

Caracterización física y química de suelos manejados bajo gramíneas forrajeras y cultivos extensivos en El Zamorano, Honduras

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

Presentado por

Néstor Adalberto Núñez Servellón

| | |
|------------|-------|
| MICROFIS: | _____ |
| FECHA: | _____ |
| ENCARGADO: | _____ |

EL Zamorano-Honduras
Diciembre, 1999

#1050

El autor concede a El Zamorano permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor



Néstor Adalberto Núñez Seryellón

EL Zamorano-Honduras
Diciembre, 1999

DEDICATORIA

Al grupo de personas más importante en mi vida: Mi Familia, Luis Edmundo Núñez, Silvia Margarita de Núñez, Luis, Fidias y Rodrigo Núñez Servellón; por ser parte de un sueño que llegó a tomarse realidad, por darme un amor tan grande e inquebrantable, que ha sido lo que nos ha mantenido unidos en los momentos más difíciles, por sus sacrificios desinteresados; por todos los principios inculcados, que han hecho de mí lo que soy y hacerme sentir orgulloso de que sean parte de mí.

AGRADECIMIENTOS

Gracias Señor por ser mi luz y mi sendero, sin tí mi vida sería incierta y sin sentido, gracias por no abandonarme y ser mi mejor compañía en los buenos y malos momentos.

A mis Padres porque en verdad este título les pertenece a ellos, ya que sin su ejemplo de esfuerzo y dedicación, nunca hubiese llegado hasta aquí.

A mis hermanos: Luis Edmundo, Fidias Esteban y Rodrigo José, por ser parte de mi inspiración, durante todos los días que he estado lejos de casa, y mejor aún, ser parte de mi vida.

A la Dra. Andrews, por su apoyo desde los inicios del presente estudio y consejos valiosos.

Al Dr. Paz, por sus consejos y apoyo de campo.

Al MSc. Luis Cañas, por ser un ejemplo a seguir como profesional y más aún como calidad de persona.

Al Ing. Rogelio Trabanino y a la Empresa de Cultivos Extensivos, por su valiosa colaboración en la realización del estudio.

A la Ing. Aracely Castro y al Proyecto de Investigaciones en Frijol, por su ayuda desinteresada.

A la Familia Peñalba, por haberse convertido en mis segundos padres y estar siempre que los necesitaba.

A Pipo Salinas por "sus valiosos consejos y apoyo logístico".

A mis amigos José Fco. Bustos, Karlos Muñoz, Melvin Medina y Leo Tavares por ser algo más que amigos: ser mis hermanos.

A mi compañero de cuarto Paul Peña, por su verdadera amistad, consejos, apoyo y por compartir un año bastante "entretenido".

A mis compañeros del Dpto. de Agronomía: José Roberto H., Denis C., Juan Angel D., Félix V., Denis P., Zamir C., Juan Francisco L., Bertha H., Xiomara G. y Elena S.

A Juan Roberto Barillas, por haberse convertido en un inseparable amigo en el “campo de batalla”.

A mis amigos Carlos Alvarenga y Roger Huevo, por su amistad y colaboración incondicional.

A Claudia Urrutia, por ser mi cómplice y amiga.

A mis amigos en El Salvador: Alex Matus, Carlos Matus, Ronald Fuentes, Carlos Eduardo Núñez y Luis Casamalgua, por tomar como propios mis logros alcanzados y no dejar que el tiempo ni la distancia hicieran olvidar el significado de la amistad.

A Ana María Guardado, por ser una persona especial en mi vida, por su cariño, amistad y haberme regalado uno de los recuerdos mas bellos de este año.

A Karen Baker, por ser una inesperada estrella de la suerte en mi vida.

A mis demás compañeros del PLA, por la camaradería, amistad y muchas cosas más.

A mi orgullo más grande: Mi Patria El Salvador.

RESUMEN

Núñez S., Néstor A. 1999. Caracterización física y química de suelos manejados con gramíneas forrajeras y cultivos extensivos, en El Zamorano. Proyecto especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras. 35 p.

Las características físicas y químicas del suelo, dependen en gran parte del manejo al que sean sometidos. La producción agrícola, implica prácticas convencionales, que influyen en un cambio, muchas veces drásticos en los suelos. En el Zamorano, los suelos destinados a la producción de cultivos extensivos, tienen mucho años de estar en uso continuo y pocas veces son sometidos a rotaciones de cultivo, con abonos verdes o plantas resturadoras de suelo. En el presente estudio se seleccionaron el área de San Nicolás la terraza 6 sembrada con *Panicum maximum* var. *Tobiatá*, conocido como Tobiatá; la terraza 7 sembrada con pasto *Digitaria eriantha*, conocido como Transvala y la terraza 8 manejada con maíz, frijol y sorgo. Se tomaron muestras de suelo en forma de cuadrícula para determinar la influencia de las gramíneas y su manejo contrastada con la de los cultivos extensivos sobre las características de los suelos. Los suelos sembrados con pastos mostraron niveles superiores en la mayoría de nutrimentos estudiados y características físicas más apropiadas para planta que la terraza con cultivos extensivos, indicando que la siembra de pastos y las prácticas de manejo que se le dan, han beneficiado estos suelos.

Palabras claves: Tobiatá, Transvala, manejo de suelos

Nota de prensa

¿ QUE EFECTO TIENEN LAS GRAMINEAS FORRAJERAS SOBRE LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO?

El manejo que se le da al suelo influye en sus características físicas y químicas. Los cultivos extensivos proporcionan poca cobertura y por ser manejados con prácticas convencionales, afectan de manera negativa los suelos, degradando y disminuyendo su productividad.

Las gramíneas forrajeras de corte, permiten conservar mejor las características del suelo, debido a la capa vegetal que da protección permanente. La cobertura permanente deposita en el suelo mayor cantidad de biomasa, la cual es transformada a materia orgánica, la que es mineralizada por microorganismos y luego convertida en elementos necesarios para el desarrollo de los cultivos.

Entre mayo y agosto de 1999, se llevó a cabo en El Zamorano un estudio para comparar los efectos de las gramíneas forrajeras versus los cultivos extensivos en las características del suelo. El ensayo se desarrolló en la época lluviosa; las gramíneas estudiadas fueron *Panicum maximum* var. Tobiatá (Tobiatá) y *Digitaria eriantha* (Transvala), las que fueron contrastadas con un terreno manejado con cultivos extensivos.

En el estudio se trató de determinar los beneficios que implica el manejo de las gramíneas sobre el suelo, y proporcionar datos sobre el daño que pueden causar las prácticas utilizadas en el manejo de cultivos extensivos.

Para realizar el estudio se hicieron muestreos para determinar las características físicas y químicas en tres terrazas, dos sembradas con gramíneas y una con cultivos extensivos.

Las gramíneas presentaron una influencia más positiva que los cultivos extensivos, los cuales repercutieron en un desgaste de los nutrientes y de ciertas características físicas del suelo. De esta manera se determinó la capacidad restauradora que pueden tener las gramíneas.

Otro aspecto importante fue el tipo de metodología que se utilizó, con un muestreo sistemático por medio de una cuadrícula del terreno, el cual permitió abarcar mejor las variaciones que presentaron los terrenos y conocer mejor sus características. Este tipo de metodología, es una base de lo que podría ser una implementación de una agricultura de precisión en El Zamorano.

CONTENIDO

| | | |
|---------|---|-----------|
| | Portadilla..... | i |
| | Autoría..... | ii |
| | Página de firmas..... | iii |
| | Dedicatoria..... | iv |
| | Agradecimientos..... | v |
| | Resumen..... | vii |
| | Nota de prensa..... | viii |
| | Contenido..... | ix |
| | Índice de Cuadros..... | xi |
| | Índice de figuras..... | xii |
| | Índice de Anexos..... | xiii |
| 1 | INTRODUCCION..... | 1 |
| 1.1 | Objetivos..... | 2 |
| 1.1.1 | Objetivo principal..... | 2 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos..... | 2 |
| 2 | REVISION DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 | El suelo..... | 3 |
| 2.2 | Efecto de la degradación de suelo sobre las características físico - químicas..... | 3 |
| 2.2.1 | Compactación de suelo..... | 4 |
| 2.2.2 | Densidad aparente..... | 4 |
| 2.2.3 | Nutrientes de suelo..... | 5 |
| 2.3 | Efecto de las gramíneas sobre las características de suelo..... | 5 |
| 2.3.1 | Características de suelo..... | 5 |
| 2.3.2 | Sistemas de pastos naturales..... | 6 |
| 2.3.3 | Sistemas de pastos sembrados..... | 6 |
| 2.3.3.1 | Masa radicular de los pastos..... | 6 |
| 2.3.3.2 | Pastos estudiados..... | 7 |
| 2.4 | Efecto de la labranza convencional..... | 7 |
| 2.5 | Rotación de cultivos..... | 8 |
| 2.5.1 | Origen de la rotación de cultivos..... | 8 |
| 2.5.2 | Impacto de la rotación de cultivos..... | 8 |
| 2.6 | Agricultura de precisión..... | 9 |
| 3 | MATERIALES Y METODOS..... | 10 |
| 3.1 | Ubicación..... | 10 |
| 3.2 | Terreno seleccionado..... | 10 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 3.2.1 | Historial de las terrazas..... | 10 |
| 3.3 | Muestreo..... | 11 |
| 3.3.1 | Cuadrícula de las terrazas..... | 11 |
| 3.3.2 | Muestra para densidad aparente..... | 12 |
| 3.3.3 | Medición de la compactación..... | 12 |
| 3.4 | Análisis de laboratorio..... | 12 |
| 3.4.1 | Determinación de N..... | 12 |
| 3.4.2 | Determinación de P aprovechable de suelo..... | 12 |
| 3.4.3 | Determinación de K, Ca y Mg..... | 13 |
| 3.4.4 | Determinación de pH..... | 13 |
| 3.4.5 | Determinación de materia orgánica (M.O.) | 13 |
| 3.4.6 | Determinación de textura por Bouyoucos..... | 13 |
| 3.4.7 | Determinación de densidad aparente..... | 13 |
| 3.5 | Diseño experimental..... | 13 |
| 3.6 | Análisis estadístico..... | 14 |
| 4 | RESULTADOS Y DISCUSION..... | 15 |
| 4.1 | Análisis estadístico..... | 15 |
| 4.1.1 | Influencia del manejo suelo – cultivo sobre los niveles de N..... | 15 |
| 4.1.2 | Influencia del manejo suelo – cultivo sobre la Materia Orgánica..... | 16 |
| 4.1.3 | Influencia del manejo suelo – cultivo sobre el P..... | 17 |
| 4.1.4 | Influencia del manejo de suelo – cultivo sobre el K..... | 18 |
| 4.1.5 | Influencia del manejo suelo – cultivo sobre el Ca..... | 18 |
| 4.1.6 | Influencia de manejo suelo – cultivo sobre el Mg..... | 19 |
| 4.1.7 | Influencia del manejo suelo – cultivo sobre la densidad aparente (D.A.).. | 20 |
| 4.1.8 | Influencia del manejo suelo – cultivo sobre la compactación de suelo.... | 20 |
| 4.1.9 | Influencia del manejo suelo – cultivo sobre el pH..... | 22 |
| 5 | CONCLUSIONES..... | 23 |
| 6 | RECOMENDACIONES..... | 24 |
| 7 | BIBLIOGRAFIA..... | 25 |
| 8 | ANEXOS..... | 28 |

