

**Subsoleo en suelos arcillosos masivos y  
fertilización con magnesio en el cultivo  
de pasto Tobiata (*Panicum maximum*)**

**Antony Javier Guerra Serrano  
Javier Alejandro Mendieta Servellón**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2011

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Subsoleo en suelos arcillosos masivos y  
fertilización con magnesio en el cultivo  
de pasto Tobiata (*Panicum maximun*)**

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

Presentado por

**Antony Javier Guerra Serrano  
Javier Alejandro Mendieta Servellón**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2011

# **Subsoleo en suelos arcillosos masivos y fertilización con magnesio en el cultivo de pasto Tobiata (*Panicum maximum*)**

Presentado por:

Antony Javier Guerra Serrano  
Javier Alejandro Mendieta Servellón

Aprobado:

---

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.  
Asesora Principal

---

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

---

Celia Trejo, Ph.D.  
Asesora

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

---

Carlos Gauggel, Ph.D.  
Asesor

## RESUMEN

Guerra Serrano, A. J.; Mendieta Servellón, J. A. 2011. Subsoleo en suelos arcillosos masivos y fertilización con magnesio en el pasto Tobiata (*Panicum maximum*). Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 27 p.

El suelo sostiene toda la actividad agrícola, por lo tanto recibe todo el trabajo de laboreo, el cual, con humedad cercana o mayor a capacidad de campo, densifica el suelo y crea compactación. El pastoreo animal es también un agente compactador del suelo. Para los suelos compactados o con pie de arado, es importante desarrollar trabajos de mejoramiento del suelo para aumentar la calidad de los mismos. El desarrollo óptimo del cultivo es función de la cantidad adecuada de nutrientes. Los objetivos del estudio fueron: determinar el efecto del subsoleo sobre la producción de materia seca del pasto Tobiata, evaluar el efecto del subsoleo en las propiedades físicas del suelo y determinar el efecto del magnesio sobre la producción de materia seca del pasto. Se evaluó el suelo en nueve calicatas antes de subsolado, a los cinco y trece meses después de subsolado. En cada perfil se evaluaron las características morfológicas del suelo (textura, color, consistencia, estructura, resistencia a la penetración, porosidad número de raíces). Las muestras se analizaron en el laboratorio para evaluar el efecto del subsoleo en densidad real y aparente, espacio poroso. Se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar; tres tratamientos para las propiedades físicas y cuatro para la producción de pasto. Para la producción de pasto se realizó un arreglo factorial con parcelas divididas en tiempo y espacio. Se encontraron diferencias significativas en resistencia a la penetración y la densidad aparente en el segundo horizonte del suelo; la porosidad del suelo fue diferente significativamente en el segundo y tercer horizonte. Adicionar solo magnesio al pasto aumentó 13% la producción de materia seca, el subsolado 28% y la interacción subsoleo y magnesio la aumentó 44%. Para los tratamientos: subsolado con magnesio, subsolado y solo magnesio, se determinó un Valor Actual Neto (VAN) de US\$ 257, 180 y 20 respectivamente. La tasa interna de retorno (TIR) para cada tratamiento fue de 25, 23 y 19% respectivamente. Se recomienda subsolar los terrenos de los sistemas productivos y analizar los nutrientes del suelo para determinar si estos no están de manera adecuada, para ajustar la fertilización.

**Palabras clave:** Densidad aparente, espacio poroso, materia seca, producción, rendimiento.

## 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>4</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>22</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>23</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>24</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>26</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Dosis de fertilizante aplicado al pasto Tobiatá ( <i>Panicum maximun</i> ). Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	8
2. Eficiencia del pase del tractor de oruga D8, en Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	10
3. Eficiencia del pase del tractor de oruga D6, en Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	11
4. Densidad aparente ( $t/m^3$ ) de los tres primeros horizontes, antes del subsoleo cinco y trece meses después de subsoleo. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	11
5. Densidad real ( $t/m^3$ ) de los tres horizontes, antes del subsolado, cinco y trece meses después del subsolado. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	12
6. Espacio poroso (%) de los tres primeros horizontes, antes del subsoleo, cinco y trece meses después del subsoleo. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	12
7. Resistencia a la penetración ( $kg/cm^2$ ) de los tres primeros horizontes, antes y después del subsoleo. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	13
8. Descripción de las calicatas de Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	14
9. Diámetro ponderado medio de los agregados en los tres primeros horizontes, antes y después del subsolado, en suelos arcillosos masivos. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	17
10. Evaluación de la producción de materia seca en lotes subsolado (sub) y no subsolado (no sub), con magnesio y sin magnesio. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	18
11. Ingreso marginal neto entre producción de M.S. del testigo (no subsolado sin magnesio) y subsolado con magnesio. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	19
12. Ingreso marginal neto entre producción de de M.S. del testigo (no subsolado sin magnesio) y subsolado. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	19
13. Ingreso marginal neto de producción de M.S. del área testigo (no subsolado sin magnesio) y área con magnesio. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	20

14.	Análisis económico marginal de implementar subsoleo y magnesio en pasto Tobiata. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	20
15.	Análisis económico marginal de implementar subsoleo en suelos arcillosos masivos. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	21
16.	Análisis económico marginal de aplicar magnesio al pasto Tobiata. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	21

Figuras	Página
---------	--------

1.	Ubicación del área de estudio. (Google Earth® 2010). Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	4
2.	Ubicación de las calicatas en el área de estudio. (Google Earth® 2010). Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	5
3.	Parámetros para la evaluación de la eficiencia del subsoleo. Tomado del Manual del Curso de Manejo Suelos y Nutrición Vegetal (Arévalo y Gauggel 2010).....	6
4.	Distribución de los potreros en el área de estudio. (Google Earth® 2010). Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	8
5.	Porcentaje de agregados de diferente diámetro del primer horizonte. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	16
6.	Porcentaje de agregados de diferente diámetro del segundo horizonte. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	16
7.	Porcentaje de agregados de diferente diámetro del tercer horizonte. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	17

Anexos	Página
--------	--------

1.	Coordenadas (UTM) de las ubicaciones de las calicatas en Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	26
2.	Agregados en la superficie del suelo producto del subsoleo.....	26
3.	Análisis de suelo del lote de Zorrales 7, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	27

## 1. INTRODUCCIÓN

La calidad del suelo, es la capacidad del mismo para funcionar efectivamente en el presente y en el futuro. Los factores tomados en cuenta para definir la calidad de los suelos son tres: productividad, calidad del ambiente y la salud vegetal y animal (Doran *et al.* 1994). Los índices de calidad de los suelos permiten determinar cuantitativamente los factores edáficos que limitan la producción de biomasa (Gauggel *et al.* 2009). Esta producción de biomasa es indispensable para algunas actividades, como lo es la producción de leche, que es una de las más relevantes dentro de la Escuela Agrícola Panamericana (Fernández 2003). Estudios muestran que Zamorano ha desarrollado sistemas productivos en suelos que presentan propiedades físicas limitadas, con alta variabilidad textural, vertical y horizontal, que limita el desempeño normal de los cultivos (Castro Vargas 2003).

La naturaleza de los suelos de las áreas productivas en Zamorano son limitadas y frágiles, ya que contienen arcilla a diferentes profundidades, que restringe la profundidad efectiva del suelo; el horizonte superficial recibe el impacto de las actividades desarrolladas sobre suelo. En los últimos 60 años, los terrenos de la Escuela Agrícola Panamericana han sido utilizados en forma intensiva y manejada bajo diferentes criterios, muchas veces cultivándolos sin considerar las características del suelo, deteriorando las propiedades físicas y morfológicas de los mismos. Debido a su degradación, los suelos de Zamorano deben ser sometidos a enmiendas conducentes a su rehabilitación para mejorar sus características (Fernández Díaz 2003).

