

**Determinación de índices de biodisponibilidad
de nutrientes por tres métodos analíticos bajo
dos condiciones de manejo de suelo para
sorgo en Zamorano, Francisco Morazán,
Honduras**

Vicente Martín Reyes Toledo

ZAMORANO
Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria
Diciembre, 2004

**ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA**

**Determinación de índices de biodisponibilidad de
nutrientes por tres métodos analíticos bajo dos
condiciones de manejo de suelo para sorgo en
Zamorano, Francisco Morazán, Honduras**

**Trabajo de graduación presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero agrónomo en
el Grado Académico de Licenciatura.**

Presentado por:

Vicente Martín Reyes Toledo

**HONDURAS
Diciembre, 2004**

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.

Vicente Martín Reyes Toledo

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2004

**Determinación de índices de biodisponibilidad de nutrientes
por tres métodos analíticos bajo dos condiciones de manejo de
suelo para sorgo en Zamorano, Francisco Morazán, Honduras**

Presentado por

Vicente Martín Reyes Toledo

Aprobada:

Carlos Gauggel, Ph.D.
Asesor principal

Jorge Iván Restrepo, MBA.
Coordinador de la Carrera de
Ciencia y Producción Agropecuaria

Gloria Arévalo, M.Sc.
Asesor

Aurelio Revilla, M.S.A.
Decano Académico Interino

Abelino Pitty, Ph.D.
Coordinador de Área Temática

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso y a la Virgencita Del Cisne.

A mis amados padres Mayra y Manuel por haberme dado todo lo que siempre necesité, su esfuerzo no fue en vano.

A mis hermanas Rebeca, Fátima y Sara.

A mi tía Marianita.

A karlita por haberme apoyado siempre en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A mi mami por todo su cariño y amor.

A mi pa por todo su esfuerzo y haberme apoyado en todo.

A mis hermanas.

A Karla, por todo su cariño y apoyo incondicional.

Al Dr. Carlos Gauggel por su apoyo y sus enseñanzas.

A la Ing. Gloria Arévalo por toda su paciencia y ayuda.

A la Ing. Griselda Montoya por todo el conocimiento transmitido y su ayuda,

A la Ing. Hilda Flores, Martha y Jackelin por su colaboración y duro trabajo.

A mis amigos, Juan Ochoa, Juan Mesa, Christopher, Francisco Cueva, Luis De Jesús, Eduardo, José Luis, por su apoyo y ayuda.

Y por su puesto, a mi querida escuela.

RESUMEN

Reyes, Vicente. 2004. Determinación de índices de biodisponibilidad de nutrientes por tres métodos analíticos bajo dos condiciones de manejo de suelo para sorgo en Zamorano, Francisco Morazán, Honduras. Proyecto especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 26 p.

La fertilidad del suelo es la capacidad del suelo de abastecer la planta con los elementos nutritivos que necesita; según esto se cumpla, ésta será alta, media o baja. La biodisponibilidad es cualquier elemento que en ciertas condiciones físicas y químicas determinadas en el sistema suelo-planta, está en capacidad de ser absorbido por la planta. El objetivo de este estudio fue establecer la biodisponibilidad de nutrientes en el cultivo de sorgo y caracterizar los factores edáficos, morfológicos y físicos que la afectan, con el fin de mejorar los planes de fertilización y aumentar los rendimientos. El estudio se realizó entre mayo y octubre de 2004 en San Nicolás, Zamorano, Honduras, área destinada para el cultivo de sorgo variedad sureño. Se realizaron tres tipos de caracterizaciones: Análisis foliar, análisis químicos y caracterización física del suelo. La biodisponibilidad fue alta para potasio y cobre, adecuada para fósforo, magnesio, hierro, manganeso y zinc y deficiente para nitrógeno y calcio. Este estudio concluye que los factores morfológicos y físicos limitantes son: Pie de arado y pérdida de la estructura del suelo (masividad) los cuales afectan indirectamente la biodisponibilidad de nutrientes para la planta.

Palabras clave: Calicata, limitantes físicas, limitantes químicas, pie de arado, RQ – flex MERK, *Sorghum bicolor*.

CONTENDIO

Portadilla.....	ii
Autoría.....	iii
Página de firmas.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen	vii
Contenido	viii
Índice de cuadros.....	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
2.1 Ubicación del estudio	4
2.2 Prácticas de manejo de suelos	4
2.3 Cultivo y variedad	4
2.4 Fertilización:.....	4
2.5 Muestreo y análisis de suelo.....	5
2.6 Análisis foliares.....	5
2.7 Métodos analíticos de campo:	5
2.7.1 Análisis de n-no ₃ ⁻ :	6
2.7.2 Análisis de k:	6
2.8 Caracterización física de campo.....	6
2.9 Variables medidas	6
2.10 Unidades de muestreo.....	7
2.11 Tratamientos	7
2.12 Análisis estadístico	8
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
3.1 Suelos	9
3.1.1 Factores físicos y morfológicos limitantes	9
3.2 Análisis químico del suelo.....	10
3.2.1 pH y material orgánica	11
3.2.2 Análisis químico de suelo en solución extractable.....	12

3.3	Análisis foliar	12
3.4	Disponibilidad de nutrientes.....	13
3.5	Relación entre el análisis de suelo con equipos de campo y laboratorio.....	16
4	CONCLUSIONES	18
5	RECOMENDACIONES	19
6	BIBLIOGRAFÍA	20
7	ANEXOS	21

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1. Profundidad de raíces para el cultivo de sorgo, San Nicolás, Honduras..... 10
2. Análisis químico en solución extractable (Melich 3) para suelo subsolado y no subsolado en San Nicolás, Honduras..... 11
3. Análisis foliar para sorgo en suelo subsolado y no subsolado en San Nicolás, Zamorano, Honduras..... 13
4. Disponibilidad de micro y macro nutrientes para suelo subsolado y no subsolado en sorgo, en el lote de San Nicolás, E.A.P. Zamorano, Honduras..... 14
5. Coeficientes de determinación para las variables evaluadas en sorgo, San Nicolás, Honduras..... 15
6. Comparación de análisis de suelo en pasta saturada versus MERK para suelo subsolado y no subsolado en sorgo, San Nicolás, Honduras..... 17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1. Distribución de bloques de ensayo (subsulado/ No subsulado) en el campo. Área de San Nicolás, E.A.P. Zamorano, 2004..... 7
2. Principales características físicas de suelo en San Nicolás, Zamorano, Honduras..... 9

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1. Descripción física del suelo de las áreas estudiadas, San Nicolás, Honduras.....	22
2. Fotografía de calicatas de las áreas estudiadas, San Nicolás, Honduras.....	24
3. Fotografía de mini calicatas de las áreas estudiadas, San Nicolás, Honduras.....	25
4. Necesidades de enclamiento para cambiar la reacción del suelo (pH).....	26

1 INTRODUCCIÓN

El sorgo es un cereal de grano importante en muchas áreas a nivel mundial por su resistencia a sequía y altas temperaturas, se cultiva en el mundo en no menos de 50 millones de ha, ubicadas principalmente en Asia y África (Domínguez 1997). Su uso va desde la alimentación humana como fuente importante de carbohidratos hasta su utilización como grano y forraje para la alimentación animal y como parte esencial de un sistema de rotaciones para mantener la productividad y estabilidad de la estructura del suelo.