INDICE DE CUADROS

| | | |
|--------|---|----|
| Cuadro | | |
| 1 | Análisis de suelos de las tres terrazas de San Nicolás, El Zamorano..... | 11 |
| 2 | Niveles de significancia entre las variables estudiadas..... | 15 |
| 3 | Efecto del manejo suelo – cultivo sobre los niveles de nitrógeno en San Nicolás, El Zamorano, 1999..... | 16 |
| 4 | Efecto del manejo suelo – cultivo sobre la materia orgánica en San Nicolás, El Zamorano, 1999..... | 17 |
| 5 | Efecto del manejo suelo – cultivo sobre los niveles de fósforo en San Nicolás, El Zamorano, 1999..... | 17 |
| 6 | Efecto del manejo suelo – cultivo sobre los niveles de potasio en San Nicolás, El Zamorano, 1999..... | 18 |
| 7 | Efecto del manejo suelo – cultivo sobre los niveles de calcio en San Nicolás, El Zamorano, 1999..... | 19 |
| 8 | Efecto del manejo suelo – cultivo sobre los niveles de magnesio en San Nicolás, El Zamorano, 1999..... | 19 |
| 9 | Efecto del manejo suelo – cultivo sobre la densidad aparente en San Nicolás, El Zamorano, 1999..... | 20 |
| 10 | Significancias de la compactación de suelos en San Nicolás, El Zamorano, 1999..... | 20 |
| 11 | Efecto del manejo sobre la compactación de suelos en San Nicolás, El Zamorano, 1999..... | 21 |

INDICE DE FIGURAS

Figura

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Compactación de los suelos a diferentes profundidades bajo los tres sistemas manejos..... | 22 |
|---|---|----|

INDICE DE ANEXOS

| | | |
|-------|---|----|
| Anexo | | |
| 1 | Datos tomados de las variables estudiadas..... | 29 |
| 2 | Mapa de las terrazas 6, 7 Y 8 de San Nicolás..... | 31 |
| 3 | Cuadrícula de las terrazas de San Nicolás..... | 32 |
| 4 | Análisis de Suelos..... | 33 |

I. INTRODUCCION

Una de las funciones básicas del suelo es servir como sustrato donde las plantas anclan sus raíces para mantenerse erguidas. Los manejos o usos de suelo que deterioran la sustentabilidad de la estructura, se reflejan en un aumento de la compactación y la resistencia a la penetración de equipo de arado y raíces, lo cual afecta el desarrollo vegetal (Ellies y Contreras, 1997). El efecto del uso en las propiedades intrínsecas del suelo tiene gran importancia en la producción agrícola actual; ciertas prácticas de producción, involucran pérdida de la calidad del suelo que disminuyen los rendimientos e ingresos de los productores agrícolas (Ellies y Smith, 1998).

Los estudios de evaluación del efecto de ciertos cultivos y las prácticas de laboreo sobre los suelos de uso agrícola han ido en aumento. De esta manera, se ha llegado a conocer los aspectos positivos y negativos que tienen las prácticas utilizadas en la producción agrícola actual.

El Zamorano, no está fuera de esta problemática. Sus suelos han sido explotados por más de 50 años en actividades agrícolas (Arce, 1996). Presentan cierta degradación provocada por el uso actual. Es importante para El Zamorano evaluar el estado de los suelos de uso agrícola, y estudiar con detenimiento los cultivos y su manejo. Para lograr este propósito es preciso, poseer la información necesaria para poder analizarla, y decidir sobre el mejor manejo a dar a los suelos (Arce, 1996).

En el presente estudio se evaluaron dos suelos manejados con gramíneas forrajeras y uno manejado bajo cultivos extensivos. El uso de gramíneas forrajeras, tiene mucha importancia por ser alimento animal; es importante evaluar el efecto de estas especies en los suelos y compararlo con el efecto de las prácticas usadas en los cultivos extensivos. De esta manera se da una pauta para determinar el papel de las gramíneas en la conservación de suelos agrícolas, y su posible uso en rotaciones en un futuro.

Para determinar la importancia de estos efectos, es necesario emplear metodologías que implican un mayor conocimiento de los suelos y un uso más adecuado. Estas prácticas son una base de una posible implementación de agricultura de precisión en El Zamorano.

1.1 Objetivos

Para realizar el presente estudio, se propusieron los siguientes objetivos:

1.1.1 Objetivo principal

Establecer las diferencias existentes en las características físicas y químicas de suelos cultivados con gramíneas forrajeras y cultivos extensivos, con el fin de determinar la utilidad de las pasturas como restauradoras de suelo.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de los tres tipos de coberturas sobre las características físicas y químicas del suelo.
2. Identificar las diferencias que implica el manejo sobre las características intrínsecas del suelo
3. Establecer una base metodológica para la agricultura de precisión en El Zamorano.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 EL SUELO

Los suelos son la base misma de la existencia. A lo largo del pasado, presente y futuro previsible, han sido, son y serán la base de nuestra cadena de suministro de alimentos y un recurso vital de capital de cada nación (Sheng, 1990). El suelo es un recurso natural no renovable que debe de manejarse de forma sostenible; para lograr este propósito, debe de ser utilizado de acuerdo a su capacidad de uso (Ritchers, 1995).

Actualmente existe una justificada preocupación por la degradación de suelo y sus efectos adversos sobre la productividad agrícola y el medio ambiente (Troncoso *et al.*, 1997). Debido a la justificada preocupación por la degradación de suelos y sus efectos adversos sobre la productividad agrícola y calidad ambiental, es preciso ofrecer algunas alternativas al manejo que se le da al suelo.

2.2 EFECTO DE LA DEGRADACION DEL SUELO SOBRE LAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

Un suelo no incorporado a las actividades silvoagropecuarias y que aún tiene su cubierta vegetal original, sirve de referencia para determinar el grado y la dirección de los cambios que experimentan las características de suelo con los distintos tipos de manejo que se le da a éste (Ellies *et al.*, 1993a).

Según Ellies *et al.* (1993b), los factores edáficos que afectan el crecimiento de los cultivos no solo se explican por el estado nutricional sino también, por la relación aire-agua-suelo. Esta relación puede experimentar cambios con el tipo de manejo que alteren la estructura del suelo.

2.2.1 Compactación de suelo

Según Tarawally y Frometa (1998), la compactación de suelo puede definirse como el decremento en el volumen de una unidad dada de suelo, debido a la aplicación de una carga mayor que el esfuerzo interno de dicho suelo, la cual acarrea una disminución en el espacio poroso y un aumento en su densidad.

La compactación de suelo equivale a la reducción en la profundidad y volumen de enraizamiento, lo cual impide desarrollar el potencial de crecimiento de los cultivos (Ellies y Smith, 1998).

Durante la compactación de suelo ocurre una reagrupación de las partículas primarias y los agregados con el transcurso del tiempo (Tarawally y Frometa, 1998). Sobre la compactación inciden factores internos y externos. En los primeros se incluyen la estructura, la estabilidad, la densidad aparente, distribución de poros por tamaño y el contenido de materia orgánica. Los factores externos son la magnitud de la carga, tipo de presión aplicada y la humedad (Ellies y Contreras, 1997).

Las prácticas de labranza que involucran un uso incorrecto de implementos agrícolas y un tránsito excesivo de maquinaria, causan un grave daño en los suelos. Este tipo de prácticas generalmente, conlleva a compactar el suelo repercutiendo negativamente sobre los rendimientos de los cultivos (Jiménez *et al.*, 1992). Es frecuente que estas prácticas de labranza se hagan cuando el suelo todavía presenta exceso de humedad; el resultado es una mayor compactación y la redistribución del tamaño de los poros (Ellies y Contreras, 1997).

La compactación trae problemas de resistencia a la penetración de raíces, agua y maquinaria agrícola. Un suelo suelto tiene baja resistencia a la penetración, mientras que un suelo compacto tiene una resistencia elevada. Otros problemas son la poca infiltración de agua y el pobre crecimiento de raíces. Por todo esto, la resistencia a la penetración es una forma de sondeo para medir la compactación de suelo (Jiménez *et al.*, 1992).

2.2.2 Densidad aparente

Las investigaciones sobre la estructura de suelo tienen un creciente interés sobre la producción agrícola (Ellies *et al.*, 1993b). Uno de los parámetros que se toman para determinar el estado de la estructura de suelo es la densidad aparente, propiedad más afectada por el laboreo del suelo (Pelegriñ *et al.*, 1996).

La degradación de la estructura, influye en la relación aire-agua-suelo. Esta se asocia con el aumento en la densidad aparente y con el cambio en la distribución por tamaño de los poros (Ellies *et al.*, 1993a). Thomas *et al.* (1996) al hacer una comparación entre suelos con labranza convencional, mínima y cero, determinaron que los suelos manejados con labranza cero presentaron las densidades aparentes menores; mientras que los suelos bajo manejo convencional, pueden presentar valores hasta 1.8 veces mayores (Ellies y Smith, 1998).

