

**Evaluación técnica de la eficiencia del
subsoleo y su efecto en el rastreo en texturas
franco arcillosa y franco arcillo arenosa**

**Angel Armando Artica Ortega
José Antonio Altamirano Maldonado**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación técnica de la eficiencia del subsoleo y su efecto en el rastreo en texturas franco arcillosa y franco arcillo arenosa

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

Presentado por

Angel Armando Artica Ortega
José Antonio Altamirano Maldonado

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2015

Evaluación técnica de la eficiencia del subsoleo y su efecto en el rastreo en texturas franco arcillosa y franco arcillo arenosa

Presentado por:

Angel Armando Artica Ortega
José Antonio Altamirano Maldonado

Aprobado:

Francisco Álvarez, M.A.E.
Asesor principal

John Jairo Hincapié, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria

Ana Carolina Padilla. Ing.
Asesora

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Evaluación técnica de la eficiencia del subsoleo y su efecto en el rastreo en texturas franco arcillosa y franco arcillo arenosa

Angel Armando Artica Ortega
José Antonio Altamirano Maldonado

Resumen: La compactación limita el desarrollo de las plantas. Los objetivos fueron evaluar la eficiencia neta de uno y dos pases de subsolador en dos fincas de zamorano; evaluar el rendimiento en ha/h de uno y dos pases del subsolador; evaluar el efecto de dos pases de subsolador en el rastreo y estimar el costo del subsoleo y rastreo. El estudio fue en mayo y junio, en el lote Tobiata de San Nicolás (11 ha), textura franco arcillo arenosa, humedad de 19%; los lotes 3, 4, 5 y 6 de Monte Redondo (20.05 ha), textura franco arcillosa, humedad de 23%, dejando un testigo de 0.40 ha en cada lote. Se utilizó un subsolador con tres cinceles y un tractor John Deere 850C. Los tratamientos fueron un pase y dos pases de subsolador. Se pasó una rastra pesada Baldan para evaluar las profundidades alcanzadas; los tratamientos fueron rastreo con subsoleo y rastreo sin subsoleo. Para analizar los datos se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo en parcelas divididas, un Modelo Lineal General (GLM) y separación de medias Duncan, con una $P \leq 0.05$. No hubo diferencia en la eficiencia neta en un pase de subsolador entre los lotes (36.16% en Tobiata y 34.07% en Monte Redondo). Con dos pases, sí hubo diferencia, Tobiata aumentó la eficiencia neta en 5.97% y Monte Redondo 1.9%. Hubo mayor rendimiento en ha/h tanto en un pase (0.53) como en dos pases (0.66) en el lote Tobiata, comparado con Monte Redondo que obtuvo en un pase (0.50) y en dos pases (0.53). La rastra alcanzó mayores profundidades en los lotes subsolados, en Tobiata penetró 0.21 m y su testigo 0.18 m, Monte Redondo penetró 0.23 m y su testigo 0.16 m. El costo promedio de subsolar fue de US\$/ha 346.24 y el costo promedio de rastrear fue de US\$/ha 34.61.

Palabras clave: Compactación, eficiencia de fractura, eficiencia neta, eficiencia de penetración, resistencia a la penetración.

Abstract: Compaction or structure loss by massification limits plants growth. The objectives of the study were to evaluate the efficiency of net fracture of one and two ripper pass in two of Zamorano farms; evaluate the efficiency in ha/h of one and two ripper pass; evaluate the effect of two ripper passes in a heavy harrow pass and estimate the cost of the ripper passes and the heavy harrow pass. The study was done in May and June, in Tobiata lot, at San Nicolas farm (11 ha) with a sandy clay loam texture, a humidity of 19%; and lots 3, 4, 5 and 6 of Monte Redondo (20.05 ha) with a clay loam texture and a humidity of 23%, leaving a witness of 0.40 ha in each lot. A three chisel ripper was used, coupled to a John Deere 850C tractor; the treatments were one pass and two ripper pass. A heavy harrow pass was made to evaluate the depths reached; the treatments were harrow pass in ripped areas and harrow pass in non-ripped areas. A Baldan brand harrow was used for this activity. To analyze the information a design randomized complete block in Split Plot and a General Linear Model (GLM) with a Duncan test for the means was applied with a $P \leq 0.05$ significance level. There was no significant difference in the net efficiency in one pass between lots (36.16% in Tobiata and 34.07% in Monte Redondo). On the second Pass, there was an increase in the net efficiency in Tobiata lot of 5.97% and Monte Redondo 1.9%. There was a better performance in ha/h in one pass (0.53) and also in two ripper pass (0.66)

in Tobiata lot compared with the performance of Monte Redondo in one pass (0.50) and two passes (0.53). The heavy harrow reached higher depths in ripped areas, Tobiata reached an average of 0.21 m depth in ripped areas compared to its witness, reaching 0.18 m. Monte Redondo reached an average of 0.23 m in ripped areas and witness 0.16 m. The average cost of ripping was US\$/ha 346.24 and the average cost of ripping was US\$/ha 34.61.