La producción de fibra y alimento adecuada depende en gran parte de la cantidad de nutrientes que el suelo pueda suplir a la planta. La agricultura moderna ha buscado métodos y técnicas apropiadas para determinar la cantidad de nutrientes que no sólo sean las indicadas para obtener un rendimiento óptimo, sino que a su vez, sean económicamente rentables (Barber 1984).

Los nutrientes son absorbidos de la solución de suelo, pero siempre están en menor cantidad de lo que se ocupa para un crecimiento óptimo del cultivo, por eso hay que reponer sus formas orgánica e inorgánicas de fertilizantes de alta biodisponibilidad para la planta (Brady 1997).

Dado que fertilidad es la capacidad del suelo de abastecer las necesidades de la planta en los diferentes elementos nutritivos, en el grado en que esto se cumpla será rica, media o baja (Domínguez 1997). Biodisponibilidad de los nutrimentos, propuesto por Gauggel (2003), es cualquier elemento que bajo ciertas condiciones físicas y químicas determinadas en el sistema suelo-planta está en capacidad de ser absorbido por la planta.

Con base en lo anterior, el propósito del presente estudio, es el establecer por medio de análisis de suelos, la cantidad disponible de nutrientes presentes en el suelo y con análisis foliares obtener la cantidad de los mismos que son asimilados por la planta, y encontrar la relación existente entre lo que está disponible en el suelo versus lo que la planta realmente es capaz de obtener. De esta forma encontrar una herramienta que facilite el uso apropiado de los fertilizantes, de una forma práctica y que sea, no sólo más fácil, sino también más aprovechable.

Los factores que pueden afectar la biodisponibilidad de nutrientes dependen de los cuatro principales componentes del suelo los cuales son minerales, materia orgánica, agua y oxígeno, y de las interacciones que ocurran entre los mismos (De Jesús 2003). Por ejemplo, factores físicos como textura del suelo ya que afecta la cantidad de aire y agua que lleguen a la raíz.

De acuerdo con Picado (2003) uno de los factores que afecta la disponibilidad de los nutrientes es un horizonte masivo (Ad), o pie de arado, que por lo regular se encuentra en el segundo horizonte debido a malas prácticas de mecanización.

También existen factores químicos que pueden afectar la disponibilidad de nutrientes tales como el pH, que para el lugar de estudio, San Nicolás, son débilmente ácidos (<5.5) lo cual puede afectar la disponibilidad de nutrientes tales como N, P, K, Mg y Ca (Domínguez 2001). Biológicos como microorganismos que descomponen el tejido orgánico, todo esto afecta la interacción de la planta con el sistema.

Hasta el momento se han realizado diversos métodos aproximativos, y técnicas de balance de nutrientes poco prácticas, es decir, sin tomar en cuenta lo que la planta está asimilando, para determinar la real disponibilidad de los nutrientes para la planta. De ahí surge la importancia de encontrar procedimientos prácticos para conocer la biodisponibilidad de nutrientes y para entender bien la relación existente del flujo de elementos entre el suelo y la raíz.

Hoy en día existen pocos métodos de diagnóstico y evaluación de la biodisponibilidad de nutrientes, entre los principales se encuentran los análisis de suelos, análisis de plantas (foliares) y la observación de síntomas de deficiencia de cada elemento en la planta.

Una manera de determinar la biodisponibilidad de nutrientes es por medio del análisis de la planta, que se puede dividir en dos partes, uno es el análisis de campo o visual, el cual requiere conocimiento y experiencia, y puede ser realizado en el campo, por otro lado está el análisis de tejido, el cual es realizado en un laboratorio y está basado en la premisa que la cantidad de un elemento encontrado en la planta indica que dicho elemento fue absorbido y que está directamente relacionado con lo que se encuentre disponible en el suelo, elementos tales como N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, B, Cu, Fe y Mo (Tisdale y Nelson 1993).

Se busca una mayor eficiencia en el uso de fertilizantes, lo cual se verá reflejado en una posible disminución de costos debido a un menor desperdicio de fertilizantes complementado con una nutrición adecuada para la planta que se refleje en un aumento en los rendimientos que genere mayor ingreso. El producto de dicha investigación podrá ser usada no sólo en Zamorano, sino en otros lugares de producción.

Cada plan de fertilización debe ser específico para cada cultivo, debido a que cada cultivo tiene diferentes requerimientos nutricionales y características propias en la absorción de cada nutriente (De Jesús 2003). Los factores químicos pueden ser enmendados por un buen plan de fertilización, mientras que las propiedades físicas pueden constituir un problema en la disponibilidad de los nutrientes (Terrones 2003) por lo que también se evaluará el efecto del subsoleo en la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de sorgo.

El objetivo de este estudio fue establecer la biodisponibilidad de nutrientes en el cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum bicolor*) en Zamorano.

Como objetivos específicos caracterizar en campo los factores edáficos, morfológicos y físicos que afectan la disponibilidad de nutrientes en el cultivo de sorgo, determinar el grado de correlación entre los nutrientes extractables y solubles en agua del suelo y las concentraciones foliares en el cultivo de sorgo, determinar la biodisponibilidad de nutrientes para el cultivo de sorgo por medio de equipos analíticos de campo, determinar el efecto de la práctica de subsoleo en las características físicas de suelo y la disponibilidad de nutrientes y establecer si el uso del equipo RQ – flex de MERK puede sustituir el análisis de algunos elementos del suelo en el laboratorio.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en un área de 10,000 m² en donde se ubica el pivote central, San Nicolás, de la E.A.P. Zamorano, área destinada a la producción de sorgo forrajero, con una elevación aproximada de 800 msnm, una precipitación promedio anual de 1110 mm y una temperatura promedio anual de 24°C (Domínguez 2001).