Según Pelegrin *et al.* (1996), la resistencia a la penetración como un indicador de compactación y la densidad aparente están estrechamente relacionadas. Los cambios en el suelo por diferentes sistemas de laboreo afectan la estructura, por lo tanto influyen directamente tanto en la densidad aparente como en la penetración de suelo, es decir la compactación del suelo.

2.2.3 Nutrientes de suelo

El principal problema en la producción agrícola es que al sustituir el ecosistema natural, se sufre una reducción de la fertilidad del suelo, debido a que se interrumpe el ciclo de nutrientes. Por lo tanto, uno de los aspectos más importantes en la producción es el control de la fertilidad del suelo y la fertilización. Para llevar a un control estricto de los rendimientos, la fertilidad se evalúa generalmente en dos componentes principales, la materia orgánica (M.O.) y los macronutrientes (Zeledón, 1996), que se ven afectados por el manejo que se le da al suelo. Uno de los grandes logros que tiene la práctica de la labranza conservacionista, es la recuperación de los niveles de M.O., pero lo más importante de este aumento de M.O., es su aporte energético y nutricional para los microorganismos, de esta manera se consigue una mayor concentración de macro y micronutrientes (Aguilera *et al.*, 1996). El ciclaje de nutrientes es la clave para el manejo de los mismos en un sistema de agricultura sostenible (King, 1990). El uso de pastos forrajeros de corte se puede considerar un tipo de labranza conservacionista, ya que no solo protege el suelo de la degradación, sino que contribuye a un aumento de la concentración de M.O. Según Silgran y Shepherd (1999), es importante entender completamente que los métodos de labranza usados, afectan el desarrollo biológico en el suelo, y por lo tanto afectan la mineralización de elementos como el nitrógeno (N).

2.3 EFECTO DE LAS GRAMINEAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE SUELO

2.3.1 Características de suelo

Los pastos constituyen uno de los medios más eficaces y económicos para retener el suelo y enriquecerlo. Siempre que se atiendan de acuerdo con las prácticas agrícolas adecuadas, el suelo protegido bajo un césped de vegetación herbácea, resulta más productivo y la aplicación de abonos minerales que requiere es mínima. Las raíces herbáceas en descomposición adicionan humus al suelo, y el humus a su vez, transforma los minerales naturales del suelo en sustancias que las raíces aprovechan. Además el desarrollo de las raíces trae un efecto mecánico beneficioso (USDA, 1987).

Las gramíneas no solo contribuyen a la estructura del suelo, también depositan residuos, y contribuyen al mantenimiento y la conservación de la fertilidad del suelo. Uno de los mayores efectos del manejo de pasturas es el incremento de la M.O., en la superficie de suelo. La acumulación de M.O. con el tiempo llega a un equilibrio, en donde los niveles aumentados se estabilizan con las cantidades mineralizadas y las pérdidas (Haynes y Williams, 1993). De la misma manera, el manejo de pasturas normalmente se asocia con la rehabilitación de la estructura del suelo, en contraste con la labranza convencional (Haynes y Williams, 1993).

El manejo de gramíneas en una rotación de cultivos puede tomarse como un tipo de labranza conservacionista, ya que tiende a reducir la erosión y a mantener la productividad de los suelos (Arrigo *et al.*, 1994).

2.3.2 Sistemas de pastos naturales

Del total de pastos que cubren la superficie terrestre, solo una pequeña proporción es pasto natural, la mayor proporción es pasto sembrado. El crecimiento natural de pastos se restringe a lugares donde las condiciones climáticas limitan el crecimiento de árboles u otro tipo de vegetación. La productividad de las praderas naturales es relativamente baja, debido a que los factores que limitan el crecimiento de los árboles, influyen en el crecimiento de cualquier planta en general (Haynes y Williams, 1993).

2.3.3 Sistema de pastos sembrados

La más alta productividad en pasturas se consigue en pastos sembrados. La mayor parte de las praderas sembradas, aparentemente se encuentran en equilibrio con el ambiente (Haynes y William, 1993). Sin embargo, este equilibrio dependerá de prácticas de manejo como el pastoreo excesivo, la arada intermitente, la aplicación de fertilizantes y el uso de herbicidas. Sin un manejo adecuado, como fertilizaciones adecuadas y uso correcto de la carga animal, las praderas se van eliminado progresivamente y dejan el suelo descubierto (Haynes y Williams, 1993).

2.3.3.1 Masa radicular de los pastos. La masa radicular de los pastos es muy importante por el efecto que tienen en la estructura, y por la contribución de materia orgánica y la agregación que las raíces hacen en el suelo cuando están en crecimiento. Alrededor del 75-78% de esta masa se encuentra localizada en los primeros 15 cm de profundidad, el 10-15% hasta los 30 cm; y el porcentaje restante ocasionalmente pasa los 45 cm (Santillán, 1999).

2.3.3.2 Pastos estudiados. Se estudiaron dos de los pastos de mayor uso en El Zamorano, para determinar el impacto que tienen estos sobre los suelos en producción.

Panicum maximum: Conocido como pasto Tobiata, es una planta perenne con hábito matoso, que crece de 0.5 a 4.4 m de alto, con tallos erectos u ocasionalmente postrados, dependiendo del cultivar. Este pasto genera más residuos de la raíz y la parte aérea, pero no contribuye con mayor M.O. al suelo, porque al hacerse la cosecha es cortado casi todo y quedan pocos residuos en el campo.

Digitaria eriantha: Llamado pasto Transvala, es una planta perenne con hábito decumbente o postrado, que tiende a formar pequeños grupos matosos a partir de una red de estolones en todas direcciones, y que a su vez tienen excelente habilidad para formar raíces en sus nudos, que están en contacto directo con el suelo (Santillán, 1999). El pasto trasvala genera menos biomasa que el pasto Tobiata, pero en la cosecha quedan mayor cantidad de desperdicios, lo que hace que el contenido de M.O. sea mayor en suelos manejados con estos pastos. En el pasto Transvala la masa radicular representa un 42 % de su masa aérea; mientras, que en el pasto Tobiata es un 38 %, lo cual significa que hace un mayor depósito de raíces en el suelos

2.4 EFECTO DE LA LABRANZA CONVENCIONAL

Para Zeledón (1996), el uso de una alta tecnología (maquinaria especializada) para la preparación de los suelos tiene justificaciones técnicas y económicas, ya que éstas dan al suelo las condiciones ideales para la germinación de la semilla. El laboreo del suelo aumenta la aireación del mismo; no obstante el uso intensivo de la labranza puede resultar en la destrucción de los agregados de suelo, produciendo encostramiento y aumento en la densidad aparente (Silgram y Shepherd, 1999).

Esta alta tecnología utilizada, conlleva a un aumento en la potencia y peso de maquinaria agrícola; esto induce a un aumento en las frecuencias del tráfico sobre el suelo. El resultado es compactación y una redistribución en la frecuencia por tamaño de los poros (Ellies y Contreras, 1997). Se han realizado muchos estudios para medir el efecto de los diferentes sistemas de laboreo en las características físicas (Pelegriñ *et al.*, 1996). Los sistemas de labranza afectan las características físicas del suelo, como la densidad aparente, la resistencia a la penetración y la porosidad de suelo (Hussain, 1998).

En la labranza convencional, más del 90% de la superficie de suelo puede ser compactada y su estructura destruida por las llantas del tractor y demás maquinaria. Cualquier tránsito de ruedas produce compactación, pero puede ser más severo después de la aradura. Esta fuerza compactiva limita el movimiento del agua y el crecimiento de las raíces, así la compactación de suelo es el mayor problema de los cultivos continuos en muchos suelos tropicales. Esto se observa especialmente en las operaciones agrícolas de cultivos intensivos y extensivos manejados de forma mecanizada (Rattan, 1995).

La ruptura en la estructura de suelo, especialmente en condiciones adversas de humedad, por las cargas pesadas (mal uso de maquinaria agrícola) trae la destrucción de la estructura y con ello la compactación (Tarawally y Frometa, 1998). Por otro lado, se ha popularizado el uso de labranzas conservacionistas, que son sistemas que tienden a reducir la erosión y mantener la productividad de los suelos, particularmente en aquellos que se degradan con facilidad (Arrigo *et al.*, 1994).

2.5 ROTACION DE CULTIVOS

2.5.1 Impacto de la rotación de cultivos

La rotación de cultivos y el adecuado manejo de los mismos hacen posible la sostenibilidad en la agricultura, ya que la incorporación y el mantenimiento de residuos vegetales en la superficie, permiten la reposición de la M.O., microorganismos, humedad y agregación del suelo (Arrigo *et al.*, 1994).

La rotación de cultivos, y la diversidad biológica que en algunos caso propician, ha tenido desde hace mucho tiempo gran éxito y aceptación, en lugares como la franja maicera de los Estados Unidos, y tomado como un sistema de producción tradicional en estos lugares (Francis y Clegg, 1990).

En la rotación de cultivos deben de utilizarse cultivos que rehabiliten el suelo, ya que rinden mayor provecho a la agricultura, porque conservan los elementos de nutrición vegetal ya existentes. Además de que mejoran la estructura del suelo, mejoran la materia orgánica y con ella se restaura el ciclo del N en el suelo (USDA, 1987).

La rotación de cultivos modifica el ambiente de un modo particular por absorción selectiva de nutrimentos, debido a las secreciones radiculares y por toda la microvida característica de la rizosfera (Arrigo *et al.*, 1994).

2.6 AGRICULTURA DE PRECISION

Según Roberson (1999), la agricultura de precisión es un nuevo concepto en producción agrícola, que puede ser definida como el conocimiento exhaustivo de la producción. La verdadera agricultura de precisión comienza con la planificación del cultivo, e incluye la labranza, la siembra, la aplicación de químicos, la cosecha y postcosecha.

La agricultura siempre se ha beneficiado por la incorporación de tecnología y avances científicos provenientes de otras industrias.

La Era Industrial comenzó con la mecanización y el uso de fertilizantes químicos; la Era Tecnológica ofreció ingeniería genética, y ahora en la Era de la Informática ofrece las ventajas de la agricultura de precisión (Whelan *et al.*, 1999).

