

# **Efecto de la nivelación sobre las características físicas y químicas de los suelos representativos del Ingenio San Antonio, Nicaragua**

Gibsa María Picado Alaníz

ZAMORANO  
Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria  
Noviembre de 2003

**ZAMORANO**  
**Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria**

**Efecto de la nivelación sobre las características  
físicas y químicas de los suelos representativos del  
Ingenio San Antonio, Nicaragua**

**Tesis presentada como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniera Agrónoma  
en el Grado Académico de Licenciatura**

presentado por

**Gibsa María Picado Alaníz**

Honduras  
Noviembre, 2003

El autor concede a 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.

---

Gibsa María Picado Alaníz

Honduras  
Noviembre, 2003

**Página de firmas**

**Efecto de la nivelación sobre las características físicas y químicas de los  
suelos representativos del Ingenio San Antonio, Nicaragua**

**Presentado por:**

**Gibsa María Picado Alaníz**

**Aprobada por:**

---

**Pablo Emilio Paz, Ph. D**  
**Asesor Principal**

---

**Alfredo Rueda, Ph. D**  
**Coordinador de Área Temática**

---

**Jorge Iván Restrepo, M.B.A.**  
**Coordinador de la Carrera de**  
**Ciencia y Producción Agropecuaria.**

---

**Carlos Gauggel, Ph. D**  
**Asesor**

---

**Antonio Flores, Ph. D**  
**Decano Académico**

---

**Jaime Vega, Ing.**  
**Asesor**

---

**Kenneth L. Hodley,**  
**Rector**

## **DEDICATORIA**

A Dios porque me ha dado sabiduría y fuerzas a lo largo de mi vida.

A mis padres por su inmenso amor y apoyo incondicional y por ser el motivo de lucha en mi vida.

A toda mi familia por darme su amor y apoyo cuando más lo he necesitado.

A mis asesores Dr. Pablo Emilio Paz, Dr. Carlos Gauggel, Ing. Gloria de Gauggel y el Ing. Jaime Vega, por su gran apoyo para la realización de mi tesis.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por su inmenso amor y apoyo en los momentos difíciles.

Al Ingenio San Antonio, en especial al Ing. Jaime Vega, por brindarme la oportunidad de realizar mi proyecto de graduación y apoyarme en su realización.

Al Dr. Pablo Paz, por su cariño y su gran aporte en mi vida profesional.

A la familia Gauggel por su gran ayuda y los conocimientos transmitidos.

A Eduardo Gurdian, por orientarme en la realización de estudio.

A Manolo Ernesto, quien con su gran amor y apoyo logró darme fuerzas en los momentos difíciles, gracias por tu cariño .....

A mis amigos que confiaron y creyeron en mi en todo momento, gracias....

A Zamorano por mi formación profesional.

## RESUMEN

Picado, Gibsa. 2003. Efecto de la nivelación sobre las características físicas y químicas de los suelos representativos del Ingenio San Antonio, Nicaragua. Proyecto Especial del Programa de Ingeniería en Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 53 p.

La nivelación es un proceso utilizado para modificar la pendiente de un suelo, lo que conlleva a cortar en los puntos altos y rellenar en los puntos bajos, para emparejar el suelo y mejorar la eficiencia del sistema de riego. Sin embargo, este proceso implica el movimiento poco o excesivo de tierra, en el cual se remueven nutrimentos de un lugar para ser depositados en otro y esto afecta la productividad futura. El objetivo fue determinar el efecto de la nivelación sobre las características físicas y químicas de los suelos representativos del Ingenio San Antonio, Chichigalpa, Nicaragua, antes y después de dicho proceso y proveer recomendaciones de fertilización con base en los análisis químicos en áreas de corte y relleno. El experimento se realizó en marzo del 2003, en dos áreas (plantíos de producción de caña), a ser niveladas. Las zonas fueron Morales Guanacastes (8 ha), donde se escogieron cuatro puntos de las zonas de corte y tres puntos de las zonas de relleno y Mangles Pancho (6 ha), donde se tomaron dos puntos en zonas de corte y dos en zonas de relleno, tomando en ambos terrenos los puntos más alto y más bajos de corte y relleno para determinar con mayor precisión el efecto de la nivelación. Se hicieron y describieron calicatas para determinar cambios en las características químicas y físicas del suelo. La nivelación en las áreas de corte, deja total o parcialmente expuestos los horizontes inferiores del perfil, los cuales poseen propiedades físicas y químicas con mayores limitaciones al horizonte superior. Además, la limitante física principal de estos suelos, el pie de arado, queda expuesto cerca de la superficie. Las concentraciones de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, manganeso, boro y zinc disminuyen significativamente en estas áreas. En contraste, las áreas de relleno son beneficiadas, ya que sobre ellas se depositó la capa superficial, que es la de mayor fertilidad, proveniente de los cortes. Es necesario realizar subsoleos profundos en las áreas de corte y de relleno, para romper el pie de arado. También se deben hacer enmiendas químicas de elementos mayores y menores, para complementar los requerimientos nutricionales del cultivo.

Palabras clave: Caña de azúcar, corte, limitantes físicas, limitantes químicas, nivelación, relleno, suelo.

## CONTENIDO

|                                             |           |
|---------------------------------------------|-----------|
| Portada.....                                | i         |
| Portadilla.....                             | ii        |
| Autoría.....                                | iii       |
| Página de firmas .....                      | iv        |
| Dedicatoria .....                           | v         |
| Agradecimientos.....                        | vi        |
| Resumen .....                               | vii       |
| Contenido .....                             | viii      |
| Índice de cuadros.....                      | ix        |
| Índice de figuras .....                     | x         |
| Índice de anexos .....                      | xiii      |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>            | <b>4</b>  |
| DESCRIPCIÓN DEL SITIO .....                 | 4         |
| METODOLOGÍA.....                            | 4         |
| Análisis de datos físicos y químicos.....   | 5         |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>          | <b>6</b>  |
| MORALES GUANACASTE.....                     | 6         |
| Características físicas de los suelos ..... | 6         |
| Características químicas de los suelos..... | 12        |
| MANGLES PANCHO .....                        | 19        |
| Características físicas de los suelos ..... | 19        |
| Características químicas de los suelos..... | 23        |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>                   | <b>31</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>                | <b>32</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                   | <b>34</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                         | <b>35</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

| <b>Cuadro</b>                                                                                                                                                                                                               | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. Limitantes físicas en los suelos representativos del área de Morales Guanacaste; Ingenio San Antonio, Chichigalpa, Nicaragua.....                                                                                        | 7           |
| 2. Efecto de la nivelación sobre cinco características físicas en los dos primeros horizontes de las áreas de corte de los suelos representativos de Morales Guanacaste; Ingenio San Antonio, Chichigalpa, Nicaragua.....   | 10          |
| 3. Efecto de la nivelación sobre cinco características físicas en los dos primeros horizontes de las áreas de relleno de los suelos representativos de Morales Guanacaste; Ingenio San Antonio, Chichigalpa, Nicaragua..... | 11          |
| 4. Limitantes físicas en los suelos representativos del área de Mangles Pancho; Ingenio San Antonio, Chichigalpa, Nicaragua.....                                                                                            | 20          |
| 5. Efecto de la nivelación sobre cinco características físicas en los dos primeros horizontes de las áreas de corte de los suelos representativos de Mangles Pacho; Ingenio San Antonio, Chichigalpa, Nicaragua.....        | 22          |
| 6. Efecto de la nivelación sobre cinco características físicas en los dos primeros horizontes de las áreas de relleno de los suelos representativos de Mangles Pancho; Ingenio San Antonio, Chichigalpa. Nicaragua.....     | 22          |

## INDICE DE FIGURAS

| Figura                                                                                                                                             | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1. Efecto de la nivelación sobre el pH en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....                                     | 12   |
| 2. Efecto de la nivelación sobre el pH en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.....                                   | 12   |
| 3. Efecto de la nivelación sobre la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelos en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....   | 13   |
| 4. Efecto de la nivelación sobre la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelos en las áreas de relleno de Morales Guanacaste..... | 13   |
| 5. Efecto de la nivelación sobre la distribución del nitrógeno en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....             | 13   |
| 6. Efecto de la nivelación sobre la distribución del nitrógeno en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.....           | 13   |
| 7. Efecto de la nivelación sobre la distribución del fósforo en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....               | 14   |
| 8. Efecto de la nivelación sobre la distribución del fósforo en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.....             | 14   |
| 9. Efecto de la nivelación sobre la distribución del potasio en el perfil del suelo de las áreas de corte de Morales Guanacaste.....               | 14   |
| 10. Efecto de la nivelación sobre la distribución del potasio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....              | 14   |
| 11. Efecto de la nivelación sobre la distribución del magnesio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....             | 15   |
| 12. Efecto de la nivelación sobre la distribución del magnesio en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.....           | 15   |
| 13. Efecto de la nivelación sobre la distribución del calcio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....               | 15   |
| 14. Efecto de la nivelación sobre la distribución del calcio en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.....             | 15   |
| 15. Efecto de la nivelación sobre la distribución del hierro en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....               | 16   |
| 16. Efecto de la nivelación sobre la distribución del hierro en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.....             | 16   |

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 17. Efecto de la nivelación sobre la distribución del manganeso en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....        | 16 |
| 18. Efecto de la nivelación sobre la distribución del manganeso en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.....      | 16 |
| 19. Efecto de la nivelación sobre la distribución del cobre en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....            | 17 |
| 20. Efecto de la nivelación sobre la distribución del cobre en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.....          | 17 |
| 21. Efecto de la nivelación sobre la distribución del zinc en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....             | 17 |
| 22. Efecto de la nivelación sobre la distribución del zinc en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.....           | 17 |
| 23. Efecto de la nivelación sobre la distribución del boro en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....             | 18 |
| 24. Efecto de la nivelación sobre la distribución del boro en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.....           | 18 |
| 25. Efecto de la nivelación sobre la relación Mg/K en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.....                     | 18 |
| 26. Efecto de la nivelación sobre la relación Mg/K en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.....                   | 18 |
| 27. Efecto de la nivelación sobre el pH en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....                                    | 23 |
| 28. Efecto de la nivelación sobre el pH en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.....                                  | 23 |
| 29. Efecto de la nivelación sobre la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....   | 23 |
| 30. Efecto de la nivelación sobre la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho..... | 23 |
| 31. Efecto de la nivelación sobre la distribución del nitrógeno en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....            | 24 |
| 32. Efecto de la nivelación sobre la distribución del nitrógeno en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.....          | 24 |
| 33. Efecto de la nivelación sobre la distribución del fósforo en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....              | 25 |
| 34. Efecto de la nivelación sobre la distribución del fósforo en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.....            | 25 |
| 35. Efecto de la nivelación sobre la distribución del potasio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....              | 25 |

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 36. Efecto de la nivelación sobre la distribución del potasio en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.....   | 25 |
| 37. Efecto de la nivelación sobre la distribución del magnesio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....    | 26 |
| 38. Efecto de la nivelación sobre la distribución del magnesio en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.....  | 26 |
| 39. Efecto de la nivelación sobre la distribución del calcio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....      | 26 |
| 40. Efecto de la nivelación sobre la distribución del calcio en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.....    | 26 |
| 41. Efecto de la nivelación sobre la distribución del hierro en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....      | 27 |
| 42. Efecto de la nivelación sobre la distribución del hierro en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.....    | 27 |
| 43. Efecto de la nivelación sobre la distribución del manganeso en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....   | 27 |
| 44. Efecto de la nivelación sobre la distribución del manganeso en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho..... | 27 |
| 45. Efecto de la nivelación sobre la distribución del cobre en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....       | 28 |
| 46. Efecto de la nivelación sobre la distribución del cobre en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.....     | 28 |
| 47. Efecto de la nivelación sobre la distribución del zinc en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....        | 28 |
| 48. Efecto de la nivelación sobre la distribución del zinc en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.....      | 28 |
| 49. Efecto de la nivelación sobre la distribución del boro en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.....        | 29 |
| 50. Efecto de la nivelación sobre la distribución del boro en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.....      | 29 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

| <b>Anexo</b>                                                                                                      | <b>Pág.</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. Ubicación de las calicatas en el área de Morales Guanacaste.....                                               | 35          |
| 2. Ubicación de las calicatas en el área de Mangles Pancho.....                                                   | 36          |
| 3. Propiedades morfológicas de los suelos representativos del área de Morales<br>Guanacaste antes de nivelar..... | 37          |
| 4. Propiedades morfológicas de los suelos representativos del área de Mangles<br>Pancho antes de nivelar.....     | 41          |

## INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar representa el cultivo más importante en la producción de edulcorante en el mundo. A escala mundial se producen unos 130 millones de toneladas métricas de azúcar al año. En Nicaragua el área total en producción es de 54,683 ha, con un rendimiento agrícola total de 76 ton de caña /ha. El líder en producción es el Ingenio San Antonio (ISA) con el 49% del total de la producción nacional. Consta de 22,535 ha dedicadas a la producción de caña con rendimientos superiores a los 100 kg de azúcar por tonelada. En los últimos tres años, este ingenio ha logrado establecer record productivo con un total de 211, 214 ton de azúcar, como resultado de las mejoras desarrolladas en variedades, métodos de siembra, cultivo, control de malezas y plagas, riego y cosecha. Sin embargo uno de sus grandes retos ha sido reducir los costos de producción dirigidos al riego. Esta práctica se realiza de diferentes maneras: por gravedad, pivote y goteo, representando en promedio el 60% de sus costos totales. Es por esto que se implementó un sistema de nivelación de suelo, que permita un riego eficiente por gravedad, reduciendo costos, uniformizando y mejorando la producción. Sin embargo, el rendimiento en el primer año después de la nivelación se vió reducido entre 3 y 6%.<sup>‡</sup>

La nivelación es un procedimiento utilizado para modificar la pendiente de un suelo, operación que implica hacer cortes en las áreas superficiales en los puntos con mayor altura, para su deposición (o relleno), en los sectores más bajos. Además, se ha establecido que toda nivelación que implique más de 500 m<sup>3</sup>/ha de cortes de terreno, resulta agrónomicamente no aconsejable (Gurovich, 1999).

La nivelación es una práctica que ha tenido merito por muchos años por los beneficios agronómicos potenciales que provee. Sin embargo, así como tiene aspectos positivos en la producción de cultivos a corto y mediano plazo como son: aumento del área productiva, mayor eficiencia de maquinaria, uso eficiente del agua, establecimiento más uniforme de plantas y mejor control de malezas. También hay efectos negativos en el crecimiento futuro de los mismos, por la destrucción de la condición natural del suelo, la exposición del subsuelo que muchos casos tiene un nivel de fertilidad mas bajo que los horizontes superiores.

Gurovich (1999) sugiere que cualquier quiebre o modificación de la pendiente del suelo en algún punto al interior de la unidad de riego, tiene como consecuencia una disminución significativa de la eficiencia agronómica, ya que se produce una aceleración o disminución en la velocidad del flujo de escurrimiento, modificando así el tiempo de

---

<sup>‡</sup> Comunicación personal- Ing. J. Vega (ISA)

contacto efectivo del agua con el suelo además de la posible remoción de la primera capa superficial del suelo, que es generalmente la de mayor fertilidad natural. Además, porque en esta primera capa se encuentran los mejores agregados del suelo, que permiten la aireación de la zona radical de los cultivos.

Elevadas densidades aparentes después de la nivelación indican algún grado de compactación que ocurre durante este proceso, debido al tráfico de los tractores e implementos utilizados, los cuales pueden afectar la capacidad de emergencia del cultivo, almacenamiento de agua en el suelo y eficiencia de utilización de agua por el cultivo (Radford *et al.*, 2001).

Por lo tanto, es necesario tomar en consideración factores de topografía como irregularidades de la superficie, inclinación de la pendiente, cambios en la dirección de la pendiente, capacidad de retención de agua, tasa de infiltración y profundidad (Jensen, 1980) y de suelo tales como: factores químicos que son importantes para decidir si es adecuada la nivelación en una área determinada tales como: materia orgánica, macro y microelementos que son identificados a través de la caracterización del suelo.

Según Cano y Vázquez (1997), existe una alternativa para la conservación de la capa laborable en la nivelación de los terrenos que se denomina capaceo, que consiste en retirar la capa laborable y colocarla en una sola franja o bancal central, para posteriormente extenderla una vez realizada la nivelación. Este método de conservación, evita el descenso de producción que sucede en muchos terrenos, cuando en las áreas de corte se expone el subsuelo, el cual no es apto para el cultivo por los bajos niveles de nutrientes que presenta.

La sección de topografía del ISA, maneja un programa de nivelación que plantea ésta en cuadrículas de 20\*20 m, con el objetivo de obtener todos los detalles de altimetría del terreno, evitando omitir puntos que puedan ser lomas o huecos. Mediante las curvas a nivel naturales de los terrenos, se define la fisiografía identificando los puntos altos y bajos para proceder a la nivelación. Este proceso ha involucrado cortes de hasta 56 cm y movimientos de suelo que van de 574 m<sup>3</sup>/ha hasta 987 m<sup>3</sup>/ha.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Determinar el efecto de la nivelación sobre las características físicas y químicas de los suelos representativos del Ingenio San Antonio.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar la morfología y características físicas del suelo antes y después de la nivelación.
- Determinar las características químicas hasta una profundidad de 50 cm.
- Elaborar posibles recomendaciones iniciales sobre el manejo físico y químico en áreas de corte y relleno.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

El estudio se realizó en dos áreas (plantíos) de producción de caña de azúcar del Ingenio San Antonio, ubicado en el Departamento de Chinandega, municipio de Chichigalpa, Nicaragua. Las áreas fueron Morales Guanacastes (8 ha) y Mangles Pancho (6 ha).

