

**Desarrollo de un proceso para rehabilitar suelos
arcillosos dedicados al cultivo de arroz por inundación,
a la producción de plátano**

Marcial Rodolfo Valeriano Barrientos

ZAMORANO, HONDURAS
Diciembre, 2004

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

**Desarrollo de un proceso para rehabilitar suelos arcillosos
dedicados al cultivo de arroz por inundación, a la producción
de plátano**

Proyecto especial presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero Agrónomo en
el grado académico de licenciatura.

Presentado por:

Marcial Rodolfo Valeriano Barrientos

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.

Marcial Rodolfo Valeriano Barrientos

HONDURAS
Diciembre, 2004

Desarrollo de un proceso que permita rehabilitar los suelos arcillosos dedicados al cultivo de arroz por inundación, a la producción de plátano

Presentado por:

Marcial Rodolfo Valeriano Barrientos

Aprobada

Gloria Arévalo de Gauggel, M. Sc.
Asesor Principal.

Abelino Pitty, Ph. D.
Coordinador Area Temática.

Pablo E. Paz, Ph. D.
Asesor.

Jorge I. Restrepo, M. B. A.
Coordinador de Carrera Ciencia
y Producción Agropecuaria.

Carlos Gauggel, Ph. D.
Asesor.

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

Eduardo Gurdián, Ing. Arg.
Asesor.

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

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso.

A mis abuelos, Feliciano Valeriano (Q.D.D.G.), Ángela Pineda de Barrientos y Benjamín Barrientos, por todo el amor, apoyo y consejos que siempre me han brindado.

A mis padres, Ledy Barrientos de Valeriano y Marcial Valeriano, por su comprensión, apoyo, consejos y todo el amor que siempre me han brindado.

A mis hermanos Ledy, Carol, Marisol, Marcio y Marcelo.

A todos mis familiares.

A mis ahijados.

AGRADECIMIENTOS

A la familia Gauggel Arévalo, por todo el apoyo, consejos, conocimientos y amistad que me brindaron en la realización del estudio.

A la familia Martínez Bravo, por todo su apoyo, colaboración, consejos y amistad que me brindaron.

Al Ing. José María Miselem, por todo su apoyo y colaboración con materiales fundamentales para la realización del estudio.

A los Ingenieros: Diana Moran, Hilda Flores, Eduardo Gurdíán, Francisco Cueva, Luis De Jesús y Reynerio Barahona, por su amistad y apoyo en la realización del estudio

A los colegas tesistas del área de suelos por toda colaboración y apoyo, para la realización del estudio.

A todos mis amigos de las clases STIGMA '03 y GENOMA '04.

A mis colegas doctores integrantes de las clases GENOMA '04.

A mis amigos no zamoranos, por todo su apoyo, consejos, y amistad.

A todas las persona que de alguna u otra manera participaron en la realización de este estudio.

AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES

A la Secretaría de Agricultura y Ganadería por ayudar al financiamiento parcial de mis estudios en Zamorano.

RESUMEN

Valeriano Barrientos, M. R. 2004. Desarrollo de un proceso para rehabilitar suelos arcillosos dedicados al cultivo de arroz por inundación, a la producción de plátano 46 p.

La rehabilitación de los suelos es de interés debido a la gran degradación de los suelos agrícolas, por prácticas de manejo incorrectas. Este estudio se realizó con el fin de diseñar las prácticas y procesos necesarios para recuperar la capacidad potencial de los suelos arcillosos. Se realizó un estudio completo de suelos y se identificó el suelo arcilloso más difícil de rehabilitar. Se probaron tres dosis de materia orgánica como compost (50, 100 y 150 t/ha) y tres dosis de Ca(OH)_2 (6, 15 y 24 t/ha) como enmiendas para reestablecer la agregación de las partículas de suelo y regenerar agregados, y su incidencia en las propiedades físicas y morfológicas del suelo, con el fin de cultivarlo con plátano; comparadas con el testigo el cual no tuvo enmiendas. Se encontraron diferencias ($P < 0.1$) en la resistencia a la penetración y distribución del tamaño de los agregados del suelo, entre los tratamientos y el testigo, mas no entre tratamientos; lo cual indica que se pueden utilizar la dosis más baja de 50 t/ha de compost + 6 t/ha de Ca(OH)_2 . Se encontraron diferencias ($P < 0.1$) en la densidad aparente, el de menor densidad (0.84 g/cc) fue el de 50 t/ha de compost + 6 t/ha de Ca(OH)_2 . En conclusión, la principal limitante de este suelo es la compactación la cual debe ser corregida para adecuar el suelo a condiciones aptas para el establecimiento del cultivo de plátano. Las aplicaciones más bajas de compost + Ca(OH)_2 son suficientes para mejorar la estructura del suelo. Se recomienda realizar una mecanización completa para rehabilitar los suelos arcillosos y asegurar un drenaje adecuado. Se recomienda determinar el efecto de la materia orgánica y cal por separado, para cuantificar su acción independiente y compararla con los tratamientos de este estudio. Se recomienda realizar este estudio con recipientes rígidos con sus respectivos drenajes, los cuales ayuden a mantener la muestra sin moverlas hasta su evaluación.