El cultivar Tobiata (*Panicum maximum*) ha demostrado en Zamorano, un alto contenido de nutrientes digestibilidad y adaptabilidad. Su rendimiento oscila entre 28 y 33 toneladas por hectárea por año de materia seca y alcanza una altura máxima de dos metros. Normalmente es usado para pastoreo directo, pero también puede ser usado para ensilaje. Para tener buen rendimiento el pasto necesita una precipitación mayor a 800 mm/año; sin embargo, tiene alta resistencia a sequías (Martínez Coronado 2001).

En el proceso de producción de forrajes, el suelo es sometido al pisoteo animal, creando una compactación de los horizontes en el mismo; se define como compactación del suelo a la densificación de horizontes en el perfil del mismo. Las capas compactadas o pie de arado, son formadas por el uso de equipos pesados y por el laboreo frecuente a la misma profundidad, también por el constante pisoteo animal. Los suelos que presentan texturas franco arcillo limosa y franco arcillosa, con bajos contenidos de arcilla



expansible, la acción del sílice y altos contenidos de sodio intercambiable favorecen la formación del pie de arado. Esta susceptibilidad a la compactación disminuye con el aumento de arcilla, limo y carbono orgánico, por consiguiente los suelos degradados no solo se vuelven menos fértiles, sino también más susceptibles a la compactación (Taboada y Miccuci 2007).

La compactación en el suelo que causa el pastoreo animal, es debido a que la pezuña de la vaca tiene poca área de contacto con el suelo respecto al peso corporal. El rango de superficie de contacto de los vacunos, con peso promedio de 450 kilos, es de 97 cm<sup>2</sup> y ejercen una presión estática de 144 kPa, mientras los tractores ejercen menos presión al suelo, misma que va de 74 a 81 kPa. Esto indica que el pisoteo es un factor importante que se debe considerar con respecto a la compactación del suelo, ya que el desarrollo y rendimiento del forraje, empleado para la producción de rumiantes, se limita por la condición del suelo (Taboada 2007).

Los suelos sometidos a pisoteo animal presentan menor aireación, infiltración y presencia de agregados indeseables mayores a 25 mm. Los suelos que se pastorean muy secos, tienden a no mostrar compactación superficial; lo opuesto ocurre en los suelos pastoreados en niveles intermedios de contenido hídrico, cuya superficie presenta menor estabilidad estructural, mayor densidad aparente y resistencia superficial. En un suelo húmedo se produce compactación del suelo, ocasionando pérdidas de estructura superficial (Taboada 2007).

El desarrollo favorable de todas las plantas y una buena producción de las mismas, estará en función de la cantidad de nutrientes que se encuentren en el suelo, sean micro y macro nutrientes y cada uno de ellos tienen una función específica en las plantas. La fertilización en los pastos, aumenta el porcentaje de proteína cruda, así mismo, el contenido de materia seca<sup>1</sup>, por tal razón es de suma importancia implementar fertilizaciones adecuadas en los pastizales para la producción forrajes.

El Magnesio es uno de los micros elementos que necesitan los pastos para la producción de materia seca. Fisiológicamente el magnesio ejerce una función importante dentro de todas las plantas, ocupa la posición central en la molécula de la clorofila. El magnesio es esencial en la vida de las plantas y para la producción de forrajes (Mufarrege 2001).

La falta de magnesio en la dieta de los bovinos para carne y especialmente en vacas al comienzo de la lactancia, produce tetania hipomagnésica, con pérdidas de producción debida a la mortandad de animales. En las regiones tropicales y subtropicales este trastorno no se presenta, siendo propio de las zonas templadas. Lo que se debería a que las gramíneas tropicales contienen el doble de magnesio (0.36 % Mg en materia seca) que las templadas (0.18% Mg), lo que estaría asociado a las mayores temperaturas de crecimiento (Mufarrege 2001).

---

<sup>1</sup> Vélez, M., 2010. Producción de pastos y forrajes. Ph.D. Profesor emérito. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. Comunicación personal.

Los objetivos de este estudio fueron determinar el impacto del subsoleo sobre suelo y la producción de materia seca (M.S.) del pasto tobiatá, determinar el efecto del subsoleo y fertilización con magnesio sobre la producción de materia seca del pasto, evaluar el efecto del subsoleo en las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, espacio poroso y resistencia a la penetración).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Ubicación del área de estudio.** El estudio de campo se realizó en el área Zorrales 7, en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras (Figura 1). Este es uno de los potreros de la Unidad de Ganado Lechero utilizado para la producción de pasto Tobiatá. El lote testigo está ubicado frente a Zorrales 7. La zona de estudio tiene una temperatura promedio anual de 25°C, una altura de 800 msnm y una precipitación promedio anual de 1100 mm, siendo de Noviembre hasta Abril los meses secos (Velásquez 2007). Zorrales 7 tiene un área de 8.85 ha.



Figura 1. Ubicación del área de estudio. (Google Earth® 2010). Zorrales 7. E.A.P. Zamorano, Honduras.

### ANÁLISIS MORFOLÓGICO DEL SUELO

**Caracterización del suelo.** La caracterización del suelo se realizó por medio de descripción de calicatas, usando el equipo de descripción de suelos, que incluye la tabla Munsell, penetrómetro de bolsillo, GPS, cuchillo edafológico, cinta métrica, y piceta. En el área de estudio se realizaron nueve calicatas antes del subsoleo, a cinco y trece meses

después del subsolado (Figura 2). En las calicatas se determinó el color, textura, estructura, consistencia, resistencia a la penetración, poros, presencia de raíces, así como el límite de los horizontes en cada una de las calicatas (FAO 2006). La dimensión de las calicatas fue de  $1 \times 1 \times 1.2$  m de profundidad.



Figura 2. Ubicación de las calicatas en el área de estudio. (Google Earth® 2010). Zorralles 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

#### **Determinación de la densidad aparente, densidad real, porcentaje y espacio poroso.**

En cada una de las calicatas se tomaron muestras, antes y después del subsolado (Agosto 2010 y Abril 2011). Para densidad aparente se tomaron muestras con un cilindro densímetro, el cual tiene un volumen conocido de  $98.17 \text{ cm}^3$ . La densidad real fue obtenida por el método de la probeta. Con base a la densidad aparente y densidad real se calculó la porosidad (Arévalo y Gauggel, 2009). Se tomaron tres muestras en cada uno de los tres primeros horizontes de cada calicata, estas muestras se analizaron en el Laboratorio de Química y Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

En la determinación de la densidad aparente, se tomó una porción de suelo de las muestras del densímetro y se secó al horno a una temperatura entre  $100^\circ\text{C}$  a  $110^\circ\text{C}$  por 24 horas, para determinar el porcentaje de humedad que contenía esa muestra y así obtener el peso real del suelo restando al contenido de humedad de la muestra total. La determinación de la densidad real se realizó por el método de la probeta, y la porosidad a partir de la densidad real y aparente (Arévalo y Gauggel 2009).

