

# **Eficiencia del subsoleo con aditamento de aletas en los cinceles**

**Nancy Escalante Ñahui**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

# **Eficiencia del subsoleo con aditamento de aletas en los cinceles**

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

Presentado por

**Nancy Escalante Ñahui**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2016

## Eficiencia de subsoleo con aditamento de aletas en los cinceles

Nancy Escalante Ñahui

**Resumen.** Para reducir los altos niveles de compactación en los suelos causados por la agricultura intensiva, se ha usado el subsolador, el cual mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas. Los objetivos fueron: 1) evaluar la eficiencia de penetración (EP), de fracturación (EF) y neta (EN) de subsoleo de tres y seis tratamientos y 2) evaluar el rendimiento de campo en función del tiempo y consumo de combustible. Se realizaron dos ensayos independientes en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, en las fincas San Nicolás con los tratamientos: único pase sin aletas (S); pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS); y en El Rodeo con los tratamientos: único pase sin aletas (S); único pase con aletas (C); pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS); pase uno con aletas y pase dos sin aletas (CS); pase uno con aletas y pase dos con aletas (CC). Se utilizó un diseño completo al azar, una separación de medias Duncan, con significancia ( $P \leq 0.05$ ). Para la eficiencia se utilizó el paquete "Statistics Analysis System" (SAS® 9.4); para la variable rendimiento de campo y combustible se usó estadística descriptiva. En San Nicolás, se obtuvo la mejor EP en los tratamientos SS y SC (93.2 y 94.7 %); para la EF y la EN el mejor fue el SC (61.4%, 57.9%, respectivamente). SS y SC requirieron 5.0 horas/ha. El consumo de combustible fue igual en SS y SC (36.4 gal/ha). En El Rodeo, la mejor EP fue con CC (89.4%); para EF, fueron mejores SC y CS (55.5 y 54.3%, respectivamente); la mayor EN fue en SC, CS y CC (44.9, 43.4 y 43.8%, respectivamente). En rendimiento de campo fue mejor CS con 4.6 horas/ha; en consumo de combustible el SC con 40.2 gal/ha.

**Palabras clave:** Descompactación, fractura de suelo, subsolador, tractor.

**Abstract.** To reduce the high levels of compaction in land caused by intensive agriculture, the subsoiler offers a solution. This improves the physical, chemical and biological conditions in the soil. The objectives were: 1) evaluate the efficiency of penetration (EP), fracturing (EF) and net (EN) of the subsoiler of three and six treatments. 2) Evaluate the performance of field in function of time and fuel consumption. There were two independent studies in the Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, on-farm trials San Nicolas with treatments: single pass without fins (S); pass one without fins and pass two with fins (SC); pass one without fins and pass two finless (SS); and at the Rodeo with treatments: single pass without fins (S); single pass with fins (C); pass one without fins and pass two with fins (SC); pass one without fins and pass two finless (SS); pass one with fins and pass two finless (CS); pass one with fins and pass two with fins (CC). For the analysis it was used a complete random design, a separation of means Duncan, with significance ( $P \leq 0.05$ ). To evaluate the efficiency was the package "Statistics Analysis System" (SAS® 9.4); descriptive statistics were used for the variable field and fuel performance. In San Nicolas, was obtained the best EP in SS and SC (93.2 and 94.7%) treatments; for the EF the best was the SC (61.4%, 57.9%, respectively). SS and SC required 5.0 hours / has. Fuel consumption was equal in SS and SC (36.4 gal / has). At El Rodeo, the best EP was with CC (89.4%); for EF, were best SC and CS (55.5 and 54.3%,

respectively); the largest EN was in SC, CS and CC (44.9, 43.4 and 43.8%, respectively). In field performance was best CS with 4.6 hours / ha; consumption of fuel 40.2 SC gal / has.

**Key words:** Decompacting, fracture of soil, subsoiler, tractor.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	v
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	vi
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>20</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>21</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>22</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

	Cuadros	Página
1.	Áreas de subsoleo seleccionadas para el estudio en Zamorano, Honduras.	3
2.	Parámetros climatológicos en marzo y abril del 2016 en el Zamorano, Valle del Yeguaré, Honduras.....	3
3.	Tratamientos efectuados del subsoleo en la finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	11
4.	Tratamientos efectuados del subsolado en El Rodeo, Zamorano, Honduras.....	12
5.	Eficiencia de subsoleo, en San Nicolás, E.A.P, Zamorano, Honduras.....	14
6.	Efecto del segundo pase de subsolador en los tratamientos de San Nicolás, Zamorano, Honduras. ....	15
7.	Eficiencia de subsoleo en El Rodeo, Zamorano, Honduras.....	15
8.	Efecto del segundo pase de subsolador en El Rodeo, Zamorano, Honduras.....	16
9.	Consumo de combustible en los tratamientos de San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	16
10.	Rendimiento de campo en los tratamientos en San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	17
11.	Costo total de los tratamientos en San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	17
12.	Consumo de combustible en los tratamientos en El Rodeo, Zamorano, Honduras.....	18
13.	Rendimiento de campo de los tratamientos en El Rodeo, Zamorano, Honduras.....	18
14.	Costo total de los tratamientos en El Rodeo, Zamorano, Honduras.....	19
	Figuras	Página
1.	Ubicación del área de estudio en San Nicolás, Zamorano, Honduras. ....	4
2.	Ubicación del área de estudio en El Rodeo, Zamorano, Honduras. ....	4
3.	Puntos de barrenaciones que se efectuaron para medir textura del suelo en San Nicolás, Zamorano, Honduras. ....	5
4.	Puntos de barrenación que se efectuaron para medir la textura del suelo en El Rodeo, Zamorano, Honduras. ....	5
5.	Tractor utilizado en los tratamientos del subsoleo, Zamorano, Honduras. ...	6
6.	Descripción del subsolador estándar, sin modificación.....	6

7.	Descripción de los cinceles con aletas, subsolador modificado .....	7
8.	Dirección del primer pase del subsolador con y sin aletas en los cinceles en San Nicolás y El Rodeo, Zamorano, Honduras. ....	7
9.	Dirección del segundo pase del subsolador con y sin aletas en los cinceles en San Nicolás y El Rodeo, Zmorano, Honduras. ....	8
10.	Ubicación de los puntos para la toma de muestras de profundidad y fractura del cincel. ....	9
11.	Ubicación para la toma de muestras en San Nicolás y El Rodeo, Zamorano, Honduras. ....	9
12.	Ubicación y repeticiones de los tratamientos en San Nicolás, Zamorano, Honduras.....	11
13.	Ubicación y repeticiones de los tratamientos en El Rodeo, Zamorano, Honduras.....	12

# 1. INTRODUCCIÓN

El suelo constituye la parte fundamental del ecosistema natural o productivo agrícola. La importancia de conservar un suelo de buena calidad es particularmente patente, donde la productividad va a depender, en buena medida, del estado de conservación del suelo (De Alba *et al.* 2011). El hombre, con el fin de satisfacer sus necesidades alimenticias ha degradado el suelo en diferentes formas. La principal forma de compactación se desarrolla, por mayor proceso antrópico y menor gestión rehabilitadora del suelo (Porta *et al.* 2011), las que a largo plazo pueden ser irreversibles (Pulido y Bocco 2011).