La topografía de ambos terrenos es plana con una ligera pendiente del 0.9 a 2%, la elevación promedio es 85 msnm y cuenta con la siguiente información climática: 1459 mm de precipitación media anual, la temporada lluviosa comprende de mayo a octubre con el mes de septiembre de mayor precipitación, la época seca es de diciembre a abril (Estación Meteorológica del ISA, 2002); una temperatura promedio anual de 29°C, la temperatura más alta es 37°C en abril y la temperatura más baja es 20°C en diciembre.

### **METODOLOGÍA**

Estos plantíos fueron seleccionados, porque serían nivelados, además de presentar tres tipos de textura de suelo (franco, franco arcilloso y arcilloso), representativos de los suelos del Ingenio San Antonio.

En el plantío experimental de Morales Guanacaste se escogieron cuatro puntos representativos de las zonas de corte y tres puntos representativos de las zonas de relleno, tomando aquellos puntos donde se realizaron los mayores cortes y rellenos, para definir con mayor precisión el efecto de este proceso sobre el suelo. Dichos puntos estaban distanciados a 120 m el uno del otro. En el plantío de Mangles Pancho, se tomaron dos puntos tanto en las áreas de corte como en las áreas de relleno, por ser un área más pequeña (En el anexo 1 y 2 se muestran los mapas respectivos de cada plantío y la ubicación de los puntos seleccionados). Se realizaron en ambos plantíos, calicatas de 2 m de largo, 1.5 m de ancho y 1.5 m de profundidad; antes y después de la nivelación en las zonas respectivas de corte y relleno seleccionadas. Se describieron las calicatas para identificar contrastes en la morfología y propiedades físicas del suelo. La descripción incluyó: grosor y color de cada horizonte, textura, estructura, consistencia, poros, raíces, resistencia a la penetración y límite. Para determinar la variación en las propiedades químicas, se tomaron muestras de suelo de 0.3 kg por cada 10 cm hasta una profundidad de 50 cm en el área de Morales Guanacaste y muestras cada 15 cm hasta 45 cm de profundidad para Mangles Pancho, para un total de 94 muestras. Estas muestras se sacaron a dichas profundidades, con el objeto de determinar, con mayor precisión, el efecto del corte cuyo rango está entre 1 y 56 cm de profundidad y rellenos que van de 1 a 60 cm.

Las muestras previamente secadas, se enviaron al laboratorio de suelos (FHIA)<sup>1</sup>, para los análisis químicos respectivos de materia orgánica, pH, nitrógeno, fósforo, potasio, micro elementos y la relación Mg/K.

### **Análisis de datos físicos y químicos**

Para definir el efecto de la nivelación sobre las características físicas del suelo, se compararon los datos de las descripciones de los dos primeros horizontes de cada perfil, de las calicatas hechas antes y después de la nivelación en los puntos seleccionados. Se escogieron los dos primeros horizontes ya que el promedio de corte y relleno nominal (corte/relleno calculado) fue de 11 cm y el grosor promedio del primero y segundo horizonte era entre 0-15 cm y 15-40 cm, por lo que el corte estaba dentro de esta profundidad. Se compararon cinco propiedades físicas del suelo: grosor y color del horizonte, textura, estructura, consistencia y resistencia a la penetración. Adicionalmente se calculó el promedio del grosor del horizonte Ap y profundidad efectiva del suelo antes y después de la nivelación, así como también se identificaron limitantes físicas presentes en todo el perfil del suelo.

Para el análisis de los datos químicos, se calculó el promedio de las propiedades químicas para cada profundidad, en las áreas de corte y relleno antes y después de la nivelación, con el objeto de determinar la tendencia de los valores en función de la nivelación y profundidad.

---

<sup>1</sup> Fundación Hondureña de Investigación Agrícola  
Apartado 2067 Postal, San Pedro Sula, Honduras, C.A

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### MORALES GUANACASTE

#### Características físicas de los suelos

Morales Guanacaste es un área plana con una pendiente natural de 2%. Los suelos bajo condición natural, presentan horizontes superiores uniformes que varían en profundidad; entre 30 y 74 cm ocurren texturas francas, entre los 62 y 95 cm, texturas franco limoso y entre los 86 y los 142 cm, arcillosos. La estructura en el primer horizonte es granular y bloques angulares gruesos a medianos débiles y en los siguientes horizontes se presentan bloques angulares gruesos a medianos débiles. La consistencia es friable en la mayoría de los horizontes, a excepción del segundo horizonte y el inferior presenta consistencia firme. Los poros son frecuentes a pocos, gruesos a finos, continuos, discontinuos y vesiculares a lo largo de perfil. La presencia de raíces es frecuente, de todos los tamaños en el primer horizonte y frecuentes a pocas, medianas a finas en los siguientes horizontes, a excepción del horizonte que está entre 97 y 101 cm donde hay ausencia de raíces. La resistencia a la penetración generalmente en el primer horizonte es de 0.5 kg/cm<sup>2</sup> y aumenta en el segundo horizonte con un valor que oscila entre los 3.9 a 4.5 kg/cm<sup>2</sup>, los demás horizontes presentan valores que varían entre 1.2 y 3.5 kg/cm<sup>2</sup> (Anexo 3).

Se presentaron dos limitantes físicas muy marcadas en los perfiles examinados: un pie de arado producido por el laboreo inadecuado del suelo en estado húmedo, el cual está ubicado a los 15 cm de profundidad, tiene un grosor entre 15 y 20 cm y presenta resistencia a la penetración de 4.20 kg/cm (>2.5 kg/cm<sup>2</sup> se considera un suelo compactado). Un horizonte grisáceo que oscila entre 97 y 113 cm de profundidad, con estructura masiva y drenaje interno pobre (Cuadro 1).

En las zonas de corte, el grosor promedio del horizonte Ap se reduce de 15 cm antes de nivelar a 9 cm después de nivelado, producto de la remoción de una parte del primer horizonte. La profundidad efectiva del suelo, que es la primera limitante física, se presenta en el perfil (pie de arado) a los 15 cm en promedio antes de la nivelación y 9 cm después. En contraste, en las zonas de relleno, el horizonte Ap aumentó de 16 a 22 cm después de la nivelación y la profundidad efectiva de 16 a 21 cm, por la colocación de suelo proveniente de otras partes. En este estudio, generalmente el grosor del horizonte Ap determina la profundidad efectiva de suelo.

Cuadro 1. Limitantes físicas en los suelos representativos del área de Morales Guanacaste; Ingenio San Antonio, Chichigalpa, Nicaragua.

|            | Profundidad<br>(cm) | Textura | Limitantes físicas                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------|---------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Calicata 1 | 0-30                | F       | Resistencia a penetración > 4.5 kg/cm <sup>2</sup> en el segundo horizonte cuyo espesor es de 15 cm. Horizonte anegado a los 97 cm, de color gris oscuro (10 YR 4/1), con estructura masiva y ausencia de raíces.                                                                    |
|            | 30-97               | FAr     |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 97-120              | Ar      |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Calicata 2 | 0-72                | F       | Resistencia a la penetración en el segundo horizonte de 4.20 kg/cm <sup>2</sup> , el cual tiene un espesor de 25 cm. Horizonte de color pardo oscuro grisáceo (10 YR 4/2) a los 113 cm, con estructura masiva y ausencia de raíces.                                                  |
|            | 72-92               | FArL    |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 92-113              | FAr     |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 113-144             | Ar      |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Calicata 3 | 0-62                | F       | Resistencia a la penetración de 4.5 kg/cm <sup>2</sup> en el segundo horizonte (16-36 cm) y raíces pocas.                                                                                                                                                                            |
|            | 62-95               | FArL    |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 95-160              | Ar      |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Calicata 4 | 0-69                | F       | Resistencia a la penetración entre 3.5 y 4.5 kg/cm <sup>2</sup> en el segundo horizonte, cuyo grosor es de 16 cm. Revestimiento de óxidos de hierro en poros radicales a los 84 cm. Horizonte gris oscuro (7.5 YR 4/1) a los 112 cm, con estructura prismática y ausencia de raíces. |
|            | 69-84               | FAr     |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 84-112              | FArL    |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 112-150             | Ar      |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Calicata 5 | 0-68                | F       | Resistencia a la penetración de 3.5-4.5 kg/cm <sup>2</sup> (15-42 cm). Presencia de óxidos de hierro que cubren agregados, organes y argilanes (41-101 cm). Horizonte gris oscuro (7.5 YR 4/1) a los 101 cm de consistencia firme y ausencia de raíces.                              |
|            | 68-86               | FArL    |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 86-101              | FAr     |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 101-142             | Ar      |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Calicata 6 | 0-74                | F       | Segundo horizonte con resistencia a la penetración > 4.5 kg/cm <sup>2</sup> , grosor de 24 cm. Horizonte gris muy oscuro (7.5 YR 3/1) a los 115 cm, de consistencia firme y ausencia de raíces. Presencia de óxidos de hierro que cubren agregados a los 95 cm.                      |
|            | 74-95               | Ar      |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 95-115              | FArL    |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 115-145             | Ar      |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Calicata 7 | 0-68                | F       | Segundo horizonte (15-41 cm) con resistencia a la penetración > 4.5 kg/cm <sup>2</sup> . Horizonte gris oscuro (7.5 YR 4/1) a los 101 cm de consistencia firme.                                                                                                                      |
|            | 68-86               | FArL    |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 86-101              | FAr     |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|            | 101-142             | Ar      |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

**Textura:** F (franco), FArL (Franco arcillo limoso), FAr (franco arcilloso), Ar (arcilloso).

**Área de corte.** La verificación de la magnitud real del corte, se usó en la descripción de los dos primeros horizontes del perfil antes y después de la nivelación (Cuadro 2). El corte nominal<sup>§</sup> variaba de 3 a 39 cm, según el sitio.

En la calicata 1 antes de nivelar, el primer horizonte presentaba un grosor de 0 a 15 cm, color negro (7.5 Y 2.5/1), estructura granular mediana a fina fuerte y bloques angulares gruesos a medianos moderados, raíces pocas gruesas a medianas y resistencia a la penetración de 0.5 kg/cm<sup>2</sup>. El segundo horizonte con un grosor de 15 cm, color negro (7.5 Y 2.5/1), estructura bloques angulares, gruesos a medianos débiles, raíces pocas gruesas a finas y resistencia a la penetración de 4 kg/cm<sup>2</sup>. Después de la nivelación el primer horizonte tenía un grosor de 18 cm, color negro (2.5 Y 2.5/1), estructura bloques angulares, gruesos a medianos débiles, raíces pocas, medianas a finas y resistencia a la penetración > 4.5 kg/cm<sup>2</sup>. El segundo horizonte con un grosor de 15 cm, color negro (10 YR 2/1), estructura de bloques angulares, gruesos a medianos débiles, raíces pocas medianas a finas y resistencia a la penetración de 2.8 kg/cm. Con estos datos se puede inferir que la capa superficial fue removida, con un corte real de 15 cm, eliminando el primer horizonte en su totalidad y exponiendo el segundo horizonte, el cual era compactado (resistencia a la penetración de 4 kg/cm<sup>2</sup>), con una estructura más gruesa (bloques) que antes de nivelar (granular).

La calicata 3 antes de nivelar, presentó un grosor de 16 cm, color negro (7.5 YR 2.5/1), estructura granular gruesa a fina fuerte, bloques angulares medianos a finos débiles, raíces muchas de todos los tamaños y resistencia a la penetración de 0.5 kg/cm<sup>2</sup>. El segundo horizonte con un grosor de 20 cm, color negro (7.5 YR 2.5/1), bloques angulares gruesos a medianos débiles, raíces frecuentes de todos los tamaños y resistencia a la penetración > 4.5 kg/cm<sup>2</sup>. Después de la nivelación el grosor del primer horizonte fue de 6 cm, color negro (7.5 YR 2.5/1), granular grueso a mediano fuerte, raíces frecuentes de todos los tamaños y resistencia a la penetración de 0.5 kg/cm<sup>2</sup>. Con esta información, se determinó un corte real de 10 cm, ya que pasó de 16 cm a 6 cm, conservando las propiedades descritas en el primer horizonte antes de nivelar; pero reduciendo significativamente su grosor.

Para las calicatas 5 y 7 el corte real para ambas fue de 9 cm; el primer horizonte no fue removido en su totalidad, pero se redujo su profundidad efectiva significativamente.

**Área de relleno.** La determinación de los efectos en el área de relleno, se basó en las descripciones del suelo antes y después de la nivelación (Cuadro 3). Los rellenos nominales variaron de 23 a 43 cm según el caso. En las áreas de relleno se mantienen ciertas características físicas como resistencia a la penetración y estructura la cual varía poco en algunos casos. Otras como el grosor y color del primer horizonte y raíces cambian, producto de la ubicación de suelo de las áreas de corte.

En la calicata 2 se observó un incremento en el primer horizonte de 10 cm después de la nivelación, ya que pasó de un grosor de 15 cm a un grosor de 25 cm, la estructura y la

---

<sup>§</sup> Corte nominal es el corte que debe ser realizado en el campo según el programa de nivelación en función de las elevaciones del terreno.

resistencia a la penetración no variaron. El color varió de 7.5 YR 2.5/1 a 2.5 Y 2.5/1, siendo ambos negros.

En las calicatas 4 y 6 se observó un incremento en el primer horizonte de 8 y 15 cm respectivamente, manteniendo ambas sus características iniciales en cuanto a estructura, raíces y resistencia a la penetración, no así en el color.

Cuadro 2. Efecto de la nivelación sobre cinco características físicas en los dos primeros horizontes de las áreas de corte de los suelos representativos de Morales Guanacaste; Ingenio San Antonio, Chichigalpa, Nicaragua.

| # | Corte (cm) |      | Horiz. | Espesor (cm) |         | Color        |              | Estructura            |                 | Raíces |         | Resistencia a la penetración (kg/cm <sup>2</sup> ) |         |
|---|------------|------|--------|--------------|---------|--------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------|---------|----------------------------------------------------|---------|
|   | Nominal    | Real |        | Antes        | Después | Antes        | Después      | Antes                 | Después         | Antes  | Después | Antes                                              | Después |
| 1 | 3          | 15   | 1er.   | 0-15         | 0-18    | 7.5 Y 2.5/1  | 2.5 Y 2.5/1  | g m-f f, ba g-m m     | ba g-m d        | p g-m  | p m-f   | 0,5                                                | 4,5     |
|   |            |      | 2do.   | 15-30        | 18-33   | 7.5 Y 2.5/1  | 10 YR 2/1    | ba g-m d              | ba g-m d        | p m-f  | p m-f   | 4                                                  | 2,8     |
| 3 | 39         | 10   | 1er.   | 0-16         | 0-6     | 7.5 YR 2.5/1 | 7.5 YR 2.5/1 | su, g g-f f, ba m-f f | g g-m f         | m tt   | f tt    | 0,5                                                | 0,5     |
|   |            |      | 2do.   | 16-36        | 6-32    | 7.5 YR 2.5/1 | 10 YR 2/2    | ba g-m d              | ba g-m d        | f tt   | p g-f   | 4,5                                                | 4,2     |
| 5 | 11         | 9    | 1er.   | 0-15         | 0-6     | 7.5 YR 2.5/1 | 7.5 YR 2.5/1 | su, g m-f f, ba g-f d | su, g m-f f     | m m-f  | m tt    | 0,5                                                | 0,5     |
|   |            |      | 2do.   | 15-41        | 6-24    | 7.5 YR 2.5/1 | 10 YR 2/1    | p g d                 | p g d, ba m d   | p g-m  | f f-mf  | 4,5                                                | 4,4     |
| 7 | 3          | 9    | 1er.   | 0-15         | 0-6     | 7.5 YR 2.5/1 | 7.5 YR 2.5/1 | su, g m-f f, ba g-f d | g g-m f, ba m f | m tt   | f m     | 0,5                                                | 1,4     |
|   |            |      | 2do.   | 15-41        | 6-28    | 7.5 YR 2.5/1 | 10 YR 2/1    | p g d                 | p m m, ba g-m d | p g-m  | f g-f   | 4,5                                                | 4,4     |

# = Número de calicata

**Estructura:** *tipo:* su(suelto), g(granular), ba(bloques angulares), p(prismas); *clase:* mg(muy grueso), g(grueso), m(mediano), mf(muy fino); *grado:* f(fuerte), d(débil), m(moderado).

**Raíces:** *cantidad:* m (muchas), f(frecuentes), p(pocas); *tamaño:* tt(todos los tamaños), m(medianas), f(finis), mf(muy finis).

Cuadro 3. Efecto de la nivelación sobre cinco características físicas en los dos primeros horizontes de las áreas de relleno de los suelos representativos de Morales Guanacaste; Ingenio San Antonio, Chichigalpa, Nicaragua.

| # | Relleno (cm) |      | Horiz. | Espesor (cm) |         | Color        |              | Estructura            |                        | Raíces |         | Resistencia a la penetración (kg/cm <sup>2</sup> ) |         |
|---|--------------|------|--------|--------------|---------|--------------|--------------|-----------------------|------------------------|--------|---------|----------------------------------------------------|---------|
|   | Nominal      | Real |        | Antes        | Después | Antes        | Después      | Antes                 | Después                | Antes  | Después | Antes                                              | Después |
| 2 | 43           | 10   | 1er.   | 0-15         | 0-25    | 7,5 Y 2,5/1  | 2.5 Y 2.5/1  | su, g m-f f, ba m f   | su, g m-f f            | f tt   | m tt    | 0,5                                                | 0,5     |
|   |              |      | 2do.   | 15-40        | 25-40   | 7.5 Y 2.5/1  | 10 YR 2/1    | ba m-f m              | bsa g-m d              | f g-m  | f g-f   | 4,2                                                | 4,5     |
| 4 | 40           | 8    | 1er.   | 0-16         | 0-24    | 10 YR 2/1    | 7.5 YR 2.5/1 | su, g m-f f, ba m-f f | su, g g-f f, bsa g-m f | m tt   | m tt    | 0,5                                                | 0,5     |
|   |              |      | 2do.   | 16-42        | 24-39   | 10 YR 2/1    | 7.5 YR 2.5/1 | p g d, ba g-m d       | ba g-m d               | p m-f  | p m-f   | 4,5                                                | 4,4     |
| 6 | 23           | 15   | 1er.   | 0-16         | 0-15    | 2.5 YR 2.5/1 | 7.5 YR 2.5/1 | su, g g-m f, ba m-f   | su, g g-m f            | m tt   | m tt    | 0,5                                                | 0,5     |
|   |              |      | 2do.   | 16-40        | 15-36   | 7.5 YR 2.5/1 | 7.5 YR 3/1   | ba g-m m              | ba g-m d               | f p-f  | f tt    | 4,5                                                | 4,5     |

# = Número de calicata

**Estructura:** *tipo:* su(suelto), g(granular), ba(bloques angulares), p(prismas); *clase:* mg(muy grueso), g(grueso), m(mediano), mf(muy fino); *grado:* f(fuerte), d(débil), m(moderado).