Palabras clave: Agregados del suelo, degradación, densidad aparente, enmiendas físicas, materia orgánica, mejoradores del suelo, resistencia a la penetración.

Abelino Pitty Ph. D.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Contenido.....	viii
Indice de cuadros.....	x
Indice de figuras.....	xi
Indice de anexos.....	xii
INTRODUCCION.....	1
Mejoradores del suelo.....	3
MATERIALES Y METODOS.....	5
Etapa de campo.....	5
Descripción de la zona de estudio.....	5
Clima.....	5
Geomorfología.....	5
Caracterización de suelos.....	6
Materiales para la caracterización de suelos.....	6
Descripción morfológica y física.....	6
Distribución de suelos.....	6
Determinación de índices de calidad de suelo.....	7
Etapa de laboratorio.....	7
Caracterización química de los suelos.....	7
Selección de materiales para el experimento.....	8
Selección de suelo.....	8
Selección de la fuente de materia orgánica.....	8
Selección de la fuente de calcio.....	9
Tratamientos.....	10
Etapa de aplicación de tratamientos y simulación de campo.....	10
Acondicionamiento de la estructura.....	11
Determinación de la efectividad de enmiendas.....	11
Variables medidas.....	11
Forma, tamaño, y grado de los agregados.....	11
Distribución de los agregados según diámetro.....	12
Resistencia a la penetración.....	13
Densidad aparente.....	13
Unidad experimental.....	13
Análisis estadístico.....	13
Estimación de costos de adecuación para el área de estudio.....	13

RESULTADOS Y DISCUSION	14
Etapa de campo.....	14
Mapa de suelos	14
Propiedades morfológicas y físicas de los suelos estudiados.....	14
Indices de calidad de suelos	15
Etapa de laboratorio.....	16
Fuente de materia orgánica.....	16
Forma, tamaño, y grado de los agregados	17
Distribución de los agregados del suelo según su diámetro	18
Resistencia a la penetración.....	19
Densidad aparente	20
Recomendaciones de manejo en campo.....	21
Estimación de costos de adecuación para el área de estudio.....	24
CONCLUSIONES	25
RECOMENDACIONES	26
CITAS BIBLIOGRAFICAS	27
ANEXOS	28

Indice de Cuadros

Cuadro	Página
1. Resultado de análisis químicos completos y rutinarios de los suelos estudiados.....	8
2. Indice de calidad de suelo del área estudiada.....	15
3. Resultado de análisis químicos completos de las fuentes de materia orgánica.....	16
4. Capacidad de intercambio catiónico de las fuentes de materia orgánica y el suelo analizados para ser utilizados en el estudio.....	17
5. Distribución en porcentaje de los agregados del suelo según su diámetro.....	18
6. Resistencia a la penetración de los diferentes tratamientos después del tiempo de evaluación.....	19
7. Densidad aparente de los diferentes tratamientos después del tiempo de evaluación...	20
8. Esquema recomendado para la adecuación del área de estudio.....	21
9. Costos aproximados para la adecuación por hectárea en Zamorano.....	24

Indice de Figuas

Figura	Página
1. Diagrama de los pases de subsolador recomendados.....	22
2. Diagrama de cultivo en camas.....	24