Según Morgan (1995), hay dos métodos para implementar la agricultura de precisión, cada método tiene sus beneficios únicos, y pueden ser usados como un complemento o de manera combinada. Los métodos mencionados son:

- Basado en mapa: El cual consiste en el análisis de muestras de suelos de las zonas de producción de un terreno, de esta manera se genera un mapa de sitio específico, con las propiedades más importantes del suelo.
- Basado en sensores: En este método se utilizan sensores de tiempo real, así se determinan las necesidades, en el movimiento del implemento agrícola que se utilice.

Toda la metodología utilizada para este estudio, es un preámbulo de lo que podría ser la agricultura de precisión practicada en Zamorano. De esta manera, se esperaría mejor conocimiento de los suelos, y así podrían conseguirse mayores rendimientos en la producción agrícola, y lo que es más importante aún, se podrían planificar prácticas agronómicas que no solo conserven el suelo, sino que también rehabiliten sus características intrínsecas.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACIÓN

El estudio se llevó a cabo en la zona de San Nicolás, en la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, ubicada en el valle del río Yeguaré, al oriente de Tegucigalpa en el Departamento de Fco. Morazán, a una altura de 800 msnm, con una temperatura media anual de 24 °C.

3.2 TERRENOS SELECCIONADOS

Se seleccionaron tres terrenos, dos manejados con pastos y uno manejado con cultivos extensivos en El Zamorano. La terraza 6 cultivada con *Panicum maximum* var. Tobiatá, que tiene un área de 10.02 ha; la terraza 7 con *Digitaria eriantra* conocido como Transvala, con un área de 10.21 ha y la terraza 8, utilizada para cultivos extensivos como maíz, sorgo y frijol, durante los últimos 10 años con 9.96 ha (Anexo 2).

3.2.1 Historial de las terrazas

- Terraza # 6 con pasto Tobiatá: Esta terraza tiene aproximadamente, seis años de estar sembrada con este pasto. Las fertilizaciones utilizadas son las siguientes: 50 kg N/ha cada 35 días (intervalo entre cortes) y una sola aplicación anual de 18-46-0 aplicada al inicio de la época lluviosa.
- Terraza # 7 con pasto Transvala: El pasto Transvala fue sembrado en 1996. El programa de fertilización es el mismo que el pasto Tobiatá.
- Terraza # 8 con cultivos extensivos: Esta terraza se ha manejado por más de 10 años con cultivos extensivos. El maíz se fertiliza con 182 kg/ha de 18-46-0 a la siembra, 136 kg/ha de urea a los 30 días y 45 kg/ha a los 50 días después de la siembra. En la fertilización del frijol se usó una fertilización de 136 kg/ha de 18-46-0 a la siembra y una de 45 kg/ha de urea a los 30 días después de la siembra. En el sorgo se ha utilizado una fertilización de 182 kg/ha de 18-46-0 a la siembra y dos de urea de 182 kg/ha, una a los 30 y 50 días después de la siembra (Moreira y Reconco, 1997). En

1996, esta terraza fue encalada con 2 ton/ha de cal dolomítica, y sembrada con frijol Dólidos como abono verde.

Cuadro 1. Análisis de laboratorio de las tres terrazas, de San Nicolás, El Zamorano, 1999

| Terraza | Año | pH | M.O. (%) | N (%) | P (ppm) | K (ppm) |
|---------------|------|---------|----------|--------|---------|---------|
| P. Tobiata | 1989 | - | 2,16 M | - | 7,75 B | - |
| | 1991 | 5,12 FA | - | 0,10 B | 10,1 B | 376 A |
| | 1992 | 5,13 A | 3,08 M | 0,11 M | 23,7 M | 250 A |
| P. Transvala | 1989 | - | 2,56 M | 0,02 B | - | 232 A |
| | 1991 | 5,23 FA | - | 0,10 B | 6,23 B | 364 A |
| | 1992 | 4,77 FA | 3,08 M | 0,10 B | 24,9 M | 218 A |
| C. extensivos | 1989 | - | - | 0,04 B | - | 237 A |
| | 1991 | - | 5,15 A | 0,10 B | 7,49 B | 431 A |
| | 1992 | 4,71 FA | 2,89 M | 0,07 B | 27 M | 171 A |

Nota: A= Alto, M= Medio, B= Bajo, FA= Fuertemente ácido.

En las celdas con guión (-), los datos no fueron encontrados.

Fuente: Laboratorio de Suelos, El Zamorano.

3.3 MUESTREO

3.3.1 Cuadrícula de terreno y muestreo de las terrazas

Después de medir cada terraza se procedió a la cuadrícula. Para esto se tomaron cuadrículas de 40 x 40 m. Las muestras se tomaron de la intersección de cada cuadrícula. Este es el procedimiento más sistemático, tiene la ventaja de ser simple, sin embargo, no es un procedimiento completamente al azar y puede provocar sesgo.

Cada terreno tiene en promedio 800 m de largo y 120 m de ancho (Anexo 2). Se utilizaron cuatro estacas por línea y 21 a lo largo de cada terreno.

Cada línea de estacas a lo ancho del terreno de este a oeste, representó una muestra, cada estaca fue una submuestra y cada submuestra estaba formada por cuatro subsubmuestras, tomadas en forma de cruz, tomando de referencia cada estaca, y a 50 cm, de ésta fue sacada cada subsubmuestra a una profundidad de 30 cm. El total de muestras tomadas fue de 21 por terraza.

3.3.2 Muestreo para la densidad aparente

Para la densidad aparente el muestreo se realizó tomando siete muestras por cada uno de los tres bloques en que fue dividido cada terraza. Las muestras se realizaron en zigzag, con un tubo cilíndrico con 10,5 cm de largo y 4,5 cm de ancho; las muestras fueron colocadas en unas latas cilíndricas de aluminio.

3.3.3 Medición de la compactación

Para la medición se utilizó un penetrómetro. Este consiste en un cono que cuenta con un ángulo de 90° en la punta de un eje graduado y con un medidor de la fuerza de penetración, que es forzada manualmente dentro del suelo, las lecturas son registradas en psi (lb/plg²).

En el presente estudio se utilizó el penetrómetro marca Dickey-John. Se utilizó en el ensayo el cono de ¼", el cual es utilizado para suelos suaves, ya que la medición fue realizada en la época lluviosa.

Para determinar la compactación de las tres terrazas, se utilizaron los mismos puntos de muestreo que se usaron en el muestro para las características químicas. Se sacaron lecturas en cada punto de muestreo, cada 3, 6, 9 y 15 pulgadas, marcadas en el penetrómetro.

3.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras de suelo fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de El Zamorano, siguiendo la metodología establecida (Manual del Módulo de Suelos, s.f).

3.4.1. Determinación del N

Se utilizó el método de micro-Kjeldahl, para la determinación del N total.

3.4.2. Determinación de P aprovechable del suelo

La determinación de P aprovechable del suelo se realizó por medio de un método colorimétrico. El P es extraído por la solución extractora de Mehlich I. El equipo utilizado fue el Spectronic 20 Milton Roy Co.

3.4.3 Determinación de K, Ca y Mg

Los elementos aprovechables se extrajeron utilizando la solución Mehlich I. La cantidad de elementos se determinó con el espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian, modelo SpectrAA5.

3.4.4 Determinación de pH

El pH se determinó por medio del potenciómetro marca Fisher Scientific Acumet® modelo 810. La relación peso:volumen fue 1:1.

3.4.5 Determinación de materia orgánica (M.O.)

La M.O. fue determinada por medio del método de Walkley y Black.

3.4.6 Determinación de textura por Bouyoucus

El análisis de textura se realizó por el método de Bouyoucus o del hidrómetro. Este método es basado en la ley de Stokes.

3.4.7 Determinación de la densidad aparente

Las muestras fueron secadas por 48 h, y luego pesadas. La densidad aparente se determinó, dividiendo la masa de cada muestra entre el volumen del cilindro muestreador utilizado.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño utilizado fue un modelo anidado, donde los bloques estuvieron anidados dentro de los tratamientos (tipo de cultivo por terraza).

3.6 ANALISIS ESTADISTICO

Para el análisis estadístico, se utilizó el programa SAS[®] 6.12 (1996). Para cada una de las variables del estudio se realizaron pruebas residuales, análisis de varianza (ANDEVA); y para las variables significativas se hizo una prueba Duncan de separación de medias. El nivel de rechazo utilizado fue de 0.05.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 ANALISIS ESTADISTICO

Las diferencias en el manejo de las terrazas, hizo que existieran diferencias en las variables en estudio (Anexo 1). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas; a excepción del pH, que fue similar en las tres terrazas (Cuadro 2). Todas las variables, a excepción de la densidad aparente, presentaron un índice de correlación bajo, es decir que el modelo estadístico no explicó las variaciones observadas; mayormente se debieron a factores externos al estudio, como la precipitación y las temperaturas imperantes. En el caso de la densidad aparente, las diferencias encontradas entre las terrazas fue explicada muy bien por el modelo; es decir, el manejo influyó de gran manera sobre esta característica física del suelo. Otro aspecto importante, es el hecho de que los bloques fueron significativos; esto indica que hay heterogeneidad en el terreno y que el bloqueo disminuye el error experimental.

Cuadro 2. Niveles de significancia entre las variables estudiadas.

| Fuente de variación | Materia orgánica | N | P | K | Ca | Mg | Densidad aparente | pH |
|---------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|----------|
| Terraza | 0,0001 | 0,0014 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0178 | 0,0096 | 0,0001 | (0,1181) |
| Bloque | (0,0616) | 0,0239 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0115 | 0,0048 | (0,5935) | 0,0145 |
| C.V % | 12,887 | 12,381 | 21,256 | 14,069 | 11,018 | 13,77 | 11,24 | 2,6298 |
| R ² | 0,4255 | 0,3772 | 0,6211 | 0,5992 | 0,3494 | 0,393 | 0,7832 | 0,291 |
| P>F | 0,0002 | 0,0011 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0027 | 0,0006 | 0,0001 | 0,1210 |

Nota: Los valores entre paréntesis no son significativos.

4.1.1 Influencia del manejo suelo – cultivo sobre los niveles de N

El N del suelo fue afectado significativamente por el manejo de las terrazas (Cuadro 3). Las terrazas manejadas con pastos Tobiata y Transvala obtuvieron promedios similares y más altos que la terraza con cultivos extensivos.