#### **Evaluación de la distribución por tamaño de agregados del suelo.**

Para evaluar el diámetro ponderado medio de la estructura, se tomó una muestra de aproximadamente de un kilogramo, de cada uno de los horizontes en tres calicatas antes del subsolado (Marzo 2010) y trece meses después del subsolado (Abril 2011). La evaluación consistió en pasar las muestras, sin disturbar, por tamices de diferentes Mesh y separar por diámetro los agregados del suelo en 10 categorías de diferentes tamaños (Montenegro y Malagón 1990). Se utilizaron los tamices número: 5, 10, 40, 60, 100, 200 Mesh.

Los resultados se presentaron en distribución por porcentaje, basado en el peso de los agregados. También se evaluó el volumen ocupado de los agregados de cada diámetro; éste no se graficó porque la tendencia fue la misma que por peso.

**Evaluación del diámetro ponderado medio de los agregados.** Los agregados del suelo, se distribuyeron en diferentes rangos según su diámetro, con ayuda de los tamices. Los tamaños de los agregados se distribuyeron en los rangos 100-50, 50-20, 20-10, 10-5, 5-2.5, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25, 0.25-0.125, 0.125-0.075 mm. El cálculo del diámetro ponderado medio se calculó mediante la ecuación [1].

---

[1]

Donde:

$d_1$  = diámetro promedio de cada uno de los rangos de tamaño de agregados.

$P_1$  = peso de los agregados según diámetro.

$P$  total = peso total de la muestra de suelo.

## SUBSOLEO

**Pases del subsolador.** Se realizaron dos pases con subsolador, el primeo con un tractor Caterpillar D8 sobre oruga, con una potencia de 310 HP. El segundo pase se realizó con un tractor Caterpillar D6 sobre oruga, con una potencia de 180 HP. El pase con el tractor D8 en dirección de Oeste a Este, a favor de la pendiente y el segundo pase a 45° del primer pase, en dirección Noroeste a Sureste. La profundidad de los cinceles de los subsoladores D8 y D6 fue de 1.1 y 0.8 m, respectivamente y una separación entre cinceles de 1.20 m para el tractor D8 y 1.10 m para el tractor D6. El terreno fue subsolado en Marzo del 2010. Al terreno no se le aplicó ningún pase de rastra; ni liviana, ni pesada.

**Evaluación de la eficiencia del subsoleo.** El análisis de la eficiencia de los subsoladores se realizó tomando en cuenta la profundidad potencial ( $P_p$ ), basado en la profundidad del suelo<sup>2</sup>, sin embargo por tener el área de estudio suelos con una profundidad mayor a 1.2 m, se toma el tamaño de los cinceles como la profundidad potencial. La profundidad potencial del suelo fue de 1.2 m para el subsolador D8 y 1.1 m para el subsolador D6. La profundidad real ( $P_r$ ) es la profundidad que alcanzaron los cinceles del subsolador en el suelo. Luego se toma la profundidad de fractura ( $P_f$ ), que es la profundidad que alcanza el suelo roturado entre los cinceles (Figura 3).

---

<sup>2</sup>Arévalo, G. 2010. Mejoramiento de la estructura del suelo. Profesora de suelos y nutrición vegetal. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. Comunicación personal.

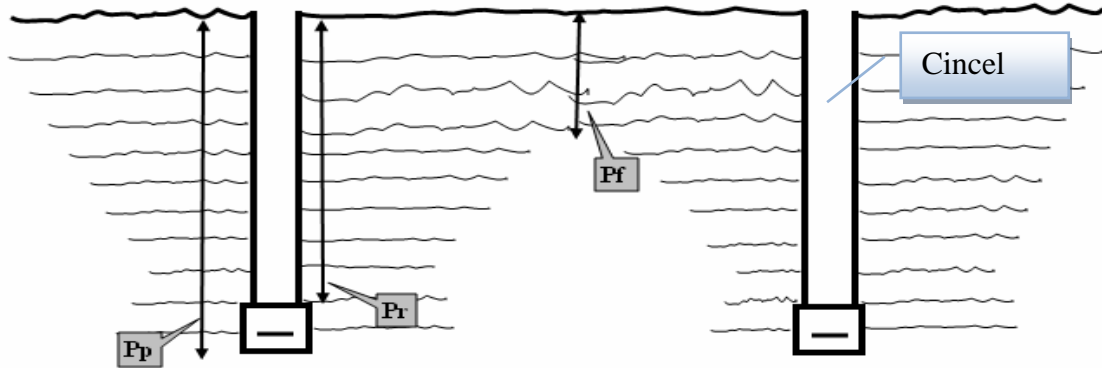


Figura 3. Parámetros para la evaluación de la eficiencia del subsoleo. Tomado del Manual del Curso de Manejo Suelos y Nutrición Vegetal (Arévalo y Gauggel 2010).

La evaluación del efecto de la mecanización del suelo con el subsolador se realizó midiendo Pp, Pr, Pf (Arévalo y Gauggel 2010). Para cuantificar la eficiencia se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$E_p = P_r / P_p \quad [2]$$

$$E_f = P_f / P_r \quad [3]$$

$$E_n = (E_p \times E_f) / 100 \quad [4]$$

Donde:

Pp= Profundidad potencial (Tamaño de los cinceles).

Pr= Profundidad real. (Profundidad que alcanzó el cinzel en el suelo).

Pf= Profundidad de fractura (Profundidad de la fractura entre cinceles).

Ep= Eficiencia de penetración.

Ef= Eficiencia de fractura entre cinceles.

En= Eficiencia neta.

## EVALUACIÓN DE LA BIOMASA

**Evaluación de materia seca (M.S.).** En seis parcelas de  $4 \times 4$  m, en los lotes subsolado y no subsolado, se fertilizó con urea y DAP (18-46-0). La aplicación se dividió en dos fertilizaciones, 50% de urea y 100% de DAP en la primera fertilización y 50% de urea en la segunda fertilización (Cuadro 1). La fertilización se llevó a cabo según la dosis usada en la Unidad de Ganado Lechero. También se fertilizó con Sulfato de magnesio tres potreros de cada lote (subsolado y no subsolado) (Figura 4).

Cuadro 1. Dosis de fertilizante aplicado al pasto Tobiatá (*Panicum maximun*). Zorralles 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tipo de fertilizante	Fertilización (kg/ha)	
	1 <sup>ra</sup> Dosis	2 <sup>da</sup> Dosis
Urea	45	45
DAP	45	
Sulfato de magnesio <sup>a</sup>	200	

<sup>a</sup>32% kg de MgO

En cada uno de potreros se realizaron un total de cuatro cortes cada 21 días, con la ayuda de un aro con área de 1 m<sup>2</sup>. Se cortó todo el pasto que estaba dentro del aro, a una altura de 15 cm con respecto al suelo; se pesó el pasto para determinar el contenido de materia fresca y se secó en horno a 60°C por 48 horas. La materia seca se determinó en producción de materia seca por hectárea (kg/ha). Para evaluar la producción de materia seca anual se hizo basado en 10 cortes, que corresponde a 210 días (8 meses) que se pastorea en Zamorano<sup>3</sup>.



Figura 4. Distribución de los potreros en el área de estudio. (Google Earth® 2010). Zorralles 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

En el área subsolada los potreros no se distribuyeron en todo el lote. Esto debido a que las partes más bajas del terreno fueron afectadas por el mal drenaje (anegamiento) causado por la alta precipitación en el año 2010, lo que ocasionó que no hubiera uniformidad en las macollas del pasto en esa parte del terreno.

<sup>3</sup>Matamoras, I. 2010. Producción de pasto en Zamorano. Ph, D, Profesor de Producción animal. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. Comunicación personal.