Indice de Anexos

Anexo	Página
1. Mapa de las unidades de suelo de las extensiones de las vegas 2 y 3 en El Zamorano..	28
2. Cuadro descriptivo de las calicatas realizadas en las extensiones de las vegas 2 y 3	29
3. Requerimientos de cal agrícola según la textura del suelo.....	33
4. Distribución en porcentaje de los agregados del suelo según su diámetro	33

INTRODUCCION

La rehabilitación de los suelos es un tema de mucho interés a nivel mundial, ya que una gran parte de las zonas de producción agrícola del mundo han sido degradadas por incorrectas prácticas de manejo a las que han sido sometidas. Al ser los suelos agrícolas día a día más limitados es importante diseñar un proceso por medio del cual sean rehabilitadas a la capacidad potencial de estos suelos.

La vulnerabilidad del suelo: Los suelos son la base misma de nuestra existencia. A lo largo del pasado, el presente y el futuro previsible han sido, son y seguirán siendo la base de nuestra cadena de suministros de alimentos y un recurso vital de capital de cada nación. Todo el mundo debe estar consciente que la capa del suelo que sirve de soporte de la vida humana es muy fina y que la formación de suelo es un proceso lento. Una vez que se pierda la capa fina superior, por erosión, es muy difícil restablecerla. Daños invisibles a simple vista pueden afectar gravemente a la productividad. Los suelos son mucho más vulnerables de lo que se suele pensar. Sólo con un manejo apropiado se pueden considerar como recursos renovables.

En los trópicos húmedos, donde están situados muchos de los países en desarrollo y donde las explotaciones individuales son por lo común pequeñas, el peligro de erosión del suelo es elevado debido a las lluvias frecuentes e intensas. Cuando están sometidos a una explotación y a un cultivo inapropiados, los suelos de estas zonas pueden degradarse fuertemente y en poco tiempo. La necesidad de una conservación cuidadosa del suelo en estas zonas es fundamental (Sheg 1990).

Un buen ejemplo es la degradación de los suelos cultivados con arroz (*Oryza sativa*) por inundación ya que éste requiere destruir la estructura de los agregados del suelo mediante el proceso de fangueo; “este es un método de preparación de suelo que se realiza bajo agua, y que se caracteriza por producir una cama de siembra muy mullida con una pequeña capa impermeable en su parte inferior. La preparación de suelo por este método puede realizarse en su totalidad, o solo parcialmente en la parte final.” (Convenio INIA-AGMA 2004) Como consecuencia de esta práctica el suelo se masifica y permanece en condiciones de anegamiento por el mal drenaje del perfil de suelo. Algunas consecuencias de esta práctica son: no hay humificación de la Materia Orgánica (M.O.), mal drenaje, elementos como el hierro (Fe), por la falta de aireación o intercambio gaseoso, se reducen y se acumula en este estado en cuyo caso puede ser tóxico dependiendo de su concentración (Gauggel 2004)¹, como lo constató Arregui (1998) quien encontró que niveles de Fe mayores a 300 ppm en el suelo son tóxicos para el arroz y dificultad para

¹ Gauggel, C. Ph. D. E.A.P. Zamorano, Honduras. Comunicación personal (12/agosto/2004).

establecer un sistema de rotación de cultivos, sin embargo en muchos lugares, sobre todo en Asia se practican rotaciones, que alivian el proceso de degradación. El problema se da más en zonas donde se produce continuamente y el suelo permanece saturado. (Paz 2004)²

El arroz es el alimento básico para más de la mitad de la población mundial, aunque es el más importante del mundo si se considera la extensión de la superficie en que se cultiva y la cantidad de gente que depende de su cosecha. A escala mundial, el arroz ocupa el segundo lugar después del trigo si se considera la superficie cosechada, pero si se considera su importancia como cultivo alimenticio, el arroz proporciona más calorías por hectárea que cualquier otro cultivo de cereales (Agroinformación 2002).

El plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz. Además de ser considerado un producto básico y de exportación, constituye una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en vías de desarrollo. Los países latinoamericanos y del Caribe producen la mayor parte de los plátanos que entran en el comercio internacional, unos 10 millones de toneladas, del total mundial de 12 millones de toneladas (Agroinformación 2002).