Cuadro 4. Efectos del manejo suelo – cultivo sobre la materia orgánica en San Nicolás, El Zamorano, 1999.

| Terraza | Materia orgánica (%) | Datos transformados |
|---------------------|----------------------|---------------------|
| Tobiatá | 2.49 | 0.156 b |
| Transvala | 2.75 | 0.166 a |
| Cultivos extensivos | 2.25 | 0.151 b |

Medias seguidas por la misma letra no son diferentes significativamente (Duncan, $P < 0.05$)

4.1.3 Influencia del manejo suelo – cultivo sobre el P

Todas las terrazas presentaron niveles bajos de P, debido a que dependen más de la naturaleza del material parental y la cantidad de M.O. presente. Sin embargo, el P fue afectado significativamente por el tipo de manejo dado al suelo ($P < 0.0001$) (Cuadro 5).

Aguilera *et al.* (1996) encontraron diferencias entre un suelo manejado con labranza cero y otro con labranza convencional, a una profundidad de 10 a 20 cm. En el presente estudio, el cultivo de gramíneas se puede tomar como un tipo de labranza de conservación.

Cuadro 5. Efecto del manejo suelo – cultivo sobre los niveles de fósforo en San Nicolás, El Zamorano, 1999.

| Terraza | P (kg/ha) |
|---------------------|-----------|
| Tobiatá | 23 c |
| Transvala | 39 a |
| Cultivos extensivos | 32 b |

Medias seguidas por la misma letra no son diferentes significativamente (Duncan, $P < 0.05$)

En la terraza con pasto Tobiatá, ha disminuido las cantidades de P, de 49 kg/ha en 1992 (Cuadro 1), a 23 kg/ha en la actualidad. En el caso de la terraza con cultivos extensivos, también se ha visto una disminución en comparación a las cantidades encontradas en 1992; se vio una reducción de 56 kg/ha a 32 kg/ha (Cuadro 2).

Estos cambios también se deben al manejo del suelo. En la terraza con cultivos extensivos, hay pérdidas por la escorrentía, por la poca cobertura que dan los cultivos en hilera al suelo. El pasto Tobiatá tiene una producción de materia seca 30 % mayor que el pasto Transvala, esto quiere decir que la absorción de nutrientes del pasto Tobiatá supera al del pasto Transvala.

4.1.4 Influencia del manejo suelo – cultivo sobre el K

La terraza con pasto Transvala presentó niveles altos de K, mientras la otras dos terrazas tuvieron niveles medios. Los niveles de K, se vieron influidos por el manejo dado al suelo. Al igual que el P, la terraza con pasto Transvala fue la que obtuvo la cantidad más alta ($P < 0.0001$) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto del manejo suelo – cultivo sobre los niveles de potasio en San Nicolás, El Zamorano, 1999.

| Terraza | K (kg/ha) |
|---------------------|-----------|
| Tobiatá | 218 b |
| Transvala | 283 a |
| Cultivos extensivos | 221 b |

Medias seguidas por la misma letra no son diferentes significativamente (Duncan, $P < 0.05$)

El K, por ser un elemento que forma parte de la estructura de los vegetales, se encuentra presente en los residuos depositados en el suelo. El pasto Transvala deposita mayor cantidad de residuos lo que contribuye a mayor acumulación de K en el suelo. También la mayor absorción de nutrimentos por parte del pasto Tobiatá, influye en las cantidades presentes en el suelo.

4.1.5 Influencia del manejo suelo – cultivo sobre el Ca

Todas las terrazas presentaron niveles medios de Ca. La terraza con Tobiatá fue superior a las otras dos. La terraza con pasto Transvala tuvo cantidades similares a la manejada con cultivos extensivos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del manejo suelo – cultivo sobre los niveles de calcio en San Nicolás, El Zamorano, 1999.

| Terraza | Ca ppm |
|---------------------|--------|
| Tobiatá | 1032 a |
| Transvala | 962 b |
| Cultivos extensivos | 943 b |

Medias seguidas por la misma letra no son diferentes significativamente (Duncan, $P < 0.05$)

El contenido de Ca depende de la naturaleza del la suelo, sin embargo, el manejo al igual que los elementos mencionados anteriormente, también tiene influencia sobre la cantidad que se encuentre en el suelo. El suelo manejado con cultivos extensivos tiene los índices más bajos de Ca, ya que hay pérdidas por lavado, por la poca cobertura que dan los cultivos en hileras al suelo.

4.1.6 Influencia del manejo suelo – cultivo sobre el Mg

Debido a que los datos originales del Mg de suelo no se adaptaron al modelo, estos fueron transformados utilizando la transformación logarítmica con base 10 (Cuadro 8).

Todos las terrazas presentaron bajos niveles de Mg. Sin embargo, la terraza con Tobiatá fue superior a las otras dos (Cuadro 8). El pasto Transvala tiene mayor absorción de Mg¹; por lo que los valores de Mg en el suelo son menores.

Cuadro 8. Efecto del manejo suelo – cultivo sobre los niveles de magnesio en San Nicolás, El Zamorano, 1999.

| Terraza | Mg (ppm) | Datos transformados |
|---------------------|----------|---------------------|
| Tobiatá | 119 | 2.10 a |
| Transvala | 101 | 2.02 b |
| Cultivos extensivos | 94 | 2.04 b |

Medias seguidas por la misma letra no son diferentes significativamente (Duncan, P< 0.05)

4.1.7 Influencia del manejo suelo – cultivo sobre la densidad aparente (D.A.)

La densidad aparente se vio influida de manera muy notable por el tipo el tipo de manejo de cada terraza. Las terrazas con los dos pastos presentaron la densidad aparente mas baja (Cuadro 9), comparando con la terraza con cultivos extensivos (P< 0.0001). Esto corrobora que los suelos manejados con cultivos extensivos, tienen una estructura más degradada que en suelos manejados con pastos, y a que la labranza convencional requiere más uso de maquinaria.

Los suelos manejados con pasto de corte tienen un manejo más moderado, ya que solo en la época lluviosa, cuando se realiza la cosecha de pasto, es cuando hay circulación de maquinaria. Esto esta relacionado con lo reportado por Tarawally y Frometa (1998), quienes determinaron el efecto de diferentes niveles de carga y humedad de suelo, sobre la densidad aparente.

¹ Santillán, R. (Comunicación personal)

Estos encontraron que en suelos que inicialmente presentaban 1 g/cm^3 de D.A., después de compactar el suelo con una carga de 7 t, aumento a 1.25 g/cm^3 , en los primeros 10 cm de suelo, y de los 20 a 30 cm aumentó hasta 1.3 g/cm^3 .

Cuadro 9. Efecto del manejo suelo – cultivo sobre la densidad aparente en San Nicolás, El Zamorano, 1999.

| Terraza | Densidad aparente(g/cm^3) |
|---------------------|--------------------------------------|
| Tobiatá | 0.72 b |
| Transvala | 0.76 b |
| Cultivos extensivos | 1.09 a |

Medias seguidas por la misma letra no son diferentes significativamente (Duncan, $P < 0.05$)

4.1.8 Influencia del manejo suelo – cultivo sobre la compactación

En forma similar a la densidad aparente, al medir la compactación se observaron diferencias ($P < 0.0001$) en los suelos de las terrazas estudiadas; esto confirma que el manejo influye de manera significativa en la porosidad (Cuadro 10).

Cuadro 10. Significancias de la compactación de suelos en San Nicolás, El Zamorano. 1999

| Fuente de variación | Prueba F | Pr>F |
|-----------------------|----------|----------|
| Terraza | 85.29 | 0.0001 |
| Bloque (terrazza) | 1.02 | (0.3981) |
| Profundidad (muestra) | 1.41 | (0.2) |

Nota: Los valores entre paréntesis no son significativos

La terraza manejada con cultivos extensivos presentó la mayor compactación ($P \leq 0.05$). La compactación fue similar en las terrazas con pastos Tobiatá y Transvala (Cuadro 11). Jiménez *et al.* (1992) encontraron menor compactación en suelos manejados con una mínima alteración de las características físicas, comparado con un suelo en el cual se utilizaba arado de vertedera.

Cuadro 11. Efecto del manejo suelo – cultivo sobre la compactación en San Nicolás, El Zamorano, 1999.

| Terraza | Compactación (PSI) |
|---------------------|--------------------|
| Tobiatá | 121.49 b |
| Transvala | 121.43 b |
| Cultivos extensivos | 203.14 a |

Médias seguidas por la misma letra no son diferentes significativamente (Duncan, P< 0.05)

Aún cuando no hubieron diferencias entre las profundidades, es interesante mencionar que los suelos bajo pastos y cultivos extensivos, presentaron diferentes grados de compactación en las profundidades medidas. Los suelos sembrados con pastos, presentaron una mayor resistencia en las primeras 6" de profundidad, especialmente en la terraza con pasto Tobiatá. Mientras el suelo manejado con cultivos extensivos, presenta una menor compactación en las primeras 6" de profundidad (Figura 1), pero a partir de las 9" la compactación empezó a aumentar, esto se debe que es la profundidad usada para la preparación de suelos. En el caso de los pastos, la densa masa radicular dificulta la penetración en la superficie de suelo, y hay una pequeña compactación debido al pase de maquinaria en la época de cosecha.

Otro factor importante que influye en la compactación del suelo, es la humedad del mismo. En estudios realizados por Tarawally y Frometa (1998), concluyeron que en condiciones de sanación de campo, la entrada de maquinaria agrícola es perjudicial.