Key words: Compaction, fracture efficiency, net efficiency, penetration efficiency, penetration resistance.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	v
Índice de Cuadros y Figuras.....	vi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4 CONCLUSIONES	16
5 RECOMENDACIONES	17
6 LITERATURA CITADA	18

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Áreas seleccionadas para el estudio en Zamorano, Honduras.....	3
2. Parametros climatológicos en abril, mayo y junio del 2015 en Zamorano, Honduras.....	3
3. Calicatas antes del subsoleo en los lotes Tobiata y Monte Redondo, Zamorano, Honduras.....	10
4. Profundidades y eficiencias promedio del subsolador entre tratamientos en los lotes Tobiata y Monte Redondo, Zamorano, Honduras.....	11
5. Profundidades y eficiencias promedio en el primer pase del subsolador en los lotes Tobiata y Monte Redondo, Zamorano, Honduras.....	11
6. Profundidades y eficiencias promedio en el segundo pase del subsolador en los lotes Tobiata y Monte Redondo, Zamorano, Honduras.....	12
7. Resistencias a la penetración (kg/cm ²) en Tobiata, Zamorano, Honduras antes y después del subsoleo.....	13
8. Resistencias a la penetración (kg/cm ²) en Monte Redondo, Zamorano, Honduras antes y después del subsoleo.....	13
9. Eficiencias del subsolador con base en tiempo y área mecanizada en Zamorano, Honduras.....	13
10. Costo total del subsoleo los lotes Tobiata y Monte Redondo de Zamorano, Honduras.....	14
11. Profundidades alcanzadas por la rastra entre tratamientos (metros) en Zamorano, Honduras.....	15
12. Costo total del rastreo en los lotes Tobiata y Monte Redondo de Zamorano, Honduras.....	15
Figuras	Página
1. Lotes Tobiata y Monte Redondo seleccionados para el estudio en Zamorano, Honduras.....	4
2. Ubicación de las calicatas en los lotes Tobiata y Monte Redondo en Zamorano, Honduras.....	4
3. Descripción del subsolador utilizado en Zamorano, Honduras.....	5
4. Dirección del primer pase del subsolador en los lotes Tobiata y Monte Redondo de Zamorano, Honduras.....	5
5. Dirección del segundo pase del subsolador en los lotes Tobiata y Monte Redondo de Zamorano, Honduras.....	6
6. Ubicación para la toma de muestras en los lotes Tobiata y Monte Redondo de Zamorano, Honduras.....	6
7. Ubicación de los puntos para la toma de muestras de profundidad.....	7

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas en la agricultura es la degradación de los suelos debido a la implementación de prácticas inadecuadas de manejo. Durante las últimas décadas, se han realizado numerosas prácticas para evitar la degradación de los suelos, pero el cambio en la adopción de nuevas tecnologías no ha sido significativo debido a que el número de personal técnico especializado para este cambio es limitado (FAO 2000). La degradación de la estructura del suelo muchas veces llamada compactación es la forma más seria de degradación de los suelos. De todos los tipos de degradación que presentan los suelos, la degradación por compactación es reversible y predecible o al menos controlable (FAO s.f.). La degradación por compactación del suelo es formada por el uso de equipos pesados, el laboreo frecuente a la misma profundidad y también por el constante pisoteo animal, esta se ve agravada en suelos con alto contenido de arcilla y alto contenido de humedad (Guerra Serrano y Mendieta Servellón 2011).

Una consolidación antropogénica es producida por el tráfico, pisoteo y laboreo inoportuno del suelo. La magnitud de esta consolidación depende de la intensidad, oportunidad y frecuencia de carga que soporta el suelo (Sánchez 1981).

La compactación reduce la circulación de aire entre las partículas del suelo, restringe el crecimiento radicular y en general a mayor densidad aparente decrece la permeabilidad, haciendo que los cultivos estén propensos a anegarse (Longman Scientific & Technical 1991). Para dar solución a este problema de compactación se han hecho diferentes estudios en la utilización del subsolador, el cual tiene como finalidad romper la capa compactada del perfil de suelo, mejorar la estructura y retención de humedad. El subsoleo es conocido como rasgado o cincelado profundo y esta actividad implica introducir una barra pesada equipada con una punta ascendente, a través del suelo (Hanselka 2002).

Generalmente el subsolador consta de tres cinceles distanciados a más de 50 cm y capaz de penetrar más de 30 cm, por esta razón se necesita maquinaria con alta potencia para que la labor sea eficiente. Estudios realizados en Zamorano concluyen que la actividad de subsoleo mejora la estructura del suelo, hay un mejor desarrollo radicular, reduce la resistencia a la penetración y mejora la porosidad del suelo (Pantoja Guamán 2005). El subsoleo beneficia la producción de materia seca en pasto estrella con rendimientos de 8.04 t/ha/año superiores a los rendimientos en un área no subsolada (Calderon Quizhpe 2007). En la producción de maíz, el área subsolada presenta un aumento de 849 kg/ha en comparación con la producción de un área no subsolada (Galarza Brito 2011).

Después del uso del subsolador, se hace una labranza secundaria para romper los agregados grandes que deja el subsoleo. La rastra pesada es considerada un implemento de labranza secundaria, fractura e invierte el suelo a profundidades menores que el arado. Este

implemento nos ayuda a reducir el tamaño de los agregados del suelo para brindar un mejor contacto entre el suelo, la semilla y posteriormente el sistema radicular de la planta (Andrango y Álvarez 2012).