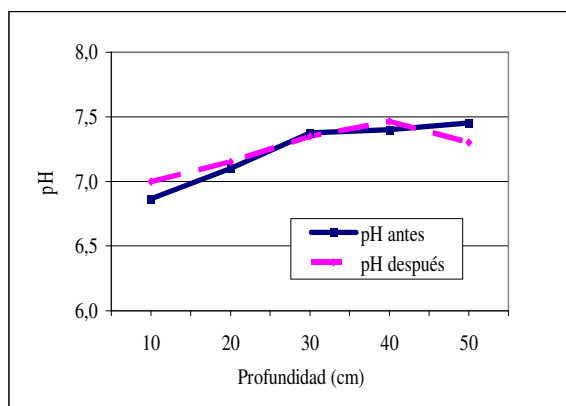
**Raíces:** *cantidad:* m(muchas), f(frecuentes), p(pocas); *tamaño:* tt(todos los tamaños), m(medias), f(finis), mf(muy finis).

## Características químicas de los suelos

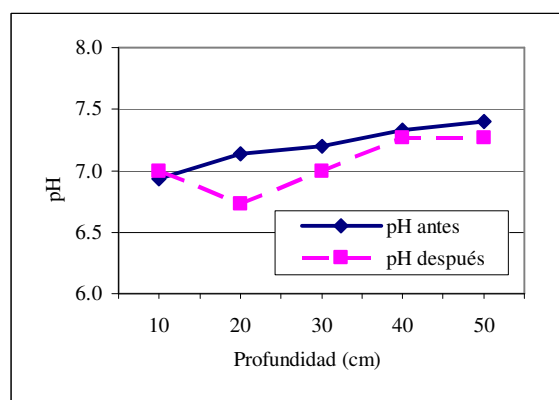
La nivelación en las áreas dedicadas al cultivo de caña de azúcar también modificó las propiedades químicas del suelo. Estas modificaciones se discuten a continuación.

### Reacción del suelo

En las áreas de corte, el pH no es afectado por la nivelación, independientemente de la profundidad de corte realizado (Figura 1). En contraste, en las áreas de relleno, disminuye a los 20 y 30 cm de profundidad después de la nivelación (Figura 2). Sin embargo, en las zonas de corte y de relleno, el rango de pH se mantiene entre 6.9 y 7.5, con tendencia a aumentar con la profundidad del suelo, excediendo en cualquiera de los casos la reacción óptima del suelo para el cultivo (pH óptimo de la caña es 6.3).



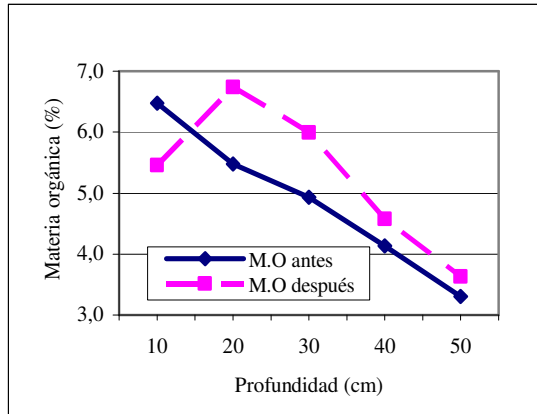
**Figura 1.** Efecto de la nivelación sobre el pH en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.



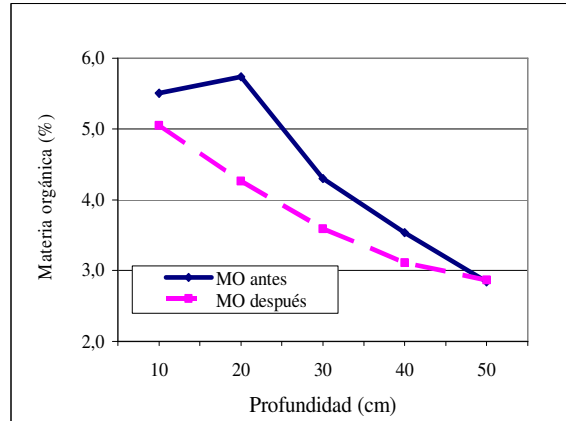
**Figura 2.** Efecto de la nivelación sobre el pH en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

### Materia Orgánica

La materia orgánica disminuye con la profundidad del suelo, por lo tanto sus niveles bajan significativamente en las áreas de corte (Figura 3), no así, en las áreas de relleno, donde después de los 20 cm aumenta considerablemente, dada la acumulación de suelo predominantemente horizonte A, procedente de las áreas de corte (Figura 4). La disminución de la materia orgánica a las áreas de corte, influenciará negativamente la absorción de nutrientes para la planta, la disponibilidad de agua, estructura y porosidad del suelo.



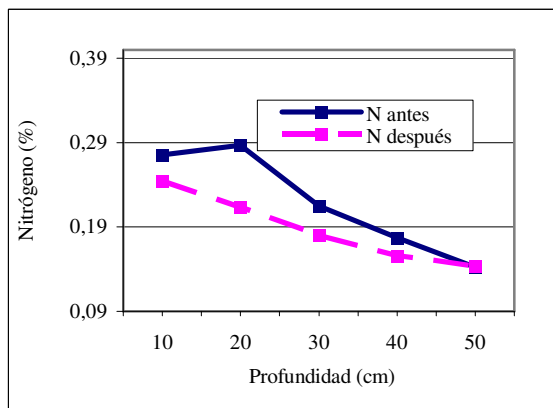
**Figura 3.** Efecto de la nivelación sobre la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.



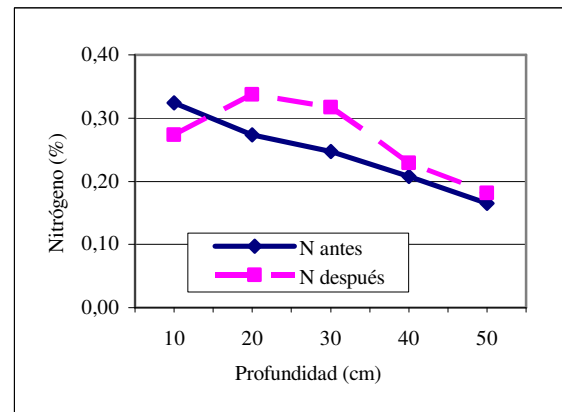
**Figura 4.** Efecto de la nivelación sobre la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

### Nitrógeno

En las áreas de corte el nitrógeno disminuye en los primeros 40 cm después de la nivelación (Figura 5). En cambio, en las áreas de relleno, el contenido de nitrógeno aumenta entre los 20 y 40 cm; por consiguiente rellenos mayores de 20 cm incrementarán el contenido de nitrógeno, pero rellenos de 10 cm y mayores de 50 cm no producirán efecto alguno en la concentración de dicho elemento (Figura 6). Sin embargo, el hecho de que el nitrógeno (independientemente de corte o relleno) disminuye con la profundidad, indica que bajo cualquier escenario los cortes resultarán en menos nitrógeno disponible para la planta.



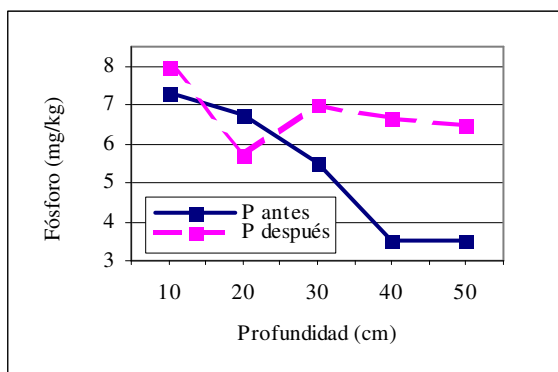
**Figura 5.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del nitrógeno en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.



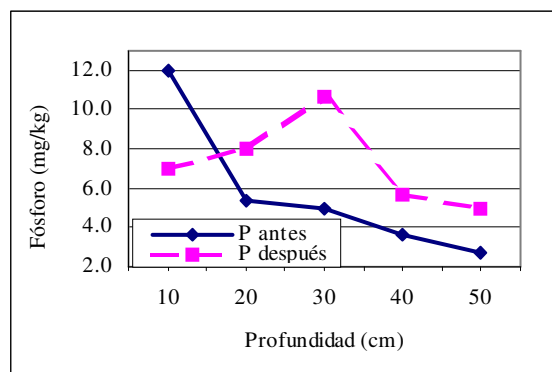
**Figura 6.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del nitrógeno en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

## Fósforo

Después de la nivelación, tanto en las zonas de corte como de relleno, el fósforo incrementa después de los 20 cm de profundidad. Cortes entre 10 cm, no afectan el contenido de fósforo (Figura 7) En contraste, rellenos de 10 cm disminuyen el contenido del mismo, como consecuencia de la colocación de suelo proveniente de horizontes de capas inferiores del suelo, originarias de las áreas de corte con bajo contenido de fósforo (Figura 8). Similar al nitrógeno, la tendencia general de fósforo es a disminuir con la profundidad del suelo, por lo que cortes drásticos afectarán la disponibilidad de este elemento para la planta.



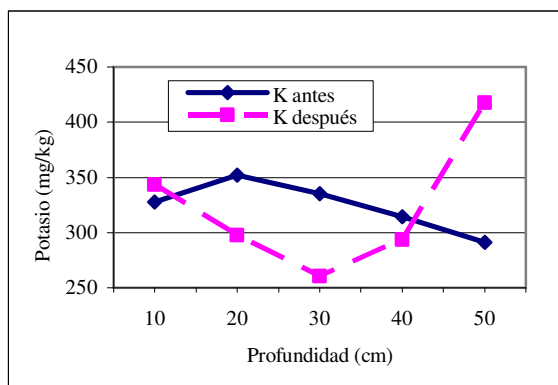
**Figura 7.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del fósforo en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.



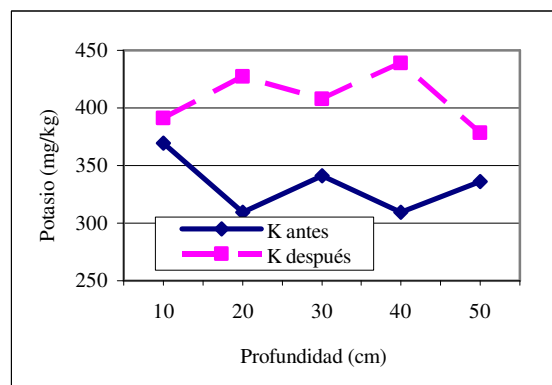
**Figura 8.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del fósforo en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

## Potasio

En las áreas de corte, el potasio disminuye con la nivelación entre los 12 y 40 cm, por lo tanto, cortes mayores a 12 cm disminuyen el contenido de potasio en el suelo, pero cortes mayores de 40 cm incrementarían el contenido (Figura 9). En cambio en las áreas de relleno aumenta considerablemente después de los 10 cm (Figura 10), como efecto de la acumulación de suelo superior (horizonte A) proveniente de las áreas de corte.



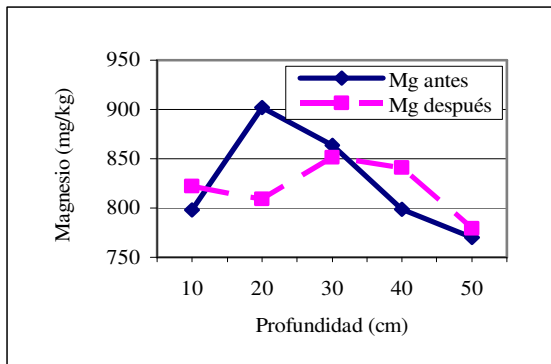
**Figura 9.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del potasio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.



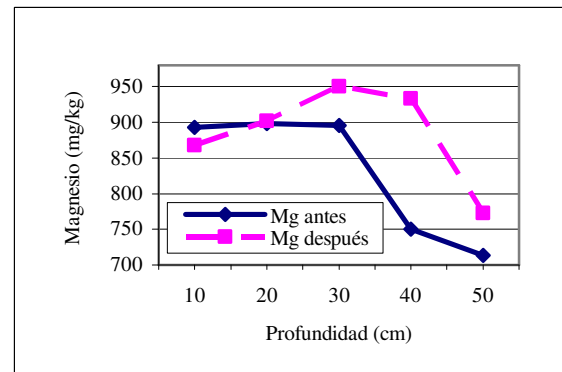
**Figura 10.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del potasio en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

## Magnesio

El magnesio en las áreas de corte disminuye en los primeros 30 cm (Figura 11), en cambio en las áreas de relleno aumenta después de los 20 cm de profundidad (Figura 12). Sin embargo, en las áreas de corte y de relleno la concentración de magnesio se encuentra en cantidades altas en el suelo, mayor a los 700 mg/kg. Esto podría afectar la disponibilidad de otros elementos en el suelo como el potasio y el calcio.



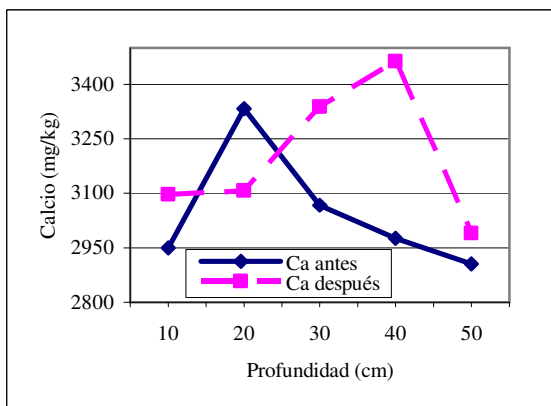
**Figura 11.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del magnesio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.



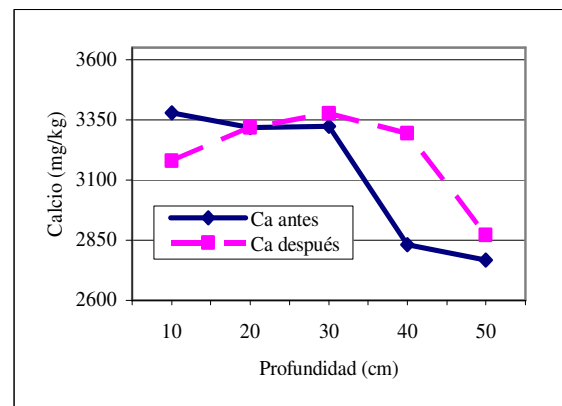
**Figura 12.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del magnesio en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

## Calcio

En áreas de corte el calcio aumenta después de los 20 cm consecuencia de la nivelación y tiende a disminuir con la profundidad después de 40 cm de profundidad (Figura 13). Por el contrario, en áreas de relleno la concentración de calcio no se altera en los primeros 30 cm, disminuyendo a profundidades mayores (Figura 14). Cortes mayores a 35 cm afectarán la biodisponibilidad de este nutriente.



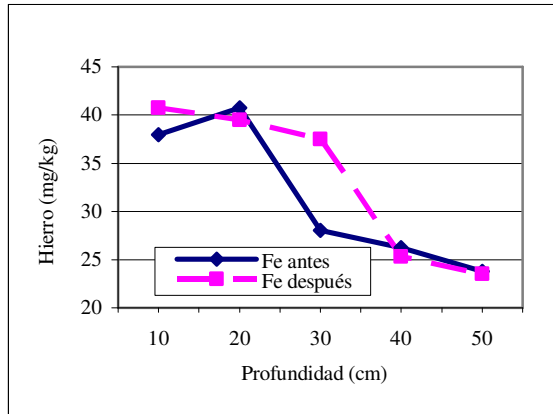
**Figura 13.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del calcio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.



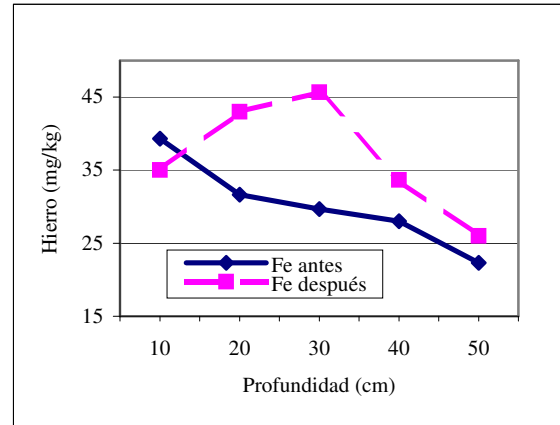
**Figura 14.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del calcio en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

## Hierro

La acumulación de hierro no es afectado en las áreas de corte por la nivelación (Figura 15), en contraste, en las áreas de relleno aumenta después de los 10 cm de profundidad (Figura 16). Por lo tanto rellenos mayores de 10 cm aumentarán el contenido de hierro en el suelo.