Aproximadamente el 70% de los bananos y plátanos en América Latina y el Caribe se consumen localmente. Los plátanos (*Musa spp.* AAB) en particular, juegan un papel importante para la seguridad alimentaria. El consumo promedio anual per cápita de plátanos en Colombia por ejemplo es de 160kg. A través de la región, pequeñas empresas elaboran productos procesados del plátano, los cuales suministran una fuente adicional importante de empleo y de generación de ingresos: tajadas o chifles, 'tostones', plátano maduro para microondas, otros (Inibap 2002).

Una alternativa para el mejor aprovechamiento de los suelos agrícolas de América Latina es el cultivo de plátano, del cual se ha comprobado que tiene la suficiente demanda a escala mundial para su exportación y obteniendo una mayor rentabilidad en comparación a la exportación de arroz en América Latina. Los beneficios obtenidos por el suelo son: mayor actividad biológica, mayor incorporación de materia orgánica, fácil rotación de cultivos, un mayor intercambio gaseoso, mejor estructura entre los agregados del suelo permitiendo así un muy buen drenaje, implementar un mejor plan de conservación de suelos, entre otros. Algunas desventajas que pueden ser causadas por el cultivo del plátano son: proliferación de algunas especies de nematodos y enfermedades como la Sigatoka y por ende contaminación ambiental por la aplicación de fungicidas si el ataque es severo.

El plátano necesita suelos bien drenados, muy profundos (mínimo 120 cm), de texturas medias, bien estructurados, fértiles, de pH neutro a ligeramente ácidos, sin peligro de inundaciones y sin problemas de salinidad. (Inpofos 1995)

² Paz, P. Ph. D. E.A.P. Zamorano, Honduras. Comunicación personal (19/agosto/2004).

Mejoradores del suelo

Las condiciones que determinan las relaciones suelo-aire-agua son la textura y estructura del mismo. La textura es una condición estable no transmutable, mientras que la estructura es una característica que se puede modificar y usar para la rehabilitación de suelos. Estructura se refiere a la aglutinación de las partículas primarias en agregados estables que mejoran la condición de movimiento de agua y aire en el suelo. La estabilidad de los agregados depende entre otras de la capacidad del suelo de intercambiar cationes inorgánicos y del contenido de calcio (Ca^{++}) que establece puentes entre las cargas negativas del suelo, facilitando la formación de agregados. La rehabilitación del suelo puede lograrse mediante la aplicación de M.O. la cual tiene altos contenidos de cargas negativas y suficiente calcio que cumpla la función de agregación del suelo (Arevalo 2004)³.

Capacidad de Intercambio Catiónico:

“En los análisis de suelos es corriente que aparezca la capacidad de cambio de cationes, que variará con el contenido de M.O. y con el porcentaje y naturaleza de la arcilla. Los principales cationes de cambio retenidos son: el Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y el Na^+ ; también pueden estar otro cationes como NH_4^+ y ciertos oligoelementos pero en tan poca cantidad que es difícil determinarlo por medios analíticos.” (Guerrero 1996).

Función del calcio en el suelo.

“El calcio es un regulador de la estructura, de las características físicas del suelo. Las enmiendas con calcio, cuando se hacen en suelos arcillosos y pesados, aumentan la permeabilidad al agua y el movimiento de gases, disminuyendo la compactación del suelo. Formando el complejo arcillo-húmico el cual es más estable que la arcilla o el humus solos.

El calcio tiene también una acción importante en la actividad biológica de los suelos. Los microbios nitrificadores que transforman el nitrógeno amoniacal (NH_4^+) en nítrico (NO_3^-) no son activos con un pH del suelo inferior a 6. Los encalados en suelos de pH inferior activan la vida de los microbios nitrificadores y permiten la mineralización del nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal y, finalmente, en nítrico.” (Guerrero 1996).

Este estudio se enfocó en el desarrollo de un proceso que permita rehabilitar de los suelos arcillosos del sector oeste de la extensión de las vegas 2 y Vega 3 en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras en los cuales anteriormente se producía el cultivo del arroz por inundación; con el objetivo de producir a futuro plátano (Cv. Curare); por petición de la empresa universitaria de frutales en su afán de aumentar el área cultivada con plátano.

³ Arévalo de Gauggel, G. M. Sc. E. A. P. Zamorano. Comunicación personal.