**Análisis económico.** Basado en la producción de materia seca se determinó la capacidad de carga de cada uno de los tratamientos, y a partir de la capacidad de carga se calculó el ingreso marginal neto de cada tratamiento, con respecto al testigo (no subsolado sin magnesio). El análisis económico se realizó basado en el incremento marginal neto que tuvo el pasto en producción de materia seca con cada uno de los tratamientos (subsolado con magnesio, subsolado y solo magnesio), con respecto a la producción del testigo absoluto (no subsolado sin magnesio). Se realizó un análisis marginal con el ingreso neto de cada tratamiento, usando una tasa de descuento del 12% anual.

**Diseño experimental y análisis estadístico.** Para el analizar las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, porcentaje de espacio poroso y resistencia a la penetración), se usó un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) y nueve repeticiones. Aplicando un Modelo Lineal General (GLM) y separación de medias Duncan, utilizando una significancia de  $P \leq 0.05$ . Para analizar la producción de materia seca del pasto se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), utilizando un Modelo Lineal General (GLM) y separación de medias Duncan, con significancia de  $P \leq 0.05$ . El diseño se hizo con un arreglo factorial  $2 \times 2$  con cuatro repeticiones en tiempo y tres repeticiones espacio para cada uno de los tratamientos: subsolado con magnesio, subsolado sin magnesio, no subsolado con magnesio y no subsolado sin magnesio. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico Statistics Analysis System (SAS<sup>®</sup> 9.1).



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Eficiencia del subsoleo.** La eficiencia neta promedio del tractor D8 fue menor del 70% (Cuadro 2). La limitante que existió para la eficiencia del subsolador fue la presencia de las macollas del pasto y escombros que estaban sobre la superficie. La eficiencia del subsolador se considera buena, cuando el porcentaje de eficiencia del subsoleo es mayor a 70%<sup>4</sup>.

Cuadro 2. Eficiencia del pase del tractor de oruga D8, en Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Calicata	Profundidad (cm)		Eficiencia (%)			Prom Ef. neta <sup>¥</sup>
	Real	Fractura	Penetración	Fractura	Neta	
1	85.5	67.0	77.7	78.4	60.9	
2	82.0	64.0	74.5	78.0	58.2	
3	85.0	68.5	77.3	80.6	62.3	
4	75.0	60.0	68.2	80.0	54.5	
5	77.5	68.0	70.5	87.7	61.8	61.5
6	95.0	75.0	86.4	78.9	68.2	
7	81.0	65.0	73.6	80.2	59.1	
8	89.5	72.0	81.4	80.4	65.5	
9	85.5	69.0	77.7	80.7	62.7	

<sup>¥</sup>Promedio de eficiencia neta.

La eficiencia del pase del subsolador D6 también estuvo afectada por la acumulación de macollas debajo de los cinceles y los grandes bloques de suelo generados durante el primer pase del subsolador; sin embargo, la eficiencia del subsoleo estuvo dentro del rango aceptable (Cuadro 3). La eficiencia del tractor D6 fue mejor que la del D8 a pesar de que en el segundo pase, los cinceles no roturan totalmente los agregados.

<sup>4</sup>Arévalo, G. 2010. Mejoramiento de la estructura del suelo. Profesora de suelos y nutrición vegetal. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. Comunicación personal.

Cuadro 3. Eficiencia del pase del tractor de oruga D6, en Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Calicata	Profundidad (cm)		Eficiencia (%)			Prom. Ef. neta <sup>¥</sup>
	Real	Fractura	Penetración	Fractura	Neta	
1	74.5	53.5	93.1	71.8	66.9	70.2
2	74.0	58.5	92.5	79.1	73.1	
3	76.0	56.5	95.0	74.3	70.6	
4	75.0	58.5	93.8	78.0	73.1	
5	69.5	55.0	86.9	79.1	68.8	
6	77.5	51.0	96.9	65.8	63.8	
7	75.5	55.0	94.4	72.8	68.8	
8	73.0	57.0	91.3	78.1	71.3	
9	73.5	60.5	91.9	82.3	75.6	

<sup>¥</sup> Promedio de eficiencia neta

## EFFECTO DEL SUBSOLEO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

**Densidad Aparente.** La densidad aparente del primer horizonte de las calicatas antes y después del subsoleo, se mantuvo baja a través del tiempo, en comparación con los horizontes más profundos (Cuadro 4). Esta tendencia pudo haberse generado por el efecto de la materia orgánica y raíces, modificando la consistencia del suelo, haciéndolo más friable que el resto de los horizontes.

En el segundo y tercer horizonte se observó un efecto por el subsolado en la densidad aparente del suelo (Cuadro 4). Se encontraron diferencias significativas en la densidad aparente a través del tiempo para el segundo horizonte. En el tercer horizonte no hubo efecto del subsoleo para esta variable, debido a que el subsolador, cuando rotura el suelo, crea agregados en forma prismática; estos agregados son grandes, y abarcan dos o tres horizontes en el perfil.

Cuadro 4. Densidad aparente ( $t/m^3$ ) de los tres primeros horizontes, antes del subsoleo cinco y trece meses después del subsoleo. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Horizontes		
	1 (0-13 cm)	2 (13-30 cm)	3 (30-45 cm)
Antes del subsoleo (Mar-10)	1.14 <sup>a</sup>	1.44 <sup>a</sup>	1.45 <sup>a</sup>
Cinco meses después del subsoleo (Ago-10)	1.14 <sup>a</sup>	1.41 <sup>b</sup>	dp <sup>£</sup>
Trece meses después del subsoleo (Abr-11)	1.15 <sup>a</sup>	1.42 <sup>ab</sup>	1.43 <sup>a</sup>

<sup>ab</sup> Valores con diferente letra en la misma columna difieren entre si,  $P < 0.05$ .

<sup>£</sup> dp datos perdidos.

**Densidad real.** La densidad real ( $t/m^3$ ) no tuvo diferencias significativas, este resultado es el esperado, ya que la densidad real no es influenciada por efecto del subsoleo o por efecto del tiempo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Densidad real ( $t/m^3$ ) de los tres horizontes, antes del subsolado, cinco y trece meses después del subsolado, Zorralles 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Horizontes		
	1 (0-13 cm)	2 (13-30 cm)	3 (30-45 cm)
Antes del subsoleo (Mar-10)	2.3	2.3	2.3
Cinco meses después del subsoleo (Ago-10)	2.3	2.4	dp <sup>β</sup>
Trece meses después del subsoleo (Abr-11)	2.3	2.4	2.4

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos,  $P > 0.05$ .

<sup>β</sup>dp datos perdidos.

**Espacio Poroso.** No se encontraron diferencias significativas en la porosidad del primer horizonte. La porosidad del primer horizonte mantiene un alto porcentaje de espacio poroso por motivo de la alta interacción de microorganismos y las raíces, factores que modifican el suelo creando una porosidad óptima<sup>5</sup>. En el segundo horizonte, a los cinco meses después del subsoleo (Agosto 2010), se elevó a un 40%; con diferencias significativas con respecto a las muestras tomadas antes del subsoleo en las que fue de 37%. La porosidad aumentó 41% para abril del 2011. En el tercer horizonte no se encontraron diferencias significativas, entre los resultados de antes del subsolado (Marzo 2010) y los resultados a los 13 meses después del subsolado (Abril 2011) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Espacio poroso (%) de los tres primeros horizontes, antes del subsoleo, cinco y Trece meses después del subsoleo, Zorralles 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Horizontes		
	1 (0-13 cm)	2 (13-30 cm)	3 (30-45 cm)
Antes del subsoleo (Mar-10)	50 <sup>a</sup>	37 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>
Cinco meses después del subsoleo (Ago-10)	52 <sup>a</sup>	40 <sup>b</sup>	dp <sup>β</sup>
Trece meses después del subsoleo (Abr-11)	51 <sup>a</sup>	41 <sup>b</sup>	39 <sup>a</sup>

<sup>abc</sup> Valores con diferente letra en la misma columna difieren entre sí,  $P < 0.05$ .