La compactación es el fenómeno que se produce cuando se ejerce la presión en el suelo. Altera las propiedades del suelo como la porosidad y la permeabilidad. Los poros pierden conectividad y se reduce el flujo de gases y agua en el suelo lo que disminuye los niveles de agua y oxígeno, restringiendo el crecimiento y desarrollo de las raíces (SoCo 2009). La compactación es considerada como uno de los problemas en la degradación del suelo la que se antepone al complejo dinámico y las funciones vitales, pues la compactación disminuye el contenido de carbono orgánico y la diversidad biológica del suelo. Las prácticas de manejo de suelo modifican el aprovechamiento de los recursos disponibles para el crecimiento de las plantas (Lorenzati 2014).

El uso incorrecto de la mecanización con tractores es la causa de compactación más frecuente. Los tractores de ruedas provocan mayor compactación (González *et al.* 2009). En la actualidad el suelo ha sido manejado, considerando aspectos fundamentales para su cuidado como el uso correcto y eficiente de maquinaria agrícola.

La descompactación mecánica es una alternativa de manejo para incrementar el rendimiento de los cultivos, la principal forma es el uso del subsolador. El subsolado logra sustanciales mejoras en las propiedades físicas, se amplía la exploración radical en el cultivo y se favorece la actividad biológica del suelo (Iruiria *et al.* 2012).

El subsolador es un implemento que rompe las capas profundas del suelo, fracturando también las partes superficiales y causando un mejoramiento muy considerable en el drenaje natural, disminuye la escorrentía, mejora la capacidad de almacenar agua, mejora la circulación del aire y agua; al mejorar estas características físicas, el suelo tendrá mejor condición para un mejor aprovechamiento del cultivo y la relación del suelo (Álvarez y Andrango 2012).

La finalidad del subsoleo es crear una estructura óptima que posea las condiciones físicas del suelo, para incrementar el rendimiento agrícola, calidad de los cultivos y un incremento de la rentabilidad (Cabrera *et al.* 2013). Las características del suelo se ven influenciadas también por factores ambientales. Estas alteraciones se producen de modo

temporal o permanentemente. Sin embargo, en la actualidad se ha observado un mayor impacto por los efectos del cambio climático global (Porta *et al.* 2014).

El agricultor busca obtener mejores resultados por área de producción. Se han incrementado en escalas extensivas, provocando mayor uso de maquinaria agrícola e implementos que optimice el rendimiento. Sin embargo, la prioridad es obtener un trabajo más eficiente a una menor inversión. Esta investigación busca mejores resultados de eficiencia neta en subsoleo con el aditamento de aletas, que permitan realizar mayor fractura de suelo y efectividad de trabajo en el campo a una menor inversión y tiempo.

La Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, como parte del saneamiento de suelo realizó una inversión para el subsolado. Las fincas se eligieron mediante una evaluación de compactación de suelo, realizadas por la unidad de Suelos. Se considera suelos compactados al presentar una resistencia a la penetración mayor a  $4.5 \text{ kg/cm}^2$ . Los objetivos de este estudio fueron: 1) evaluar la eficiencia de penetración (EP), de fracturación (EF) y neta (EN) de subsoleo de tres y seis tratamientos, 2) evaluar el rendimiento de campo en función del tiempo y consumo de combustible.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** El estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, (EAP) en las fincas San Nicolás y El Rodeo (Cuadro 1), en marzo y abril, 2016. Las fincas están ubicadas en valle del Yeguaré, a 30 km al este de Tegucigalpa, carretera a Danlí, Honduras.

Cuadro 1. Áreas de subsoleo seleccionadas para el estudio en Zamorano, Honduras.

Finca	Lote	Área (ha)	Uso de lote
San Nicolás	Caoba	13.2	Producción de granos
San Nicolás	Portón	10.1	Producción de granos
El Rodeo	La "L"	4.0	Pastoreo de ganado
Total		27.3	

**Clima.** El valle de Yeguaré contó con los siguientes parámetros climatológicos en los meses del estudio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Parámetros climatológicos en marzo y abril del 2016 en el Zamorano, Valle del Yeguaré, Honduras.

Mes	Temperatura promedio (°C)	Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km/h)	Radiación solar (w/m <sup>2</sup> )
Marzo	25	6	64	<1	436
Abril	26	71	62	<1	456

**Delimitaciones.** Se delimitaron las áreas de las fincas de estudio con GPS y el programa Google Earth Pro<sup>®</sup> (Actualización 2016). En la finca San Nicolás cuenta con un total de área de 23.3 ha (Figura 1) y en finca el Rodeo cuenta con un total de área de 4.0 ha (Figura 2).



Figura 1. Ubicación del área de estudio en San Nicolás, Zamorano, Honduras.



Figura 2. Ubicación del área de estudio en El Rodeo, Zamorano, Honduras.

**Estudios del suelo.** Se efectuaron muestreos mediante barrenaciones para conocer la textura del suelo; los cuales indican que la finca San Nicolás presenta suelos franco y franco arcillo arenosos (Figura 3), con una estructura de bloques subangulares; grado, moderado y clase mediano y grueso; de resistencia a penetración mayor a los  $4.5 \text{ kg/cm}^2$ . En la finca El Rodeo presenta un suelo franco arcilloso (Figura 4), bloques angulares, grado moderado, clase mediano y fino; resistencia a la penetración mayor a los  $4.5 \text{ kg/cm}^2$  (Elvir Coello 2016).



Figura 3. Puntos de barrenaciones que se efectuaron para medir textura del suelo en San Nicolás, Zamorano, Honduras.



Figura 4. Puntos de barrenación que se efectuaron para medir la textura del suelo en El Rodeo, Zamorano, Honduras.

En la finca el San Nicolás el lote la Caoba tiene antecedentes de subsoleo en el año 2002 y el Portón no tiene registro de subsoleo. Estos suelos actualmente son de uso para producción de granos y semillas. Asimismo, es constantemente mecanizada utilizando rastra, arado y otros implementos de preparación de suelo. En la finca el Rodeo, lote “La L” son utilizados para pastoreo de ganado de carne, no tiene antecedentes de subsoleo y mecanización<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Arévalo, G. (septiembre de 2016). Descripción de suelos de la finca San Nicolás y Rodeo, entrevista.