2.2 PRÁCTICAS DE MANEJO DE SUELOS

Previo a la siembra se usó un subsolador de cincel para fragmentar las capas duras e impermeables a una profundidad aproximada de 40 cm, se hicieron dos pases, el segundo en diagonal en relación al primero, para suprimir camellones que hayan quedado entre los cinceles y la horizontal, dividiéndolo en cuatro bloques, dos con subsoleo y dos sin subsoleo para evaluar el efecto de esta práctica. El cultivo anterior era maíz para semilla. Previo a la siembra no se realizó ninguna practica de preparación del terreno y la siembra fue hecha con la sembradora de conservación, el día 20 de mayo de 2004 a una densidad aproximada de 250,000 plantas por ha.

2.3 CULTIVO Y VARIEDAD

Para el estudio se utilizó Sorgo Blanco (*Sorghum bicolor*) variedad Sureño destinado para ensilaje para alimentación animal.

2.4 FERTILIZACIÓN:

El método de aplicación fue al voleo, las cantidades de nutrientes suplidos fueron 180 kg/ha de N, 60 kg/ha de P, 75 kg/ha de K, 35 kg/ha de S y 28 kg/ha de Mg tanto en el área subsolada como en el testigo.

La fertilización se realizó de la siguiente manera, con el riego inmediatamente posterior a la siembra se aplicó 32 kg/ha de 0-0- 60 (cloruro de potasio) y 68 kg/ha de sulphomag. A los 30 días de la siembra así mismo con el riego se aplicó 159 kg/ha de urea, 36 kg/ha de 0 - 0 - 60 y 91 kg/ ha de sulphomag. Finalmente aproximadamente a la semana se aplicaron 182 kg/ha de urea.

2.5 MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELO

Se realizaron cuatro muestreos aleatorios por tratamiento, dos en cada bloque. Las muestras se tomaron a una profundidad entre 0 – 20 cm. Los dos métodos de análisis de nutrientes en suelos usados en el laboratorio de suelos en Zamorano fueron: extractable, por medio de Melich 3 y soluble, que se obtiene por medio de pasta saturada suelo-agua, en la cual se extrae el equilibrio formado entre la fase sólida y líquida. Las muestras de suelos se tomaron al mismo tiempo que las foliares a los 55 días después de la siembra. Los análisis realizados fueron pH, materia orgánica, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn.

Para los análisis de campo se usó el equipo RQ-flex de la compañía MERK como método analítico, el cual funciona bajo el principio de reflectometría (remisión fotométrica), cintas analíticas para el caso del análisis de nitratos y celdas para el análisis del K (Hanke 1998).

Se realizaron tres mini calicatas por parcela, con dimensiones de 50 cm de ancho por 50 cm de largo y 60 a 80 cm de profundidad, para determinar la característica cantidad y profundidad de raíces, cuando la planta estaba bien desarrollada.

2.6 ANÁLISIS FOLIARES

Las muestras fueron tomadas de subparcelas ubicadas al azar dentro de cada bloque, dos subparcelas por bloque para un total de ocho subparcelas, cuatro en el área subsolada y cuatro en el área no subsolada. En para cada sub parcela se tomaron cinco plantas al azar; para la toma de muestras se recolectaron cinco hojas maduras jóvenes. No se tomaron en cuenta las primeras hojas superiores tiernas aún no diferenciadas. El tiempo para la recolección de la muestra fue antes de la floración masculina.

El nitrógeno fue determinado por el método micro Kjeldhal, fósforo por colorimetría, y Potasio, Calcio, Magnesio, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc por absorción atómica.

2.7 MÉTODOS ANALÍTICOS DE CAMPO:

Se usó el reflectómetro RQ-Flex de la compañía MERK para los análisis de N-NO₃- y K, de las mismas muestras de suelo usadas para los análisis químicos en el laboratorio de suelos.

2.7.1 Análisis de N-NO₃-:

El análisis fue específico para el nitrato disponible en el suelo. Se pesaron 25 gramos de suelo previamente procesado, es decir secado, molido y tamizado dejando solo partículas menores a los dos mm. Se preparó la solución extractora para este elemento, que en este caso fue ácido sulfúrico, del cual se prepararon 500 ml a 0.01 N. Posterior a esto se adicionaron a los 25 g de suelo 25 ml de ácido sulfúrico 0.01N, se agitó por dos minutos, se dejó decantar y se filtró; posterior a esto se introdujo la cinta analítica en la solución con los nitratos, y se analizó con el RQ-flex.

2.7.2 Análisis de K:

De igual manera con las muestras ya procesadas de suelo se tomaron cinco gramos de suelo y se le añadió 25 ml de la solución extractora, con acetato de amonio que ya venia preparada con el equipo para dicho elemento. Se agitó manualmente y se dejó en reposo por 12 horas, se filtró y a la solución se le añadió 25 ml de agua destilada, estos 50 ml aproximadamente fueron el extracto principal sobre el cual se hizo el análisis con el RQ-flex.

2.8 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE CAMPO

Se realizaron dos calicatas al azar para hacer la caracterización física y morfológica del suelo, una en el área subsolada ubicada a 16499223 E 1547023 N y otra en el área no subsolada ubicada a 1649925 SE 1547060 N, las características más importantes que se midieron fueron: Horizontes presentes, color, textura, estructura, consistencia, resistencia a la penetración, poros, raíces y límite entre los horizontes.

2.9 VARIABLES MEDIDAS

Las variables medidas fueron: concentraciones de los diferentes nutrientes extractables en el suelo: N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn y los mismos elementos en la hoja, para de esta forma determinar la cantidad absorbida y así su biodisponibilidad. Se evaluó además la concentración de N-NO₃- y K en el suelo con el equipo de campo MERK, para evaluar si es un buen método para determinar estos iones y usarlos como indicador para determinar la biodisponibilidad de nutrientes. Variables físicas y morfológicas del suelo para determinar los factores que limitan la absorción de los nutrientes las cuales fueron: Horizontes, estructura, resistencia a la penetración, profundidad efectiva, distribución y cantidad de raíces.

2.10 UNIDADES DE MUESTREO

Fueron parcelas cuadrangulares de aproximadamente 2,500 m² cada una distribuidos como se muestra en la figura 1.