La actividad de rastreo nos permite tener una buena incorporación de residuos orgánicos y materia verde como las malezas al suelo. *Cyperus rotundus*, *Sorghum halepense* y *Cynodon nlemfuensis* son malezas que pueden ser diseminadas con la maquinaria usada para la labranza. Con el uso de rastras los agricultores pueden pasar la semilla de estas malezas de un campo a otro (Pitty 1997).

Partiendo de la eficiencia lograda con el subsolador se puede esperar una mayor eficiencia en la actividad de rastreo ya que posiblemente la rastra alcanzaría mayores profundidades en el suelo con los discos.

Debido a los problemas de compactación en algunas fincas de Zamorano la institución realizó una inversión para subsolar estas áreas. Las fincas se eligieron por considerarse suelos compactados con una resistencia a la penetración mayor a 4.50 kg/cm^2 (Threadgill 1982). Este estudio tiene como objetivos: evaluar la eficiencia de fractura neta de uno y dos pases del subsolador en dos fincas de Zamorano; evaluar el rendimiento en ha/h de uno y dos pases del subsolador; evaluar el efecto de dos pases del subsolador en el rastreo; estimar el costo de las actividades de subsoleo y rastreo en las fincas mecanizadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, (EAP) en las fincas San Nicolás y Monte Redondo (Cuadro 1), en mayo y junio del 2015. Las fincas están ubicadas en el valle del Yeguaré, a 30 kilómetros de Tegucigalpa carretera a Danlí, Honduras.

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

Finca	Lote	Área (ha)	Uso del lote
San Nicolás	Tobiatá	11.00	Producción de granos
Monte Redondo	3, 4, 5 y 6	20.45	Pastoreo

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

Cuadro 2. Parámetros climatológicos en abril, mayo y junio del 2015 en Zamorano, Honduras.

Mes	Temperatura promedio (°C)	Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km/h)	Radiación solar (w/m ²)
Abril	25	29	60	1	458
Mayo	23	56	62	1	358
Junio	24	74	75	1	351

(Estación EAP, Zamorano, Honduras 2015).

Delimitación. Se delimitaron los lotes con un GPS y el programa Google Earth Pro. En cada lote se destinó un área de 0.40 hectáreas como testigo del estudio (Figura 1).



Figura 1. Lotes Tobiata y Monte Redondo seleccionados para el estudio en Zamorano, Honduras.

Estudio de suelos. Se usaron estudios de suelo realizados en años anteriores, para conocer la textura de los perfiles; los cuales indican que el lote Tobiata presenta suelos franco arenoso y franco arcillo arenosos (Barahona Flores 2000). Monte Redondo presenta suelos franco y franco arcillosos (Fernández Díaz 2003). También, se abrieron tres calicatas en cada lote para corroborar la información obtenida de estos estudios, conocer la resistencia a la penetración y la estructura del suelo. Las calicatas se distribuyeron al azar en cada lote (Figura 2). Las dimensiones fueron de 1 m de ancho \times 1 m de largo \times 0.70 m de profundidad.



Figura 2. Ubicación de las calicatas en los lotes Tobiata y Monte Redondo en EAP, Zamorano, Honduras.

Para abrir las calicatas se utilizó una piocha, una pala y una barra, un formato para describir el perfil de suelo en campo, un cuchillo edafológico, un penetrometro de bolsillo, la tabla Munsell, agua y cinta métrica.

Las actividades de labranza que se realizaron en cada lote fueron subsoleo y rastreo.

Subsoleo

Se hicieron dos pases con el subsolador en cada lote para determinar y evaluar la eficiencia de cada pase. Se usó un subsolador marca Vail acoplado a un tractor John Deere modelo 850C, tipo bulldozer, con una potencia de 180 caballos de fuerza. El subsolador contó con tres cinceles de perfil rectangular, rectos, con un espaciamiento de 1.07 m entre cinceles y una longitud de 0.70 m cada cinzel (Figura 3).

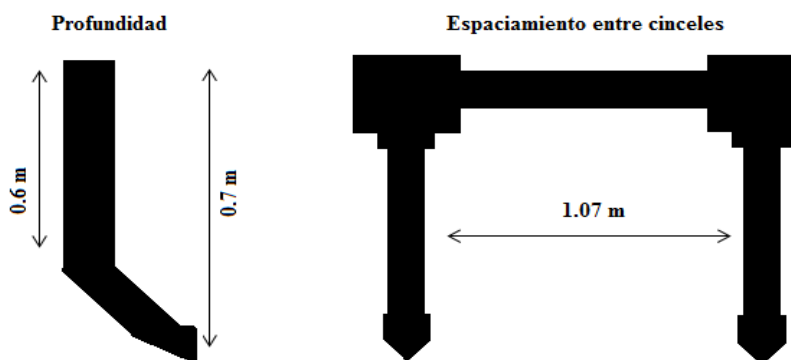


Figura 3. Descripción del subsolador utilizado en Zamorano, Honduras.