**Tractor e Implemento.** Se utilizó un tractor de oruga John Deere modelo 850C, tipo bulldozer, por la potencia que requiere el subsoleo, con un mínimo de 180 HP (caballos de fuerza), considerando la resistencia que ofrecen los suelos del Zamorano. El tractor trabajo entre 2000 y 2200 revoluciones por minuto, en segunda velocidad, gama A, velocidad promedio 2.6 km/ h utilizando el acelerador de pie.



Figura 5. Tractor utilizado en los tratamientos del subsoleo, Zamorano, Honduras.

Se utilizó un subsolador de acero crudo, con cinceles rectos de una longitud 0.70 m y espaciamiento de uno con el otro de 1.5 m. Este implemento utilizó dos tipos de cinceles, el primer par corresponde al tipo estándar (sin aletas) (Figura 5), y el segundo a cinceles con aditamentos incrustados en cada uno de ellos (con aletas) de una longitud de 25 cm cada uno. Se utilizó cuatro aletas por cada cinzel del subsolador modificando los del tipo estándar (Figura 6).

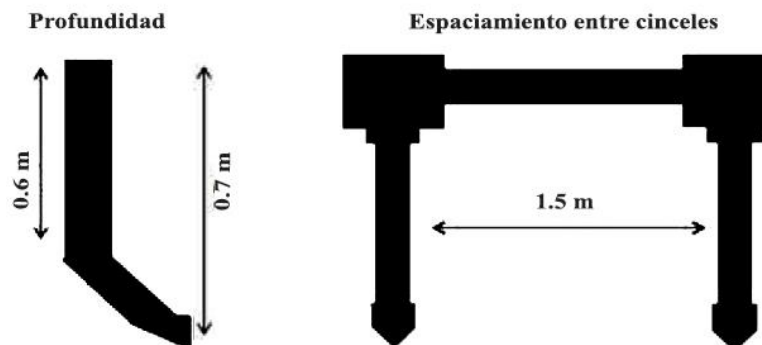


Figura 6. Descripción del subsolador estándar, sin modificación  
Fuente: (Artica Ortega y Altamirano Maldonado 2015), adaptado por el autor.

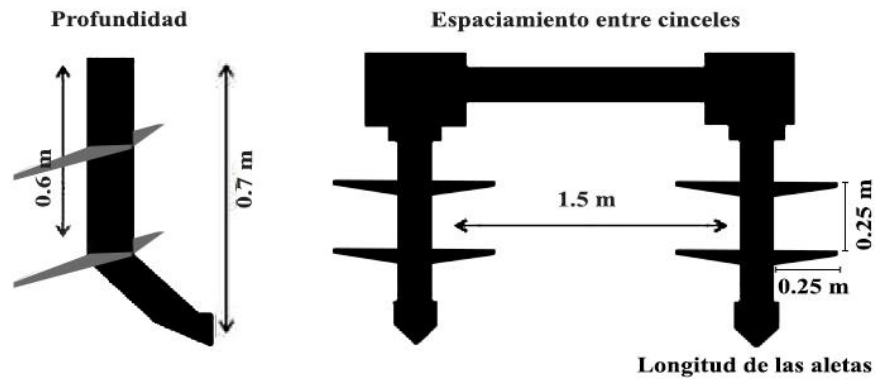


Figura 7. Descripción de los cinceles con aletas, subsolador modificado  
 Fuente: (Artica Ortega y Altamirano Maldonado 2015), adaptado por el autor.

**Dirección del subsuelo.** El primer pase fue perpendicular a la pendiente de cada lote, el segundo fue a 45° con respecto al primer pase (Figura 8 y 9). En la finca San Nicolás, la dirección del primer pase fue de este-sureste (ESE) a oeste-noroeste (ONO) y viceversa, presentado una pendiente de 0.6 %; el segundo pase se realizó con dirección de noreste (NO) a sureste (SE) y viceversa. En la finca El Rodeo, la dirección del primer pase fue de norte-noreste (NNO) a sur-sureste (SSE) y viceversa, presentado una pendiente de 1.3%; el segundo pase se realizó con dirección de norte-noreste (NNE) a sur-suroeste (SSO) y viceversa.



Figura 8. Dirección del primer pase del subsolador con y sin aletas en los cinceles en San Nicolás y El Rodeo, Zamorano, Honduras.

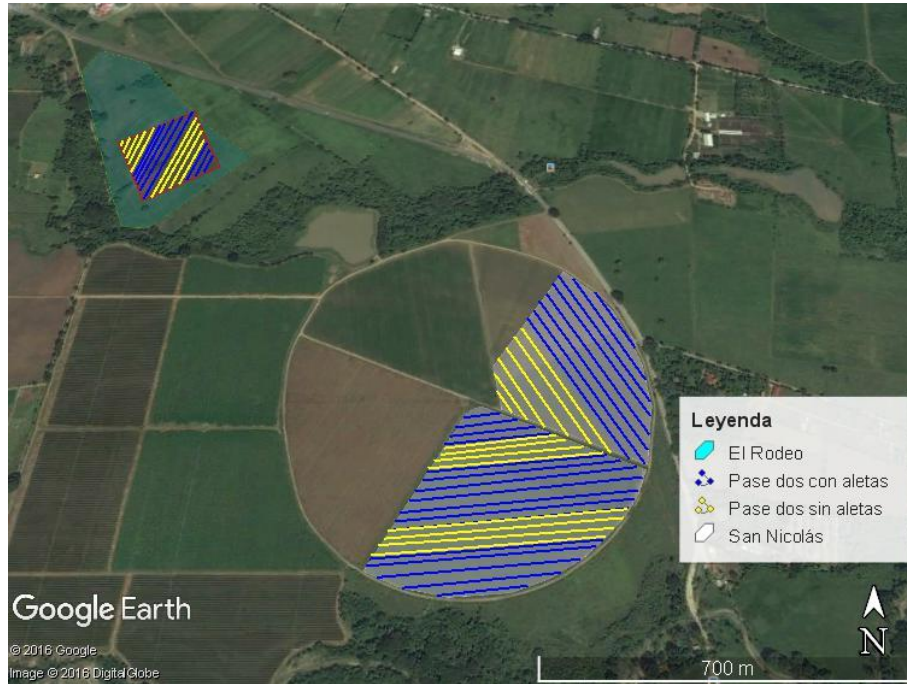


Figura 9. Dirección del segundo pase del subsolador con y sin aletas en los cinceles en San Nicolás y El Rodeo, Zamorano, Honduras.

### **Variables a evaluar en el subsoleo.**

**Penetración.** Es la profundidad a la cual penetraron los cinceles en el perfil del suelo. Se mide en la línea donde va parando el cincel, la unidad de medida en metros.