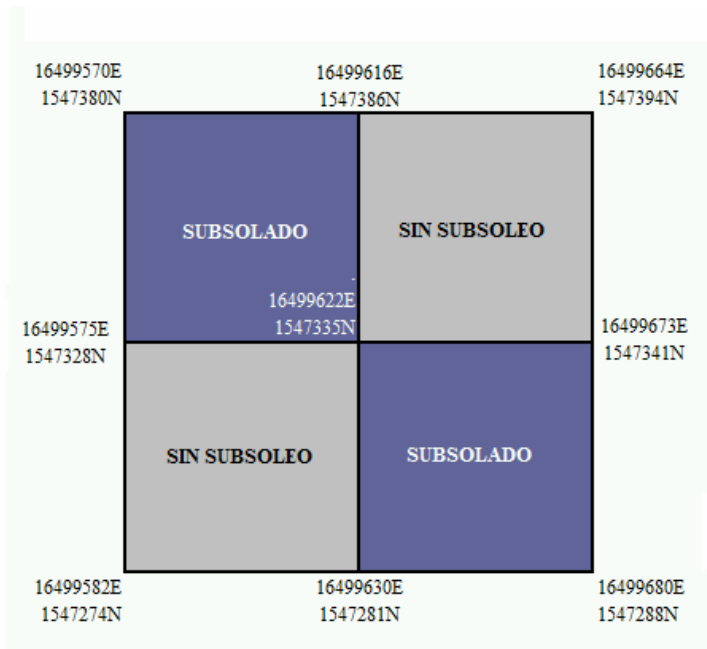


Figura 1. Distribución de bloques de ensayo (subsulado/ No subsulado) en el campo. Área de San Nicolás, E.A.P. Zamorano, 2004.

El área destinada al estudio fue dividida en cuatro cuadrantes, de los cuales dos se encontraban subsulados y dos sin subsuolo.

2.11 TRATAMIENTOS

En campo:

- Subsulado.
- No subsulado.

En laboratorio:

- Análisis de suelo por tres métodos:
 - Método de extracción Melich 3
 - Método de pasta saturada

- Método de extracción por soluciones MERK para determinación de elementos de campo

2.12 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se usó un Diseño Completamente al Azar (DCA) en el campo para la toma de muestras. Se realizó un análisis de correlación dando como resultado los índices de determinación para las concentraciones de nutrientes en el suelo y en la hoja. Para medir la relación entre los métodos de extracción: pasta saturada y soluciones MERK, se determinaron los índices de correlación para los elementos NO_3 y K. Para esto, se usó el programa estadístico SPSS versión 11.0.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 SUELOS

3.1.1 Factores físicos y morfológicos limitantes

Las características físicas del suelo están descritas en el anexo 1 y se muestran en los anexos 2 y 3, este es un suelo con variabilidad textural, franco arcillo limoso hasta 45 cm con un horizonte franco arenoso entre 45 y 60 cm y debajo del cual se encuentra arcilla. La figura 2 representa las principales características. La principal limitante encontrada en los suelos fue pie de arado, que causa una pérdida en la estructura del suelo, creando un horizonte masivo (Ad) bajo la superficie, lo cual afecta principalmente el crecimiento radicular (cuadro 1). En el suelo sin subsoleo, se encontró una menor profundidad de raíces, (8.5 cm en promedio). La masividad a su vez limita el drenaje en el suelo, lo que sumado a la cantidad de arcilla en el suelo, crea un drenaje pobre, que afecta el desarrollo de la planta, y posiblemente cause una baja concentración de oxígeno en el suelo el cual es importante para el desarrollo de la raíz.

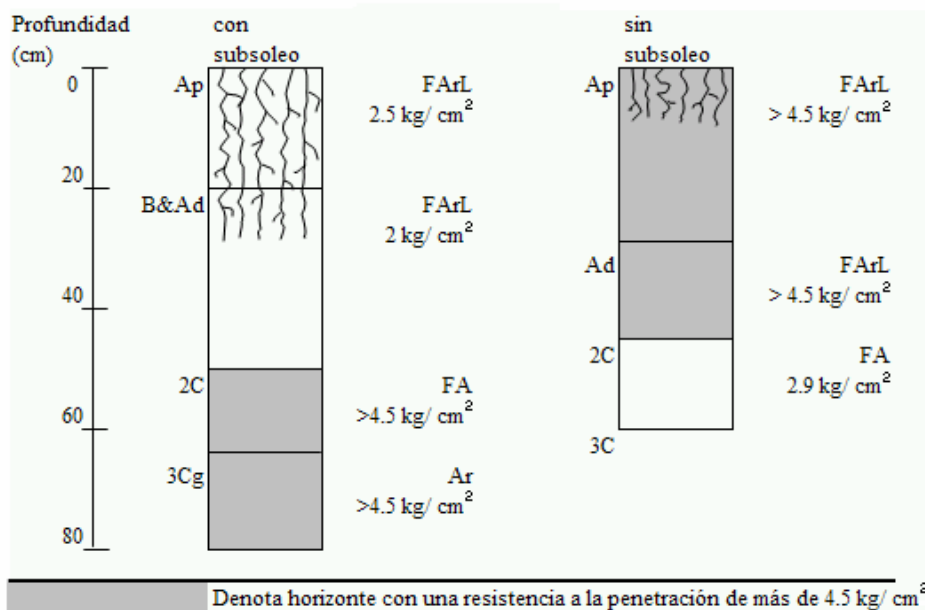


Figura 2. Principales características físicas de suelo en San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Cuadro 1. Profundidad de raíces para el cultivo de sorgo, San Nicolás, Honduras.

Muestra	Sin subsoleo (cm)	Con subsoleo (cm)
1	9	25
2	12	30
3	7	28
4	5	26
5	8	27
6	10	32
Promedio	8.5	28

El subsoleo mejoró no sólo la estructura del suelo, destruyendo casi en su totalidad el pie de arado (Ad), sino que la profundidad radicular efectiva, en comparación con el suelo sin subsolar ya que las raíces alcanzaron una profundidad promedio de 28 cm.

Otra característica mejorada por el subsoleo, es la resistencia a la penetración del suelo (figura 2), la cual para el primer y segundo horizonte es de 2.5 kg/cm² y 2 kg/cm² respectivamente que permiten el crecimiento radicular de la planta. El suelo masificado no subsolado, es un impedimento ya que no tiene estructura con una resistencia a la penetración > 4.5 kg/cm² que no permite el crecimiento de la raíz, esto se lo puede comprobar con la profundidad radicular alcanzada, la cual es aproximadamente tres veces mayor en el suelo subsolado (cuadro 1). Además, el suelo subsolado presenta una mayor cantidad de poros y raíces (anexos 1 y 2).

3.2 ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO

Los resultados de los análisis químicos del método de extracción Melich 3 para nutrientes se muestran en el cuadro 2. En el se observan los valores de las muestras para área subsolada versus no subsolada.

Cuadro 2. Análisis químico en solución extractable (Melich 3) para suelo subsolado y no subsolado en San Nicolás, Honduras.