Este estudio persiguió desarrollar como objetivo principal el desarrollar un procedimiento que permita la rehabilitación física y química de suelos arcillosos que han sido utilizados en la producción de arroz por inundación, para ser cultivados con plátano Cv. Curare en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano y como objetivos secundarios caracterizar las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos arcillosos de las extensiones de las vegas 2 y 3, de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, que han sido cultivadas con arroz por inundación, Luego identificar todas las características limitantes físicas, químicas y morfológicas de los suelos arcillosos de las extensiones de la zona de estudio resultantes de ser cultivadas con arroz por inundación, diseñar las prácticas y procesos necesarios para recuperar la capacidad potencial de los suelos arcillosos estudiados con las respectivas enmiendas para reestablecer las características físicas, químicas y morfológicas de estos para poder cultivarlos con plátano, determinar la efectividad de las enmiendas físicas y químicas recomendadas para mejorar las propiedades del suelo estudiado y finalmente determinar los costos de las enmiendas propuestas.

MATERIALES Y METODOS

El estudio consistió en tres etapas secuenciales 1) Etapa de campo, 2) Etapa de laboratorio y 3) Etapa de aplicación de tratamientos y simulación de campo.

Etapa de campo

Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio son tres y media hectáreas situadas en el sector oeste de la extensión de las vegas 2 y 3, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Valle del Yeguaré, Francisco Morazán, Honduras. Toda esta área está en barbecho desde 2002, colonizada por malezas como el pasto *Brachiaria humidicula* (kikuyo del Amazonas) principalmente y *Mimosa tenuiflora* (carbón) en un segundo plano.

Clima

La temperatura promedio anual es de 24°C, con una máxima promedio de 27°C y una mínima promedio de 22°C. Se registra a su vez una precipitación promedio anual de 900 mm distribuida en los meses de mayo a noviembre, siendo septiembre el mes de mayor precipitación; la época seca ocurre de noviembre a abril.

Geomorfología

El sitio de estudio se encuentra en la parte baja de la primera terraza aluvial del Río de Yeguaré, en la cubeta de decantación con 1% de pendiente general orientada al Noreste. Los suelos de este complejo geomorfológico presentan moderada variación textural, la cual oscila desde texturas medias a muy finas de organización pobre (estructura) y alta variabilidad vertical y horizontal.

Caracterización de suelos

Materiales para la caracterización de suelos

Para la etapa de campo se procedió a realizar un estudio ultra detallado de los suelos del área de estudio en el cual se ocuparon los siguientes materiales: Equipo de excavación de calicatas, equipo de caracterización de suelos, libreta Munsell, penetrómetro de bolsillo, tamices para separar los agregados al momento de evaluar los tratamientos, equipos de laboratorio en general, mapas topográficos, geológicos y de suelos disponibles para la zona, unidad GPS, brújula, y el programa ILWIS para la realización del mapa agrológico de la zona con todos los datos recabados de está (Anexo 4).

Descripción morfológica y física

Se determinó la distribución de los suelos de los suelos predominantes mediante barrenaciones realizadas en cuadrículas rígidas de 25 × 25m y 1.2 metro de profundidad, en las cuales se determinaron las siguientes propiedades: color (Libreta Munsell), textura (método de tacto), estructura, grosor del horizonte, consistencia y tipo de horizontes y así proseguir a la delimitación de unidades de suelo.

Con todos los datos obtenidos de las barrenaciones, se procedió a realizar un mapa textural de la zona de estudio. En este mapa se agruparon los suelos que estaban en condiciones similares para poder visualizar las diferentes unidades morfológicas de dicha zona (Anexo 1). En cada una de las unidades se procedió a realizar una calicata para el estudio del perfil mediante la metodología definida en el manual de descripción de perfiles de la FAO (1977).

Distribución de suelos

En la etapa de caracterización morfológica, física y química de los suelos afectados por el fangueo para la producción de arroz bajo inundación, se realizó un inventario de las propiedades del suelo siguiendo los procedimientos establecidos para mapeo de suelo a esta escala, es decir el método de cuadrícula realizando 16 barrenaciones por hectárea (25 × 25m). Se aplicaron los índices de calidad de suelos para hacer análisis de frecuencia y estadística descriptiva.