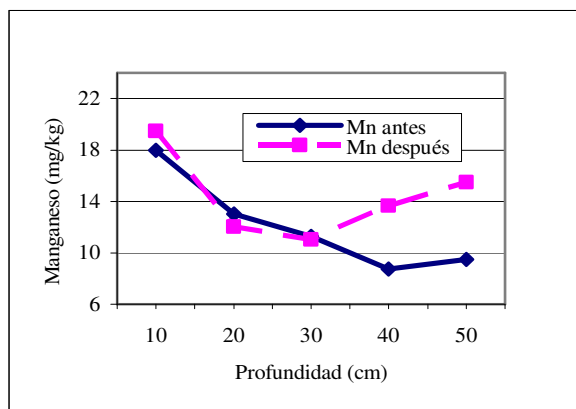
**Figura 15.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del hierro en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.



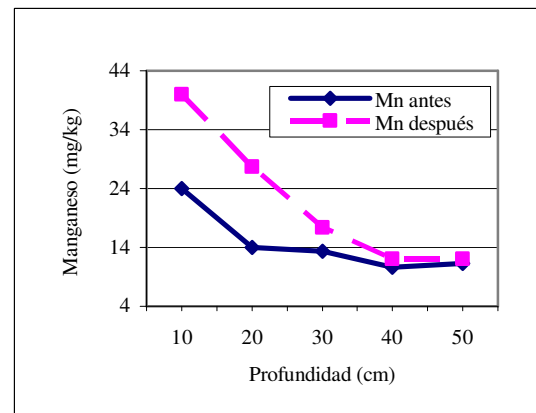
**Figura 16.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del hierro en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

## Manganeso

El manganeso en las áreas de corte, no es afectado por la nivelación en los primeros 30 cm (Figura 17). Por el contrario, los contenidos de este elemento aumentan significativamente en las áreas de relleno hasta los 20 cm de profundidad, aumentando así su biodisponibilidad para la plantas (Figura 18).

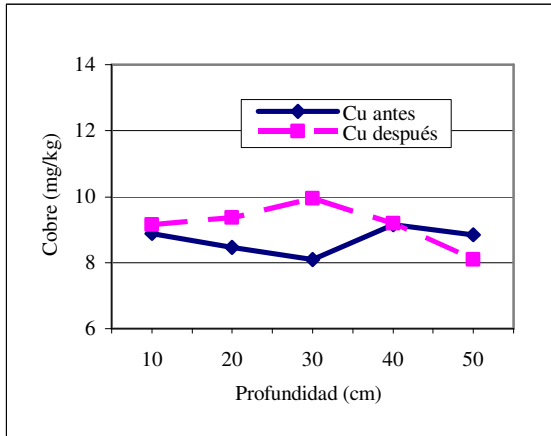


**Figura 17.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del manganeso en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.

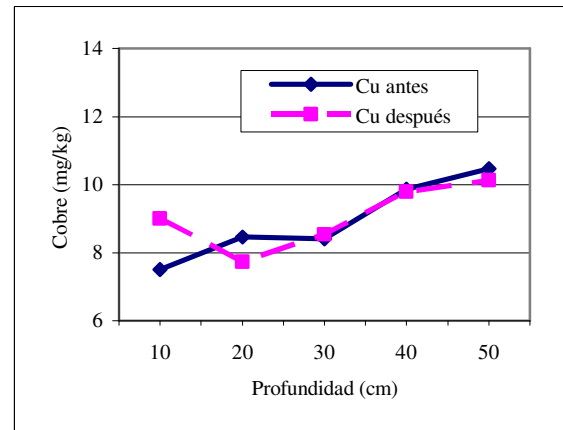


**Figura 18.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del manganeso en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

Las concentraciones de cobre no fueron significativamente afectadas por la nivelación en las áreas de corte (Figura 19) ni en las áreas de relleno (Figura 20), manteniendo concentraciones medias en todo el perfil del suelo.



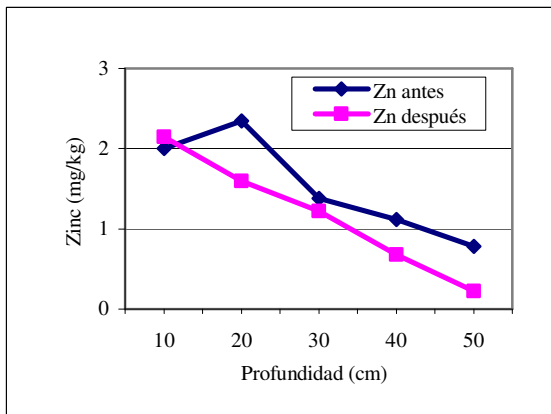
**Figura 19.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del cobre en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.



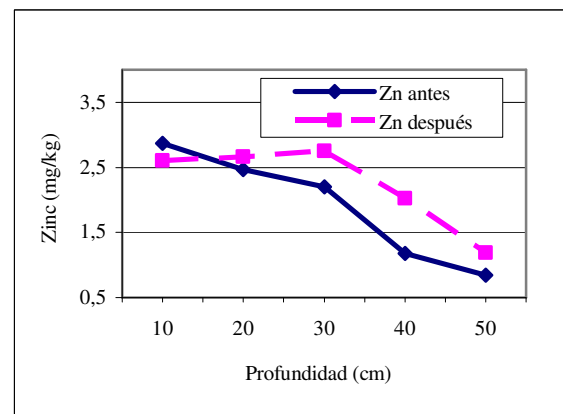
**Figura 20.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del cobre en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

## Zinc

Las concentraciones de zinc disminuyen con la profundidad del suelo, por consiguiente disminuye levemente en las zonas de corte (Figura 21), no así en las áreas de relleno donde aumenta por la acumulación de suelo originario de horizontes superiores (Figura 22).

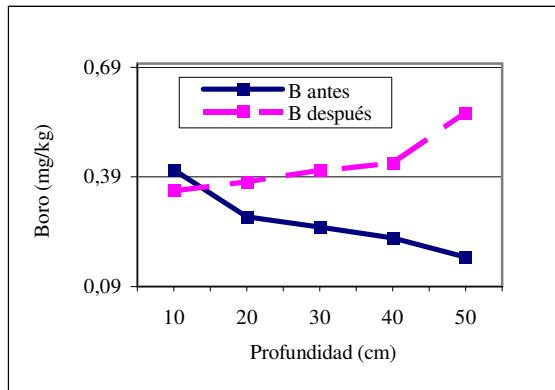


**Figura 21.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del zinc en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.

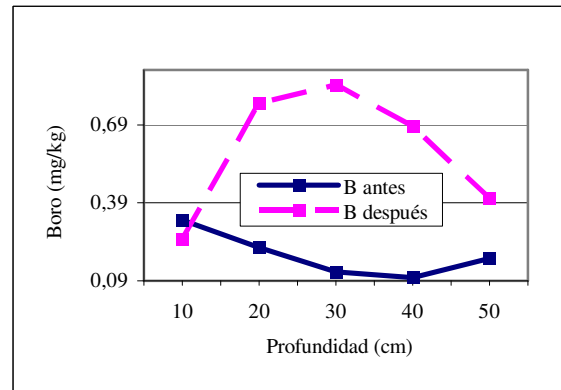


**Figura 22.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del zinc en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

Después de la nivelación, la tendencia del boro es a aumentar después de los 10 cm de profundidad, en las áreas de corte (Figura 23) y de relleno (Figura 24). Esto favorece la disponibilidad de este elemento para la planta



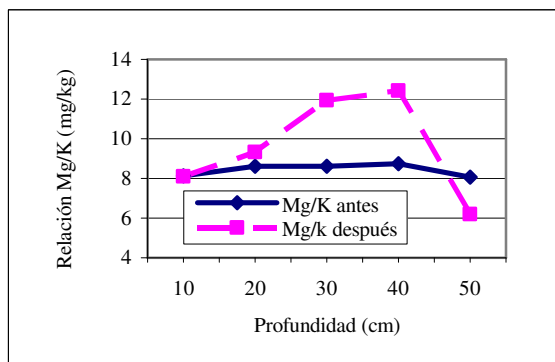
**Figura 23.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del boro en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.



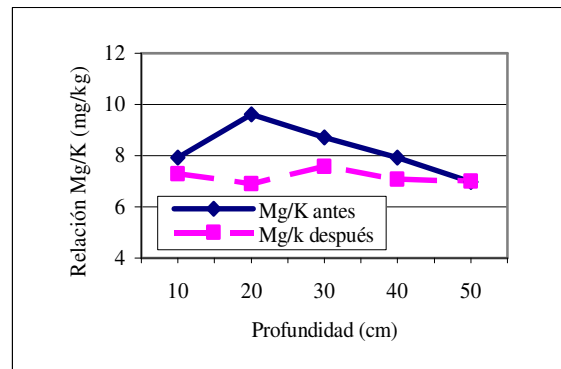
**Figura 24.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del boro en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

### Relación Mg/K

La relación Mg/K incrementa con la profundidad del suelo por la nivelación en áreas de corte (Figura 25), por el contrario disminuye en áreas de relleno (Figura 26). Esto sugiere que en el primer caso la nivelación favorece la absorción de Mg y antagoniza la absorción de potasio y en el segundo beneficia la absorción de potasio.



**Figura 25.** Efecto de la nivelación sobre la relación Mg/K en el perfil del suelo en las áreas de corte de Morales Guanacaste.



**Figura 26.** Efecto de la nivelación sobre la relación Mg/K en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Morales Guanacaste.

## **MANGLES PANCHO**

### **Características físicas de los suelos**

Mangles Pancho es un área con una pendiente promedio de 3%. Se caracteriza por la desuniformidad de sus suelos en propiedades físicas. La textura es franca en los primeros 67 cm; franca arcillosa en los 34 y 57 cm; arcillosa entre 45 y 89 cm y fragmento de piedra generalmente se encuentran entre los 89 y 140 cm. La estructura en los primeros 18 cm generalmente es granular gruesa a mediana fina y bloques subangulares gruesos a finos fuertes. Entre los 18 y 44 cm se encuentran bloques angulares gruesos a medianos débiles. Los prismas son columnares gruesos a muy finos moderados compuestos por bloques angulares gruesos a medianos débiles entre los 40 y 89 cm y la ocurrencia de estratos de roca ubicados principalmente entre los 89 y 140 cm. Los poros en el primer horizonte (0-18 cm) son muchos de todos los tamaños continuos y vesiculares, entre los 18 y 88 cm se encontraron poros pocos medianos a muy finos discontinuos y caóticos y poros pocos gruesos a finos continuos y caóticos y de los 89 a los 140 cm no hay poros por la presencia de estratos de piedra. La resistencia a la penetración para el primer horizonte es de 0.50 kg/cm<sup>2</sup>, el segundo horizonte con un grosor promedio de 16 a 46 cm presenta resistencia a la penetración > 4.50 kg/cm<sup>2</sup>. Después de los 46 cm hasta los 85 cm se presenta resistencia a la penetración de 3.50 kg/cm<sup>2</sup>. Es notable la compactación para una capa de suelo que presenta un grosor promedio de 69 cm, donde la resistencia a la penetración es mayor de 3.50 kg/cm<sup>2</sup> (>2.50 kg/cm<sup>2</sup> es compactado) (Anexo 4)

Las limitantes físicas en el perfil son muy marcadas, como pie de arado en el segundo horizonte, textura arcillosa entre los 34 y 89 cm y la presencia de estratos de piedra a los 89 cm (Cuadro 4). Estas limitantes explican la poca cantidad de raíces en los primeros 88 cm, por lo que la profundidad efectiva de la caña de azúcar se ve afectada en los primeros 80 cm de profundidad.

Cuadro 4. Limitantes físicas en los suelos representativos del área de Mangles Pancho; Ingenio San Antonio, Chichigalpa, Nicaragua.

| #          | Profundidad (cm) | Textura       | Limitantes físicas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------|------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Calicata 1 | 0-64             | F             | Segundo horizonte con grosor de 18 a 36 cm resistencia a la penetración >4,5 kg/cm². Horizonte que va de 86 a 118 cm, cubierto con piedra en un 40% de la superficie.                                                                                                                                                                      |
|            | 64-118           | FArL + piedra |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 118-140          | piedra        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Calicata 2 | 0-34             | FAr           | Segundo horizonte cuyo grosor es de 17 a 34 cm, resistencia a la penetración de 4,20 kg/cm². Horizontes de color gris entre los 34 y 75 cm, presentan textura arcillosa y resistencia a la penetración entre 3,37 y > 4,5 kg/cm².                                                                                                          |
|            | 34-89            | Ar            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 89-114           | piedra        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 114-122          | F             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 122-150          | piedra        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Calicata 3 | 0-31             | F             | Segundo horizonte con grosor de 16 a 31 cm, resistencia a la penetración > 4,5 kg/cm². Tercero y séptimo horizonte (31-56 cm y 105-130 cm) grava en un 10 a 15% de la superficie y resistencia a la penetración de 3,60 kg/cm² para el tercer horizonte. Horizontes con piedra en un 60% de la superficie que están entre los 71 y 105 cm. |
|            | 31-56            | F + grava     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 56-71            | F             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 71-105           | piedra        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 105-130          | F + grava     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 130-140          | piedra        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 140-152          | F             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Calicata 4 | 0-38             | F             | Segundo horizonte (17-38 cm) presenta resistencia a la penetración > 4,5 kg/cm². Horizonte con piedra (73-97 cm) en un 40% de la superficie y horizonte de piedra de los 97 a 112 cm.                                                                                                                                                      |
|            | 38-57            | FAr           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 57-73            | Ar            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 73-97            | Far + piedra  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 97-112           | piedra        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|            | 112-126          | F + grava     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

**Textura:** F (franco), FArL (Franco arcillo limoso), FAr (franco arcilloso), Ar (arcilloso).

El grosor del horizonte Ap en su estado natural es de 17 cm en promedio, el cual se ve afectado por la nivelación en las áreas de corte disminuyendo su grosor a 7 cm y en las áreas de relleno aumenta a 27 cm. La profundidad efectiva está relacionada con el grosor del horizonte Ap, por lo tanto, al reducirse el horizonte Ap se reduce la profundidad efectiva del suelo, acercando o alejando según sea corte o relleno el pie de arado. La profundidad efectiva está limitada por: textura arcillosa y estratos de piedra que se encuentran en promedio a los 46 y 79 cm.

**Área de corte.** La comparación de los dos primeros horizontes antes y después de la nivelación, permitió determinar la magnitud del corte realizado en el campo. Los cortes nominales fueron de 42 y 22 cm para las calicatas 1 y 3, respectivamente. En la calicata 1, antes de nivelar, el primer horizonte presentó un grosor de 18 cm, de color negro (7.5 YR 2.5/1), estructura granular gruesa a mediana fuerte y bloques angulares gruesos a medianos moderados, raíces muchas de todos los tamaños y resistencia a la penetración de 0.5 kg/cm<sup>2</sup> y el segundo horizonte con un grosor de 18 cm, color negro (10 YR 2/1), estructura bloques angulares gruesos a medianos débiles, raíces frecuentes medianas a muy finas y resistencia a la penetración > 4.5 kg/cm<sup>2</sup>. Después de la nivelación el primer horizonte presentó un grosor de 7 cm. Esto indica que el corte real realizado fue de 11 cm, por lo que no fue removido en su totalidad el primer horizonte, lo que permitió de alguna manera, conservar las características en su estado natural del primer y segundo horizonte. En la calicata 3 el corte real realizado fue de 9 cm, ya que el grosor del primer horizonte pasó de 16 a 7 cm, por lo tanto se mantuvieron las características de sus horizontes presentadas antes de la nivelación (Cuadro 5).

Aun cuando el primero horizonte no haya sido removido en su totalidad, éste fue reducido, exponiendo de mayor manera las raíces a las limitantes físicas presentes en el perfil, como es el pie de arado que presenta resistencia a la penetración > 4.5 kg/cm<sup>2</sup>. Este horizonte se encuentra entre los 16 y 36 cm y presenta un grosor de 15 a 21 cm.

**Área de relleno.** En las áreas de relleno, el suelo en su estado natural no es afectado, por consiguiente lo que se analiza son los horizontes o capas depositadas provenientes de las áreas de corte.

Al comparar los dos primeros horizontes antes y después de la nivelación en las áreas de relleno, se determinó que el primer horizonte aumentó de grosor. Para la calicata 2 aumentó de 17 a 36 cm, pasó del color 7.5 YR 2.5/1 a 10 YR 2/1, siendo ambos negros. La estructura antes de nivelar era granular gruesa a mediana fuerte y pasó a suelta, granular mediana a fina moderada. Las cantidad de raíces no fueron afectadas por la nivelación, se mantuvo en raíces muchas de todos los tamaños. La resistencia a la penetración pasó de 0.65 a 0.50 kg/cm<sup>2</sup>. La calicata 4 presenta características similares a las antes mencionadas, a excepción del grosor del horizonte después de la nivelación que pasó de 17 a 18 cm (Cuadro 6).