<sup>β</sup>dp datos perdidos.

<sup>5</sup> Arévalo, G. 2010. Mejoramiento de la estructura del suelo. Profesora de suelos y nutrición vegetal. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. Comunicación personal.

**Resistencia a la penetración.** Fue baja en los primeros horizontes y en los horizontes más profundos se mantiene alta, en la mayoría de los horizontes  $>4.5$ . En el primer horizonte, a los 13 meses después del subsolado, no se encontró diferencias significativas en esta propiedad y se mantuvo baja con respecto al segundo y tercer horizonte. Este comportamiento se debe a que el primer horizonte del suelo es más friable, por efecto del crecimiento de las raíces del pasto. En el segundo horizonte, de 13 a 30 cm, hubo una ligera, pero significativa disminución de la resistencia a la penetración que se mantuvo trece meses después de subsoleo ( $P<0.05$ ) (Cuadro 7). En el tercer horizonte la resistencia a la penetración se incrementó después del subsoleo, seguramente por efecto de la profundidad.

Cuadro 7. Resistencia a la penetración ( $\text{kg/cm}^2$ ) de los tres primeros horizontes, antes y después del subsoleo, Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Horizontes		
	1 (0-13 cm)	2 (13-30 cm)	3 (30-45 cm)
Antes del subsoleo (Mar-10)	2.7	4.5 <sup>a</sup>	4.4
Trece meses después del subsoleo (Abr-11)	2.8	4.3 <sup>b</sup>	4.5

<sup>abc</sup> Valores con diferente letra en la misma columna difieren entre si,  $P<0.05$ .

**Descripción morfológica del suelo.** Las características físicas del suelo del lote de Zorrales 7 muestran que el suelo presenta diferente composición textural en cada horizonte. En los primeros horizontes presenta texturas franco arcilloso y franco arenoso en su mayoría, para los horizontes más profundos las texturas más frecuentes en la descripción fueron las arcillosas y franco arcillosas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Descripción de las calicatas de Zorralas 7. E.A.P. Zamorano, Honduras.

Calicata	Ho.	prof(cm)	color	Text.	Estructura			Consistencia			RP (kg/cm2)	Porosidad			Raíces		Límite	
					tipo	grado	clase	seco	humedo	mojado		tamaño	Forma	cantidad	tamaño	cantidad	topo	nitidez
1	Ap	0-15	10 YR 3/3	FA	g	d	m,f,g	s	mf	pg	1.00	f,mf	t,p	f	tg	m	p	g
	Ap2	15-34	10 YR 2/2	FL	g	m	m,f,	b	f	pg	4.15	f,mf	t,p	p	g f mf	p	p	g
	B	34-56	10 YR 2/1	FA	g	d	m,g	s	f	pg	3.90	t	t	ab	mf	m	p	a
	B2	56-75	10 YR 4/3	AF	bsa	m	m,g	b	s	npg	>4.5	t	t	ab	mf	p	p	g
	C	75-100+	10 YR 3/6	ArA	bsa	f	g	md	fi	npg	>4.5	mf	t	p	mf	p	p	g
2	Ap	0-18	10 YR 2/2	FL	g	m	f,m	s	mf	pg	1.75	f	t,p	m			p	g
	Ap2	18-34	10 YR 2/2	FL	bsa	m	m,g	ld	f	pg	> 4.50	t	t	f	tg	m	p	a
	B	34-47	10 YR 2/1	FAR	bsa	m	m	b	f	lpg	>4.50	t	t	f	mf	f	p	g
	B2	47-66	10 YR 4/6	AF	bsa	m	m,g	s	f	npg	>4.50	f,mf	t,p	f	mf	f	o	g
	C	66-100+	10 YR 3/6	Ara	bsa	m	m,g	d	f	npg	>4.50	f	t,v	p	mf	p	p	g
3	Ap	0-10	10 YR 2/1	F	g	d	mf	s	f	pg	1	f	t	f	tg	m	p	g
	Ap2	10-32	10 YR 2/1	F	ba	f	m	d	fi	pg	> 4.50	f,m	t	f	tg	f	p	g
	E	32-44	10 YR 3/2	FA	ba	d	f	b	mf	pg	4.00	f,m	t,v	f	mf	f	i	a
	Bt	44-60	10 YR 3/3	Ar	ba	f	g	md	mfi	mpg	> 4.50	f	t	p	mf	p	p	g
	Btg	60-88+	10 YR 3/3	Ar	ba	f	g	md	mfi	mpg	>4.50	f	t	p	mf	p	i	g
4	Ap	0-12	10 YR 2/2	FA	g	d	f,m	s	mf	pg	1.50	g	t,p	p	tg	m	p	g
	Ap2	12-30	10 YR 2/1	F	bsa	m	m	b	f	pg	> 4.50	m,g	t	ab	f	p	p	g
	B	30-56	10 YR 2/1	FA	bsa	m	m	b	f	pg	> 4.50	m,g	t	f	mf	mp	p	g
	C	56-80+	10 YR 3/6	ArA	bsa	f	f	d	fi	lpg	>4.50	f,mf	t	ab	mf	mp	p	g

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

Cuadro 8. Continuación

Calicata	Ho.	prof(cm)	color	Text.	Estructura			Consistencia			RP (kg/cm2)	Porosidad			Raíces		Límite	
					tipo	grado	clase	seco	humedo	mojado		tamaño	forma	cantidad	tamaño	cantidad	topo	nitidez
5	Ap	0-13	10 YR 3/3	FL	g	m	mf	b	mf	lpg	1.00	f,mf	t,p	f	tg	m	p	g
	Ap2	13-36	10 YR 3/1	FL	g	m	mg	b	f	pg	> 4.50	f	t,p	p	mf	m	p	g
	E	36-54	10 YR 3/6	AF	bsa	m	mg	s	f	npg	> 4.50	t	t	f	mf	p	p	a
	Bt	54-67	10 YR 4/3	AF	bsa	m	mf	b	f	npg	> 4.50	t	t	p	f	p	p	a
	C	67-110+	10 YR 4/6		c	f	mg	ed	mfi	npg	> 4.50	f,mf	t	p	f	p	p	g
6	Ap	0-12	10 YR 2/2	FA	g	d	m,g	s	mf	lpg	2.50	g	t,p	f	tg	m	p	g
	Ap2	12-37	7.5 YR 2.5/2	Ar	bsa	d	m,g	ld	f	npg	> 4.50	m,g	t,p	f	mf	f	p	g
	E	37-50	10 YR 3/4	FA	bsa	m	m	d	fi	lpg	> 4.50	f	t	p	f	p	p	g
	Bt	50-78	2.5 YR 3/1	FA	bsa	m	f,mf	d	f	lpg	> 4.50	mf	t	p	f	p	p	g
	C	78-90+		A	c	f	mf	ed	mfi	npg	>4.50	f,mf	t	p	f,mf	p	p	g
8	Ap	0-10	10 YR 3/3	FAR	ba	d	f,mf	s	mf	pg	2.60	m,g	t,v	f	tg	m	p	g
	Ap2	10-26	10 YR 3/1	ArA	bsa	m	f,mf	b	f	pg	> 4.50	f	v	f	f,mf	f	p	g
	B	26-43	10 YR 2/1	FAR	bsa	m	m	b	f	pg	> 4.50	f	t	p	f	f	p	g
	E	43-52	10 YR 4/3	Ar	bsa	f	f	d	fi	pg	4.00	f	t	p	mf	p	p	G
	Bt	52-75+	10 YR 4/6	ArA	ba	f	mf	d	fi	lpg	> 4.50	f,mf	t	p	mf	p	p	G
9	Ap	0-10	10 YR 3/3	FA	g	d	mf	s	mf	pg	2.00	t	t	m	tg	f	p	G
	Ap2	10-40	10 YR 2/2	F	ba	f	m	b	f	pg	> 4.50	f	t,v	p	mf	f	p	G
	E	40-52	10 YR 3/4	FA	ba	d	f	b	f	lpg	> 4.50	f,m	t,v	f	mf	p	p	A
	Bt	52-80+	10 YR 3/3	Ar	ba	f	g	b	fi	npg	> 4.50	f	v	p	mf	p	i	G