**Fractura.** Es la profundidad de rotura causada por los cinceles de forma indirecta. Se mide en el punto medio de la distancia entre pasada de los cinceles en el suelo, la unidad de medida en metros.

Para el muestreo de profundidades de cincel y fractura se utilizó una barra de acero crudo y una cinta métrica. Cada muestra cuenta con siete profundidades alcanzadas por el subsolador compuestas de la siguiente manera: cuatro profundidades alcanzadas por los cinceles y tres profundidades de fractura entre los cinceles. Las profundidades se tomaron de izquierda derecha, tomando como referencia el cincel uno como primera profundidad, asumiendo la ida y vuelta del tractor respectivamente, quedando una distancia final entre cinceles a 0.75 m (Figura 10).

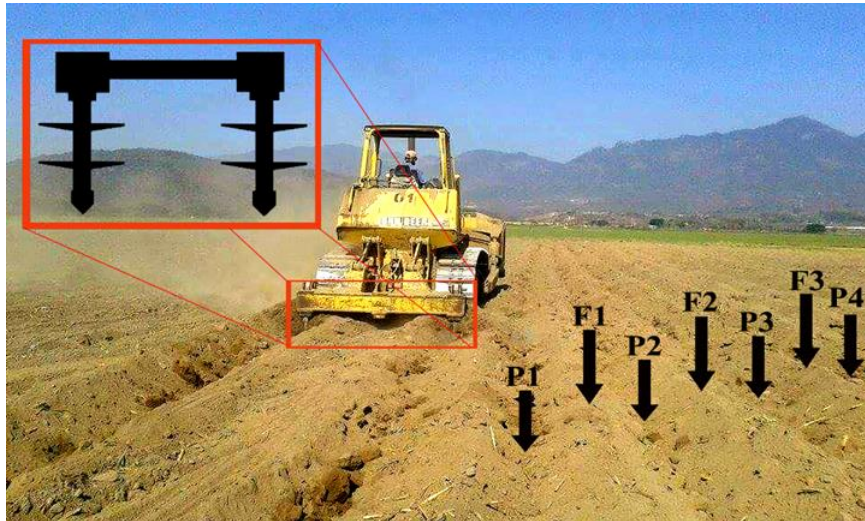


Figura 10. Ubicación de los puntos para la toma de muestras de profundidad y fractura del cincel.

**Muestras.** En la finca San Nicolás, se hizo una división de cuadrículas de 50 por 50 m, para obtener un total de 190 muestras después del primer y segundo pase, con tres y cuatro repeticiones por tratamiento (Figura 11). En la finca El Rodeo, el área de tratamiento se hizo una división de 25 por 25 m para obtener un total de 240 muestras después del primer y segundo pase (Figura 9), con ocho repeticiones en los tratamientos de único pase y cuatro repeticiones en los tratamientos que incluye primer y segundo pase (Figura 12).

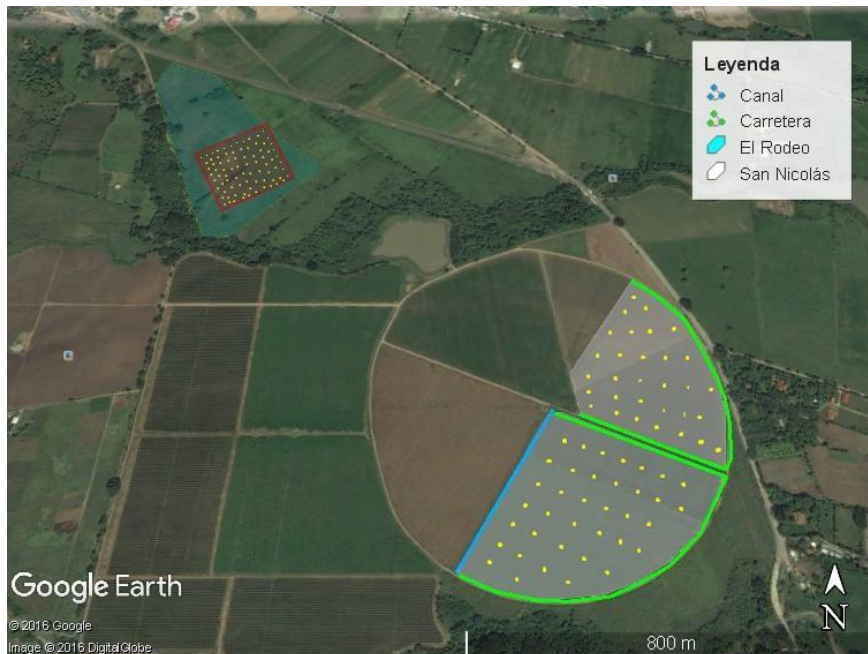


Figura 11. Ubicación para la toma de muestras en San Nicolás y El Rodeo, Zamorano, Honduras.

La eficiencia de cada pase se determinó mediante las ecuaciones [1], [2] y [3] (Arévalo y Gauggel 2014)

$$EP = \frac{PR}{PP} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

EP: Eficiencia de penetración (%). Es el porcentaje que logra penetrar el subsolador en el perfil del suelo con respecto a la longitud total del cincel. Es la relación de profundidad real entre la profundidad potencial.

PR: Profundidad real (m). Profundidad a la cual penetraron los cinceles del subsolador. Es medido en el punto donde penetraron los cinceles.

PP: Profundidad potencial (m). Longitud de los cinceles del subsolador.

$$EF = \frac{PF}{PR} \times 100 \quad [2]$$

Donde:

EF: Eficiencia de fractura (%). Porcentaje de suelo suelto entre cada cincel del subsolador. Es la relación de profundidad de fractura entre la profundidad real.

PF: Profundidad de fractura (m). Profundidad promedio que resulta de los puntos medios en la cual se encuentra suelo suelto entre los cinceles. Se mide en el punto medio de la distancia entre pasada de los cinceles en el suelo.

$$EN = \frac{EP \times EF}{100} \quad [3]$$

Donde:

EN: Eficiencia neta (%). Porcentaje de roturación total del suelo con respecto al área total de la longitud y la distancia entre cinceles.

**Eficiencia de tiempo y combustible.** Se monitoreó el tiempo de trabajo en unidades de horas por hectárea (hora/ha) y la cantidad de combustible utilizado, en galones por hectárea (gal/ha). Luego se calcularon los costos del primero y segundo pase del subsolado por tratamiento.