Cuadro 5. Efecto de la nivelación sobre cinco características físicas en los dos primeros horizontes de las áreas de corte de los suelos representativos de Mangles Pacho; Ingenio San Antonio, Chichigalpa, Nicaragua.

| # | Corte (cm) |      | Horiz. | Espesor (cm) |         | Color        |              | Estructura         |                        | Raíces |         | Resistencia a la penetración (kg/cm <sup>2</sup> ) |         |
|---|------------|------|--------|--------------|---------|--------------|--------------|--------------------|------------------------|--------|---------|----------------------------------------------------|---------|
|   | Nominal    | Real |        | Antes        | Después | Antes        | Después      | Antes              | Después                | Antes  | Después | Antes                                              | Después |
| 1 | 42         | 11   | 1er.   | 0-18         | 0-7     | 7,5 YR 2,5/1 | 7,5 YR 2,5/1 | g g-m f, ba g-m m  | su, g g-m m, bsa m-f f | m tt   | f tt    | 0,5                                                | 0,5     |
|   |            |      | 2do.   | 18-36        | 7-36    | 10YR 2/1     | 10 YR 2/1    | ba g-m d           | ba g-m d               | f m-mf | f g-f   | >4,5                                               | 2,8     |
| 3 | 22         | 9    | 1er.   | 0-16         | 0-7     | 7,5 YR 2,5/1 | 10 YR 2/1    | g g-m f, bsa m-f f | su, g g-m m            | mtt    | m tt    | 0,5                                                | 0,5     |
|   |            |      | 2do.   | 16-31        | 7-34    | 10 YR 2/1    | 10 YR 2/1    | ba g-m d           | ba g-m d               | f g-f  | f g-f   | >4,5                                               | 4,3     |

Cuadro 6. Efecto de la nivelación sobre cinco características físicas en los dos primeros horizontes de las áreas de relleno de los suelos representativos de Mangles Pancho; Ingenio San Antonio, Chichigalpa. Nicaragua.

| # | Relleno (cm) |      | Horiz. | Espesor (cm) |         | Color        |              | Estructura         |             | Raíces |         | Resistencia a la penetración (kg/cm <sup>2</sup> ) |         |
|---|--------------|------|--------|--------------|---------|--------------|--------------|--------------------|-------------|--------|---------|----------------------------------------------------|---------|
|   | Nominal      | Real |        | Antes        | Después | Antes        | Después      | Antes              | Después     | Antes  | Después | Antes                                              | Después |
| 2 | 40           | 21   | 1er.   | 0-17         | 0-36    | 7,5 YR 2,5/1 | 10 YR 2/1    | g g-m f, bsa g-f f | su, g m-f m | m tt   | m tt    | 0,65                                               | 0,5     |
|   |              |      | 2do.   | 17-34        | 36-53   | 7,5 YR 2,5/2 | 7,5 YR 2,5/1 | ba g-m m           | ba g-m d    | f m-f  | f m-mf  | 4,2                                                | 4,0     |
| 4 | 9            | 2    | 1er.   | 0-17         | 0-18    | 7,5 YR 2,5/1 | 10 YR 2/1    | g g-m f, bsa g-f f | su, g g-m f | m tt   | m tt    | 0,5                                                | 0,5     |
|   |              |      | 2do.   | 17-38        | 18-27   | 7,5 YR 2,5/2 | 7.5 YR 2.5/1 | ba g-m d           | ba m d      | p g-f  | f g-f   | >4,5                                               | 2,7     |

**Estructura:** *tipo:* su(suelto), g(granular), ba(bloques angulares), p(prismas); *clase:* mg(muy grueso), g(grueso), m(mediano), mf(muy fino); *grado:* f(fuerte), d(débil), m(moderado).

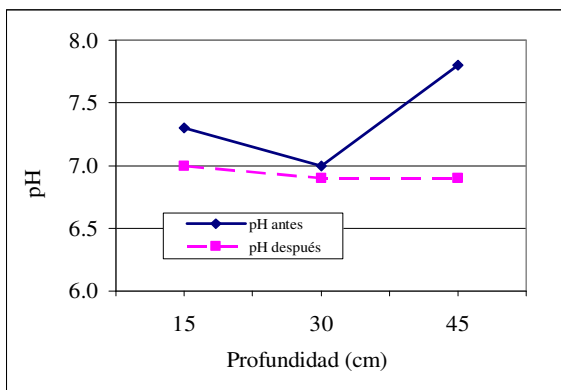
**Raíces:** *cantidad:* m(muchas), f(frecuentes), p(pocas); *tamaño:* tt(todos los tamaños), m(medias), f(finis), mf(muy finis).

# = No. calicata

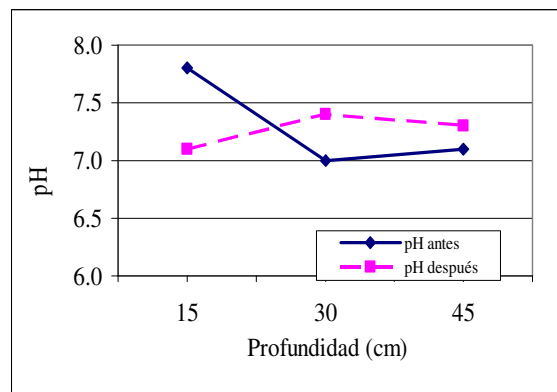
## Características químicas de los suelos

### Reacción del suelo

Después de la nivelación, el pH disminuye en las áreas de corte (Figura 27), en cambio, en las áreas de relleno muestra un ligero incremento a partir de los 20 cm (Figura 28). Sin embargo, los valores generales de pH son muy similares en las áreas de corte y de relleno, por lo tanto esta propiedad no afectará significativamente al cultivo como consecuencia de la nivelación.



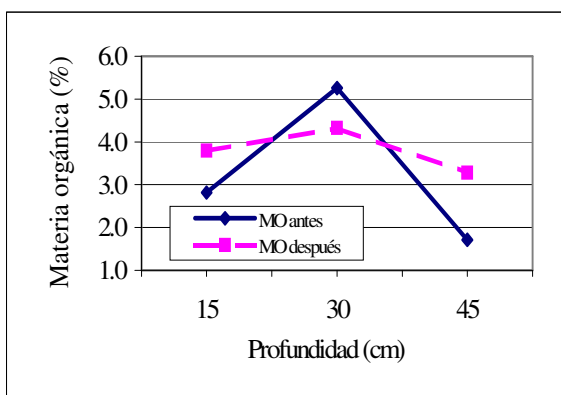
**Figura 27.** Efecto de la nivelación sobre el pH en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.



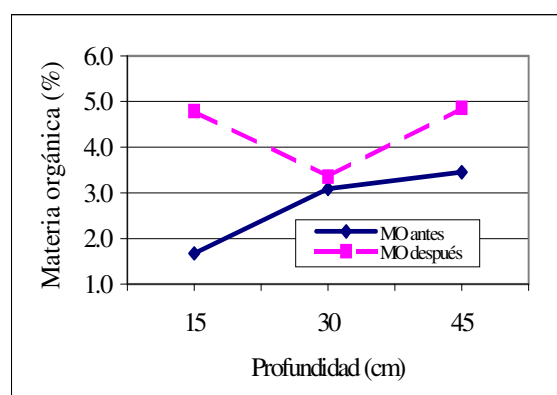
**Figura 28.** Efecto de la nivelación sobre el pH en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

### Materia orgánica

Después de la nivelación, los contenidos de materia orgánica son similares en áreas de corte y relleno. En las áreas de corte, el contenido de materia orgánica disminuye ligeramente después de la nivelación (Figura 29), no así en las áreas de relleno donde hay un incremento en el contenido de la misma, lo que indica que el suelo superior de las áreas de corte ha sido removido y depositado en las áreas de relleno (Figura 30).

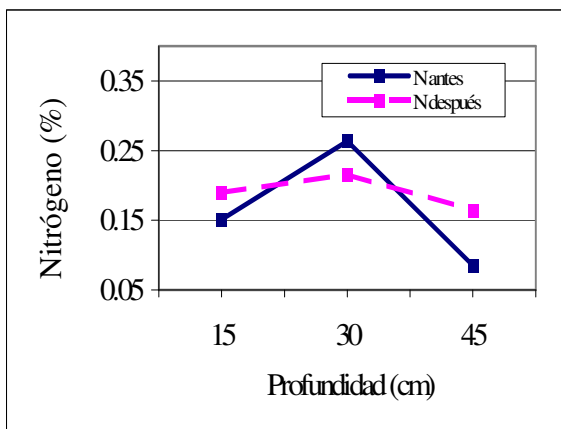


**Figura 29.** Efecto de la nivelación sobre la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.

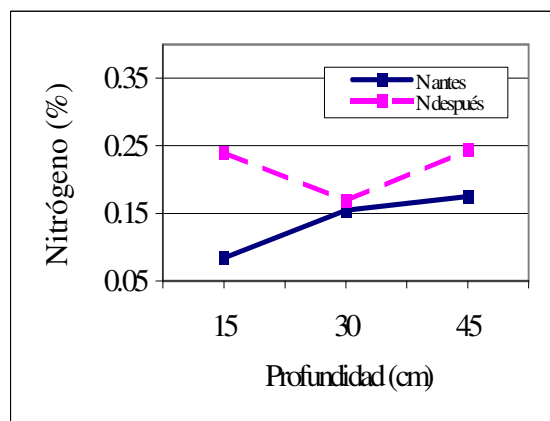


**Figura 30.** Efecto de la nivelación sobre la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

Las concentraciones de nitrógeno tanto en las áreas de corte como de relleno son similares. No se espera por los datos obtenidos, que la nivelación afecte el contenido de nitrógeno en el suelo. Sin embargo, después de la nivelación, el contenido de nitrógeno disminuye en las áreas de corte (Figura 31) y en cambio, se muestra un ligero incremento en el contenido de nitrógeno en las áreas de relleno, debido a que las capas superiores de las áreas de corte que fueron depositadas en las áreas de relleno (Figura 32).



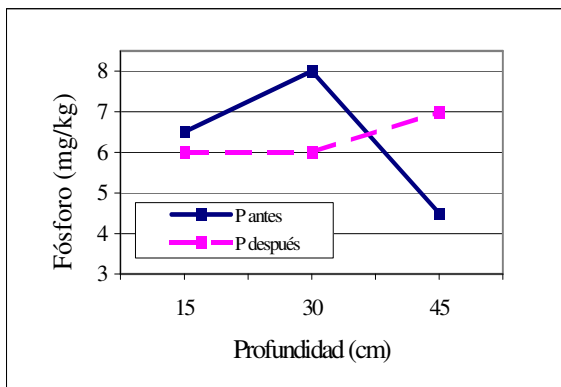
**Figura 31.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del nitrógeno en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.



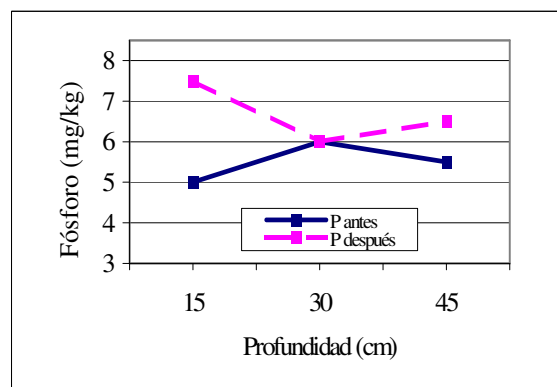
**Figura 32.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del nitrógeno en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

### Fósforo

Después de la nivelación, el fósforo disminuye en las áreas de corte (Figura 33), a diferencia de las áreas de relleno donde incrementa ligeramente (Figura 34). Sin embargo, los niveles de fósforo son similares en ambas áreas, a pesar de que estas concentraciones no influyan en el rendimiento del cultivo, hay que tener presente que estos suelos son de mineralogía alofánica y que el fósforo aun cuando estuviera en concentraciones altas va estar poco disponible para la planta. Por lo tanto, es recomendable en las áreas de corte y de relleno, mantener aplicaciones relativamente altas de fósforo.



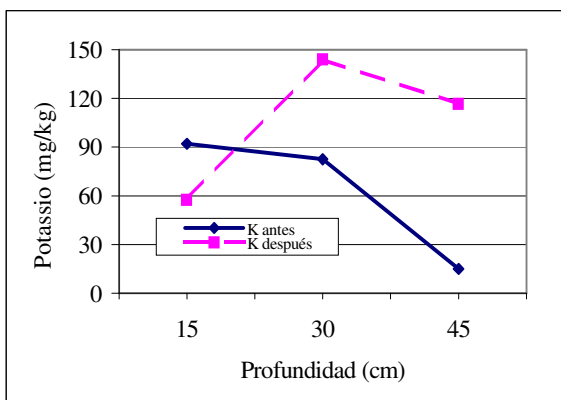
**Figura 33.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del fósforo en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.



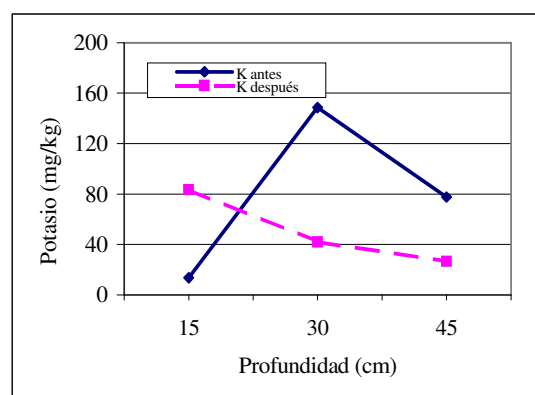
**Figura 34.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del fósforo en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

### Potasio

El potasio aumenta significativamente después de la nivelación a partir de los 15 cm en las áreas de corte, lo que explica que el contenido de potasio es alto a profundidades mayores, las cuales fueron expuestas por la nivelación, esto beneficia de alguna manera la disponibilidad de potasio para la planta (Figura 35). Por el contrario, en las áreas de relleno disminuye sustancialmente, debido a la ubicación de capas superiores de las áreas de corte, las cuales tienen bajos contenidos de potasio (Figura 36).



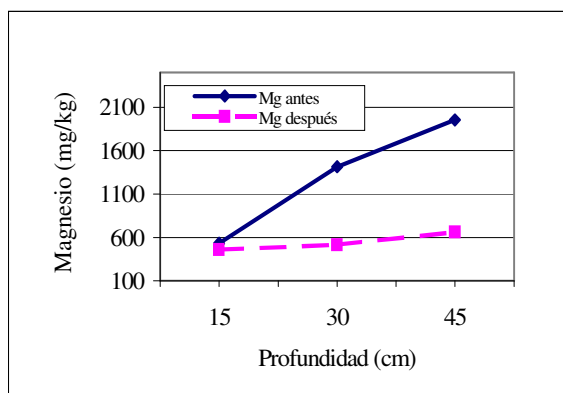
**Figura 35.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del potasio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.



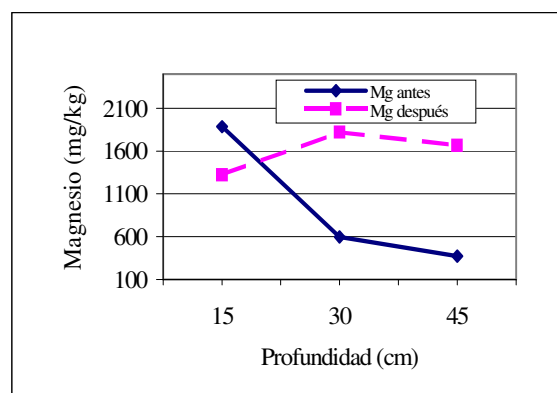
**Figura 36.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del potasio en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

## Magnesio

El magnesio presenta una disminución significativa a partir de los 20 cm después de la nivelación en las áreas de corte (Figura 37) y muestra un incremento después de la nivelación en las áreas de relleno producto del movimiento de horizonte A que fue removido de las áreas de corte y colocado en las áreas de relleno (Figura 38). Sin embargo, sus concentraciones son similares y no se espera que el efecto de la nivelación cause un problema mayor de disponibilidad de este nutriente.



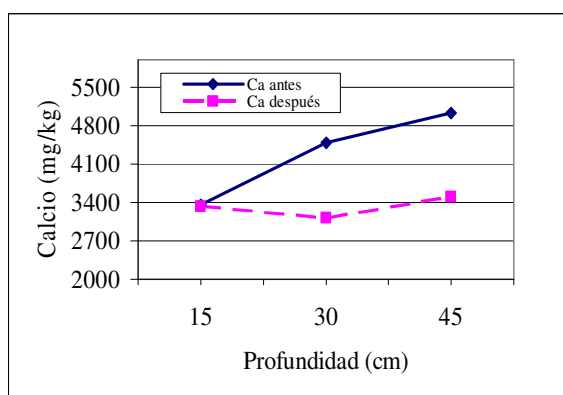
**Figura 37.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del magnesio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.



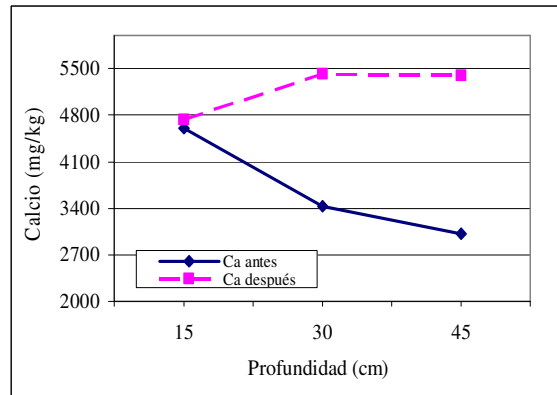
**Figura 38.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del magnesio en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

## Calcio

El calcio muestra una disminución después de los 20 cm en las áreas de corte después de la nivelación (Figura 39), por el contrario, en las áreas de relleno incrementa considerablemente (Figura 40). A pesar que los niveles de calcio en el suelo son relativamente altos en ambas áreas, pueden presentarse problemas temporales de deficiencia de este elemento en momentos críticos del cultivo, ya que ocurre en el suelo en forma de bicarbonato.



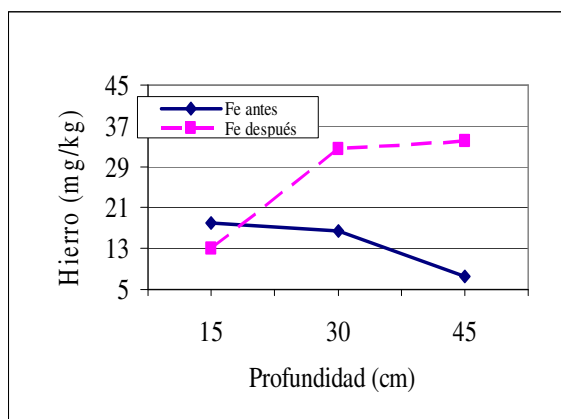
**Figura 39.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del calcio en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.