El tractor trabajó entre 1,900 y 2,000 revoluciones por minuto, en segunda velocidad, gama A, utilizando un acelerador de pie, a una velocidad de 3 km/h en el primer pase y a 4 km/h en el segundo pase. El primer pase fue perpendicular a la pendiente de cada lote; el segundo pase fue a 45° con respecto al primer pase (Figura 4 y 5).



Figura 4. Dirección del primer pase del subsolador en los lotes Tobiatá y Monte Redondo de Zamorano, Honduras.



Figura 5. Dirección del segundo pase del subsolador en los lotes Tobiata y Monte Redondo de Zamorano, Honduras.

VARIABLES A EVALUAR EN EL SUBSUELO

Penetración y fractura. El lote Tobiata se dividió cada 80 m con respecto al drenaje y cada 40 m con respecto a la carretera, para obtener un total de 28 muestras. Monte Redondo se dividió cada 50 m en dirección a los canales y cada 50 m perpendicular a ellos para obtener un total de 39 muestras (Figura 6). Esta misma división se utilizó para tomar las muestras en el segundo pase.



Figura 6. Ubicación para la toma de muestras en los lotes Tobiata y Monte Redondo de Zamorano, Honduras.

Para el muestreo de profundidades se utilizó un penetrómetro Agratronix™ y una cinta métrica. Para cada muestra se tomaron cinco profundidades alcanzadas por el subsolador compuestas de la siguiente manera: dos profundidades alcanzadas por los cincelos y tres profundidades de fractura entre los cincelos.

Las profundidades se tomaron de izquierda a derecha, tomando como referencia el cincel uno como primer profundidad, asumiendo una ubicación detrás del tractor (Figura 7).

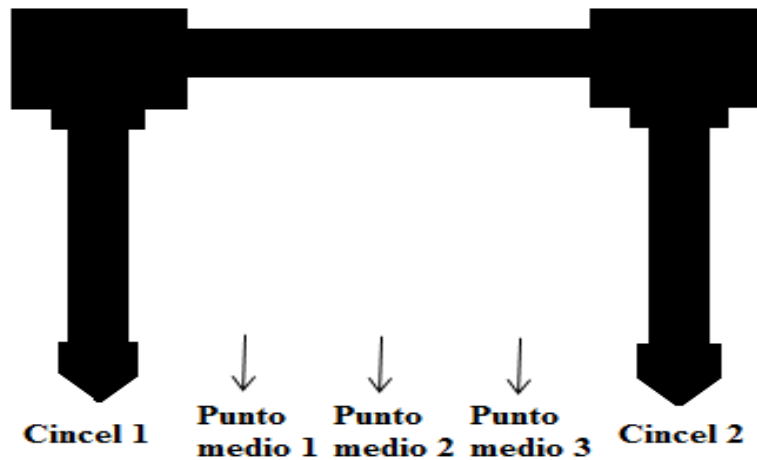


Figura 7. Ubicación de los puntos para la toma de muestras de profundidad.

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

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

donde:

EP: Eficiencia de penetración (%). Es el porcentaje que logra penetrar el subsolador en el perfil de suelo.

PR: Profundidad real (m). Profundidad a la cual penetraron los cincelos del subsolador.

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

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

donde:

EF: Eficiencia de fractura (%). Porcentaje de suelo suelto entre cada cincel del subsolador.

PF: Profundidad de fractura (m). Profundidad promedio que resulta de los puntos medios en la cual se encuentra suelo suelto entre los cincelos.

PR: Profundidad real (m). Profundidad a la cual penetraron los cincelos del subsolador.

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

donde:

EN: Eficiencia neta (%). Porcentaje de roturación total del suelo.

EP: Eficiencia de penetración (%). Es el porcentaje que logra penetrar el subsolador en el perfil de suelo.

EF: Eficiencia de fractura (%). Porcentaje de suelo suelto entre cada cincel del subsolador.

Después de cada pase se abrieron tres calicatas contiguas a las ya existentes, para evaluar si existió algún cambio en la resistencia a la penetración en los horizontes en el primer pase y en el segundo pase del subsolador. Las dimensiones de las calicatas fueron las mismas que las de las calicatas anteriores.

Capacidad efectiva de campo del tractor. Para calcular la capacidad efectiva de campo se tomó el horómetro inicial y final del tractor. El horómetro inicial se tomó desde el momento que comenzó el subsoleo en cada lote. El horómetro final se tomó cuando el tractor salía del campo, terminando el día laboral, al terminar uno de los pases o al terminar de subsolar uno de los lotes. Se tomó en cuenta el tiempo de transporte del tractor de un lote a otro para restarlo de los horómetros, esto debido a que la capacidad efectiva se ve afectada. Este procedimiento aplicó en todos los lotes para determinar la eficiencia en hectáreas por hora. Esta eficiencia se determinó mediante la ecuación [4], (Álvarez 2004)

$$E = \frac{CEC}{CTC} * 100 \quad [4]$$

donde:

E: Eficiencia (%). Relación de la capacidad efectiva en el campo con capacidad teórica en el campo.

CEC: Capacidad efectiva de campo (ha/h). Verificación precisa del número de hectáreas realmente trabajadas.

CTC: Capacidad teórica de campo (ha/h). Cantidad de trabajo que sería realizado si no hubiese pérdida de tiempo. La capacidad teórica se calcula con base en el ancho del implemento y la velocidad a la que se trabaja.