Muestra	pH (H ₂ O)	% M.O.	% N total	ppm (extractable)								
				P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	
Con subsolado												
1	5.1	2.6	0.13	55	448	2070	150	3.0	327	113	1.0	
2	5.0	2.5	0.13	36	442	2020	160	3.1	330	151	1.0	
3	5.5	2.5	0.12	64	498	2000	160	3.5	353	123	1.4	
4	5.4	2.5	0.12	58	362	1880	140	2.6	280	98	1.7	
promedio	5.2	2.5	0.1	53	438	1993	153	3	323	121	1	
sin subsolado												
1	5.6	2,3	0.12	35	398	2030	140	3.2	323	133	0.9	
2	5.3	2,6	0.13	21	586	1990	180	3.3	374	105	1.2	
3	4.8	2,3	0.11	38	316	1700	130	2.7	249	194	0.8	
4	4.9	2,5	0.13	58	436	1730	150	2.8	316	143	1.3	
promedio	5.2	2,4	0.1	38	434	1863	150	3	316	144	1	
Rango normal y rango crítico ♣												
	6	3	0.2	13	98	1000	180	0.1	8	4.2	0.13	
	6.8	4	0.5	20	195	6000	250	3	16	28	1.26	

♣ Rango normal (elementos mayores) y rango crítico (elementos menores) utilizado por Laboratorio de Suelos E.A.P.

3.2.1 pH y materia orgánica

El valor de pH para los suelos de San Nicolás es de 5.2, el cual se encuentra por debajo del rango normal por lo que no son los óptimos para la absorción de nutrientes (Cuadro 2). El efecto del subsolado no afectó el pH debido a que no hay diferencia entre los dos valores, al cual se lo puede catalogar como débilmente ácido.

Un pH menor a 5.5 afecta de una forma directa la disponibilidad de los nutrientes mayores en especial el fósforo, puesto que a estos rangos el fósforo se vuelve insoluble para la absorción de la planta al combinarse con óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio (Gauggel 2003). Con respecto al nitrógeno, a un pH menor a 5.5 la actividad de los microorganismos disminuye reduciendo también la mineralización de la materia orgánica. Por otra parte, los micro nutrientes tales como Mg, Cu, Fe, Mn y Zn se vuelven más solubles a medida que éste disminuye a excepción del molibdeno, incluso puede existir una toxicidad por Al, Mn y Fe. Debido a que la textura predominante de suelo es franco arcillo limoso (anexo 1) se recomienda aplicar una cantidad aproximada de 5.2 Ton/ ha de cal agrícola para cambiar la reacción del suelo (pH) en la capa arable a 6.5 aproximadamente según recomendación de Gauggel (2003), (anexo 4).

El contenido de materia orgánica se encuentra por debajo del óptimo sin importar si el suelo fue subsolado o no (Cuadro 2). Para mejorar la disponibilidad de nutrientes se recomienda para suelos francos a franco arcilloso limosos aplicar 20 Ton/ ha de materia orgánica para subir un punto porcentual, lo que se obtiene tomando en cuenta que una ha de suelo arable pesa 2000 ton, por lo tanto el 1% a subir son 20 ton.

3.2.2 Análisis químico de suelo en solución extractable

Las cantidades de nutrientes disponibles en el suelo para la absorción por la planta, no se vieron afectadas por el efecto del subsoleo directamente, los valores son los mismos para casi todos los micro y macro elementos, con excepción del P, éste elemento es mayor para el suelo subsolado, y el Mn, que por otro lado es menor en el suelo subsolado. Dichas variaciones para estos dos elementos se pueden deber a la reacción del suelo (pH), la cual tiene una correlación negativa con las concentraciones de Mn en el suelo. Es decir, que aunque el pH es en promedio igual en las dos condiciones, en términos generales al ser menor para el suelo sin subsoleo hace más disponibles los micro elementos, como en este caso el Mn. Un bajo pH además hace menos disponible el P (Gauggel 2003), aunque no se encontró correlación entre estos.

Los resultados obtenidos de los análisis químicos entre las dos condiciones: subsoleo versus no subsoleo son lógicos pues el subsolador rompe los horizontes masivos, pero no invierte el perfil del suelo, por lo tanto la concentración de nutrientes es la misma. El efecto es apenas sutil en el contenido de materia orgánica pero no determinante. Su efecto debe analizarse en el tiempo.

3.3 ANÁLISIS FOLIAR

La absorción de nutrientes no se vio afectada por la práctica de subsoleo, los contenidos en la hoja en promedio son similares para los dos tratamientos (Cuadro 3), con excepción del Mn y Zn, para los cuales hubo una mayor absorción por parte de la planta en el área sin subsolar, lo cual se puede deber así mismo a factores físicos y químicos del suelo, que ayuden a su absorción para éste tipo de suelo.

Cuadro 3. Análisis foliar para sorgo en suelo subsolado y no subsolado en San Nicolás, Zamorano, Honduras.

Muestra	%					ppm				
	N total	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	
con subsoleo										
1	2.76	0.30	1.87	0.17	0.15	6	72	37	18	
2	2.51	0.30	1.73	0.17	0.13	8	98	35	17	
3	2.67	0.36	1.72	0.18	0.18	10	90	30	18	
4	2.39	0.33	1.83	0.18	0.19	6	88	31	19	
promedio	2.58	0.32	1.79	0.18	0.16	7	87	33	18	
sin subsoleo										
1	2.44	0.34	1.85	0.17	0.17	9	80	30	17	
2	2.48	0.33	1.71	0.16	0.17	9	82	25	17	
3	2.63	0.32	1.90	0.18	0.18	8	84	65	58	
4	2.38	0.26	1.88	0.14	0.14	8	79	53	18	
promedio	2.48	0.31	1.83	0.16	0.16	8	82	43	28	
rango normal ♣	3.30	0.2	1.40	0.30	0.1	2	65	10	15	
	4	0.4	1.70	0.60	0.2	7	100	190	30	

♣ Rango normal (Jones *et al.* 1991).

3.4 DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

En el Cuadro 4 se interpreta el contenido de nutrientes en el suelo y en la hoja, a partir de los cuales se expresa la biodisponibilidad de cada elemento como deficiente, adecuada o alta.

Cuadro 4. Disponibilidad de micro y macro nutrientes para suelo subsolado y no subsolado en sorgo, en el lote de San Nicolás, E.A.P. Zamorano, Honduras.