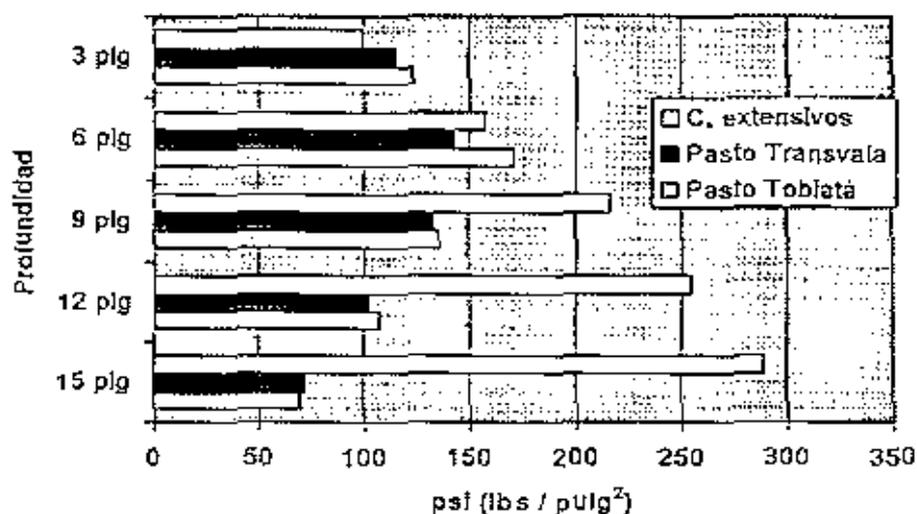


Figura 1. Compactación a diferentes profundidades de los suelos bajo tres sistemas de manejo

4.1.9 Influencia del manejo suelo – cultivo sobre el pH

El pH fue la única de las variables que no presentó una diferencia significativa, según el manejo que se le dio a las terrazas. Las tres terrazas presentaron una fuerte acidez, esto se puede deber al lavado de bases causado el año pasado por la tormenta tropical Mitch, por el exceso de lluvias que azotaron a El Zamorano, y también al manejo de fertilizantes y falta de enmiendas de las terrazas estudiadas.

V. CONCLUSIONES

1. Se encontraron diferencias en las características físicas y químicas de suelos cultivados con gramíneas forrajeras y cultivos extensivos.
2. Los pasto forrajeros estudiados, afectaron de manera positiva las características físicas y químicas de los suelos; mientras los suelos manejados con cultivos extensivos las afectaron negativamente.
3. La metodología utilizada, es una base para los futuros trabajos de rotación de cultivos y eventualmente para diseñar un enfoque de manejo de suelos y cultivos hacia una agricultura de precisión.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar más estudios sobre las facultades renovadoras que poseen las gramíneas sobre los suelos.
2. Planificar rotaciones de cultivos usando gramíneas forrajeras.
3. Estudiar las características de los suelos utilizados para la producción agrícola de manera más exhaustiva para determinar su uso potencial y productividad.
4. Realizar estudios más detallados para establecer gradientes de diversos índoles.
5. Llevar un mejor registro de manejo del sistema suelo – cultivo en los lotes de producción.

VII. BIBLIOGRAFIA

- AGUILERA, S.A.; BORJE, G.; DEL CANTO, P.; PEIRANO, P. 1996. Contribución del sistema conservacionista cero-labranza en los niveles de C, P y bioactividad del suelo Santa Bárbara. *Agricultura Técnica (Chile)* 56(4): 251 - 253.
- ANONIMO. s/f. Manual del Módulo de Suelos. Zamorano. Honduras.
- ARCE SILES, A.M. 1996. Mapeo y evaluación del uso de la tierra en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. Zamorano. Honduras. 60 p.
- ARRIGO, A.M.; PALMA, R.M.; CONTI, M.E.; GIARDINA, E.B. 1994. Rotación de cultivos sobre un Argüido típico con labranza cero. *Turrialba (Costa Rica)* 44 (4): 261 - 265.
- ELLIES, A.; CONTRERAS, C. 1997. Modificaciones estructurales de un Palehumult sometido a distintos manejos. *Agricultura Técnica (Chile)* 57(1): 15 - 21.
- ELLIES, A.; RAMIREZ, C.; MACDONALD, R. 1993a. Variación en la resistencia del suelo por efecto de su uso. *Turrialba (Costa Rica)* 43 (1): 77 - 82.
- ELLIES, A.; RAMIREZ, C.; MACDONALD, R. 1993b. Cambios en la porosidad de un suelo por efecto de su uso. *Turrialba (Costa Rica)* 43 (1): 72 - 76.
- ELLIES, A.; SMITH, R. 1998. Evaluación del efecto de cargas sobre un suelo Alfisol con diferentes niveles de humedad. *Agricultura Técnica (Chile)* 58 (3): 205 - 212.
- FRANCIS, C.A.; CLEGG, M.D. 1990. Crop rotations in sustainable agricultural systems. *Sustainable Agricultural Systems*, Ed. by C.A. Edwards, L. Rattan, P. Madden, H. Robert, M. House, G. House. Soil Conservation Society. (EE.UU). p.107 - 121.
- HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. 1993. Nutrient cycling under grazed pasture. *Advances in Agronomy*. Ed. by D. L. Sparks. Academic Press Inc. (EE.UU.) 49: 119 - 191.
- HESSE - PÉREZ, J.; BESOAIN, E.; SQUELLA, F. 1998. Degradación de la planicie costera de Litueche (Chile Central) y sus efectos sobre el nivel de fertilidad del suelo. *Agricultura Técnica (Chile)* 58 (1): 65 - 76.
- HUSSAIN, I; OLSON, K.R; SIEMENS, S.C. 1998. Long term tillage on physical properties of eroded soil. *Journal of Soil Science (EE.UU.)* 163 (12): 97 - 99.

- JIMENEZ, J.; PUENTES, H.; LEIVA, F. 1992. Efectos de tratamientos de labranza sobre la resistencia a la penetración de un Andisol. *Agronomía Colombiana (Colombia)* 9 (1): 30 – 39.
- KING, L. 1990. *Soil Nutrient Management in the Unites States*. Ed. by C.A. Edwards, L. Rattan, P. Madden, H. Robert, M. House, G. House. Soil Conservation Society. (EE.UU). p.89 – 106.
- MOREIRA, D; RECONCO, R. 1997. *Manual del Módulo de Cultivos Extensivos*. Zamorano. Honduras. 109 p
- MORGAN, M. 1995. Sensor vs. Map – Based Precision Farming. <http://dynamo.ecn.purdue.edu/bienhl/sitefarming/sensor.html>.
- OPAZO, J.; LUZIO, W.; BASCUR, C. 1998. Determinación de la disponibilidad de nutrientes en tres sistemas de uso en un suelo del Sur de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 58 (3): 221 – 229.
- PELEGRIN, F.; MORENO, F.; MARTIN ARANDA, J.; FERNANDEZ, F.E. 1996. Influencia del sistema de laboreo en la resistencia a la penetración y otras propiedades físicas del suelo. *Investigación Agropecuaria: Protección Vegetal (España)* 11 (3): 409 – 425.
- TARAWALLY, M.A.; FROMETA, E. 1998. Effects of soil water content in soil compaction. *Ciencias Técnicas Agropecuarias (Cuba)* 7 (1): 83 – 87.
- THOMAS, W.G.; HASZLER, G.R.; BLEVINS, R.L. 1996. The effects of organic matter and tillage on maximum compactability of soils using the proctor test. *Journal of Soil Science (EE.UU.)* 161 (8): 502 – 510 p.
- TRONCOSO, H.; RUZ, E.; VIDAL, I.; LONGERI, L. 1997. Variación del nitrógeno de la biomasa microbiana en un suelo bajo diferentes sistemas de manejo. *Agricultura Técnica (Chile)* 57 (4): 242 – 251.
- RATTAN, L. 1995. *Tillage system in the tropics*. Roma. FAO. Boletín de la FAO no. 71, 206 p.
- RITCHERS, E.J. 1995. *Manejo del uso de la tierra en América Central; hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra*. IICA. San José, C.R. 440 p.
- ROBERSON, G.T. 1999. *Precision agriculture: A comprehensive approach*. www.bae.ncsu.edu/programs/extension/agmachine/precision.
- SANTILLAN, R. 1999. *Pastos y Forrajes*. Zamorano. Honduras.

- SAS INSTITUTE INC. 1996. SAS/ STAT user's guide (version 6.12) Fourth edition. SAS Institute Inc. Cary, N.C. 912 p.
- SHENG, T.C. 1990. Conservación de suelos para los pequeños agricultores en las zonas tropicales húmedas. Roma. FAO. Boletín de Suelos de la FAO no. 60. 122 p.
- SILGRAN, M.; SHEPERD, M. 1999. Cultivation effects on soil mineralization. Advances in Agronomy. Ed. by D.L. Sparks. Academic Press Inc. (EE.UU.) 65 : 150 – 172 p.
- USDA. 1987. Manual de conservación de suelos, 5ª ed. México, D.F. Limusa. 331 p.
- WHELAN, B.; MCBARTNEY, A.; BROUGHTON, B. 1999. The impact of precision agriculture. <http://www.usyd.edu.au/su/agri/acpa/pag.htm>.
- ZELEDON, J. J. 1996. Caracterización del sistema de labranza mediante el uso de indicadores de sostenibilidad en la Lima, Tatumbla. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras. 31 p.