Costo del subsoleo

Se tomó en cuenta la variable tiempo para estimar el costo de cada pase y el costo total de subsolar los lotes. La variable tiempo hace referencia a la capacidad efectiva de trabajo, es decir, el tiempo real que el subsolador trabajó en cada lote, eliminando el tiempo de transporte de un lote a otro. Por otra parte se tomó en cuenta el flete de las maquinas, costo del combustible y costo por hora de la maquina.

Para la labranza secundaria, se realizó un pase de rastra en los lotes y en los testigos para evaluar el efecto del uso de subsolador en esta actividad.

Rastreo.

Se utilizó una rastra pesada Baldan, modelo offset acoplada a un tractor John Deere 6415. La rastra tenía 24 discos espaciados a 0.22 m y el tamaño de estos era de 0.60 m de diámetro. El peso aproximado de la rastra fue de 4,630 kilogramos. El tractor trabajó a 2200 revoluciones por minuto, en tercera velocidad, gama B, utilizando un acelerador de mano.

Variables

Profundidades alcanzadas por la rastra. Para determinar las profundidades alcanzadas por la rastra se utilizó el mismo método de muestreo del subsoleo en los lotes. En cada testigo se tomó un total de diez muestras para compararlas con las muestras de los lotes. El testigo ayudó a cuantificar el beneficio del subsoleo en el rastreo. Para tomar las muestras se excavó hasta llegar a los agregados más grandes que la rastra no pudo desagregar; se utilizó una pala y una cinta métrica para medir las profundidades.

Costo de rastreo

La variable tiempo se utilizó para estimar el costo del rastreo. Se tomó en cuenta el costo por hora del tractor y el implemento, transporte hacia los lotes y las horas trabajadas.

Diseño estadístico:

Para analizar la eficiencia del subsoleo en los lotes Tobiata y Monte Redondo se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo en Parcelas Divididas.

Subsoleo

Parcelas: Esta actividad contó con dos parcelas las cuales fueron: lote Tobiata y lote Monte Redondo

Tratamientos: El subsoleo contó con dos tratamientos los cuales fueron un pase de subsolador y dos pases de subsolador.

Rastreo

Parcelas: Esta actividad contó con dos parcelas; lote Tobiata y Monte Redondo.

Tratamientos: El rastreo contó con dos tratamientos los cuales fueron: Rastreo en área subsolada y Rastreo en área no subsolada.

Análisis estadístico:

Se aplicó un Modelo Lineal General (GLM) y separación de medias Duncan, con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$, utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS® 9.3).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el lote Tobiata las texturas predominantes son franco arenoso y franco arcillo arenoso (Barahona Flores 2000). En Monte Redondo comúnmente se observan texturas francas y franco arcillosas en los primeros horizontes (Fernández Díaz 2003).

En los primeros horizontes (0-20 cm) de las tres calicatas hechas previas al subsoleo en el lote Tobiata se observó una resistencia a la penetración de 1.5 kg/cm². Esto se debe a la labranza constante en el lote. En horizontes más profundos (20-64 cm) se observan resistencias a la penetración de 4.0 kg/cm², que representa compactación o masificación (Threadgill 1982). Al momento de subsolar este lote tenía un 19% de humedad.

A diferencia del lote Tobiata en Monte Redondo no hay labranza constante, debido a esto, se encontró que desde los primeros horizontes (0 a 63 cm) existió una resistencia a la penetración mayor a 4.5 kg/cm², lo cual representa compactación en todo el perfil del suelo. Este lote presentó una humedad de 23% durante el subsoleo.

Se hizo un promedio de las profundidades y la resistencia a la penetración en calicatas hechas en cada lote (Cuadro 3).

Cuadro 3. Calicatas antes del subsoleo en los lotes Tobiata y Monte Redondo de Zamorano, Honduras.

Lotes	Profundidades (cm)	R.P. (kg/cm ²)
Tobiata	0-20	1.5
	20-38	4.0
	38-64	>4.5
Monte Redondo	0-15	>4.5
	15-27	>4.5
	27-63	>4.5

R.P. resistencia a la penetración

Penetración y fractura. En la eficiencia de penetración existió diferencia estadística entre los tratamientos; el primer pase tuvo una penetración promedio de 68.81% en los lotes comparado con el segundo pase, el cual presentó una penetración promedio de 50.69%. En la eficiencia de fractura no existió diferencia estadística entre los tratamientos presentando una eficiencia de fractura promedio de 52.09%. Con base en lo anterior, la eficiencia neta presentó diferencia estadística; el segundo pase tuvo mayor eficiencia presentando una eficiencia promedio en el perfil del suelo del 34.89%, comparado con el primer pase que presentó una eficiencia promedio de 38.70% en el perfil del suelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Profundidades y eficiencias promedio del subsolador entre los tratamientos en los lotes Tobiata y Monte Redondo, Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Profundidad (metros)		Eficiencia (%)		
	Penetración	Fractura	Penetración [§]	Fractura	Neta [§]
Primer pase	0.48	0.24	68.81b	50.69a	34.89b
Segundo pase	0.51	0.27	73.12a	53.50a	38.70a
Probabilidad			0.016	ns	0.015

§ Medias en la misma columna con diferente letra muestran diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

ns no significativo.