Determinación	Suelo	Foliar	Disponibilidad	Acción de fertilización
N	bajo	bajo	Deficiencia, poco disponible	Subir, fraccionar
P	alto	normal	Adecuada	Mantener
K	alto	alto	Alta	Bajar dosis
Ca	normal	bajo	Baja	Subir
Mg	bajo	normal	Adecuada	Subir
Cu	alto	alto	Alta	Bajar dosis
Fe	alto	normal	Adecuada	No aplicar
Mn	alto	normal	Adecuada	No aplicar
Zn	normal	normal	Adecuada	Mantener

La matriz de biodisponibilidad aplica en los terrenos subsolado y no subsolado dado que los niveles tanto de suelo como foliar son muy similares, de acuerdo con esto el nitrógeno se encuentra deficiente para los suelos actualmente designados para el cultivo de sorgo, es poco disponible para la planta puesto que no sólo está bajo en el suelo sino también en la hoja. Esto indica la necesidad de aumentar las dosis de fertilizante nitrogenado y/o fragmentar su aplicación. El análisis de asociación entre cada nutriente en el suelo y foliar (Cuadro 5) muestra que no hay relación estadística entre el nutriente en el suelo y en la hoja. Las concentraciones bajas de N posiblemente se deben al bajo porcentaje de materia orgánica. La absorción no puede ser determinada a partir de las concentraciones en el suelo, ya que su relación es muy baja como lo indica su R^2 (cuadro 5). Dado que el destino de dicho cultivo es para alimentación animal, es importante mantener una buena fuente nutritiva de N, para obtener una alta cantidad de biomasa, para lo cual es necesario incrementar la dosis de fertilizantes nitrogenados o mejorar su asimilación.

El fósforo se encuentra en concentraciones altas en el suelo, dicho elemento está disponible para la absorción de la planta. Su biodisponibilidad al encontrarse normal en la hoja, es adecuada. Su absorción no puede ser determinada sólo a partir del análisis de suelo, puesto que su relación con el análisis foliar es muy baja, lo cual lo confirma su bajo R^2 (1.1%) (Cuadro 5). El pH actual limita la disponibilidad de este elemento, al subir el pH se hará mas disponible. No es necesario por el momento aplicación de dicho elemento, ya que la planta tiene una absorción adecuada.

La cantidad de potasio biodisponible es alta y se asocia al alto contenido en el suelo, lo confirma su R^2 con 56%, que aunque es bajo, muestran correlación, a diferencia del resto de elementos. Su concentración en el suelo es elevada por lo que por el momento requiere bajas aplicaciones de este elemento para suplir la demanda de la plantación. Al tener una alta absorción, y dado que es importante para el cultivo se debe revisar la dosis para futuras aplicaciones.

Cuadro 5. Coeficientes de determinación para las variables evaluadas en sorgo, San Nicolás, Honduras.

Función	Nutriente	Significancia [♯]	Correlación (%)	R ² (%)	R ² ajustado (%)
Foliar (Y) vs. Suelo extractable (X)	N	0.75	-13.50	1.80	-14.60
	P	0.81	-10.40	1.10	3.20
	K	0.03	75.20	56.50	49.30
	Ca	0.56	24.30	5.90	-9.80
	Mg	0.51	-27.50	7.60	-7.90
	Cu	0.03	74.80	56.00	48.60
	Fe	1.00	-0.20	0.00	-16.70
	Mn	0.01	83.10	69.10	63.90
	Zn	0.25	-45.70	20.90	7.70
RQ Flex MERK (Y) vs. Pasta saturada (X)	N-NO ₃ ⁻	0.13	57.90	33.50	22.50
	K	0.68	17.40	3.00	-13.10
RQ Flex MERK (Y) vs. Foliar (X)	N-NO ₃ ⁻	0.73	14.70	2.20	-14.10
	K	0.96	-2.40	0.10	-16.60

♯ Valores $\geq 0,05$ no son significativos

Con respecto al Ca, la relación entre el contenido en el suelo y foliar es muy baja R² (5.9%) (Cuadro5) el cual no es significativo. Cantidades altas de K pueden estar afectando la absorción de Ca. Las cantidades en la hoja son bajas, lo que muestra que su biodisponibilidad está restringida. El bajo pH también tiene relación con su bajo contenido en el suelo. La aplicación de Ca es importante para la planta y para la reacción del suelo (pH). La biodisponibilidad de Ca es bajo en la hoja y se recomienda aplicarlo al suelo para llevarlo a niveles óptimos.

El Mg esta bajo en el suelo y alto en la hoja lo que indica condiciones óptimas de absorción de este elemento. La relación entre el Mg en el suelo y Mg foliar es muy baja y no significativa (R² de 7.6%, Cuadro 5), por lo que tampoco el Mg en el suelo es buen indicador de la relación suelo – planta. A pesar de que el K en el suelo es alto, parece no estar afectando la disponibilidad de Mg ya que esta es adecuada en la planta (Cuadro 4). Se recomienda aumentar la dosis que actualmente se aplica al suelo.

Los elementos menores Cu, Fe y Mn, se encuentran en altas concentraciones en el suelo, y el Zn en rangos normales. Fe, Mn y Zn son biodisponibles para la planta, puesto que sus concentraciones en las hojas están dentro del rango óptimo. Con respecto al Cu, se encuentra alto en la hoja, lo que indica una alta biodisponibilidad, o una dosis de fertilización elevada. El cultivo no requiere aplicaciones de micro nutrientes por el

momento. La relación entre Cu y Mn en el suelo y foliar es alta (R^2 56% y 69% respectivamente). Los análisis de suelo pueden predecir su absorción foliar.

Los únicos coeficientes de determinación (R^2) que pueden predecir una correcta biodisponibilidad a partir del análisis de suelo solamente fueron para el K, Cu y Mn, de 56, 56 y 69% respectivamente (Cuadro 5), lo cual incluso es moderada. Esto quiere decir que para los otros micro y macro elementos, incluso para los que tienen una correlación alta, la absorción no se puede expresar solamente en términos de su concentración en el suelo, sino que es importante refinar los planes de fertilización, por medio del análisis foliar, que exprese la cantidad absorbida para cada elemento.

3.5 RELACIÓN ENTRE EL ANÁLISIS DE SUELO CON EQUIPOS DE CAMPO Y LABORATORIO

Los resultados obtenidos con el equipo RQ-flex MERK no muestran correlación con los análisis de suelo en pasta saturada o con el tejido (Cuadro 5). La correlación de los valores de dicho instrumento con los análisis químicos no es significativo, lo que indica que el equipo no es un método preciso para estimar la disponibilidad de nutrientes. Los análisis por este método no indican la asimilación de nitrógeno y potasio por la planta.

Los valores obtenidos con el equipo son notablemente inferiores a los de laboratorio, lo que al momento de interpretarlos para un plan de fertilización subestimarán la verdadera cantidad disponible (Cuadro 6). La diferencia se puede deber a los métodos de extracción, los cuales a pesar de ser para ambos en una pasta saturada, el método MERK ocupa compuestos químicos complejos los cuales pueden afectar las concentraciones de los elementos, mientras que para el método de laboratorio la solución a analizar es pasta saturada. Por otra parte, los instrumentos para analizar una vez extraída la solución de suelo, son mucho más precisos en el método de laboratorio. La preparación de la muestra, para su análisis en el laboratorio puede afectar también los valores, ya que se la homogeniza y seca, lo que cambia las características del suelo, y puede afectar la precisión del aparato RQ – flex.