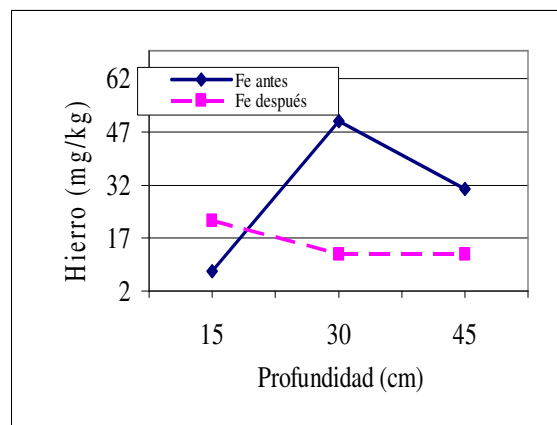
**Figura 40.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del calcio en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

## Hierro

Las concentraciones de hierro se reducen en las áreas de corte posterior a la nivelación (Figura 41) y se incrementan por el contrario en las áreas de relleno (Figura 42). Esto se puede explicar por la diferencia en contenido de hierro de los horizontes del suelo.



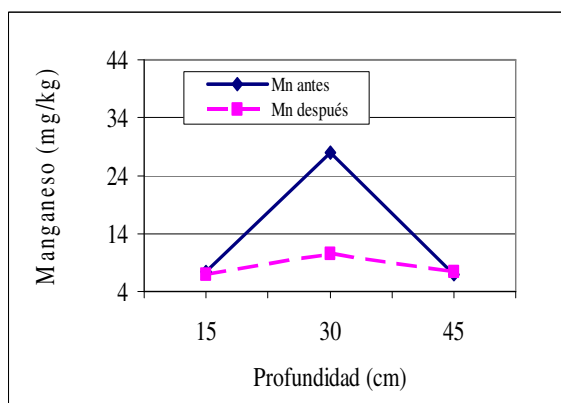
**Figura 41.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del hierro en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.



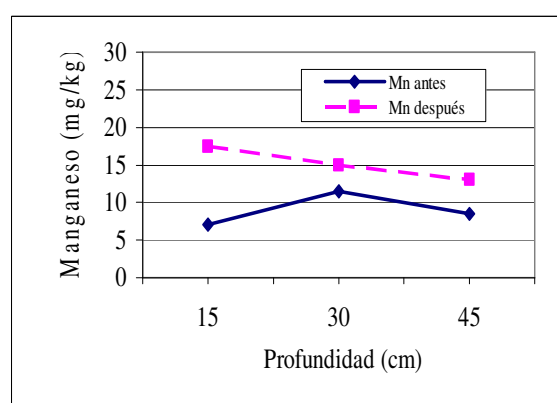
**Figura 42.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del hierro en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

## Manganeso

La tendencia del manganeso es diferente a la del hierro, ya que decrece en las áreas de corte (Figura 43) e incrementa en las áreas de relleno (Figura 44). Las concentraciones en el suelo son bajas en ambos casos, por lo que será necesario aplicar micronutrientes en forma de fertilizante, preferiblemente foliar para prevenir cualquier tipo de deficiencia. En condiciones de buena oxidación, la disponibilidad de manganeso y hierro se reducirá por estar en forma de óxidos estables.



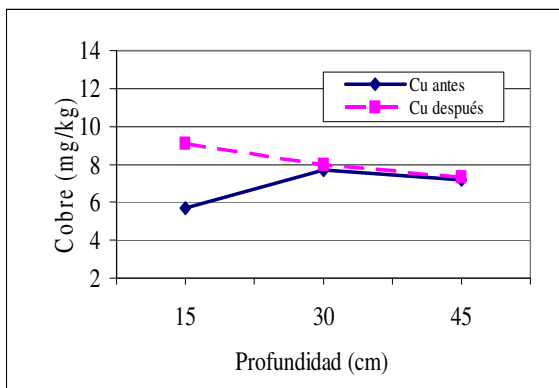
**Figura 43.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del manganeso en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.



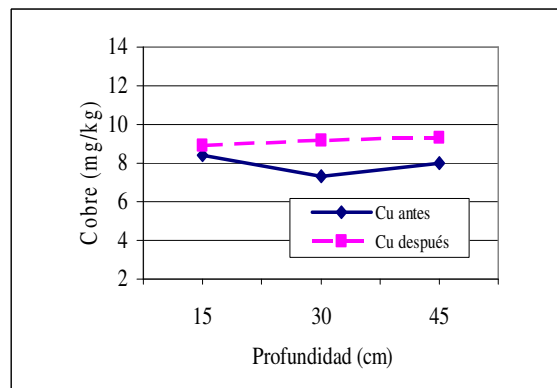
**Figura 44.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del manganeso en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

## Cobre

Después de la nivelación el cobre incrementa en las áreas de corte (Figura 45) y de relleno (Figura 46). Estos incrementos no son significativos, por lo que la nivelación no producirá efecto alguno sobre el rendimiento del cultivo. Las concentraciones de cobre en ambas áreas son relativamente altas, lo suficiente para poder satisfacer las necesidades del cultivo.



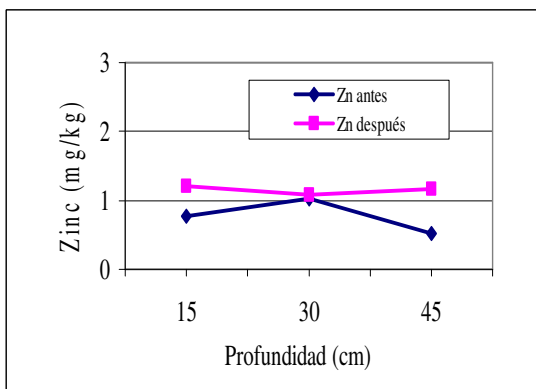
**Figura 45.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del cobre en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.



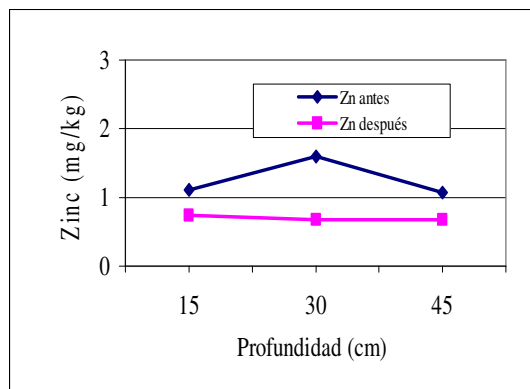
**Figura 46.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del cobre en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

## Zinc

El zinc muestra un ligero incremento no significativo en las áreas de corte después de la nivelación (Figura 47) y muestra por el contrario un decremento en las áreas de relleno (Figura 48). Las concentraciones en ambos casos son bajas, ligeramente arriba de una 1 mg/kg y en las áreas de relleno bajo de 1 mg/kg, lo que asegura deficiencia de este nutriente en el cultivo. Por lo tanto, será necesaria su aplicación en forma de fertilizante.



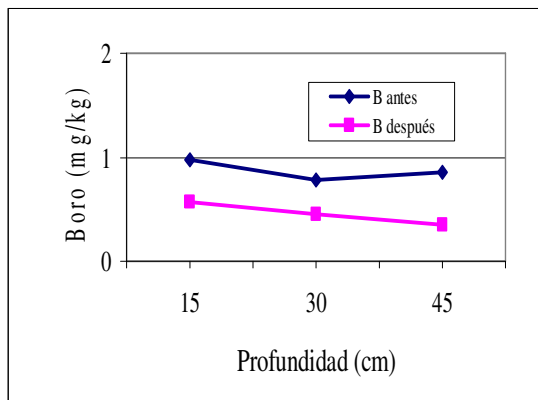
**Figura 47.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del zinc en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.



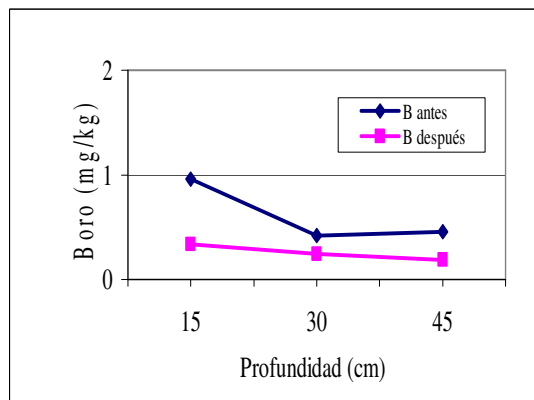
**Figura 48.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del zinc en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

## Boro

Después de la nivelación en las áreas de corte (Figura 49) y de relleno (Figura 50), se da una disminución, debido probablemente a altas variaciones en las propiedades químicas del suelo en cortas distancia, independientemente si es corte o relleno. En ambos casos, las concentraciones son bajas, menor de 1 mg/kg, lo cual asegura deficiencia de boro en el cultivo, por lo que será necesaria su aplicación en forma de fertilizantes.



**Figura 49.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del boro en el perfil del suelo en las áreas de corte de Mangles Pancho.



**Figura 50.** Efecto de la nivelación sobre la distribución del boro en el perfil del suelo en las áreas de relleno de Mangles Pancho.

## **Fertilidad del suelo y disponibilidad de nutrientes**

### **Reacción del suelo**

Independientemente de corte o relleno, el pH del suelo es neutro, lo que afecta la absorción de fósforo y micronutrientes por la planta. Esto se ve agravado por la mineralogía alofánica del suelo, la cual fija fósforo. A esos valores de pH, algunos de los micronutrientes se verán afectados en su disponibilidad, principalmente Mn y Fe. Por esto, es deseable usar fertilizantes que conduzcan a la acidificación del suelo y llevarlo en la medida de lo posible a un valor de 6.3. Las fertilizaciones foliares deben también ser consideradas.

### **Materia orgánica**

En general los contenidos de materia orgánica de los suelos estudiados son de moderados a altos (suelos minerales). Los cortes desfavorecen esta propiedad porque disminuye con la profundidad y siempre es deseable mantener niveles altos para las interacciones óptimas suelo planta.

### **Nitrógeno**

Los niveles de nitrógeno son bajos en ambos escenarios y su aplicación a dosis óptimas es determinante para los buenos rendimientos del cultivo.

### **Fósforo**

Las concentraciones de fósforo son bajas. Su disponibilidad para la planta es severamente restringida por los altos contenidos de alófono en estos suelos. Por lo tanto, el cultivo requerirá de dosis altas de este elemento.

### **Potasio y Magnesio**

Los contenidos de potasio son medios a ligeramente altos. Por el contrario, los contenidos de magnesio son altos. Esto desfavorece la absorción de potasio. A juzgar por las concentraciones de Mg en el suelo no es necesario aplicar este elemento. Sin embargo, sus contenidos foliares deben ser monitoreados frecuentemente.

### **Calcio**

Las concentraciones de calcio en el suelo son altas y no se anticipan problemas nutricionales relacionados con este elemento.

### **Micronutrientes**

Las concentraciones de micronutrientes son bajas, por lo que se requiere de su aplicación, excepto por el cobre. Esto es agravado por los valores de pH neutros, los cuales disminuyen la absorción de algunos micronutrientes por la planta.

## CONCLUSIONES

- No es la nivelación la razón principal de los bajos rendimientos, sino las condiciones en las que se encuentra el suelo, es decir, las limitantes físicas y químicas presentes en el perfil. Sin embargo, afecta severamente las áreas de corte, ya que se dejan total o parcialmente expuestos los horizontes inferiores del perfil del suelo, los cuales en general poseen propiedades morfológicas, físicas y químicas con mayores limitantes que los horizontes superiores.
- La principal limitante física del suelo es la presencia de un pie de arado en el segundo horizonte, de grosor entre 15 y 20 cm, el cual es expuesto a la superficie por el proceso de nivelación.
- La nivelación reduce el grosor del horizonte Ap, disminuyendo el horizonte más fértil del suelo.
- La nivelación en las áreas de corte disminuyó las concentraciones de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, manganeso, boro y zinc.
- En las áreas de relleno los elementos afectados fueron potasio, magnesio, hierro, zinc y boro.
- La principal limitante nutricional en áreas de corte y de relleno son las concentraciones de fósforo, lo cual es normal en suelos volcánicos con alto contenido de alófanos.
- El magnesio se encuentra en altas cantidades en el suelo, lo que limita la absorción de potasio por la planta.
- En las áreas de corte y relleno las concentraciones de micronutrientes son bajas y se debe esperar deficiencias de estos nutrientes.

## RECOMENDACIONES

Las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos estudiados, demandan tomar las medidas que se detallan a continuación, con el objeto de optimizar el ambiente edáfico para aproximar los rendimientos del cultivo de la caña a condiciones óptimas.

### Enmiendas físicas:

#### 1. Subsoleo

- Suelos poco profundos donde los estratos de basalto se encuentran entre 50 y 60 cm (Mangles Pancho), se debe subsolar a una profundidad entre 40 y 50 cm para destruir el pie de arado.
- Suelos profundos donde los estratos de basalto o estructuras masivas ocurren después de 70 cm, se debe subsolar entre 70 y 80 cm de profundidad.
- Las labores de subsoleo se deben realizar con un subsolador de ingeniería civil, recto, espaciado a 75 cm y provisto de aletas de 10 cm.

#### 2. Manejo del agua del suelo

- Mejorar el drenaje interno del suelo a través del subsoleo y construcciones de drenajes colectores, que permitan canalizar las aguas de escorrentía (el pie de arado podría generar escorrentía)
- Caracterizar el agua disponible del suelo, para programar con precisión los volúmenes y frecuencias de riego; ya que los suelos de origen volcánico, como los de estas áreas, requieren frecuencias relativamente cortas de riego para sostener cantidades significativas de agua disponible en el suelo.

### Enmiendas químicas:

#### 1. Elementos mayores

- Aplicar nitrógeno utilizando la dosis comercial de acuerdo con los niveles óptimos foliares.
- Aplicar 150 y 210 kg/ha/año de fósforo y potasio respectivamente, en las áreas de corte y relleno, como una dosis previa hasta determinar la cantidad óptima a aplicar por medio de análisis foliares.
- La aplicación de magnesio no es necesaria, puesto que las concentraciones de este elemento en el suelo son altas.

#### 2. Elementos menores

##### Aplicaciones edáficas

- Aplicar 75 kg/ha/año de sulfato de zinc y 5 kg/ha/año de hierro y manganeso aplicados en forma de sulfatos, fraccionado en 6 veces al año.
- Hacer una sola aplicación de 5 kg/ha/año de boro.

##### Aplicaciones foliares

- Hacer aplicaciones foliares con formulaciones completas de microelementos, tres veces en el ciclo del cultivo. La dosis dependerá del producto que se utilice.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Cano, J.; Vázquez, A. 1997. Nivelación de Tierras. España, Madrid. Mundi-Prensa. 251 p.

Gurovich, L. A. 1999. Riego Superficial Tecnificado. Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V. Distrito federal, Mx. 610 p.

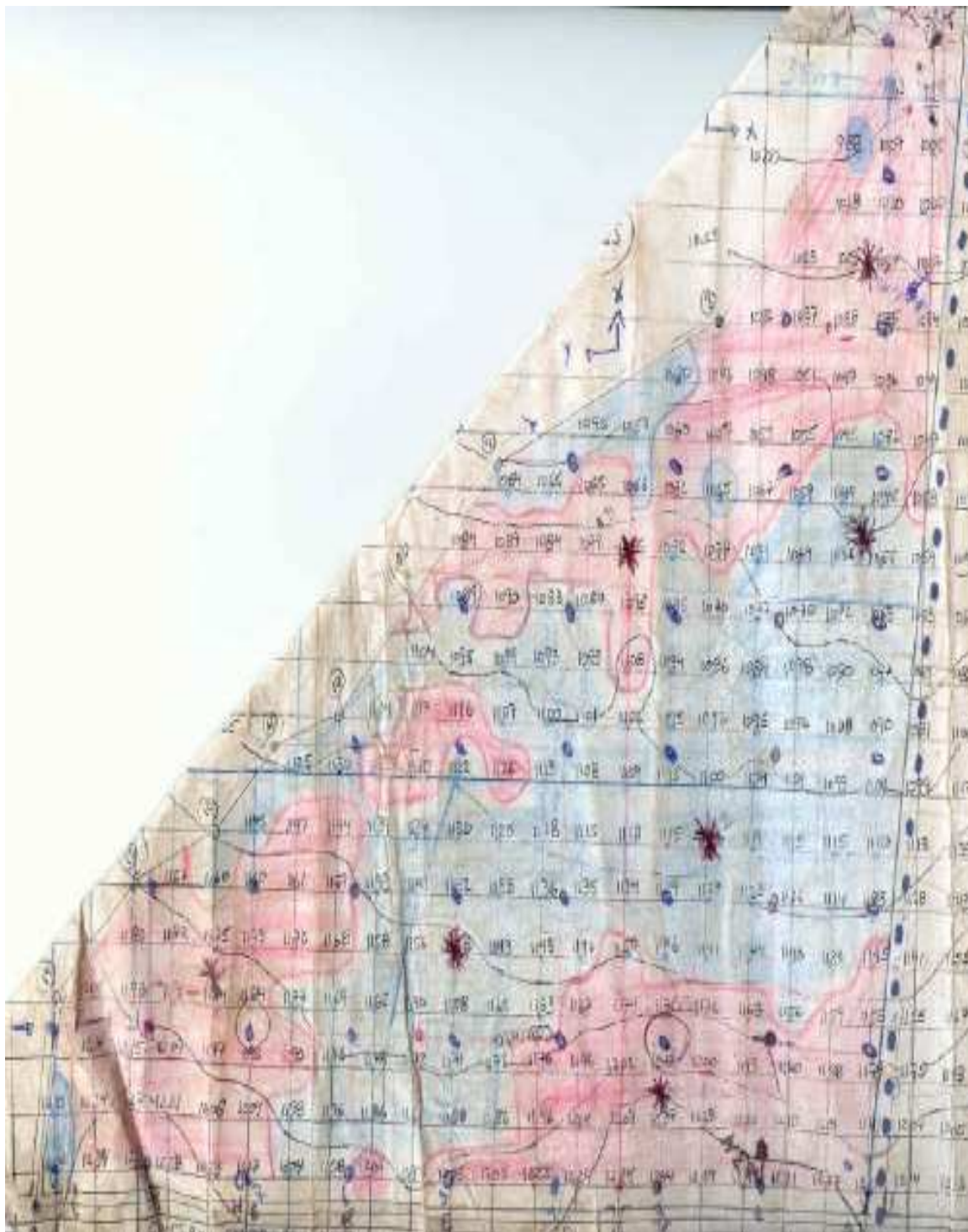
Jensen, M. E. 1980. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers. 819 p.