No se encontró diferencia estadística en ninguna de las eficiencias en el primer pase entre los lotes (cuadro 5).

Cuadro 5. Profundidades y eficiencias promedio en el primer pase del subsolador en los lotes Tobiata y Monte Redondo, Zamorano, Honduras.

Lotes	Profundidad (metros)		Eficiencia (%)		
	Penetración	Fractura	Penetración	Fractura	Neta
Tobiata	0.49	0.26	70.32	52.32	36.16
Monte Redondo	0.47	0.23	67.84	49.64	34.07
$P < 0.05$			ns	ns	ns

ns: no significativo.

La baja eficiencia del subsoleo se atribuye a la presencia de rastrojo en los lotes. Antes del primer pase en el lote Tobiata había presencia de rastrojo de maíz y en Monte Redondo había presencia de macollas de pasto, lo cual influyó en que el subsolador no alcanzara su profundidad máxima. El subsolador arrastraba el rastrojo hasta cierto punto que el implemento tenía que ser levantado para desatascarlo lo que provocó que la eficiencia se viera afectada. Esta información concuerda con estudios previos realizados por la FAO (2000) en donde se demostró que la presencia de rastrojo afecta el subsoleo.

Otro de los factores que influyó en la eficiencia del subsoleo probablemente fue la relación entre la longitud y el espaciado entre los cinceles. El espaciado entre los cinceles fue de 1.05 m y la longitud de los cinceles fue de 0.70 m, para que el subsoleo sea eficiente el espaciado entre los cinceles no debe ser mayor a la longitud del cincel (FAO 2005).

La penetración pudo haber sido afectada porque la potencia del tractor se dividió entre tres cinceles, asignando, en promedio, 60 caballos de fuerza a cada cincel. Si la labor hubiese sido con dos cinceles, el tractor hubiese dividido su potencia en 90 caballos de fuerza para cada cincel, con una mayor probabilidad de profundizar más en el perfil de suelo. Si la eficiencia de penetración aumenta, la eficiencia de fractura aumentaría también, por ende se obtendría una mejor eficiencia neta.

Entre lotes, hubo diferencia significativa en la eficiencia de penetración. La eficiencia de fractura no tuvo diferencia estadística. Con base en lo anterior, en la eficiencia neta si existió diferencia estadística entre los lotes; el lote Tobiata presentó una eficiencia mayor comparado con Monte Redondo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Profundidades y eficiencias promedio en el segundo pase del subsolador en los lotes Tobiata y Monte Redondo, Zamorano Honduras.

Lotes	Profundidad (metros)		Eficiencia (%)		
	Penetración	Fractura	Penetración [§]	Fractura	Neta [§]
Tobiata	52.01	27.98	77.58a	55.00	42.13a
Monte Redondo	48.09	24.51	69.59b	52.30	35.97b
Probabilidad			0.003	ns	0.005

§ Medias en la misma columna con diferente letra muestran diferencia significativa con una $P \leq 0.05$.

ns: no significativo.

Esto se atribuye al uso de cada lote, ya que el lote Tobiata es utilizada para la siembra de cultivos como maíz, sorgo y frijol y está en constante laboreo, removiendo los primeros horizontes del suelo. Monte Redondo es utilizado para pastoreo, y el pisoteo animal crea una compactación mayor que el uso de maquinaria agrícola (FAO 2000). Por esta razón el grado de compactación en Monte Redondo era más severo.

La compactación en el suelo causada por el pastoreo, es debido a que la pezuña de la vaca tiene poca área de contacto con el suelo con respecto al peso corporal. Con vacunos de peso promedio de 450 kilos, es de 97 cm² y ejercen una presión estática de 144 kPa, mientras los tractores ejercen una presión entre 74 y 81 kPa (Taboada 2007).

La humedad juega un papel importante en el uso de este implemento, para obtener la máxima eficiencia de fractura es necesario que el suelo este lo más seco posible entre 5 a 15% (Carrasco *et al.* 2008). La humedad encontrada en los lotes fue de 19% para Tobiata y 23% para Monte Redondo, la cual tuvo influencia en la eficiencia.

Los datos obtenidos no muestran una eficiencia de subsoleo aceptable para los lotes. La eficiencia del subsoleo se considera aceptable si se obtiene una eficiencia neta mayor a 70% (Arévalo y Gauggel 2010).

Galarza Brito (2011) reportó que con una eficiencia de subsoleo de 87% obtuvo un rendimiento de 3,693 kg/ha de maíz, comparado con un área no subsolada que presentó un rendimiento de 2,844 kg/ha, lo que representa una diferencia de 849 kg/ha de maíz, entre ambos (29%)

Monte Redondo es destinado al pastoreo, en este caso alimentan a los animales con pastos. Calderon Quizhpe (2007) reportó que con una eficiencia en subsoleo de 70.2% obtuvo una

producción de materia seca en pasto estrella de 25.49 ton/ha/año; el área no subsolada presentó un rendimiento en materia seca de 17.45 ton/ha/año. El área subsolada presentó un aumento en la producción de materia seca en pasto estrella de 8.04 ton/ha/año (46%) Con los datos presentados anteriormente, no se puede concluir que teniendo una eficiencia por debajo del nivel aceptable, no se pueden obtener estos rendimientos sin antes evaluarlo; esto se debe a que los rendimientos no aumentan en el mismo porcentaje que aumenta la eficiencia.

