversidad del suelo.

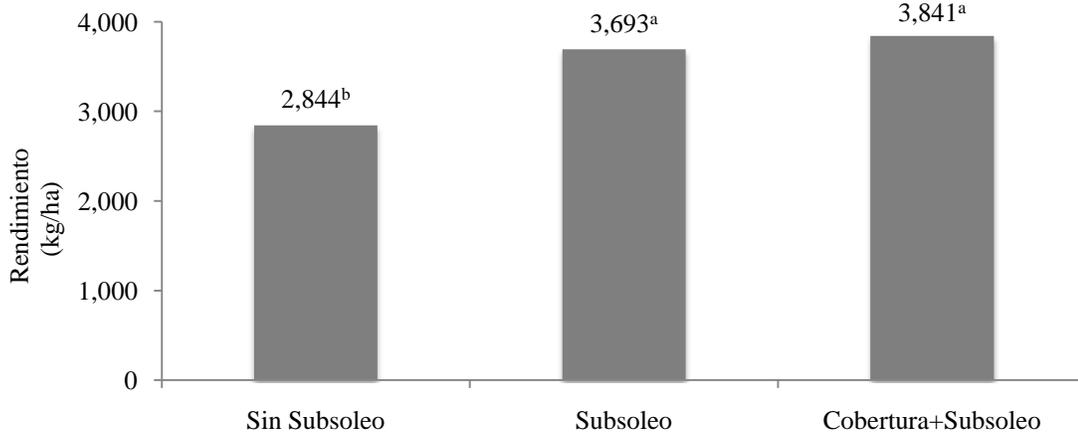


Figura 7. Rendimiento de maíz cv. 30F32WHR, en áreas subsoladas, con cultivo de cobertura seguido de subsoleo y con cobertura sin subsolar. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras.

**Análisis financiero de implementar practicas de cultivo de cobertura y uso de subsolador.** El precio del kilogramo de maíz en grano en Honduras es de \$ 0.45 (Molina Valdivia 2011), por lo tanto utilizando el subsoleo y cultivo de cobertura se obtiene una utilidad mayor (\$ 785) que sin su implementación (\$ 727). Si se realiza un subsoleo que tiene un costo por hectárea de \$ 650.00 cada 5 años, en este periodo se estima que podría volver a compactarse el terreno<sup>2</sup>. El análisis económico se realizó considerando solamente un ciclo de maíz al año durante el invierno. El resto del año en el terreno se establece cultivos hortícolas. Los costos de subsolar se cubren únicamente con el rendimiento adicional del cultivo de maíz como parte de la rotación sin tomar en cuenta el ingreso marginal que se pueda obtener de los cultivos hortícolas (Cuadro 6 y 7).

Cuadro 6. Análisis Económico marginal de implementar subsolador en el cultivo de maíz cv. 30F32WHR en un ciclo por año.

Parámetros de referencia	Año					
	0	1	2	3	4	5
Costo de subsolar (\$/ha)	-650					
Rendimiento marginal (kg/ha/año)		849	849	849	849	849
Ingreso marginal neto (\$/ha/año)		382	382	382	382	382
Valor presente (\$/ha/año)	-650	341	305	272	243	217
VAN, 12%.	727					

Cuadro 7. Análisis Económico marginal de implementar subsolador y cultivo de cobertura asociado a maíz cv. 30F32WHR en un ciclo por año.

Parámetros de referencia	Año					
	0	1	2	3	4	5
Costo de subsolar (\$/ha)	-650					
Rendimiento marginal (kg/ha/año)		997	997	997	997	997
Ingreso marginal bruto (\$/ha/año)		448	448	448	448	448
Costo cobertura (\$/ha/año)		50	50	50	50	50
Ingreso marginal neto (\$/ha/año)		398	398	398	398	398
Valor presente (\$/ha/año)	-650	355	317	283	253	226
VAN, 12%.	785					

En caso de monocultivo de maíz, sembrando tres ciclos por año subsolar cada 5 años, sigue siendo una práctica redituable, genera un Valor Actual Neto (VAN) positivo, con una tasa de descuento de 12% (Cuadro 8). El VAN para utilizar cultivo de cobertura asociado a maíz es positivo (Cuadro 9). Es rentable subsolar y establecer asocio con el maíz, solamente subsolar también es rentable. Como cultivo de rotación la respuesta del maíz al subsoleo cubre los costos de esta práctica.

<sup>2</sup> Gauggel Carlos. Ph.D. Profesor asociado E.A.P.Zamorano. Director Programa de Investigación en Suelos Estándar Fruit Company S.A. Comunicación Personal.

Cuadro 8. Análisis Económico marginal de implementar subsolador en cultivo de maíz cv. 30F32WHR sembrando tres ciclos por año.

Parámetros de referencia	Año					
	0	1	2	3	4	5
Costo de subsolar (\$/ha)	-650					
Rendimiento marginal (kg/ha/año)		2,547	2,547	2,547	2,547	2,547
Ingreso marginal neto (\$/ha/año)		1,146	1,146	1,146	1,146	1,146
Valor presente (\$/ha/año)	-650	1,023	914	816	728	650
VAN, 12%.		3,481				

Cuadro 9. Análisis Económico marginal de implementar subsolador y cobertura asociado al maíz cv. 30F32WHR sembrando tres ciclos por año.