Determinación de índices de calidad de suelo

Se determinó el índice actual y potencial de calidad de suelos para la producción agrícola por el método desarrollado por Gauggel (2003) de las propiedades morfológicas, químicas y físicas, de la zona de estudio, detalladas mediante la metodología desarrollada por FAO (1977) descrita por Gauggel (2003).

Los índices de calidad de suelos permiten cuantificar las propiedades físicas, morfológicas y químicas del suelo. Para esto cada propiedad tiene un peso específico que se multiplica por un rango de valores establecido según se encuentre la propiedad. En este caso las propiedades que se tomaron en cuenta para determinar los índices fueron: textura, estructura, drenaje, profundidad efectiva, fragmentos gruesos, resistencia a la penetración y agua disponible. En el índice actual cada propiedad se multiplica por el valor actual de la propiedad. En el índice potencial de cada propiedad se multiplica por el valor al cual la propiedad tomada en cuenta puede aumentar a través de enmiendas realizadas al suelo. En el índice óptimo cada propiedad se multiplica por su valor máximo, este índice representa un suelo con un 100% de aptitud agrícola.

Etapas de laboratorio

Caracterización química de los suelos

En cada una de las calicatas realizadas se tomaron muestras de los horizontes Ap⁴ y Bw o Bg⁵, a las cuales se le realizaron análisis químicos completos (pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu) y rutinarios (pH, MO, N, P, K, Ca, Mg) respectivamente. También se realizó un análisis completo a los posibles materiales a utilizar como fuente para aplicación de materia orgánica.

El análisis químico de los suelos se hizo en el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana por los siguientes métodos:

- Reacción del suelo (pH), método 1:1 en agua.
- Materia Orgánica y nitrógeno total, método Walkley and Black.
- Calcio, magnesio, potasio, fósforo y micronutrientes fueron extraídos por la solución Melich 3 y determinados con absorción atómica (Perkin Elmer) excepto el fósforo el cual fue determinado por espectrofotometría.

⁴ Ap Primer horizonte de cada calicata.

⁵ Bw o Bg Segundo horizonte de cada calicata.

Selección de materiales para el experimento

Selección de suelo

En el cuadro 1 se muestran los resultados de los análisis químicos realizados en las seis calicatas. El suelo seleccionado fue el de la calicata 5 que presentaba un pH de 5.49, un porcentaje de M.O de 4.46 y un valor de 1650 ppm de Calcio siendo éste el que más se ajustó a los 4 criterios de selección.

Los criterios en los cuales se basó la selección de suelo fueron que éste tuviese el pH, la M.O y el Ca más bajo posibles (Cuadro 1). Esto con el fin de tener un mayor margen de aplicación de M.O y/o Cal para estabilizar la estructura. Cabe destacar que el suelo utilizado fue el que más se ajustaba a estos criterios. También se tuvo en cuenta la estructura de los suelos, buscando aquellos suelos que hubiesen perdido su estructura (masificados), ya que se deseaba comprobar si estos después de las enmiendas tienden a masificarse nuevamente.

Cuadro 1. Resultado de análisis químicos completos y rutinarios de los suelos estudiados.

Calicata No.	Profundidad cm	Textura	%			pH	%		ppm (extractable)							
			Arena	Limo	Arcilla		M.O	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
1	0-20					4.62	4.46	0.223	85	350	1,480	120	9.6	359	117	9.7
	20-40					6.15	1.96	0.098	3	488	2,260	260				
5	0-10	FAr	36	36	28	5.49	4.46	0.223	39	282	1,650	200				
	10-22					5.88	6.59	0.329	18	456	2,010	310				
3	0-10					6.58	2.75	0.137	79	504	1,990	180				
	10-25					8.51	2.06	0.103	25	428	1,460	170				
4	0-25					6	1.94	0.097	4	644	1,890	230	1.4	198	128	0.9
	25-40					5.89	1.04	0.052	2	410	1,960	200				
2	0-20	FAr	24	48	28	6.89	1.75	0.088	9	402	2,970	350	5.4	231	250	0.7
	20-33					7.17	2.34	0.117	7	450	3,160	360				
6	0-15	FAr	22	50	28	7.06	2.29	0.115	14	856	3,040	350	5.9	299	175	1.0
	15-25					7.43	2.53	0.126	13	706	3,130	360				