Después de la mecanización con el subsolador en los lotes, se observó una reducción en la resistencia a la penetración en los primeros horizontes del suelo (Cuadro 7 y 8). Esta información fue tomada de las tres calicatas hechas después del primer pase y de las tres calicatas hechas en el segundo pase.

Cuadro 7. Resistencias a la penetración (kg/cm²) en el lote Tobiata, Zamorano, Honduras antes y después del subsoleo.

Tratamientos	Profundidades		
	1 (0-20 cm)	2 (20-38 cm)	3 (38-64 cm)
Antes del subsoleo	1.5	4.0	>4.5
Primer pase	0	2.5	4.0
Segundo pase	0	1.5	4.0

Cuadro 8. Resistencias a la penetración (kg/cm²) en Monte Redondo, Zamorano, Honduras antes y después del subsoleo.

Tratamientos	Profundidades		
	1 (0-15) cm	2 (15-27 cm)	3 (27-63 cm)
Antes del subsoleo	4.0	>4.5	>4.5
Primer pase	1.5	3.5	>4.5
Segundo pase	0.5	3.0	4.0

Capacidad efectiva de campo. Se obtuvo mayor eficiencia del subsoleo en Tobiata tanto en el primer pase como en el segundo pase comparado con Monte Redondo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Eficiencias del subsolador con base en tiempo y área mecanizada en Zamorano Honduras.

Lotes	CTC (ha/h)		CEC (ha/h)		Eficiencia (%)	
	Pase 1	Pase 2	Pase 1	Pase 2	Pase 1	Pase 2
Tobiata	0.64	0.85	0.53	0.66	82	78
Monte Redondo	0.64	0.85	0.50	0.53	59	62

CTC: Capacidad teórica de campo

CEC: Capacidad efectiva de campo

Esta diferencia es atribuida a la resistencia a la penetración que existía antes del primer pase en Monte Redondo, siendo esta mayor a 4.5 kg/cm² en las primeras profundidades. Como

se mencionó anteriormente, la capacidad teórica se calcula a partir del ancho del implemento y la velocidad a la que trabaja. En el primer pase el tractor trabajó a 3 km/h y en el segundo pase a 4 km/h, es por esto que se observa un aumento en la capacidad teórica en el segundo pase. La capacidad efectiva es el resultado de las hectáreas mecanizadas entre el tiempo que se tarda en realizar la actividad.

Existe una reducción de la eficiencia en el segundo pase en el lote Tobiata. Esto se le atribuye al aumento en el número de vueltas del tractor en el segundo pase con respecto al primer pase. En el primer pase el tractor dio 187 vueltas en total, mientras que en el segundo pase dio 237 vueltas, esto representa un aumento de 27% de vueltas, por lo tanto la capacidad efectiva del segundo pase se redujo. En Monte Redondo la eficiencia aumento 3% en el segundo pase debido a que aumentó la velocidad y no se aumentó el número de vueltas.

Costo del subsoleo

En el lote Tobiata, el primer pase de subsolador se hizo en 20 horas, mientras que el segundo pase, el número de horas se redujo a 16. En Monte Redondo el primer pase se hizo en 40 horas y en el segundo pase el número de horas se redujo a 38. El costo promedio del subsoleo fue de US\$/ha 346.24 (Cuadro 10).

Cuadro 10. Costo total del subsoleo en los lotes Tobiata y Monte Redondo de Zamorano, Honduras.

Lotes	Descripción	Área (ha)	horas	ha/h	US\$/hora del tractor	Total US\$	US\$/ha
Tobiata	Flete					345.8	32.55
	Primer pase	10.6	20	0.53	84.32	1,686.35	159.09
	Segundo pase	10.6	16	0.66	84.32	1,349.12	127.27
	Subtotal					3,381.27	318.91
Monte Redondo	Flete					654.2	32.62
	Primer pase	20.05	40	0.5	84.32	3,372.80	168.64
	Segundo pase	20.05	38	0.53	84.32	3,204.16	159.09
	Subtotal					7,231.16	360.35
Total						10,612.43	679.26

Profundidades alcanzadas por la rastra. Existe diferencia estadística en las profundidades alcanzadas por la rastra entre los tratamientos. El lote Tobiata en el tratamiento Rastra con subsolador presentó una media de 0.21 m comparado con los 0.18 m del tratamiento rastra sin subsolar del mismo lote. Monte Redondo, en el tratamiento Rastra + subsolador tuvo mejores resultados que Rastra sin subsolar, con una diferencia de 0.07 m de diferencia en profundidad (Cuadro 11).

La diferencia en profundidades en el tratamiento Rastra + subsolador entre ambos lotes se le atribuye al rastreo. En Monte Redondo se alcanzó en promedio 2 cm más de profundidad debido a que en el lote Tobiata el rastreo de maíz era superficial.