**Tratamientos.** Los tratamientos que se midieron en el subsoleo son los siguientes:

En la finca San Nicolás, los tratamientos realizados en el lote el Portón y Caoba (Figura 10), el tratamiento único pase sin aletas (S) en toda la finca; en el segundo pase los tratamientos son: primer pase sin aleta y segundo pase sin aletas (SS); primer pase sin aletas y segundo pase con aletas (SC) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos efectuados del subsoleo en la finca San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Tratamiento		Número de repeticiones	Codificación
Primer pase	Segundo pase		
Sin aletas	na <sup>‡</sup>	Na	S
Sin aletas	Sin aletas	3	SS
Sin aletas	Con aletas	4	SC

<sup>‡</sup>No aplica

En la finca San Nicolás en el pase uno se realizó sin aletas. Originalmente se tenía las instrucciones de realizar un subsolado común sin el aditamento de aletas en los cinceles. Sin embargo, se optó por adicionar las aletas por recomendaciones de la Unidad de Suelos de la E.A.P, Zamorano, con la finalidad de incrementar fractura del suelo y tener mayor eficiencia del subsoleo. Sin embargo, al implementar las aletas en el subsolador se decidió hacer pruebas de variación en el primero y segundo pase con y sin aletas en los cinceles. (Figura 12).

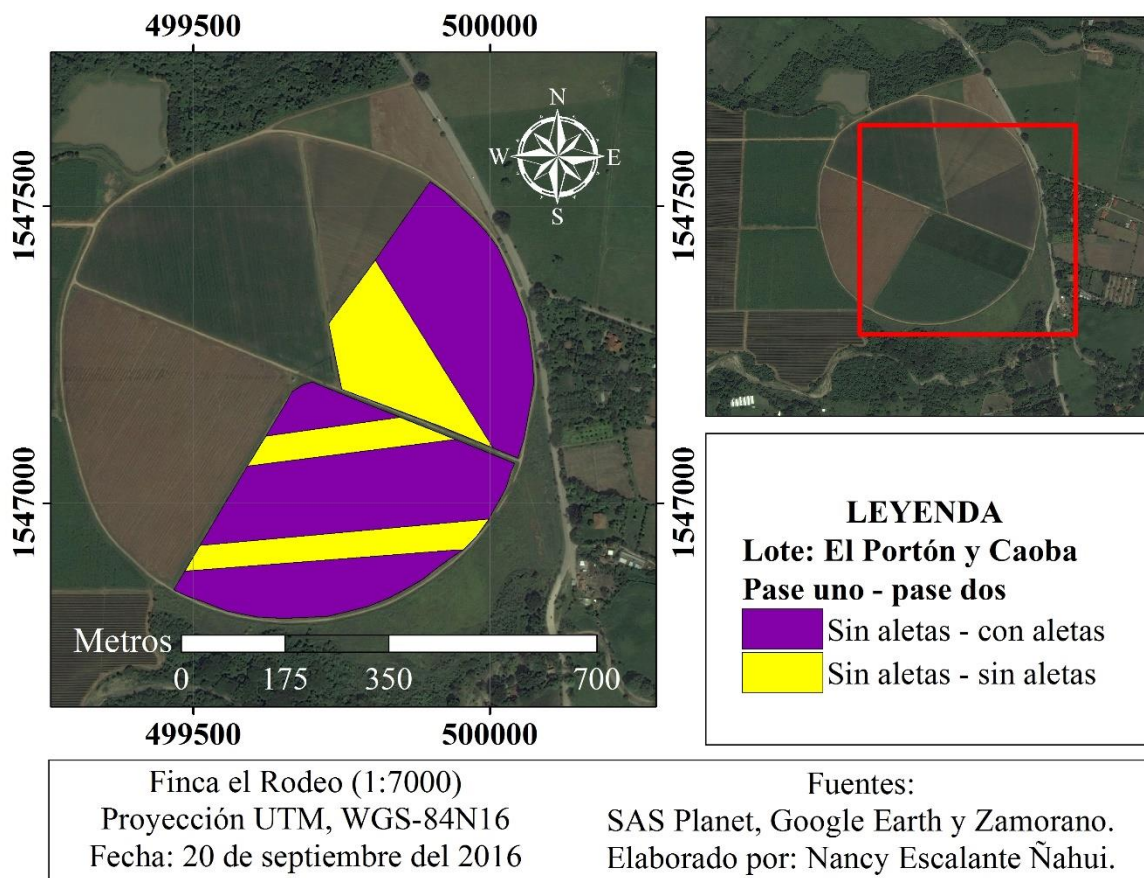


Figura 12. Ubicación y repeticiones de los tratamientos en San Nicolás, Zamorano, Honduras.

En la finca El Rodeo (Figura 13), los tratamientos que se realizaron fueron los siguientes: único pase sin aletas (S); único con aletas(C); primer pase sin aletas y segundo pase sin aletas (SS); primer pase sin aletas y segundo pase con aletas (SC); primer pase con aletas y segundo pase sin aletas (CS); primer pase con aletas y segundo pase con aletas (CC) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tratamientos efectuados del subsolado en El Rodeo, Zamorano, Honduras.

Tratamiento		Número de repeticiones	Codificación
Primer pase	Segundo pase		
Sin aletas	na <sup>‡</sup>	8	S
Con aletas	na	8	C
Sin aletas	Sin aletas	4	SS
Sin aletas	Con aletas	4	SC
Con aletas	Sin aletas	4	CS
Con aletas	Con aletas	4	CC