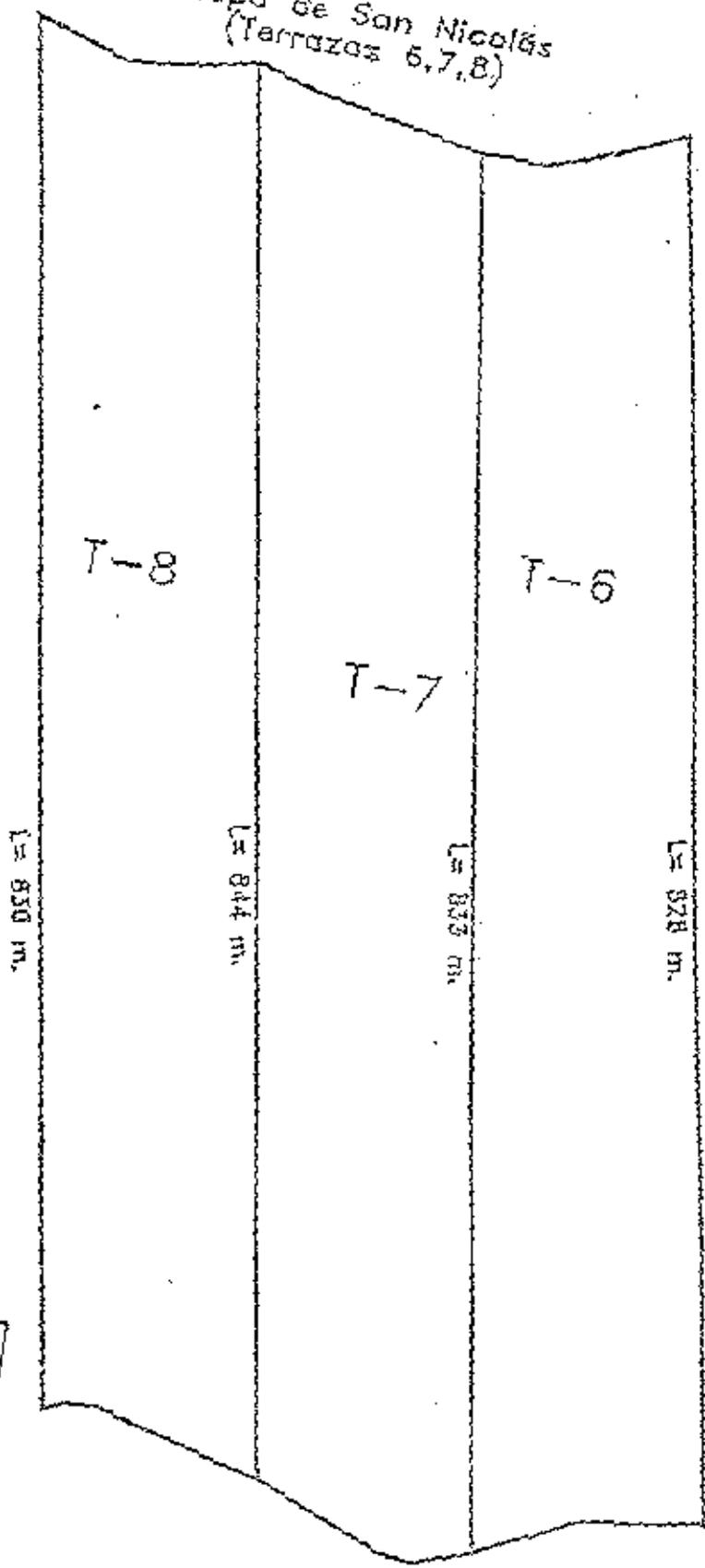
VIII. ANEXOS

Anexo I. Datos de las variables estudiadas.

| T e r r a z e r a | bM e l u r q s a u t z e r a | N Kg/ha | P Kg/ha | K Kg/ha | Ca ppm | Mg ppm | pH | Densidad aparente |
|---|---|---------|------------|------------|---------|--------|------|----------------------|
| 11 | 1 | 43.20 | 22.44 | 228.48 | 1177.00 | 135.00 | 4.74 | 2.68 |
| 11 | 2 | 46.80 | 19.24 | 241.92 | 1162.00 | 142.00 | 4.55 | 2.79 |
| 11 | 3 | 39.60 | 19.24 | 192.00 | 1080.00 | 105.00 | 4.56 | 2.85 |
| 11 | 4 | 39.60 | 16.03 | 190.08 | 1087.00 | 120.00 | 4.59 | 2.79 |
| 11 | 5 | 43.20 | 22.44 | 193.92 | 1035.00 | 112.00 | 4.49 | 3.22 |
| 11 | 6 | 43.20 | 22.44 | 228.48 | 1200.00 | 112.00 | 4.61 | 2.45 |
| 11 | 7 | 39.60 | 25.65 | 209.28 | 1110.00 | 105.00 | 4.48 | 2.18 |
| 12 | 1 | 36.00 | 19.24 | 187.04 | 1095.00 | 165.00 | 4.86 | 2.38 |
| 12 | 2 | 32.40 | 25.65 | 241.92 | 997.00 | 105.00 | 4.81 | 2.53 |
| 12 | 3 | 36.00 | 32.06 | 190.08 | 1050.00 | 112.00 | 4.71 | 2.58 |
| 12 | 4 | 32.40 | 25.65 | 280.32 | 885.00 | 97.00 | 4.72 | 2.51 |
| 12 | 5 | 32.40 | 35.27 | 182.40 | 930.00 | 97.00 | 4.50 | 2.45 |
| 12 | 6 | 36.00 | 22.44 | 253.44 | 952.00 | 97.00 | 4.67 | 2.32 |
| 12 | 7 | 32.40 | 28.85 | 188.16 | 975.00 | 97.00 | 4.75 | 2.19 |
| 13 | 1 | 28.80 | 25.65 | 213.12 | 1005.00 | 97.00 | 4.80 | 2.18 |
| 13 | 2 | 36.00 | 25.65 | 230.40 | 1012.00 | 105.00 | 4.82 | 2.12 |
| 13 | 3 | 32.40 | 22.44 | 253.44 | 945.00 | 90.00 | 4.75 | 2.12 |
| 13 | 4 | 46.80 | 19.24 | 213.12 | 1140.00 | 105.00 | 4.77 | 2.57 |
| 13 | 5 | 36.00 | 38.47 | 255.36 | 975.00 | 90.00 | 4.70 | 2.51 |
| 21 | 1 | 32.40 | 25.65 | 99.33 | 810 | 97 | 4.60 | 1.91 |
| 21 | 2 | 32.40 | 35.27 | 138.03 | 675 | 75 | 4.40 | 2.02 |
| 21 | 3 | 43.20 | 22.44 | 157.38 | 852 | 97 | 4.51 | 3.38 |
| 21 | 4 | 43.20 | 25.65 | 163.83 | 1102 | 105 | 4.64 | 2.51 |
| 21 | 5 | 39.60 | 28.85 | 198.66 | 937 | 97 | 4.61 | 2.49 |
| 21 | 6 | 39.60 | 32.06 | 201.24 | 1065 | 105 | 4.78 | 2.99 |
| 21 | 7 | 43.20 | 41.68 | 193.50 | 997 | 90 | 4.66 | 3 |
| 22 | 1 | 32.40 | 32.06 | 196.08 | 915 | 82 | 4.62 | 2.98 |
| 22 | 2 | 43.20 | 35.27 | 207.69 | 982 | 97 | 4.70 | 3.01 |
| 22 | 3 | 43.20 | 41.68 | 233.49 | 1290 | 120 | 4.78 | 3.4 |
| 22 | 4 | 32.40 | 28.85 | 179.31 | 952 | 90 | 4.60 | 2.81 |
| 22 | 5 | 28.80 | 51.30 | 168.99 | 682 | 75 | 4.38 | 2.18 |
| 22 | 6 | 36.00 | 44.88 | 166.41 | 990 | 90 | 4.48 | 2.81 |
| 22 | 7 | 32.40 | 41.68 | 224.46 | 847 | 90 | 4.60 | 2.56 |
| 23 | 1 | 43.20 | 38.47 | 208.98 | 900 | 90 | 4.63 | 2.62 |
| 23 | 2 | 39.60 | 44.88 | 201.24 | 1072 | 105 | 4.67 | 3.01 |
| 23 | 3 | 39.60 | 48.09 | 194.79 | 980 | 97 | 4.63 | 2.88 |
| 23 | 4 | 28.80 | 57.71 | 208.98 | 787 | 75 | 4.60 | 2.37 |
| 23 | 5 | 43.20 | 67.33 | 268.32 | 1012 | 97 | 4.81 | 3.01 |
| 23 | 6 | 39.60 | 38.47 | 185.12 | 1185 | 105 | 4.70 | 3.01 |
| 23 | 7 | 36.00 | 38.47 | 220.59 | 1110 | 105 | 4.76 | 2.88 |
| 31 | 1 | 39.60 | 25.65 | 178.02 | 1200 | 157 | 5.00 | 2.57 |
| 31 | 2 | 32.40 | 25.65 | 140.61 | 960 | 105 | 4.50 | 2.37 |
| 31 | 3 | 39.60 | 28.85 | 188.34 | 1125 | 120 | 4.60 | 3.14 |
| 31 | 4 | 32.40 | 19.24 | 171.57 | 967 | 112 | 4.59 | 2.24 |
| 31 | 5 | 28.80 | 22.44 | 178.02 | 997 | 112 | 4.81 | 2.12 |
| 31 | 6 | 32.40 | 22.44 | 157.38 | 1042 | 105 | 4.70 | 2.38 |
| 31 | 7 | 32.40 | 22.44 | 149.64 | 1057 | 112 | 4.68 | 2.37 |

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--------|-----|-----|------|------|
| 3 2 1 | 32.40 | 28.85 | 135.45 | 907 | 90 | 4.45 | 2.48 |
| 3 2 2 | 28.80 | 32.06 | 123.84 | 870 | 90 | 4.74 | 2.37 |
| 3 2 3 | 32.40 | 35.27 | 178.02 | 945 | 105 | 5.06 | 2.63 |
| 3 2 4 | 32.40 | 38.47 | 184.47 | 795 | 90 | 4.75 | 2.05 |
| 3 2 5 | 32.40 | 28.85 | 154.80 | 885 | 97 | 4.77 | 2.11 |
| 3 2 6 | 32.40 | 38.47 | 135.45 | 795 | 90 | 4.80 | 1.92 |
| 3 2 7 | 32.40 | 35.27 | 130.29 | 877 | 90 | 4.81 | 2.24 |
| 3 3 1 | 25.20 | 32.06 | 129.00 | 787 | 82 | 4.62 | 1.6 |
| 3 3 2 | 32.40 | 35.27 | 123.84 | 982 | 97 | 4.62 | 2.25 |
| 3 3 3 | 28.80 | 41.68 | 132.87 | 885 | 90 | 4.66 | 1.93 |
| 3 3 4 | 43.20 | 51.30 | 117.39 | 900 | 90 | 4.53 | 2.37 |
| 3 3 5 | 32.40 | 25.65 | 130.29 | 937 | 97 | 4.65 | 2.17 |
| 3 3 6 | 32.40 | 32.06 | 150.93 | 975 | 97 | 4.68 | 2.11 |
| 3 3 7 | 36.00 | 38.47 | 138.03 | 915 | 97 | 4.71 | 1.85 |