Surbirós, F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. 1 ed. San José, C. R. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED). 448 p.

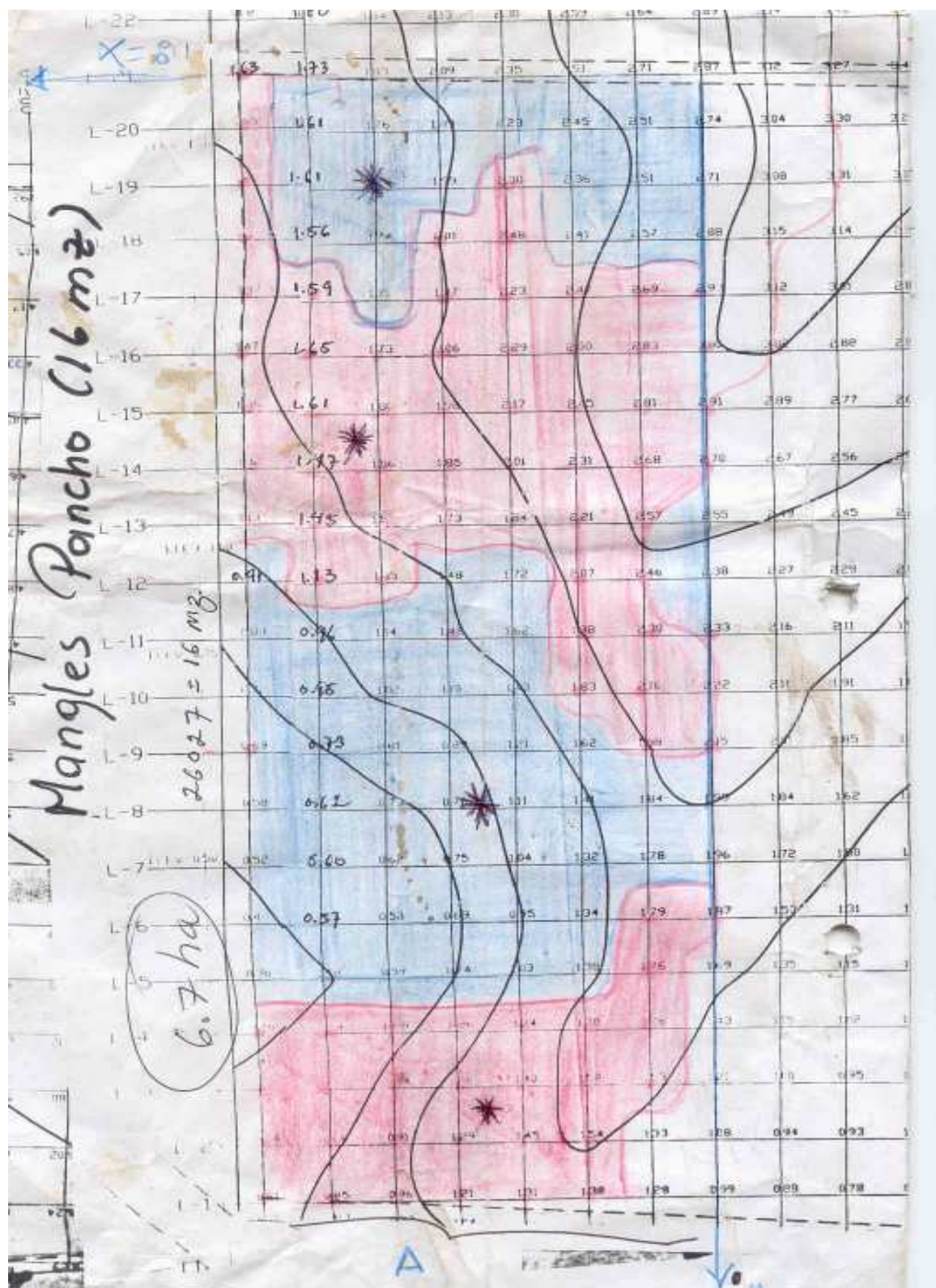
Radford, B. J.; Yule, D. F.; McGarry, D.; Playford, C. 2001. Crop responses to applied soil compaction repair treatments. Soil Tillage Res. 61:157-166.

## ANEXOS

Anexo 1. Ubicación de las calicatas en el área de Morales Guanacaste



Anexo 2. Ubicación de las calicatas en el área de Mangles Pancho.



Anexo 3. Propiedades morfológicas de los suelos representativos del área de Morales Guanacaste **antes** de nivelar.

| Sitio      | Horiz | Profundidad (cm) | Color        | Textura | Estructura        | Consistencia | Poros                    | Raíces  | Límite | Resistencia a la penetración (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|------------|-------|------------------|--------------|---------|-------------------|--------------|--------------------------|---------|--------|----------------------------------------------------|
| Calicata 1 | Ap    | 0-15             | 7.5 Y 2.5/1  | F       | g, ba g-m m       | fr           | f-m m-f c ca             | p g-m   | p c    | 0.5                                                |
|            | Ad    | 15-30            | 7.5 Y 2.5/1  | F       | ba g-m d          | frm          | p m-f d ca               | p m     | p g    | 4                                                  |
|            | Ap2   | 30-62            | 7.5 YR 2/1   | FAr     | ba g-m d          | fr           | p g c ca                 | p m-f   | p g    | 1.8                                                |
|            | Abw   | 62-80            | 7.5 YR 3/4   | FAr     | ba g-m d          | fr           | p g c ca                 | p f     | p g    | 1.2                                                |
|            | Bw    | 80-97            | 10 YR 3/3    | FAr     | ba g-m d          | fr           | f-p m-f d ca, p g c ca   | p f     | p g    | 2.5                                                |
|            | Bg    | 97-120           | 10 YR 4/1    | Ar      | m                 | frm          | p g-m d ca               | aus     |        | 2.5                                                |
| Calicata 2 | Ap    | 0-15             | 7.5 YR 2.5/1 | F       | g m f, ba m f     | fr           | m m-f d ca               | f tt    | p c    | 0.5                                                |
|            | Ad    | 15-40            | 7.5 YR 2.5/1 | F       | ba m-f f          | frm          | f-p m-f d ca             | f g-m   | p g    | 4.2                                                |
|            | Ap2   | 40-72            | 10 YR 3/1    | F       | ba g-m d          | fr           | f m-f d ca, p g c ca     | f tt    | p g    | 2.8                                                |
|            | Abw   | 72-92            | 10 YR 3/3    | FArL    | ba g-m d          | fr           | f g-f d ca, p g c ca     | f tt    | p g    | 1.3                                                |
|            | Bw    | 92-113           | 10 YR 4/4    | FAr     | ba m-p d          | fr           | f-p g-f d ca, p g-m c ca | p g-f   | p g    | 3.25                                               |
|            | Bg1   | 113-135          | 10 YR 4/2    | FAr     | bsa g-m d, m      | frm          | p f d ca                 | aus     | p g    | 2.55                                               |
|            | Bg2   | 135-144          | 10 YR 5/4    | A       | m                 | frm          | p f d ca                 | aus     |        | 2.4                                                |
| Calicata 3 | Ap    | 0-16             | 7.5 YR 2.5/1 | F       | g g-f f, ba m-f f | fr           | m tt c ca                | m tt    | p c    | 0.5                                                |
|            | Ad    | 16-36            | 7.5 YR 2.5/1 | F       | ba g-m d          | frm          | p g c ca, p m d ca       | f tt    | p g    | 4.5                                                |
|            | Ap2   | 36-62            | 7.5 YR 3/2   | F       | ba g-m d          | fr           | f f-mf d ca              | f tt    | p g    | 3                                                  |
|            | E     | 62-95            | 10 YR 3/4    | FArL    | ba m-f d          | fr           | p m-f d ca, p g-m c ca   | f-p m-f | p c    | 3                                                  |
|            | Bt    | 95-130           | 10 YR 4/3    | FAr     | ba m-p d          | fr           | p f-mf d ca, p g c ca    | f tt    | p d    | 2.8                                                |
|            | Bt2   | 130-160          | 10 YR 4/6    | FAr     | ba g-m d          | fr           | p f-mf d ca, p g c ca    | f tt    |        | 2.7                                                |
| Calicata 4 | Ap    | 0-16             | 10 YR 2/1    | F       | g m-f f, ba m-f f | fr           | m g c ca                 | m tt    | p c    | 0.5                                                |
|            | Ad    | 16-42            | 10 YR 2/1    | F       | p g d, ba g-m d   | frm          | p m-f d ca               | p m-f   | p g    | 4.5                                                |
|            | Ap2   | 42-69            | 2.5 Y 2.5/1  | F       | p g d, ba m-f d   | fr           | f g-f d ca               | p m-f   | p g    | 3.5                                                |
|            | Abw   | 69-84            | 7.5 YR 2.5/2 | FAr     | p g d, ba g-m d   | fr           | f f-mf d ca, p g-m c ca  | p g-f   | p d    | 4                                                  |
|            | Bw    | 84-112           | 7.5 YR 3/4   | FArL    | p g d, ba g-m d   | fr           | p g c ca, f f-mf d ca    | p g-f   | p c    | 3.7                                                |
|            | Bg    | 112-150          | 7.5 YR 4/1   | A       | p g m, ba m-f d   | frm          | p m-f d ca               | aus     |        | 4                                                  |

## Continuación anexo 3.

| Sitio      | Horiz | Profundidad (cm) | Color        | Textura | Estructura   | Consistencia | Poros              | Raíces      | Límite | Resistencia a la penetración (kg/cm²) |
|------------|-------|------------------|--------------|---------|--------------|--------------|--------------------|-------------|--------|---------------------------------------|
| Calicata 5 | Ap    | 0-15             | 7.5 YR 2.5/1 | F       | gmff, bagfd  | fr           | mmmfcca            | mtt         | pc     | 0.5                                   |
|            | Ad    | 15-41            | 7.5 YR 2.5/1 | F       | pgd          | fim          | pmfdca             | pg-m, horiz | pg     | 4.5                                   |
|            | Ap2   | 41-68            | 7.5 YR 3/2   | F       | pgd, bag-md  | fr           | fmf dca            | pmf         | pg     | 3.5                                   |
|            | Abw   | 68-86            | 7.5 YR 3/3   | FArL    | pgd, bag-md  | fr           | pfmf dca           | pg-m        | pg     | 4                                     |
|            | Bw    | 86-101           | 7.5 YR 4/6   | FAr     | pgd, bagd    | fr           | pmfdca, pg-mcca    | aus         | pc     | 4.5                                   |
|            | Bg    | 101-142          | 7.5 YR 4/1   | A       | pgm, bag-md  | fim          | pmfdca             | aus         |        | 3.7                                   |
| Calicata 6 | Ap    | 0-16             | 2.5 Y 2.5/1  | F       | gg-mf, bamff | fr           | mttcca             | mtt         | pc     | 0.5                                   |
|            | Ad    | 16-40            | 7.5 YR 2.5/1 | F       | bag-mm       | fim          | f-pfmfdca, pg-mcca | fpgf        | pg     | 4.5                                   |
|            | Ap2   | 40-74            | 10 YR 2/1    | F       | bag-md       | fr           | fg-mdca, pgcca     | f-ptt       | pg     | 3.5                                   |
|            | Abw   | 74-95            | 7.5 YR 3/2   | FAr     | pgd, bag-md  | fr           | pmfdca, pg-mcca    | f-ptt       | pg     | 2.5                                   |
|            | Bw    | 95-115           | 7.5 YR 3/3   | FArL    | pgd, bag-md  | fr           | pg-mdca, pg-mcca   | ptt         | pc     | 3.5                                   |
|            | Bg    | 115-145          | 7.5 YR 3/1   | A       | pgm          | fim          | pmfdca             | aus         |        | 4.5                                   |
| Calicata 7 | Ap    | 0-15             | 7.5 YR 2.5/1 | F       | gmff, bagf   | fr           | mmmfcca            | mtt         | pc     | 0.5                                   |
|            | Ad    | 15-41            | 7.5 YR 2.5/1 | F       | pgd          | fim          | pmfdca             | pg-m, horiz | pg     | 4.5                                   |
|            | Ap2   | 41-68            | 7.5 YR 3/2   | F       | pgd, bag-md  | fr           | fmf dca            | pmf         | pg     | 3.5                                   |
|            | Abw   | 68-86            | 7.5 YR 3/3   | FArL    | pgd, bag-md  | fr           | pfmf dca           | pg-m, horiz | pg     | 4                                     |
|            | Bw    | 86-101           | 7.5 YR 4/6   | FAr     | pgd, bagd    | fr           | pmfdca, pg-mcca    | aus         | pc     | 4.5                                   |
|            | Bg    | 101-142          | 7.5 YR 4/1   | A       | pgm, bag-md  | fim          | pmfdca             | aus         |        | 3.7                                   |

Continuación de anexo 3. Propiedades morfológicas de los suelos representativos del área de Morales Guanacastes **después** de nivelar.

| Sitio      | Horiz | Profundidad (cm) | Color                                         | Textura | Estructura      | Consistencia | Poros                     | Raíces  | Límite | Resistencia a la penetración (kg/cm²) |
|------------|-------|------------------|-----------------------------------------------|---------|-----------------|--------------|---------------------------|---------|--------|---------------------------------------|
| Calicata 1 | Ap    | 0-18             | 2.5 y 2.5/1                                   | F       | ba g-m d        | fr           | p f-mf d ca, p m c ca     | p m-f   | p g    | 4,5                                   |
|            | Ap2   | 18-33            | 10 YR 2/1                                     | F       | ba g-m d        | fr           | f m-f d ca                | p m-f   | p g    | 2,75                                  |
|            | Bw    | 33-50            | 10 YR 2/2                                     | F       | ba g-m d        | fr           | p f-mf d ca, p g-m c ca   | p m-mf  | pg     | 2                                     |
|            | Bw2   | 50-73            | 10 YR 3/3                                     | FL      | ba g-m d        | fr           | p f-mf d ca, f g-m c ca   | p m     | p c    | 2,1                                   |
|            | BC    | 73-97            | 10 YR 4/1                                     | FAr     | m               | frm          | p f-mf d ca, p m-f c ca   | aus     | p g    | 2,95                                  |
|            | C     | 97-128           | 2.5 Y 5/3                                     | Ar      | m               | frm          | p f-mf d ca, f g-f c ca   | aus     | p c    | 3,35                                  |
|            | C2    | 128-154          | 10 YR 5/3                                     | FAr     | ba g-f d        | fr           | f f-mf d ca, p m-f c ca   | p m-mf  |        | 1,55                                  |
| Calicata 2 | Ap    | 0-25             | 2.5 Y 2.5/1                                   | F       | g m-f f         | fr           | m f-mf c ca               | m tt    | p c    | 0,5                                   |
|            | Ad    | 25-40            | 10 YR 2/1                                     | F       | bsa g-m d       | fr           | p m-mf d ca               | f-p g-f | p g    | 4,5                                   |
|            | Bw    | 40-57            | 10 YR 2/2                                     | FArL    | ba g-m d        | fr           | p f-mf d ca, p f-mf c ca  | p tt    | p g    | 4,5                                   |
|            | Bw2   | 57-70            | 7.5 YR 2.5/2                                  | FAr     | ba g-m d        | fr           | f m-f d ca, f g-f c ca    | p g-f   | p c    | 4,4                                   |
|            | Bw3   | 70-90            | 7.5 YR 2.5/2 con motas 7.5 YR 4/6, 7.5 YR 4/4 | F       | ba g-m d        | fr           | f m-mf d ca, f-p g-f c ca | p g-f   | p g    | 3,15                                  |
|            | Bw4   | 90-109           | 7.5 Y 3/4                                     | FL      | ba g-m d        | fr           | f-p f-mf d ca, p m-f c ca | p g-f   |        | 3,5                                   |
| Calicata 3 | Ap    | 0-6              | 7.5 YR 2.5/1                                  | F       | g g-m f         | fr           | m tt c ca                 | m-f tt  | p c    | 0,5                                   |
|            | Ad    | 6-32             | 10 YR 2/2                                     | F       | ba g-m d        | fr           | p m-f d ca, p g-m c ca    | p g-f   | p g    | 4,15                                  |
|            | Bw    | 32-50            | 10 YR 3/3                                     | F       | ba g-m d        | fr           | p f-mf d ca, f g c ca     | p m-f   | p g    | 2,55                                  |
|            | Bw2   | 50-70            | 10 YR 3/3                                     | FL      | ba g-m d        | fr           | p m-f d ca, p m c ca      | p g-f   | p g    | 2,15                                  |
|            | Bw3   | 70-130           | 7.5 YR 3/3                                    | FArL    | ba g-m d        | fr           | p f-mf d ca, p g-m c ca   | p m-f   | p g    | 2,75                                  |
|            | Bw4   | 130-140          | 7.5 Y 4/6                                     | FL      | ba g-m d        | fr           | p m-f d ca, p m c ca      | p f     |        | 3,1                                   |
| Calicata 4 | Ap    | 0-24             | 7.5 YR 2.5/1                                  | F       | g, bsa g-m f    | fr           | m tt c ca                 | m tt    | p c    | 0,5                                   |
|            | Ad    | 24-39            | 7.5 YR 2.5/1                                  | F       | ba g-m d        | fr           | p f-mf d ca               | p m-f   | p g    | 4,4                                   |
|            | Ap3   | 39-61            | 10 YR 2/1                                     | F       | p g d, ba g-m d | fr           | f m-f d ca, p m c ca      | p g-f   | p g    | 4,5                                   |
|            | Bw    | 61-82            | 10 YR 2/2                                     | F       | p g d, ba g-m d | fr           | f-p m-f d ca, f g-m c ca  | p m-f   | p g    | 3,81                                  |
|            | Bw2   | 82-102           | 7.5 YR 2.5/2                                  | FArL    | p g d, ba g-m d | fr           | p m-f d ca, f-p g-m c ca  | p f-mf  | p g    | 3,65                                  |
|            | Bw3   | 102-127          | 7.5 YR 3/3                                    | FArL    | ba g-m d+fe0    | fr           | p f-mf d ca, f g-f c ca   | p m-f   | p g    | 3,25                                  |
|            | Bw4   | 127-131          | 10 YR 4/2                                     | FAr     | m, ba m d       | frm          | p m-f d ca, p m c ca      | aus     |        | 4,2                                   |