<sup>‡</sup> No aplica

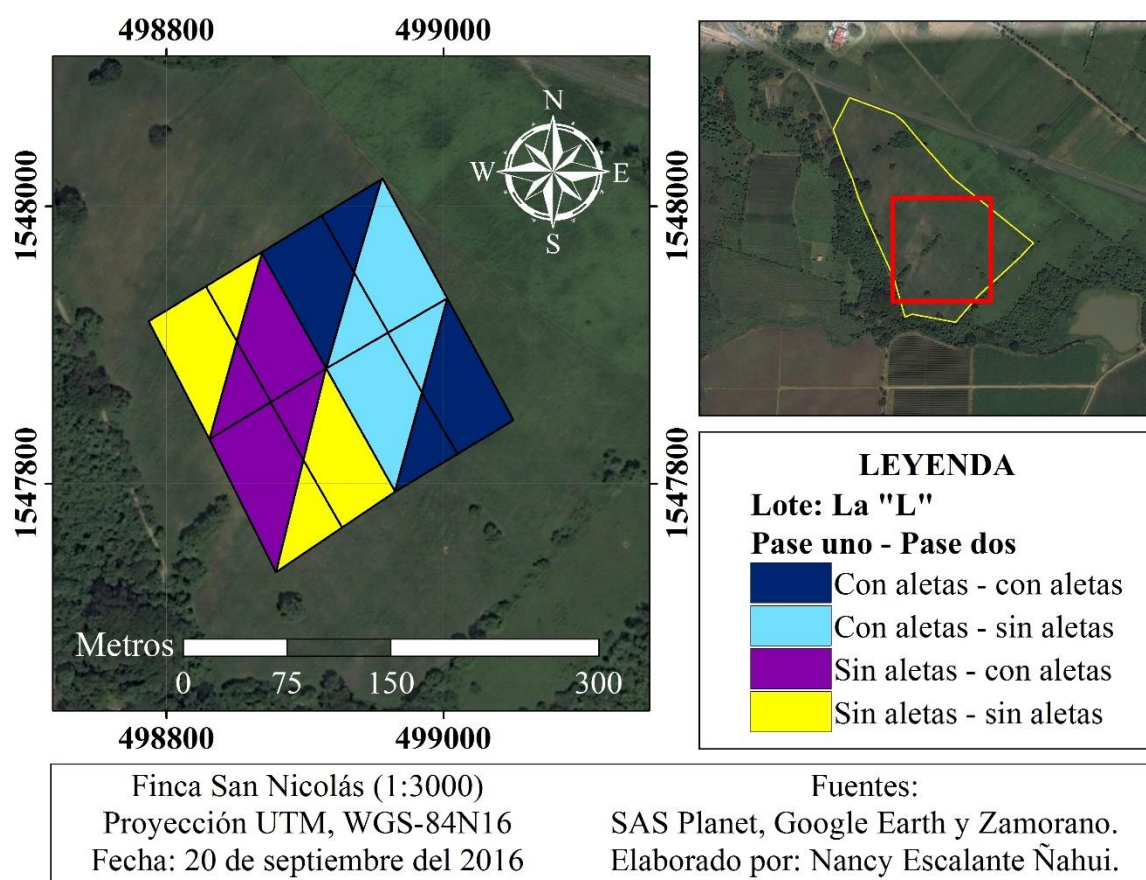


Figura 13. Ubicación y repeticiones de los tratamientos en El Rodeo, Zamorano, Honduras.

**Diseño experimental y análisis estadístico.** Para los variables eficiencia de penetración y rendimiento de cultivo en el campo, se utilizó el diseño completo al azar (DCA), con una separación de medias Duncan, con significancia  $P \leq 0.05$ , utilizando el programa “Statistics Analysis System” (SAS<sup>®</sup> 9.4). Para el análisis de los variables de tiempo y combustible, se utilizó estadística descriptiva.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Eficiencia de subsoleo

**Finca San Nicolás.** La eficiencia de penetración en los tratamientos SS y SC fue de 93.23 y 94.65%, respectivamente, sin diferencias significativas. La mayor eficiencia de fractura se dio en el tratamiento SC con 61.44%. La eficiencia neta en SC fue de 57.84%, siendo este resultado el mayor, en comparación con los demás tratamientos, considerando estas diferencias significativas. Este resultado se atribuye al aumento en la eficiencia de fractura por el aditamento de aletas en los cinceles (Cuadro 5).

Cuadro 5. Eficiencia de subsoleo, en San Nicolás, E.A.P, Zamorano, Honduras.

Tratamiento <sup>Ω</sup>	Profundidad (m)		Eficiencia (%)		
	Penetración	Fractura	Penetración	Fractura	Neta
S	0.59 b	0.28 c	83.49 b	48.24 c	40.20 c
SS	0.65 a	0.34 b	93.23 a	52.69 b	48.66 b
SC	0.66 a	0.40 a	94.65 a	61.44 a	57.87 a
R <sup>2</sup>	0.54	0.67	0.55	0.41	0.67
CV	6.95	11.89	6.90	13.78	12.04
Subsoleo	**	*	**	**	**

<sup>Ω</sup>, único pase sin aletas (S); pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS).

\* y \*\* significativo ( $P \leq 0.05$ ), altamente significativo ( $P \leq 0.0001$ ) y no significativo respectivamente. La diferencia entre los valores a y b son estadísticamente significativos ( $P \leq 0.05$ ).

El hacer un segundo pase con aletas (SC) aumentó en un 43.90% la eficiencia neta de subsoleo, si lo comparamos con el estudio hecho anteriormente en el cual usamos un único pase sin aletas (S) (Cuadro 6). Esto indica que el subsoleo rompe las capas profundas del suelo (Álvarez y Andrango 2012), de esta forma se crea una estructura óptima que posea las condiciones físicas necesarias, para el mejor aprovechamiento de los factores primordiales del cultivo (SoCo 2009).

Cuadro 6. Efecto del segundo pase de subsolador en los tratamientos de San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Tratamientos <sup>Ω</sup>	Eficiencia neta (%)		Aumento / Disminución (%)
	Pase uno	Pase dos	
SS	40.2	48.6	21
SC	40.2	57.8	43.9

<sup>Ω</sup>, único pase sin aletas (S); pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS).

**Finca El Rodeo.** La eficiencia de penetración en el CC fue de 89.39% mejor que los demás tratamientos. En eficiencia de fractura los tratamientos SC y CS presentaron 55.45 y 54.28%, respectivamente, los cuales fueron mayores a los demás. Sin embargo, en la eficiencia neta, los tratamientos con aditamento de aletas SC, CS y CC fueron 44.93, 43.41 y 43.83%, respectivamente (Cuadro 7).

La eficiencia en San Nicolás fue mayor, en comparación con El Rodeo. La compactación producida por el pisoteo de animales (El Rodeo) es aún más severa que la generada por el uso de maquinaria (Hinojosa y Méndez 2010) y los resultados de fractura fueron menores en un suelo de pastoreo, con respecto del uso agrícola.

Cuadro 7. Eficiencia de subsoleo en El Rodeo, Zamorano, Honduras.

Tratamiento <sup>Ω</sup>	Profundidad (m)		Eficiencia (%)		
	Penetración	Fractura	Penetración	Fractura	Neta
S	0.58 cb	0.17 c	82.75 cb	30.17 d	24.95 c
C	0.49 d	0.17 c	65.49 d	37.89 c	24.81 c
SS	0.59 b	0.25 b	84.68 b	41.91 c	35.4 b
SC	0.56 c	0.31 a	79.93 c	55.45 a	44.93 a
CS	0.57 c	0.31 a	80.79 c	54.28 a	43.41 a
CC	0.63 a	0.30 a	89.39 a	48.67 b	43.83 a
R <sup>2</sup>	0.6	0.62	0.6	0.53	0.6
CV	8.57	22.14	8.64	22	22.55
Subsoleo	*	**	*	**	**

<sup>Ω</sup>; único pase sin aletas (S); único pase con aletas (C); pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS); pase uno con aletas y pase dos sin aletas (CS); pase uno con aletas y pase dos con aletas (CC).

\* y \*\*, significativo ( $P \leq 0.05$ ), altamente significativo ( $P \leq 0.0001$ ) y no significativo respectivamente. La diferencia entre los valores a, b y c son estadísticamente significativos ( $P \leq 0.05$ ).