Parámetros de referencia	Año					
	0	1	2	3	4	5
Costo de subsolar (\$/ha)	-650					
Rendimiento marginal (kg/ha/año)		2,991	2,991	2,991	2,991	2,991
Ingreso marginal bruto (\$/ha/año)		1,345	1,345	1,345	1,345	1,345
Costo cobertura (\$/ha/año)		150	150	150	150	150
Ingreso marginal neto (\$/ha/año)		1,195	1,195	1,195	1,195	1,195
Valor presente (\$/ha/año)	-650	1,067	953	851	759	678
VAN, 12%.		3,659				

## 4. CONCLUSIONES

- El uso de subsolador en el lote 0 de la sección de Olericultura de la E.A.P. Zamorano, Honduras fue efectivo para romper el pie de arado e incrementó la profundidad efectiva del suelo y el espacio poroso y mejoró la estructura.
- El cultivo de maíz en el área subsolada tuvo un mejor crecimiento que en el área sin subsolar. Subsolar y utilizar cultivos de cobertura *Dolichos lablab* incrementó 35% el rendimiento del maíz 30F32WHR. Mientras que únicamente subsolar sin cobertura incrementó 30% el rendimiento de maíz 30F32WHR.
- Después de nueve meses de subsolar su efecto en la profundidad efectiva se mantuvo a 40 cm y las raíces alcanzaron profundidades mayores. La porosidad se mantuvo entre 40 y 50 % mayor que en el área no subsolada. No se formó pie de arado.
- Si se tiene maíz como único cultivo, subsolar cada 5 años genera \$ 3,663 (VAN, 12%); si se emplea como rotación de otros cultivos subsolar cada 5 años genera \$ 908 (VAN, 12%) como ganancia marginal y los costos de otros cultivos no son afectados por el costo de subsolar. El uso de coberturas asociado a maíz genera utilidades mayores \$968 y \$3,839 (VAN, 12%) como rotación de otros cultivos y monocultivo de maíz respectivamente. Es rentable subsolar sin tomar en cuenta el beneficio del subsolador en los otros cultivos de la rotación.

## 5. RECOMENDACIONES

- Implementar labores de subsoleo como parte del plan de manejo de suelos en la unidad de Olericultura de la E.A.P. Zamorano, basado en la caracterización morfológica, física y química del suelo
- Estudiar la efectividad del subsoleo a largo plazo y su efecto en el rendimiento de otros cultivos.
- Para que el subsoleo pueda cumplir su vida útil de diseño (5 años) este se debe hacer con el suelo cerca del punto de marchitez permanente y las labores de mecanización en cada ciclo de cultivo deberán hacerse a las humedades adecuadas, de otra manera el suelo se masificara en corto tiempo, podría ser cuestión de un pase de rastra con alta humedad en el suelo.
- Evaluar económicamente el uso de cultivos de cobertura tomando en cuenta otros beneficios como fijación de nitrógeno, estrangulación de malezas, reducir incidencia de plagas entre otros.

## 6. LITERATURA CITADA

Alvarado, A. 2004. Maquinaria y mecanización agrícola. Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 280 p.

Arévalo, G. y Gauggel, C. 2009. Manual de laboratorio de ciencias de suelo y aguas. Zamorano, Honduras. 73 p.

Arévalo, G. y Gauggel, C. 2010. Manual de Prácticas de Manejo de Suelo y Nutrición Vegetal. Zamorano, Honduras. 75 p.

Baver, L.D., Gardner, W.H., y Gardner W.R., 1980. Física de Suelos. Trad. Rodriguez, J. México. Unión Topográfica Editorial. 529 p.

Calderón Quizhpe, A. P. 2007. Efecto del subsoleo y tres niveles de fertilización en la producción del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en Monte Redondo, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 20 p.

Estación Meteorológica El Zamorano. 2010. recopilación diaria de datos climáticos de la E.A.P. Zamorano, Honduras. Inédito.

Foth, H. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. México, Continental. 433 p.

Gavande, S. 1981. Física de Suelos, Principios y Aplicaciones. México. Limusa. p 81.

López, M. 1994. Horticultura. México. Trillas. 386 p.

Molina Valdivia, J. N. 2011. Impacto financiero de prácticas de subsoleo en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación Ing. Administración de Agronegocios. El Zamorano, Honduras. 25 p.

Pantoja Guamán, J. L. 2005. Efecto del subsoleo en las propiedades físicas y químicas del suelo y en el rendimiento de cuatro cultivos en Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 81 p.

SAS<sup>®</sup>. 2000. User's Guide Statistical Analysis Institute Inc. Carey N.C.

Sumner, M. 2000. Handbook of soil Science. Estados Unidos de Norte América. CRC.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Subsolador de 110 cm de profundidad trabajando. Lote 0, sección de Olericultura. E.A.P. Zamorano, Honduras, (marzo de 2010).



Anexo 2. Muestreo de densidad aparente usando un cilindro densímetro. Lote 0, sección de Olericultura E.A.P. Zamorano, Honduras, (diciembre de 2010).



Anexo 3. Comparación de fotografías de raíces en áreas con y sin subsolar. Lote 0, sección de Olericultura. E.A.P. Zamorano, Honduras, (diciembre de 2010).