Cuadro 6. Comparación de análisis de suelo en pasta saturada versus MERK para suelo subsolado y no subsolado en sorgo, San Nicolás, Honduras.

Tratamiento	N-NO ₃ - (ppm)		K (ppm)	
	RQ- Flex MERK	pasta saturada	RQ- Flex MERK	pasta saturada
Sin Subsoleo	19	5	11.5	14
	127	43	11.8	43
	124	358	12.4	41
	206	207	13.5	46
Promedio	119	153	12	36
Con Subsoleo	215	163	7.1	39
	125	248	10.6	42
	27	5	11.2	12
	82	55	8.5	23
Promedio	112	118	9	29

4 CONCLUSIONES

La biodisponibilidad de nutrientes para el cultivo de sorgo forrajero en Zamorano fue alta para potasio (K) y cobre (Cu), adecuada para fósforo (P), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) y deficiente para nitrógeno (N) y calcio (Ca).

En este estudio se determinó que los factores morfológicos y físicos limitantes son: pie de arado y pérdida de la estructura del suelo (masividad), los cuales afectan el crecimiento de la raíz del cultivo.

Solamente se encontró correlación entre los contenidos foliares del sorgo y el suelo con el K, Cu, y Mn y solamente la correlación del Mn entre los contenidos foliares y suelo fue muy alta (83%).

No hay correlación entre las concentraciones de NO_3 y K determinadas por el equipo MERK versus el determinado en pasta saturada (suelo) y en el tejido del sorgo por medio de los métodos convencionales de laboratorio. Por tanto los datos indican que el método de extracción usado por MERK no es un buen indicador para determinar la biodisponibilidad de nutrientes.

Los datos obtenidos en este trabajo no indican diferencia clara en nutrientes, solamente en el área no subsolada hubo mayor absorción de Mn y Zn.

El equipo de campo RQ – flex MERK no puede sustituir el análisis de NO_3 y K hecho en el laboratorio.

5 RECOMENDACIONES

Continuar con las prácticas de subsoleo para destruir horizontes masivos puesto que esta práctica mejora las características físicas y morfológicas de los suelos, especialmente estructura, porosidad, cantidad y profundidad de raíces y resistencia a la penetración.

Ajustar los programas de fertilización por medio de los análisis foliares, puesto que la absorción de los nutrientes en la mayoría de los casos no se puede explicar a partir de su concentración en los suelos.

Realizar aplicaciones de materia orgánica para mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Si el cultivo lo amerita, se deben hacer aplicaciones foliares de nutrientes que presenten deficiencias si las condiciones de masificación del suelo persisten.

Aplicar cal agrícola para mejorar la reacción del suelo (pH), y mejorar la disponibilidad de nutrientes.

Medir la concentración de nutrientes NO_3 y K en el suelo en el equipo RQ – flex MERK, en el extracto que se obtiene en el laboratorio.

Hacer ensayos para determinar si con muestras de suelo sin procesar mejora la precisión del equipo RQ – flex MERK.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Barber, S. 1984. Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach. 387 p.
- Brady, N. 1990. the nature and property of soils. 10 edición. 621 p.
- De Jesús, L. 2003. Determinación de biodisponibilidad de nutrientes en tres cultivos hortícolas bajo condiciones de campo en Zamorano. Tesis Lic. Ing. Agr. Valle del Yeguaré, Honduras. EAP Zamorano. 27 p.
- Domínguez, A. 1997. Tratado de fertilización. 3 edición. 613 p.
- Domínguez, R. 2001. Caracterización sistemática de los suelos de San Nicolás, El Zamorano, Honduras. Tesis Lic. Ing. Agr. Valle del Yeguaré, Honduras. EAP Zamorano. 60 p.
- Gauggel, C. 2003. Matriz para determinación de biodisponibilidad de nutrientes. Curso de Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal. E.A.P. Zamorano. 2003.
- Gauggel, C. 2003. Matriz de necesidades de encalamiento para cambiar la reacción del suelo (pH). Curso de Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal. E.A.P. Zamorano. 2003.
- Hanke, F. 1998. Uso del reflectómetro RQ – flex en análisis de suelo. MERK Colombia. 59 p.
- Jones, B; Wolf, B; Mills, H. 1991. plant Analysis Handbook. 1 ed. Micro – Macro publishing, Inc. Estados Unidos. 191 p.
- Picado, G. 2003. Efecto de la nivelación sobre las características físicas y químicas de los suelos representativos del ingenio San Antonio, Nicaragua. Tesis Lic. Ing. Agr. Valle del Yeguaré, Honduras. EAP Zamorano. 42 p.
- Terrones, C. 2003. Caracterización edáfica de las áreas cultivadas con frutales en Zamorano. Tesis Lic. Ing. Agr. Valle del Yeguaré, Honduras. EAP Zamorano. 65 p.
- Tisdale, S; Nelson, W. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5 edición. 634 p.

7 ANEXOS

Anexo 1. Descripción física del suelo de las áreas estudiadas, San Nicolás, Honduras.