## Continuación anexo 3.

| Sitio      | Horiz | Profundidad (cm) | Color        | Textura | Estructura         | Consistencia | Poros                    | Raíces   | Límite | Resistencia a la penetración (kg/cm²) |
|------------|-------|------------------|--------------|---------|--------------------|--------------|--------------------------|----------|--------|---------------------------------------|
| Calicata 5 | Ap    | 0-6              | 7.5 YR 2.5/1 | F       | g m-mf f           | fr           | m tt c ca                | m tt     | p c    | 0,5                                   |
|            | Ad    | 6-24             | 10 YR 2/1    | F       | p g d, ba m d      | fr           | p f-mf d ca              | f f-mf   | p g    | 4,4                                   |
|            | Bw    | 24-52            | 7.5 2.5/2    | F       | p g d, ba g-m d    | fr           | f m-f d ca, p g-m c ca   | p f      | p g    | 4,5                                   |
|            | Bw2   | 52-80            | 10 YR 2/2    | FL      | p g d, ba g-m d    | fr           | f m-f d ca, f-p g-m c ca | p f-mf   | p g    | 3,55                                  |
|            | Bw3   | 80-109           | 7.5 YR 3/3   | FArL    | p g d, ba g-m d    | fr           | p f-mf d ca, p g-m c v   | p f      | p c    | 3,55                                  |
|            | Bw4   | 109-133          | 7.5 YR 4/2   | FArL    | m                  | frm          | p m-f c v                | aus      |        | 3,55                                  |
| Calicata 6 | Ap    | 0-15             | 7.5 YR 2.5/1 | F       | g g-m f            | fr           | m tt c ca                | m tt     | p c    | 0,5                                   |
|            | Bw    | 15-36            | 7.5 YR 3/1   | F       | ba g-m d           | fr           | p f-mf d ca              | f tt     | p g    | 4,5                                   |
|            | Ab    | 36-56            | 10 YR 2/1    | F       | ba g-m d           | fr           | p f-mf d ca, p m-f c ca  | f-p g- f | p g    | 4,4                                   |
|            | Bw    | 56-77            | 7.5 YR 3/2   | F       | ba m d             | fr           | f-p m-f d ca, p g-m c ca | p m      | p g    | 4                                     |
|            | Bw2   | 77-101           | 7.5 YR 2.5/3 | F       | p g d, ba g-m d    | fr           | p f d ca, p g-m c ca     | p m      | p g    | 2,8                                   |
|            | Bw3   | 101-124          | 7.5 YR 3/3   | FArL    | p g d, ba g-m d    | frm          | p m d ca, f c ca         | p f-mf   | p c    | 3,35                                  |
|            | Bw4   | 124-150          | 7.5 YR 4/3   | Ar      | m, p g m, ba g-m d | frm          | p m-f d ca, p g-m c ca   | aus      |        | 4,5                                   |
| Calicata 7 | Ap    | 0-6              | 7.5 YR 2.5/1 | F       | ba m f, g g-m f    | fr           | m tt c ca                | f-m m    | p c    | 1,4                                   |
|            | Ap2   | 6-28             | 10 YR 2/1    | F       | p m m, ba g-m d    | fr           | p m-f d ca               | f g- f   | p g    | 4,45                                  |
|            | Bw    | 28-45            | 7.5 YR 3/2   | F       | p g d, ba g-m d    | fr           | p f-mf d ca, p g-m c ca  | p g-f    | p g    | 4,2                                   |
|            | Bw2   | 45-60            | 7.5 YR 2.5/2 | F       | ba g d             | fr           | p m-f d ca, p m-f c ca   | p g-f    | p c    | 4                                     |
|            | Bw3   | 60-86            | 7.5 YR 3/3   | F       | p g d, bsa m d     | fr           | f-p m-f d ca, f g-m c ca | p m-f    | p c    | 3,9                                   |
|            | Bw4   | 86-120           | 7.5 YR 3/3   | FArL    | p g m, ba g d      | frm          | p m-f d ca, p m-f c ca   | p mf     |        | 4,5                                   |

Anexo 4. Propiedades morfológicas de los suelos representativos del área de Mangles Pancho **antes** de nivelar.

| Sitio      | Horiz | Profundidad (cm) | Color                                                      | Textura    | Estructura             | Consistencia | Poros                    | Raíces   | Límite | Resistencia a la penetración (kg/cm²) |
|------------|-------|------------------|------------------------------------------------------------|------------|------------------------|--------------|--------------------------|----------|--------|---------------------------------------|
| Calicata 1 | Ap    | 0-18             | 7,5 YR 2,5/1                                               | F          | g g-m f, ba g-m m      | fr           | m tt c ca                | m tt     | p c    | 0,5                                   |
|            | Ap2   | 18-36            | 10 YR 2/1                                                  | F          | ba g-m d               | fr           | p m-f d ca, p g-m c ca   | f-p m-mf | p g    | 4,5                                   |
|            | Ap3   | 36-64            | 10 YR 2/2                                                  | F          | p g d, ba g-m d        | fr           | f g-f d ca, p m c ca     | f-p tt   | p g    | 3,2                                   |
|            | Ap4   | 64-86            | 10 YR 2/1                                                  | FArL       | p g d, ba g-m d        | fr           | p f-mf d ca, p g c ca    | p g-m    | p c    | 2,3                                   |
|            | 2C    | 86-118           | 7,5 YR 2,5/2 con 7,5 YR 4/3, 5 YR 4/6, 5 YR 5/8            | FArL       | ba g-m d + piedra      | fr           | p m-f d ca, p g-m c ca   | p m-f    | p g    | 4,45                                  |
|            | 2C2   | 118-140          | 7,5 YR 4/3 con 10 YR 5/8, 10 YR 2/1                        | piedra     | piedra                 |              | aus                      | aus      |        |                                       |
| Calicata 2 | Ap    | 0-17             | 7,5 YR 2,5/1                                               | F          | g g-m f, bsa g-f f     | fr           | m tt c ca                | m tt     | p c    | 0,65                                  |
|            | Ap2   | 17-34            | 7,5 YR 2,5/1                                               | F          | ba g-m m               | frm          | p f-mf d ca              | f-p m-f  | p g    | 4,2                                   |
|            | Ap3   | 34-60            | 10 YR 4/1                                                  | Ar         | p, c m-mf f, bsa g-f f | frm          | p f-mf d ca              | p m-f    | p g    | 4,5                                   |
|            | Ap4   | 60-75            | 2,5 YR 5/1                                                 | Ar         | p, c m-mf f, ba g-m m  | fr           | p f-mf d ca              | p m-f    | p g    | 3,37                                  |
|            | Bw    | 75-89            | 5 YR 5/1                                                   | Ar         | p m m-d, ba g-m m-d    | fr           | p f-mf d ca              | p f      | p c    | 3,85                                  |
|            | 2Bw   | 89-114           | 10 YR 3/3                                                  | piedra     | piedra                 |              | aus                      | aus      | p c    |                                       |
|            | 2Bw2  | 114-122          | 10 YR 4/3                                                  | F          | ba g d                 | fr           | p m-f d ca, p f c ca     | aus      | p c    | 4,1                                   |
|            | 3Bw   | 122-150          | 10 YR 5/4                                                  | piedra     | ba g-m d + piedra      |              | f f-mf d ca              | aus      |        |                                       |
| Calicata 3 | Ap    | 0-16             | 7,5 YR 2,5/1                                               | F          | g g-m f, bsa m-f f     | fr           | m tt c ca                | m tt     | p c    | 0,5                                   |
|            | Ap2   | 16-31            | 10 YR 2/1                                                  | F          | ba g-m d + piedra      | fr           | f m-f d ca, p g-f c ca   | f g-f    | p g    | 4,5                                   |
|            | Bw    | 31-56            | 7,5 YR 3/2                                                 | F + grava  | ba g d                 | fr           | f f-mf d ca, p g-m c ca  | p g      | p g    | 3,6                                   |
|            | Bw2   | 56-71            | 10 YR 4/3                                                  | F          | ba g-m d               | fr           | f f d ca, p g-f c v      | p g-mf   | p c    | 2,5                                   |
|            | Bw3   | 71-88            | 10 YR 4/4                                                  | F + piedra | piedra + ba g-m d      | fr           | f m-f d ca, p g-f c ca   | p m-f    | p c    | 2,9                                   |
|            | Bw4   | 88-105           | 7,5 YR 4/3 con 2,5 YR 5/6, 7,5 YR 5/8, 10 YR 2/1, 5 YR 5/8 | piedra     | pi g-f, g g-m          |              | p m-f d ca               | p mf     | p c    |                                       |
|            | 2C    | 105-130          | 10 YR 5/3                                                  | F + grava  | ba g-f d               | fr           | f m-f d ca, p g-f c ca   | p f      | p c    | 2,15                                  |
|            | 2C2   | 130-140          | 5 YR 5/3, 10 YR 4/3                                        | piedra     | piedra                 |              |                          |          |        |                                       |
| Calicata 4 | Ap    | 0-17             | 7,5 YR 2,5/1                                               | F          | g g-m f, bsa g-f f     | fr           | m tt c ca                | m tt     | p c    | 0,5                                   |
|            | Bw    | 17-38            | 7,5 YR 2,5/1                                               | F          | ba g-m d               | fr           | p f-mf d ca              | p g-f    | p g    | 4,5                                   |
|            | Bw2   | 38-57            | 10 YR 2/1                                                  | FAr        | p, c g-m m, ba g-m d   | fr           | p m-f d ca, p g-m c ca   | g mf     | p g    | 4,4                                   |
|            | Bw3   | 57-73            | 10 YR 4/1                                                  | Ar         | c m-f mo, ba g-m d     | fr           | p m-f d ca. P g-m c ca   | p f      | p g    | 3,6                                   |
|            | Bw4   | 73-97            | 10 YR 3/3, 10 YR 4/2                                       | FAr        | m+ piedra (40%)        |              | p f-mf d ca, p f-mf c ca | p f      | p c    |                                       |
|            | 2C    | 97-112           | 5 YR 5/4, 10 YR 4/3                                        | roca       | roca                   |              | aus                      | aus      |        |                                       |
|            | 2C2   | 112-126          | 10 YR 4/4                                                  | F + grava  | ba g-f d               | fr           | p m-f d ca, p g-m c ca   | p f      |        | 2,25                                  |

Continuación anexo 4 Propiedades morfológicas de los suelos representativos del área de Mangles Pancho **después** de nivelar.

| Sitio      | Horiz | Profundidad (cm) | Color                                     | Textura   | Estructura              | Consistencia | Poros                   | Raíces    | Límite | Resistencia a la penetración (kg/cm²) |
|------------|-------|------------------|-------------------------------------------|-----------|-------------------------|--------------|-------------------------|-----------|--------|---------------------------------------|
| Calicata 1 | Ap    | 0-7              | 7.5 YR 2.5/1                              | F         | g g-m m, bsa m-f f      | fr           | m tt c ca               | f tt      | p c    | 0,5                                   |
|            | Ap2   | 7-36             | 10 YR 2/1                                 | F         | ba g-m d                | fr           | f m-f d ca              | f g-f     | p g    | 2,8                                   |
|            | Bw    | 36-59            | 10 YR 2/2                                 | F         | ba g-m d                | fr           | p m-f d ca, p g-m c ca  | p g-f     | p c    | 1,95                                  |
|            | 2 Bw  | 59-78            | 10 YR 4/4 con 10 YR 5/6 (1), 10 YR 4/3(2) | roca      | 2 tipos de roca         |              | aus                     | aus       |        |                                       |
|            | 2 Bw2 | 78-93            | 7.5 YR 3/3                                | FL        | ba g-m d                | fr           | p f-mf d ca, p g-m c ca | p m-f     | p g    | 1,6                                   |
|            | 2C    | 93-104           | 7.5 YR 3/3                                | FL        | bsa g-m d               | fr           | f mf d ca, p m-f c ca   | p mf      | p c    | 2,6                                   |
|            | 2C2   | 104-140          | 10 YR 4/4                                 | FL        | roca                    |              | aus                     | aus       |        |                                       |
| Calicata 2 | Ap    | 0-36             | 10 YR 2/1                                 | F         | g m-f m                 | fr           | m tt c ca               | m-f tt    | p c    | 0,5                                   |
|            | Ap2   | 36-53            | 7.5 YR 2.5/1                              | FAr       | ba g-m d                | fr           | p f-mf d ca             | f m-mf    | p g    | 4                                     |
|            | Bw    | 53-71            | 7.5 YR 2.5/1                              | FAr       | ba m d                  | fr           | p m-mf d ca             | f m-f     | p g    | 4,45                                  |
|            | 2Bw   | 71-88            | 10 YR 4/1                                 | FAr       | p, c m mf m-d, ba m-f d | fr           | p m-mf d ca             | p f       | p g    | 3,95                                  |
|            | 2Bw2  | 88-109           | 2.5 Y 4/1                                 | Ar        | c m-mf m                | fr           | p f-mf d ca             | p f       | p g    | 3,1                                   |
|            | 3Bw   | 109-120          | 2.5 Y 5/2                                 | Ar        | m                       |              | p m d ca                | p f-mf    | p c    | 2,5                                   |
|            | 2C    | 120-144          | 10 YR 4/3                                 | roca      | roca                    |              | aus                     | aus       |        |                                       |
| Calicata 3 | Ap    | 0-7              | 10 YR 2/1                                 | F         | g g-m m                 | fr           | m tt c ca               | m tt      | p c    | 0,5                                   |
|            | Ap2   | 7-34             | 10 YR 2/1                                 | F         | ba g-m d                | fr           | f m-f d ca, p g-f c ca  | f g-f     | p g    | 4,3                                   |
|            | Bw    | 34-47            | 7.5 YR 3/2                                | F + graba | ba g d                  | fr           | f f-mf d ca, p g-m c ca | p m       | p g    | 3,6                                   |
|            | Bw2   | 47-63            | 7.5 YR 3/2                                | F         | bsa g-m d               | fr           | f-p m-f d ca, p g-m c v | p g-mf    | p g    | 2,9                                   |
|            | Bw3   | 63-87            | 10 YR 4/3                                 | F         | ba g-m d                | fr           | f f- d ca, p g-f c v    | p g-f     | p c    | 2                                     |
|            | Bw4   | 87-104           | colores de la roca anterior               | roca      |                         |              |                         |           |        |                                       |
|            | 2C    | 104-120          | 7.5 YR 3/2                                | F         | ba g-m d                | fr           | p g d ca, p g-f c ca    | aus       | p c    | 2,3                                   |
| Calicata 4 | 2C2   | 120-140          | roca                                      |           |                         |              | aus                     | aus       |        |                                       |
|            | Ap    | 0-18             | 10 YR 2/1                                 | F         | g g-m f                 | fr           | m tt c ca               | m tt      | p c    | 0,5                                   |
|            | Ap2   | 18-27            | 7.5 YR 2.5/1                              | F         | ba m d                  | fr           | f-m m d ca, p m-f c ca  | f g-f     | p g    | 2,7                                   |
|            | Bw    | 27-41            | 7.5 YR 2.5/1                              | F         | ba g-m d                | fr           | p m-f d ca, p m c v     | f -m g-mf | p g    | 4,5                                   |
|            | Bw2   | 41-63            | 7.5 YR 3/1                                | FAr       | ba g-f m                | fr           | p m-f d ca, p m-f c v   | p g-f     | p g    | 4,2                                   |
|            | Bw3   | 63-85            | 10 YR 4/1                                 | FAr       | p, c m-mf m             | fr           | p m-f d ca, p f c ca    | p m-mf    | p g    | 3                                     |
|            | Bw4   | 85-102           | 10 YR 5/1                                 | FAr       | ba g d                  | fr           | p f-mf d ca, p m-f c ca | p mf      | p g    | 2,3                                   |
|            | 2C    | 102-120          | 10 YR 5/2                                 | FAr       | ba g-m d                | fr           | f-m m d ca, p m c ca    | p f       | p c    | 2,3                                   |
|            | 2C2   | 120-135          | piedra                                    | piedra    | piedra                  |              |                         |           |        |                                       |