Cuadro 11. Profundidades alcanzadas por la rastra entre tratamientos (metros) en Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Lotes	
	Tobiata [§]	Monte Redondo [§]
Rastra + subsolador	0.21a	0.23a
Rastra sin subsolar	0.18b	0.16b

§ Medias en la misma columnas con diferente letra muestran diferencia significativa con una $P < 0.05$

Costo de rastreo

El lote Tobiata contó con un área de 11.00 hectáreas en donde se hizo un pase de rastra, el pase se realizó en 10.98 horas y tuvo un costo promedio de US\$/ha 31.77.

Monte Redondo contó con un área de 20.45 ha; el pase de rastra se hizo en 19.05 horas y presentó un costo de US\$/ha 29.65. (Cuadro 12).

Cuadro 12. Costo total del rastreo en los lotes Tobiata y Monte Redondo de Zamorano, Honduras.

Descripción	Área (ha)	Horas	Ha/h	US\$/hora del tractor	Total US\$	US\$/ha
Transporte		4.17		31.83	132.73	
Tobiata	11.00	10.98	0.99	31.83	349.49	31.77
Monte Redondo	20.45	19.05	0.93	31.83	606.36	29.65
Total					1,088.59	34.61

4. CONCLUSIONES

Las eficiencias netas obtenidas entre pases y entre lotes estuvieron abajo del 70%, por lo que no se consideran aceptables.

A pesar de que sí hubo diferencia significativa entre el primer pase y el segundo pase, el aumento en la eficiencia solo fue de cuatro puntos porcentuales, por lo que probablemente no conviene hacer un segundo pase.

Las condiciones del suelo en ambos lotes no influyeron en la eficiencia neta del primer pase, en ambos no fue aceptable.

A pesar de que el segundo pase aumentó la eficiencia neta y mostró diferencia entre los lotes, la eficiencia neta sigue siendo inaceptable.

La forma y topografía de los lotes afectó la capacidad efectiva de campo de la actividad del subsoleo.

Aunque el subsoleo no presentó una eficiencia aceptable, aumentó la profundidad efectiva alcanzada por la rastra en ambos lotes.

La capacidad efectiva de campo influye directamente en los costos de las actividades por lo que se deben minimizar los tiempos muertos.

5. RECOMENDACIONES

Realizar un diagnóstico previo de los lotes que se pretenden subsolar, para asegurar que las condiciones sean adecuadas para el subsoleo.

Evaluar técnica y económicamente el efecto en el suelo de utilizar el mismo tractor con dos cinceles, al mismo espaciamiento.

Evaluar el efecto del subsoleo en los rendimientos de los cultivos actuales de cada lote.

Realizar un análisis marginal del costo de producción del cultivo en los lotes evaluados para cuantificar el beneficio del subsoleo.

6. LITERATURA CITADA

Álvarez, A. 2004. Administración de maquinaria agrícola. Universidad nacional de Colombia, UNIBIBLOS. Bogotá, Colombia. 259 p.

Andrango, R., F. Alvarez. 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. 125 p.

Arévalo, G. E. y C. A. Gauggel. 2014. Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal tercer año. Tegucigalpa, Honduras, Imprenta LITOCOM. 93 p.

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

Barahona Flores, R. 2000. Caracterización detallada de los suelos de San Nicolás y prácticas recomendadas para su uso sostenible, El Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. 46 p.

Calderon 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. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. 34 p.

Carrasco, J., Felmer, S., Lemus, G., Pastén, J. 2008 Frutales: Labor de subsolado en suelos compactados (en línea). Consultado 12 de octubre de 2015. Disponible en <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR34851.pdf>

Estación Meteorológica de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano 2015.

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.

FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO 8. 220 p.

FAO. s.f. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible (en línea). Consultado 20 de mayo de 2015. Disponible en http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sf/soil_fertility.pdf

Fernandez Diaz J.V. 2003. Caracterización detallada de los suelos de los sectores de Zorrales y Monte Redondo del Zamorano, Honduras para el establecimiento y renovación de pasturas. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. 45 p.

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. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. 30 p.

Guerra Serrano A.J. y J.A.Mendieta Servellón 2011. Subsoleo en suelos arcillosos masivos y fertilización con magnesio en el cultivo de pasto Tobiatá (*Panicum maximum*). Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 34 p.

Hanselka, W. 2002. Subsoleo: Efectiva forma de sanar los agostaderos (en línea). Consultado 2 de octubre de 2015. Disponible en <http://www.patrocipes.org.mx/revistaranch/ranchodiciembre2002/subsoleo.htm>

Longman Scientific & Technical. 1991. Booker Tropical Soil Manual. 2 ed. Longman Group (FE) London. 474 p.

Pantoja Guamán, J.L. 2005. Efecto del subsoleo en las propiedades físicas y químicas del suelo y en rendimiento de cuatro cultivos en Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 97 p.

Pitty, A. 1997. Introducción a la Biología, Ecología y Manejo de Malezas. Zamorano Academic Press, Honduras. 300 p.

Sánchez, P. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Trad Camacho. San José, Costa Rica. IICA. 634 p.

SAS® 9.3 TS1M2. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Taboada, M. A. 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. 4° Simposio de Ganadería en Siembra Directa, Aapresid, Potrero de los Funes, San Luis. p 71-83.

Threadgill, E.D. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.25, n.4, p.859-963, 867.