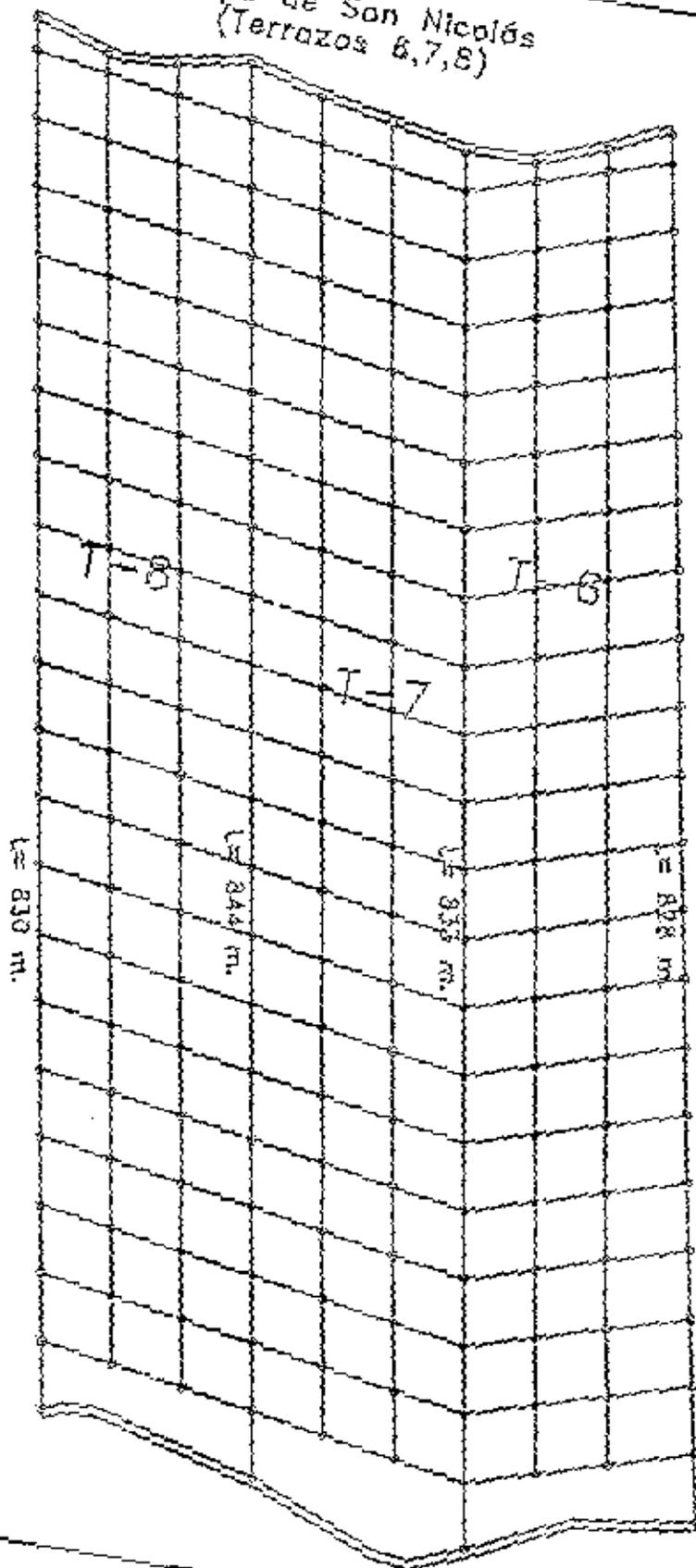
Mapa de San Nicolás
(Terrazas 6, 7, 8)



Escala 1: 4,000

| Area | Perímetro |
|------------|-----------|
| 10.02 has. | 1,911 m. |
| 10.21 has. | 1,942 m. |
| 9.95 has. | 1,833 m. |

Mapa de San Nicolás
(Terrazas 6,7,8)



Escala 1: 4,000

| Area | Perímetro |
|------------|-----------|
| 10.02 has. | 1.911 m. |
| 10.21 has. | 1.842 m. |
| 9.95 has. | 1.933 m. |

Anexo 4. Análisis de Suelo

ZAMORANO
CIENCIA Y PRODUCCION AGROPECUARIA
LABORATORIO DE SUELOS

Titular: Nestor Núñez
 Localización:
 La muestra: Terraza # 6 Sn Nicolas
 Departamento: Fco. Morazan

Interpretación:

A=Alto
 M=Medio
 B=Bajo

pH
 FA= Fuertemente Acido

Fecha de entrada: 23/06/99

Fecha de salida: 8/07/99

| Lab. | Muestra | Textura | % Arena | % Limo | % Arcilla | pH (H ₂ O) | % | | ppm (Disponible) | | | |
|------|---------------|------------------------|---------|--------|-----------|-----------------------|--------|--------|-------------------|-------|--------|-------|
| | | | | | | | M,O | N | P | K | Ca | Mg |
| 11 | Muestra 2-1-1 | Franco arenoso | 64 | 20 | 16 | 4.60 FA | 1.91 B | 0.09 B | 9 B | 77 M | 810 M | 97 B |
| 12 | Muestra 2-1-2 | Franco arenoso | 72 | 14 | 14 | 4.40 FA | 2.02 M | 0.09 B | 11 B | 107 M | 675 B | 75 B |
| 13 | Muestra 2-1-3 | Franco arenoso | 64 | 18 | 18 | 4.51 FA | 3.38 M | 0.12 M | 7 B | 122 M | 952 M | 97 B |
| 14 | Muestra 2-1-4 | Franco arenoso | 52 | 26 | 20 | 4.64 FA | 2.51 M | 0.12 M | 8 B | 127 M | 1102 M | 105 B |
| 15 | Muestra 2-1-5 | Franco arenoso | 60 | 24 | 16 | 4.61 FA | 2.49 M | 0.11 M | 9 B | 154 A | 997 M | 97 B |
| 16 | Muestra 2-1-6 | Franco arenoso | 56 | 26 | 18 | 4.76 FA | 2.99 M | 0.11 M | 10 B | 156 A | 1065 M | 105 B |
| 17 | Muestra 2-1-7 | Franco arenoso | 62 | 20 | 18 | 4.66 FA | 3.00 M | 0.12 M | 13 B | 150 A | 997 M | 90 B |
| 18 | Muestra 2-2-1 | Franco arenoso | 64 | 20 | 16 | 4.62 FA | 2.98 M | 0.09 B | 10 B | 152 A | 915 M | 82 B |
| 19 | Muestra 2-2-2 | Franco arenoso | 66 | 18 | 16 | 4.70 FA | 3.01 M | 0.12 M | 11 B | 161 A | 982 M | 97 B |
| 20 | Muestra 2-2-3 | Franco arcillo arenoso | 56 | 24 | 20 | 4.78 FA | 3.40 M | 0.12 M | 13 B | 181 A | 1290 A | 120 B |
| 21 | Muestra 2-2-4 | Franco arenoso | 60 | 24 | 16 | 4.60 FA | 2.81 M | 0.09 B | 9 B | 139 A | 652 M | 90 B |
| 22 | Muestra 2-2-5 | Franco arenoso | 70 | 16 | 14 | 4.38 FA | 2.18 M | 0.08 B | 16 B | 131 M | 682 B | 75 B |
| 23 | Muestra 2-2-6 | Franco arenoso | 58 | 24 | 18 | 4.48 FA | 2.91 M | 0.10 B | 14 B | 129 M | 990 M | 90 B |
| 24 | Muestra 2-2-7 | Franco arenoso | 62 | 22 | 16 | 4.60 FA | 2.56 M | 0.09 B | 13 B | 174 A | 647 M | 90 B |
| 25 | Muestra 2-3-1 | Franco arenoso | 62 | 24 | 14 | 4.63 FA | 2.62 M | 0.12 M | 12 B | 162 A | 900 M | 90 B |
| 26 | Muestra 2-3-2 | Franco arenoso | 56 | 26 | 18 | 4.67 FA | 3.01 M | 0.11 M | 14 B | 156 A | 1072 M | 105 B |
| 27 | Muestra 2-3-3 | Franco arenoso | 60 | 24 | 16 | 4.63 FA | 2.88 M | 0.11 M | 15 B | 151 A | 960 M | 97 B |
| 28 | Muestra 2-3-4 | Franco arenoso | 66 | 18 | 14 | 4.60 FA | 2.37 M | 0.08 B | 18 M | 162 A | 787 B | 75 B |
| 29 | Muestra 2-3-5 | Franco arenoso | 62 | 22 | 16 | 4.81 FA | 3.01 M | 0.12 M | 21 M | 208 A | 1012 M | 97 B |
| 30 | Muestra 2-3-6 | Franco arenoso | 54 | 28 | 18 | 4.70 FA | 3.01 M | 0.11 M | 12 B | 128 M | 1185 M | 105 B |
| 31 | Muestra 2-3-7 | Franco arenoso | 60 | 26 | 14 | 4.76 FA | 2.88 M | 0.10 B | 12 B | 171 A | 1110 M | 105 B |
| 32 | Muestra 3-1-1 | Franco arenoso | 60 | 24 | 16 | 5.03 FA | 2.57 M | 0.11 M | 8 B | 138 A | 1200 M | 157 B |
| 33 | Muestra 3-1-2 | Franco arenoso | 62 | 22 | 16 | 4.50 FA | 2.37 M | 0.09 B | 8 B | 109 M | 960 M | 105 B |
| 34 | Muestra 3-1-3 | Franco arenoso | 56 | 26 | 18 | 4.60 FA | 3.14 M | 0.11 M | 9 B | 146 A | 1125 M | 120 B |
| 35 | Muestra 3-1-4 | Franco arenoso | 62 | 20 | 18 | 4.59 FA | 2.24 M | 0.09 B | 6 B | 133 M | 967 M | 112 B |
| 36 | Muestra 3-1-5 | Franco arenoso | 62 | 22 | 16 | 4.81 FA | 2.12 M | 0.08 B | 7 B | 138 A | 997 M | 112 B |
| 37 | Muestra 3-1-6 | Franco arenoso | 58 | 26 | 16 | 4.70 FA | 2.36 M | 0.09 B | 7 B | 122 M | 1042 M | 105 B |
| 38 | Muestra 3-1-7 | Franco arenoso | 62 | 18 | 20 | 4.68 FA | 2.37 M | 0.09 B | 7 B | 116 M | 1057 M | 112 M |

Responsable: _____
 Ing. Hilda Flores

Jefe Lab. _____
 Dra. Ana Margoth de Andrews