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

**Efecto del subsolado sobre el tamaño de los agregados en el suelo.** Los agregados predominantes en el primer horizonte después de subsolar fueron muy gruesos (100-50 mm) y gruesos (50-20 mm) en su mayoría con respecto a los agregados del mismo tamaño antes del subsolado (Figura 5). Este comportamiento se debe el subsolador rompió los horizontes compactados y generó grandes agregados en la superficie. En el segundo (Figura 6) y tercer horizonte (Figura 7) se puede observar que los agregados disminuyen su tamaño después que se subsoló el suelo.

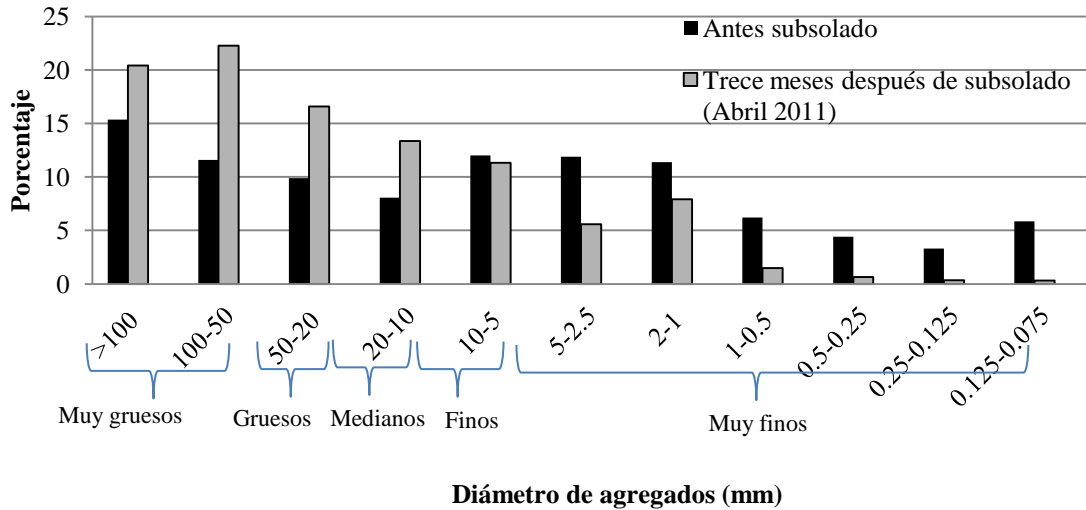


Figura 5. Porcentaje de agregados de diferente diámetro del primer horizonte. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

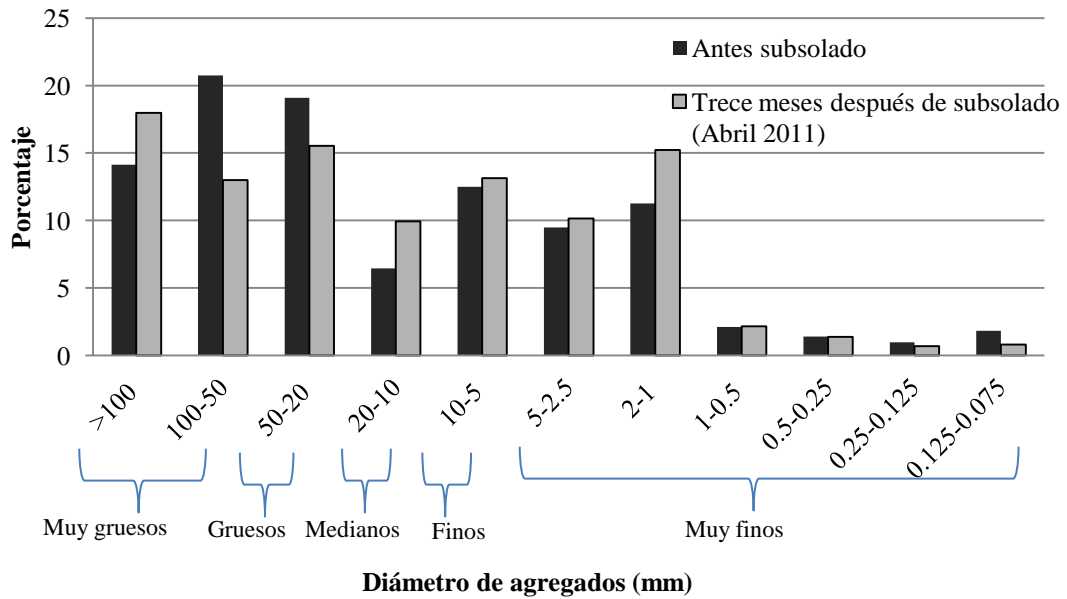


Figura 6. Porcentaje de agregados de diferente diámetro del segundo horizonte. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

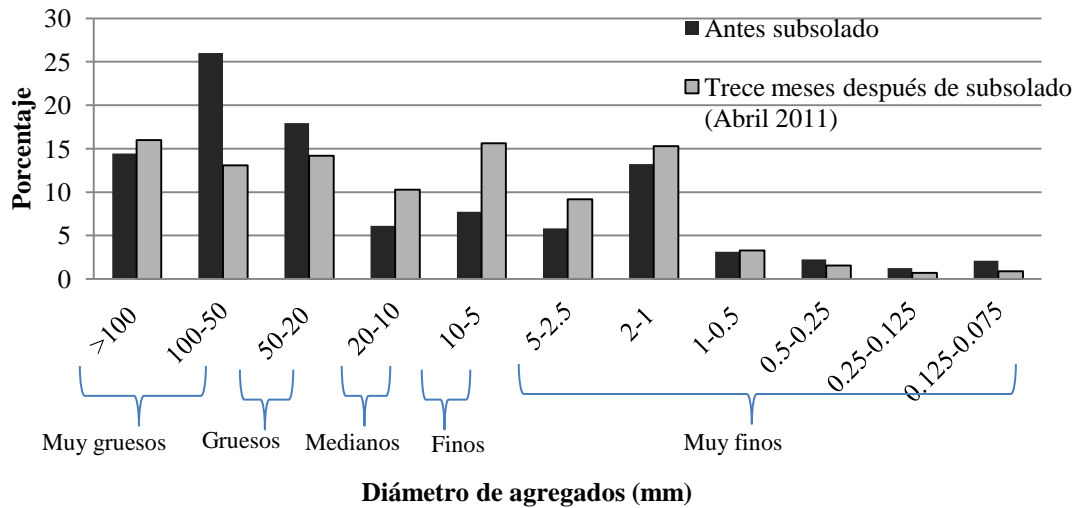


Figura 7. Porcentaje de agregados de diferente diámetro del tercer horizonte. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

**Diámetro ponderado medio.** No se encontraron diferencias significativas en el diámetro ponderado medio de los agregados, para ninguno de los tratamientos subsolado y no subsolado (Cuadro 9). El tamaño de estos agregados se mantuvo relativamente igual a través del tiempo, esta tendencia pudo haber sido causada por la cohesividad de las arcillas, manteniendo los agregados en tamaños similares (Navarro *et al.* 2000).