El hacer un segundo pase con aletas (SC) aumentó en un 77.10% la eficiencia neta de subsoleo, si lo comparamos con solamente un pase con o sin aletas (C) y (S), respectivamente. El efecto del segundo pase en la finca El Rodeo fue mayor en

comparación con la finca San Nicolás. Se considera que un suelo sin antecedentes de mecanización es más susceptible al subsoleo, en comparación con otra que tiene antecedentes de mecanización (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto del segundo pase de subsolador en El Rodeo, Zamorano, Honduras.

Tratamientos <sup>Ω</sup>	Eficiencia neta (%)		Aumento / Disminución (%)
	Pase uno	Pase dos	
SS	24.9	35.4	42.3
SC	24.9	44.1	77.1

<sup>Ω</sup>; pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS).

El espaciamiento final entre los cinceles, el cual fue de 0.75 m con una longitud de 0.70 m, pudo haber afectado esta eficiencia. Para que el subsoleo sea eficiente, el espaciamiento entre los cinceles no debe ser mayor a la longitud del cincel (FAO 2005). Estos suelos han presentado una menor eficiencia a la óptima recomendada. Se considera que la eficiencia de subsoleo en el campo debe de estar en un rango del 70 a 80% (Porta *et al.* 2014).

### Rendimiento de tiempo y combustible.

**Finca San Nicolás.** No hubo diferencia entre los tratamientos SS y SC, en cuanto al consumo de combustible, en ambos se obtuvo datos de 36.40 y 36.43 gal/ha, respectivamente. En este estudio el consumo de combustible en un suelo agrícola no varió, a pesar que el SC presentó mayor fractura del suelo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Consumo de combustible en galones por hectárea de los tratamientos de San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Tratamiento <sup>Ω</sup>	Combustible (gal)	Área (ha)	Consumo (gal/ha)
S	515.00	23.50	21.91
SS	626.00	17.20	36.40
SC	785.00	21.55	36.43

<sup>Ω</sup>; único pase sin aletas (S); pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS).

El rendimiento de campo obtenido en horas por hectárea en San Nicolás, no presentó diferencia entre tratamientos SS y SC, ya que estos fueron de 4.9 y 4.83 horas/ha, respectivamente. Por lo que se atribuye, que el subsoleo con o sin aletas en dos pases, se efectúa en el mismo tiempo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Rendimiento de campo en horas por hectárea de los tratamientos en San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Tratamientos <sup>Ω</sup>	Tiempo (horas)		Área (ha)		Rendimiento de campo (horas/ha)		
	Pase uno	Pase dos	Pase uno	Pase dos	Pase uno	Pase dos	Total
S	54	0	23.50	0	2.30	0	2.30
SS	54	22	23.50	8.44	2.30	2.61	4.90
SC	54	40	23.50	15.84	2.30	2.53	4.82

<sup>Ω</sup>; único pase sin aletas (S); pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS).

Se incluyeron los costos de los tratamientos. El alquiler del tractor y el combustible se mantuvieron constantes, US\$ 65.68 por hora y US\$ 2.56 por galón, respectivamente. El tratamiento SC generó un costo de US\$ 410.04 por hectárea. Después del subsoleo, mejora la calidad del suelo, el rendimiento en la producción será potencial (Molina Valdivia 2011), porque hace que el agua y gas que pasan por los poros se incremente y habilite el pase de más oxígeno que facilita la disponibilidad de nutrientes en el suelo (IPNI 2014), por lo que, los costos que se ocasionan durante el proceso de subsoleo serán recuperados con el incremento en la producción del cultivo (Cuadro 11).

Cuadro 11. Costo por hectárea, en US\$ de los tratamientos en San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Tratamiento <sup>Ω</sup>	Rendimiento de campo (horas/ha)	Costo de alquiler del tractor (US\$/hora)	Consumo de combustible (gal/ha)	Costo del combustible (US\$/gal)	Costo total (US\$/ha)
S	2.30	65.68	21.91	2.56	207.03
SS	4.90	65.68	36.40	2.56	415.30
SC	4.82	65.68	36.43	2.56	410.04

<sup>Ω</sup>; único pase sin aletas (S); pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS).

**Finca El Rodeo.** En rendimiento de consumo de combustible el tratamiento SC empleó 40.18 gal/ha, siendo el más eficiente con respecto a los demás. Mientras que el tratamiento CC fue menos eficiente, ya que utilizó 45.84 gal/ha. Se atribuye mayor consumo de combustible al aditamento de aletas en los cinceles. Se observó que estos crearon mayor resistencia al tractor durante la labor del subsoleo. Para mejorar la resistencia el operador incrementó las revoluciones del motor, haciendo un efecto incrementado el consumo de combustible (Cuadro 12).

Cuadro 12. Consumo de combustible en los tratamientos en El Rodeo, Zamorano, Honduras.

Tratamiento <sup>Ω</sup>	Combustible (gal)	Área (ha)	Consumo de combustible (gal/ha)
S	58.00	2.96	19.59
C	62.00	2.70	22.96
SS	86.00	4.16	42.93
SC	79.00	3.98	40.18
CS	84.00	3.77	43.52
CC	89.00	3.88	45.84

<sup>Ω</sup>; único pase sin aletas (S); único pase con aletas (C); pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS); pase uno con aletas y pase dos sin aletas (CS); pase uno con aletas y pase dos con aletas (CC).

El rendimiento de campo en horas por hectárea, el tratamiento CS se efectuó en 4.64 horas/ha, siendo el más eficiente respecto a los demás. Mientras que el tratamiento SS, fue menos eficiente, ya que se efectuó en 5.50 horas/ha. Se atribuye, este resultado debido a que el área de estudio fue menor en comparación con los demás. Un terreno de área reducida hace que el tractor realice más giros en ida y vuelta, de este modo se incrementa el tiempo muerto de la labor (OIT 2008), afectando las horas de trabajo (Cuadro 13).

Cuadro 13. Rendimiento de campo de los tratamientos en El Rodeo, Zamorano, Honduras.

Tratamientos <sup>Ω</sup>	Tiempo (horas)		Área (ha)		Rendimiento de campo (horas/ha)		
	Pase uno	Pase dos	Pase uno	Pase dos	Pase uno	Pase dos	Total
S	8.00	0	2.96	0	2.70	0	2.70
C	5.83	0	2.70	0	2.16	0	2.16
SS	8.00	3.36	2.96	1.20	2.70	2.80	5.50
SC	8.00	2.58	2.96	1.02	2.70	2.53	5.23
CS	5.83	2.65	2.70	1.07	2.16	2.48	4.64
CC	5.83	3.49	2.70	1.18	2.16	2.96	5.12

<sup>Ω</sup>; único pase sin aletas (S); único pase con aletas (C); pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS); pase uno con aletas y pase dos sin aletas (CS); pase uno con aletas y pase dos con aletas (CC).