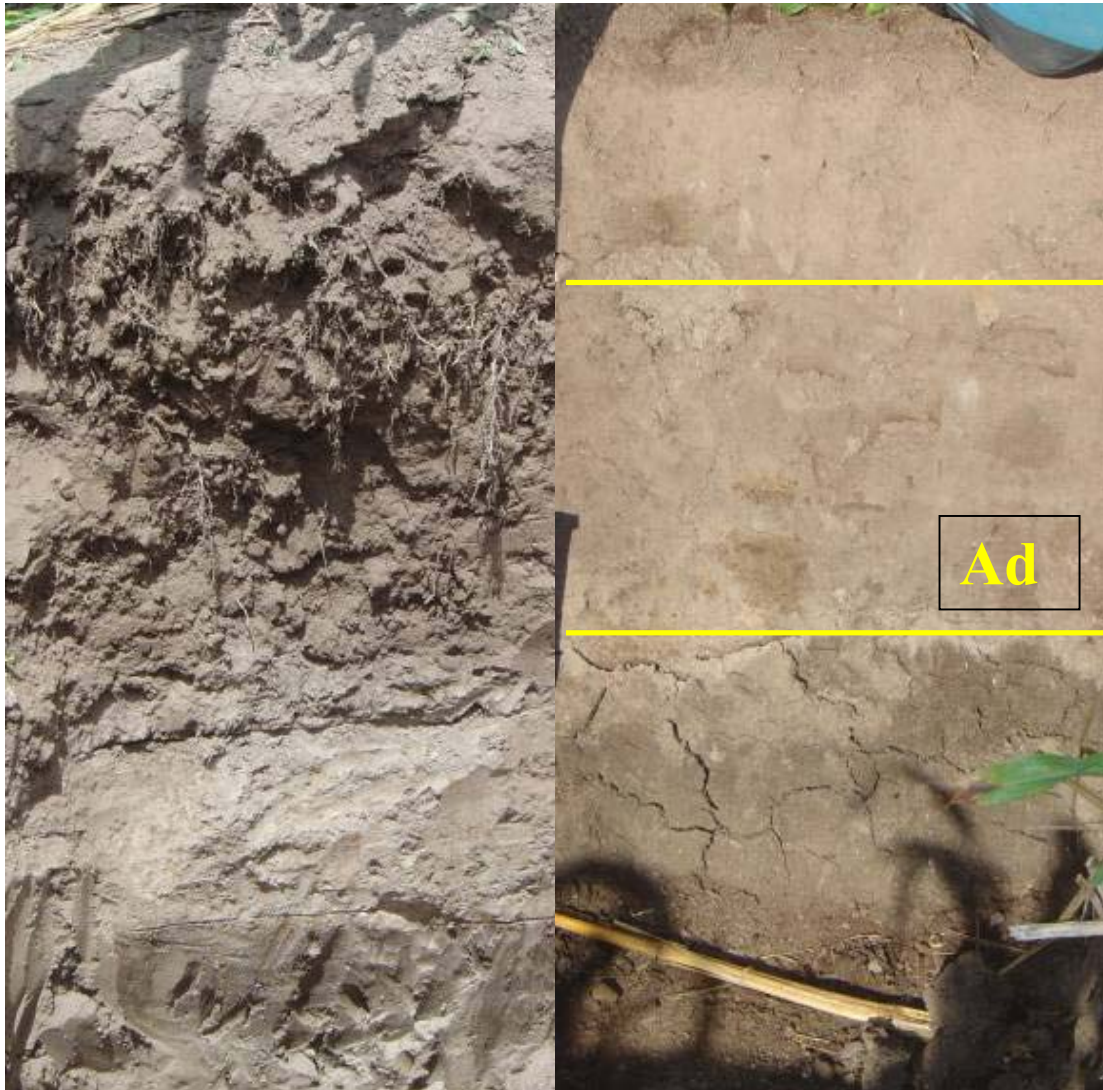
Tratamiento	Unidad de suelos	Hor.	Prof. (cm)	Color	Motas %	Text.	Est.	Con.	Res.(kg/cm ²)	Porosidad	Raíces	Li.
Subsolado	F-/ G	Ap	0 -20	PMO 10 YR 2/2		FArL	bsa f m-f	b	2.5	tgp/ vgp/ vfm	tgm	pa
				N 10 YR 2/1		FArL	bsa f g-m tendencia a masivo	ld	2	t m p	tgm	pa
		2C	47 - 64	GMO o 10 YR 3/1		FA	b ad g-m	ld	> 4.5	t m p	mf p	pa
				3Cg	64 - 80	PGO o 10 YR 4/2	3% PA o 10 YR 5/6	Ar	ba m g-m tendencia a masivo	md	> 4.5	v mf p

Anexo 1. Continuación...

	Unidad de suelos	Hor.	Prof. (cm)	Color	Motas %	Text.	Est.	Con.	Res.(kg/ cm ²)	Porosidad	Raíces	Li.	
Sin subsolar	F ⁻ / g	Ap	0 - 27	PMO o	2/2	FArL	bsa f g-m	f	> 4.5	t m-f m/	mf m/	pd	
				10 YR						v mf m	f-m p		
	F ⁺	Ad	27 - 45	N o 19	YR 2/1	FArL	masivo	f	> 4.5	v mf p	f-mf p	pa	
		2C	45 - 60	PGMO o	10 YR	3/2	FA	bsa f m-f	f	2.9	v mf m/ t f p	f p	pa

Abreviaturas: Unidad de suelos: M, texturas medias; F⁻, texturas finas; F⁺, texturas muy finas; G, texturas arenosas; Gg, piedra y gravagruosa. Hor, Horizonte; Prof, profundidad; Text, textura; Est, estructura; Con, consistencia; Res, resistencia a la penetración; Li, límite. Textura: f, franco; l, limoso; ar, arcilla; a, arena; mf, muy fina; f, fina; m, media; g, gruesa; mg, muy gruesa. Estructura: bsa, bloques subangulares; ba, bloques angulares; gr, granular; p, prismas; l, laminar; md, muy débil; d, débil; mo, moderado; fu, fuerte. Poros: pl, plano; c, continuos; d, discontinuos; tt, todos tamaños; mf, muy fino; f, fino; me, mediano; g, grueso; mg, muy grueso.; mp, muy pocos; p, pocos; fr, frecuentes; mu, muchos; h, horizontales; v, verticales; ca, caóticos. Raíces: tg, todos los grosores; mf, muy fino; f, fino; me, mediano; g, grueso; mg, muy grueso.; mp, muy pocos; p, pocos; fr, frecuentes; mu, muchos. Consistencia: fr, friable; mof, moderadamente firme; f, firme; mf, muy firme; ef, extremadamente firme. Límite: p, plano; a, abrupto; c, claro; g, gradual; o, ondulado.

Anexo 2. Fotografía de calicatas de las áreas estudiadas, San Nicolás, Honduras.



Calicata con subsoleo (izquierda) y sin subsoleo(derecha, San Nicolás, Honduras.

Anexo 3. Fotografía de mini calicatas de las áreas estudiadas, San Nicolás, Honduras.



Mini calicata con subsoleo (izquierda) y sin subsoleo (derecha), San Nicolás, Honduras.

Anexo 4. Necesidades de encalamiento para cambiar la reacción del suelo (pH) ж

Cambio de pH deseado en la capa arable	Cal agrícola (ton/ ha)					
	Arena	Franco arenoso	Franco	Franco limoso	Franco arcilloso	Orgánico
4.0 - 6.5	2.9	5.6	7.8	9.4	11.2	21.3
4.5 - 6.5	2.5	4.7	6.5	7.8	9.4	18.1
5.0 - 6.5	2.0	3.8	5.1	6.3	7.4	14.1
5.5 - 6.5	1.3	2.9	3.8	4.5	5.2	9.6
6.0 - 6.5	0.7	1.6	2.0	2.5	2.7	4.9

ж Tomado de Gauggel, 2003