Cuadro 9. Diámetros ponderado medio de los agregados en los tres primeros horizontes, antes y después del subsolado, en suelos arcillosos masivos. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Diámetro de los agregados por horizonte (mm)		
	1	2	3
No subsolado	36.1	34.8	34.1
Trece meses después del subsolado	30.3	38.8	42.2

No hay significancia entre los tratamientos, con una  $P > 0.05$ .

**Evaluación de producción de materia seca del pasto.** El lote subsolado presentó rendimiento 28% mayor en comparación con el lote no subsolado. Solo aplicar magnesio incremento un 13% en la producción de materia seca. En las parcelas subsoladas con aplicación de magnesio presentaron, significativamente, un incremento un 44% en la producción de materia seca (Cuadro 10).



Cuadro 10. Evaluación de la producción de materia seca en lotes subsolado (sub) y no subsolado (no sub), con magnesio y sin magnesio. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Producción (kg/ha/corte)				Total anual <sup>¥</sup> (kg/ha)	Incremento en producción <sup>‡</sup>	
	1	2	3	4		kg/ha/año	%
Sub con Mg	3261 <sup>a</sup>	2643 <sup>a</sup>	2603 <sup>a</sup>	2073 <sup>a</sup>	26450 <sup>a</sup>	8,110	44
Sub no Mg	2966 <sup>ab</sup>	2160 <sup>ab</sup>	2250 <sup>ab</sup>	2023 <sup>a</sup>	23498 <sup>ab</sup>	5,158	28
No sub con Mg	2331 <sup>c</sup>	dp <sup>‡</sup>	1993 <sup>c</sup>	1913 <sup>a</sup>	20790 <sup>c</sup>	2,450	13
No sub no Mg	1944 <sup>d</sup>	dp	1678 <sup>c</sup>	1880 <sup>a</sup>	18340 <sup>d</sup>		

<sup>abc</sup> Valores con diferente letra en la misma columna difieren entre si, P<0.05.

dp<sup>‡</sup> datos perdidos.

<sup>‡</sup> Incremento de producción de M.S. en comparación con el área no subsolada no Mg.

<sup>¥</sup> Total anual con basado en 10 cortes, que corresponden a 210 días de pastoreo anual en Zamorano.

El análisis del suelo del área de Zorrales 7 indicó que el fósforo se encuentra en niveles elevados. Por saturación de bases el magnesio se encuentra en cantidades bajas. Las relaciones de Ca:K, Ca:Mg, y (Ca+Mg):K indicaron que existe efecto antagónico sobre la absorción de magnesio, debido a la alta concentración de potasio en el suelo.

**Análisis económico.** El tratamiento subsolado con magnesio obtuvo un ingreso marginal neto de US\$ 469 (Cuadro 11); el tratamiento subsolado, US\$ 360 (Cuadro 12); el tratamiento que solo se le aplicó magnesio, US\$ 94 (Cuadro 13).

Cuadro 11. Ingreso marginal neto entre producción de M.S. del testigo (no subsolado sin magnesio) y subsolado con magnesio. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Parámetros	Testigo <sup>β</sup>	Subsolado con magnesio
Cantidad MS kg/ha (promedio 4 cortes)	1,376	2,645
Cortes anuales	10	10
Cantidad de MS/año (kg)	13,755	26,450
Eficiencia de pastoreo (%)	70	70
Disponibilidad del pasto (kg MS/ha/año)	9,629	18,515
Peso de vacas de carne en pastoreo (kg)	400	400
Consumo esperado de materia seca (2%PV), (kg)	9	9
Capacidad carga animal esperada	5	10
Ganacia diaria de peso esperada (kg)	0.9	0.9
Producción total diaria por unidad de área (kg)	963	1,852
Ingreso neto estimado de la producción (US\$)	508	978
Diferencial monetario (US\$)		469

<sup>β</sup> no subsolado sin magnesio.

Cuadro 12. Ingreso marginal neto entre producción de de M.S. del testigo (no subsolado sin magnesio) y subsolado. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Parámetros	Testigo <sup>β</sup>	Subsolado
Cantidad MS kg/ha (promedio 4 cortes)	1,376	2,350
Cortes anuales	10	10
Cantidad de MS/año (kg)	13,755	23,498
Eficiencia de pastoreo (%)	70	70
Disponibilidad del pasto (kg MS/ha/año)	9,629	16,448
Peso de vacas de carne en pastoreo (kg)	400	400
Consumo esperado de materia seca (2%PV), (kg)	9	9
Capacidad carga animal esperada	5	9
Ganacia diaria de peso esperada (kg)	0.9	0.9
Producción total diaria por unidad de área (kg)	963	1,645
Ingreso neto estimado de la producción (US\$)	508	869
Diferencial monetario (US\$)		360

<sup>β</sup> no subsolado sin magnesio.

Cuadro 13. Ingreso marginal neto de producción de M.S. del área testigo (no subsolado sin magnesio) y área con magnesio. Zorralles 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Parámetros	Testigo <sup>f</sup>	Con Magnesio
Cantidad MS kg/ha (promedio 4 cortes)	1,376	1,629
Cortes anuales	10	10
Cantidad de MS/año (kg)	13,755	16,293
Eficiencia de pastoreo (%)	70	70
Disponibilidad del pasto (kg MS/ha/año)	9,629	11,405
Peso de vacas de carne en pastoreo (kg)	400	400
Consumo esperado de materia seca (2%PV), (kg)	9	9
Capacidad carga animal esperada	5.1	6
Ganacia diaria de peso esperada (kg)	0.9	0.9
Producción total diaria por unidad de área (kg)	963	1,141
Ingreso neto estimado de la producción (US\$)	508	576
Diferencial monetario (US\$)		93

<sup>f</sup> no subsolado sin magnesio.

El tratamiento subsoleo con magnesio, se obtuvo un valor actual neto (VAN) positivo de US\$ 257 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 25% (Cuadro 14); el tratamiento solo subsolado, VAN de US\$ 180 y TIR de 23% (Cuadro 15); solo aplicar magnesio, VAN de US\$ 20 y TIR de (Cuadro 16).

Cuadro 14. Análisis económico marginal de implementar subsoleo y magnesio en pasto Tobiata. Zorralles 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Parámetros de referencia	Año					
	0	1	2	3	4	5
Subsolado (US\$)	-650					
Fertilización <sup>β</sup> (US\$)	-78					78
Ingreso neto <sup>ε</sup> (\$/ha)		469	469	469	469	469
Costo subsolar (\$/ha)		-130	-130	-130	-130	-130
Costo del magnesio (\$/ha)		-78	-78	-78	-78	-78
Ingreso marginal neto (\$/ha)	-728	261	261	261	261	339
VAN <sup>¥</sup> (US\$)	257					
TIR (%)	25					

<sup>¥</sup> VAN con tasa de descuento al 12%.