Se incluyeron los costos generados por hectárea para cada tratamiento. El alquiler del tractor y el combustible se mantuvieron constantes para el presente estudio, US\$ 65.68 por hora y US\$ 2.56 por galón, respectivamente. El tratamiento SS generó mayor costo con US\$ 470.59 por hectárea, con respecto a los otros. Este resultado fue mayor, ya que ocupó más horas durante la labor, con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 13). Además, el subsuelo es considerado como una labor lenta y costosa por la maquinaria utilizada (Camarillo 2011).

Cuadro 14. Costo por hectárea, en US\$ de los tratamientos en El Rodeo, Zamorano, Honduras.

Tratamiento <sup>Ω</sup>	Rendimiento de campo (horas/ha)	Costo de alquiler del tractor (US\$/hora)	Consumo de combustible (gal/ha)	Costo del combustible (US\$/gal)	Costo total (US\$/ha)
S	2.70	65.58	19.59	2.56	227.41
C	2.16	65.58	22.96	2.56	200.39
SS	5.50	65.58	42.93	2.56	470.59
SC	5.23	65.58	40.18	2.56	445.81
CS	4.64	65.58	43.52	2.56	415.49
CC	5.12	65.58	45.84	2.56	452.98

<sup>Ω</sup>; único pase sin aletas (S); único pase con aletas (C); pase uno sin aletas y pase dos con aletas (SC); pase uno sin aletas y pase dos sin aletas (SS); pase uno con aletas y pase dos sin aletas (CS); pase uno con aletas y pase dos con aletas (CC).

#### 4. CONCLUSIONES

- En suelos sin antecedentes de mecanización, cuando se hace un solo pase de subsoleo, el usar o no usar aletas arroja los mismos resultados en lo referente a eficiencia neta de subsoleo.
- El aditamento de aletas sí aumenta la eficiencia neta, tanto en suelos con antecedentes de mecanización como en suelos sin antecedentes de mecanización.
- Pasar de un único pase sin aletas a dos pases de subsolador sin aletas aumentó en un 21% la eficiencia neta en suelos con antecedentes de mecanización; en un suelo sin antecedentes de mecanización fue de 42%.
- Pasar de un único pase sin aletas a dos pases del subsolador sin aletas y con aletas aumentó en un 43% la eficiencia neta en suelos con antecedentes de mecanización; en suelos sin antecedentes de mecanización fue de 77%.
- En un suelo con antecedentes de mecanización, usar o no aletas en los cinceles, no afecta el rendimiento de campo ni el consumo de combustible, el cual fue de 5 horas/ha y de 36 galones /ha, respectivamente.
- En un suelo sin antecedentes de mecanización, usar aletas en los cinceles en el primer y segundo pase, afectó el consumo de combustible, el cual fue de 45.84 gal/ha, comparado con primer pase sin aletas y segundo pase sin aletas que fue de 40.18; el tratamiento sin aletas primer pase y sin aletas segundo pase utilizó 5.50 horas/ha por tener mayor tiempo muerto durante la labor del subsoleo.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Evaluar el rendimiento de tiempo y combustible en la labor de subsoleo con aditamento de aletas en áreas más extensas con menor tiempo muerto.
- Evaluar el rendimiento de cultivos, implementando cinceles con aditamento de aletas.
- Realizar nuevos estudios con el aditamento de diseños diferentes de aletas.
- Analizar el uso de la tecnología AMS, consumo de combustible y rendimiento de campo.
- Se recomienda el uso de subsoleo con aditamentos en suelos sin y con antecedentes de mecanización, ya que incrementa la fractura del suelo.

## 6. LITERATURA CITADA

- Andrango R, Álvarez F. 2012. Manual de preparación de suelos con tracción motriz. Programa de Manejo Integrado de Plagas en América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 125p.
- Artica Ortega JA, Altamirano Maldonado, JA. 2015. Evaluación técnica de la eficiencia del subsoleo y su efecto en el rastreo en texturas franco y franco arcillo arenosa. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 26p.
- Arévalo G, Gauggel C. 2014. Manual de manejo de suelos y nutrición vegetal tercer Año. Tegucigalpa: LITHOCOM. 94p.
- Arévalo G, Gauggel C. 2015. Manual de manejo de suelos y agua tercer Año. Tegucigalpa: LITHOCOM. 99p.
- Elvir Coello JA. 2016. Diagnóstico de la compactación de los suelos para determinar subsoleo y registro de su adecuación en los lotes agropecuarios, Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 50p.
- Cabrera E, Gallardo R, Rodríguez JA. 2013. La sostenibilidad del olivar: producción convencional vs. ecológica en Los Pedroches. ITEA, información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), (3), 345-369p.
- De Alba S, Alcázar M, Cermeño M, Barbero F. 2011. Erosión y manejo del suelo. importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos. Capitulo13\_38.pdf. 19p.
- FAO. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. Boletín de suelos de la FAO 79. 112 p.
- González O, Iglesias CE, Herrera M. 2009. Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 18(2), 57-63.
- Hinostroza J, Méndez P. 2010. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Preparación de suelos. 29p.

- IPNI (International plant nutrition institute). 2014. Compactación de suelos, su prevención y manejo; [consultado 2016 Oct 2]. [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/5645a8b1584def3305257e0e0068db6e/\\$FILE/AA%20-%206%20Junio-2014.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/5645a8b1584def3305257e0e0068db6e/$FILE/AA%20-%206%20Junio-2014.pdf).
- Irurtia CB, Pozzolo OR, Botta GL, Elisei J, González NC. 2012. Descompactación mecánica. bases para un modelo predictivo de respuesta productiva. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16 al 20 de abril de 2012. Mar del Plata, Buenos Aires. AR. 19p.
- Lorenzati A. 2014. Análisis estadístico de los efectos de la descompactación y el cultivo de cobertura sobre el contenido hídrico del suelo en un área de la región central de Córdoba. Tesis Ing. Agr. Facultad de ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Colombia. 19p.
- Molina Valdivia JN. 2011. Impacto financiero de prácticas de subsoleo en la Escuela Agrícola Panamericana. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 32p.
- OIT (Oficina Internacional del Trabajo). 2008. Medición del tiempo de trabajo. 1- 10 de octubre de 2008. Reunión de expertos en estadística del Trabajo. Ginebra.
- Porta J, López M, Poch RM. 2011. Introducción a la edafología, uso y protección de suelos. Mundi-Prensa Libros. 451p
- Porta J, López M, Poch RM. 2014. Edafología: uso y protección de suelos. Mundi-Prensa Libros. 608p.
- Pulido J, Bocco G. 2011. ¿Cómo se evalúa la degradación de tierras? Panorama global y local. Interciencia, Vol. 36 (2). 96-103p.
- SoCo. 2009. Agricultura sostenible y conservación de los suelos, procesos de degradación del suelo. Ficha informativa, (4). 40p.