<sup>β</sup> Capital de trabajo.

<sup>ε</sup> Ingreso neto por producción de M.S.

Cuadro 15. Análisis económico marginal de implementar subsolar en suelos arcillosos masivos. Zorralles 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Parámetros de referencia	Año					
	0	1	2	3	4	5
Subsolado (US\$)	-650					
Ingreso neto <sup>£</sup> (\$/ha)		360	360	360	360	360
Costo subsolar (\$/ha)		-130	-130	-130	-130	-130
Ingreso marginal neto (\$/ha)	-650	230	230	230	230	230
VAN <sup>¥</sup> (US\$)	180					
TIR (%)	23					

<sup>¥</sup>VAN con tasa de descuento al 12%.

<sup>£</sup>Ingreso neto por producción de M.S.

Cuadro 16. Análisis económico marginal de aplicar magnesio al pasto Tobiatá. Zorralles 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Parámetros de referencia	Año					
	0	1	2	3	4	5
Fertilización <sup>β</sup> (US\$)	-78					78
Ingreso neto <sup>£</sup> (\$/ha)		93	93	93	93	93
Costo del magnesio (\$/ha)		-78	-78	-78	-78	-78
Ingreso marginal neto (\$/ha)	-78	15	15	15	15	93
VAN <sup>¥</sup> (US\$)	20					
TIR (%)	19					

<sup>¥</sup>VAN con tasa de descuento al 12%.

<sup>β</sup>Capital de trabajo.

<sup>£</sup>Ingreso neto por producción de M.S.

## 4. CONCLUSIONES

- Bajo condiciones de suelos arcillosos masivos, pobremente drenados, el subsoleo profundo (1 m) aumentó en la producción de materia seca del pasto Tobiata (*Panicum máximum*).
- El magnesio incrementó la producción de materia seca del pasto en 13%, solo el subsolado incrementó 28% y en la interacción subsolado con magnesio el incremento fue de 44%.
- La densidad aparente, espacio poroso y resistencia a la penetración presentaron diferencia significativa a través del tiempo, en el segundo horizonte. En los más profundos no se encontraron diferencias significativamente, debido a la profundidad de los cinces y al efecto de las macollas sobre la superficie.
- El subsoleo incrementó el tamaño de los agregados en el primer horizonte y lo disminuyó en el segundo y tercer horizonte.

## 5. RECOMENDACIONES

- Implementar la labor de subsoleo como plan de manejo de pasturas y suelos en terrenos sometidos al constante pastoreo animal.
- Aplicar magnesio, basado en análisis de suelos, para mejorar la deficiencia del suelo y aumentar la producción de materia seca del pasto.
- Bajo las condiciones de pendiente y topografía que presenta Zorrales 7 es recomendable elaborar un canal en las partes bajas del terreno para que el agua pueda salir y no se acumule.
- Antes de usar cualquier tipo de mecanización se debe realizar un diagnóstico del suelo para determinar el tipo de mecanización y dirección de la misma.
- Antes de realizar una labor de subsoleo, es importante limpiar el área que se va a subsolar, para que la eficiencia del subsoleo no sea afectada.
- Al finalizar el subsoleo, se debe pasar una rastra mediana para eliminar los terrones gruesos quedados en las superficies.
- Realizar subsoleo con humedad cerca al punto de marchitez permanente del suelo (15 atmósferas).

## 6. LITERATURA CITADA

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

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

Castro Vargas, R. E. 2003. Caracterización detallada de los suelos de los sectores de ganado lechero y Monte Redondo 1, 2 y 3 de El Zamorano, Honduras para el establecimiento y renovación de pasturas. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Tegucigalpa, Honduras, 34 p.

FAO. 2006. Guidelines for soil description. 4th. ed. Roma, Italia, FAO. 109 p.

Fernández Díaz, J. V. 2003. Caracterización detallada de los suelos de Zorrales y Monte Redondo, de El Zamorano, Honduras para el establecimiento y renovación de pasturas. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Tegucigalpa, Honduras. 45 p.

Gauggel, C; Arévalo G; Barahona, R. 2009. Índices de Calidad de los Suelos para las propiedades Morfologías, físicas y químicas. En: Memoria Congreso Latinoamericano de la ciencia del suelo, 16 a 20 de Noviembre, 2009, Costa Rica. P 52.

Martínez Coronado, A. A. 2001. Comparación de los cultivares Tobiatá y Tanzania del pasto Guinea (*Panicum maximun*). Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Tegucigalpa, Honduras. 11 p.

Montenegro González, H; Malagón Castro, D. 1990. Física de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. 813 p.

Mufarrege, D. 2001. El magnesio en la alimentación del ganado bobino para carne. (en línea) consultado 10 de octubre del 2011. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion\\_mineral/57-magnesio\\_corrientes.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/57-magnesio_corrientes.pdf).

Navarro Bravo, A.; Figueroa Sandoval, B.; Ordaz Chaparro, V. M.; González Cossio, F. V. 200. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. Terra latinoamericana vol. 18(001):61-69.

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.

Taboada, M. A; Miccucci, F. G. 2002. Fertilización física de los suelos. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 79 p.

SAS® (Statistical Analysis System) 2000. User's Guide Statistical Analysis Institute Inc. Carey N.C.



## 7. ANEXOS

Anexo 1. Coordenadas (UTM) de las ubicaciones de las calicatas en Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Calicatas	X	Y
1	500724	1548032
2	500711	1547932
3	500692	1547835
4	500630	1548056
5	500950	1547950
6	500587	1547849
7	500526	1548093
8	500512	1547972
9	500510	1547911

Anexo 2. Agregados en la superficie del suelo producto del subsoleo. Zorrales 7. E.A.P., Zamorano, Honduras.



Anexo 3. Análisis de suelo del lote de Zorrales 7, E.A.P. Zamorano, Honduras.

**ZAMORANO LABORATORIO DE SUELOS**  
**CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCION AGROPECUARIA**

Zamorano tels. (504) 776-6140 al 50 ext. 2316 Fax: (504) 776-6242 Cel 9969-6846

Solicitante: GRUPO 15
Institución: PARTICULAR
Localización Aldea Municipio
de la muestra: ZORRALES, ZAMORANO
Departamento: FRANCISCO MORAZÁN
Cultivo a sembrar:
Recomendación: Si No

**RESULTADO DE ANÁLISIS  
 DE SUELOS**

**Metodos:**

P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn: Solución extractora Mehlich 3

% M.O. : Metodo de Walkley & Black

% N total: 5% de M.O.

pH: Relación suelo : agua; 1:1

# Lab.	Muestra	pH (H <sub>2</sub> O)	% M.O.	% N total	mg/Kg (Extractable)								Req. Cal (to/ha)		
					P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	CaCO <sub>3</sub>	Dolomítica
11-S-0542	Zorrales	5.72	3.24	0.16	33	684	1540	210	90	2.1	453	113	1.5	2.2	2.3

Rango Medio			2.00	0.20	13						1.70	56	28	1.7
			4.00	0.50	30						3.4	112	112	3.4

Responsables del análisis:

*Wendy Ramos*  
 Dra. Wendy Ramos



*Dania Pamela Oliva*  
 Ing. Dania Pamela Oliva