Espacios en blanco, los datos no fueron determinados

Selección de la fuente de materia orgánica

Se procedió al análisis de tres fuentes de materia orgánica (Bokashi, Compost y humus de lombriz) como posibles materiales de aplicación para las enmiendas del suelo. Con base en sus características (Anexo 1) se estimó su efectividad como el que aporta mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) por unidad de Materia Orgánica (UMO), calculado mediante la siguiente fórmula:

$$(\text{CIC por UMO}) = (\text{CIC de la fuente de MO} \div \% \text{MO}) \times 100$$

Siendo la CIC expresada en miliequivalentes en 100 gramos de la fuente de M O.

Para seleccionar la mejor fuente de materia orgánica se consideró su porcentaje de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico. Y con base en estos dos datos se cuantificó la mejor fuente según su potencial de intercambio catiónico por unidad de materia orgánica, siendo la mejor fuente el compost.

Para calcular la cantidad de M O por aplicar se tomó en cuenta el diferencial de M O (Δ M O) necesario para llevar el porcentaje de M O de 4.46 a 5.00% de M O en el suelo, valor que era de 0.54%, con base en esta Δ M O se calculó la cantidad de compost a aplicar

Según la fórmula: $(\text{CIC por UMO}) = (\text{CIC de la fuente de MO} \div \% \text{MO}) \times 100$ la cantidad de M O que se tiene que aplicar es de 7.3 kg de compost por cada 100 kg de suelo, luego por medio de una regla de tres tomando en cuenta que una hectárea de suelo a 15 cm de profundidad (profundidad de los recipientes a utilizar en el estudio) pesa 1500 t se calculó la dosis de compost por hectárea que fue igual a 109.57 t/ha.

Con base en esta dosis calculada se decidieron las siguientes dosis: baja, media y alta, de 50, 100 y 150 t/ha de compost respectivamente. Con las cuales se trató de comprobar la función de la M O en el suelo como estabilizante de la estructura.

Selección de la fuente de calcio

Se aplicó el calcio en forma de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ debido a que ésta fue la fuente de calcio disponible para el estudio. La función del calcio es acelerar la floculación de las partículas del suelo para formar el complejo arcillo-húmico y así obtener agregados estables.

En cuanto a la fuente de calcio, se tuvo en cuenta el contenido de este en el suelo a rehabilitar y la diferencia de pH (Δ pH) que se necesitaba subir en este suelo. La cantidad de calcio por aplicar se calculó tomando como base el Δ pH y los requerimientos de cal agrícola según la textura del suelo escogido a rehabilitar (RCAST) según Gauggel, 2004, teniendo en cuenta que ésta fue franca arcillosa. (Anexo 5).

La fórmula utilizada fue: Toneladas de $\text{CaCO}_3/\text{ha} = (\Delta \text{pH} \times \text{RCAST})$

Siendo el resultado 5.25 t/ha de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por aplicar. Con base en esta dosis calculada se definieron las dosis para el experimento a montar para la determinación de las enmiendas, y con éstas se trató de comprobar la función del calcio en el suelo como estabilizante de la estructura.

Las tres dosis fueron: baja, media y alta; con una cantidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en t/ha a aplicar de 6, 15 y 24 t/ha respectivamente.

Tratamientos

- T₁ – 50 t/ha de compost + 6 t/ha de Ca(OH)₂.
- T₂ – 100 t/ha de compost + 15 t/ha de Ca(OH)₂.
- T₃ – 150 t/ha de compost + 24 t/ha de Ca(OH)₂.
- T₄ – Sin enmiendas.

Etapas de aplicación de tratamientos y simulación de campo

La simulación de las enmiendas en los tres niveles antes propuestos fue:

Primero se extrajo del campo aproximadamente 0.5 m³ de suelo a rehabilitar, luego se secó en el invernadero. Después se rompieron las masas de suelo seco simulando el subsolador y se procedió a llenar con 3.73 kg de este suelo cada uno de las 24 bolsas plásticas de 47.5cm de largo × 18 cm de ancho y 31 cm de profundidad (26672.4 cm³). Luego se aplicaron aleatoriamente las enmiendas de materia orgánica en forma de compost y de Ca(OH)₂, de la siguiente manera:

- T₁ – suelo + 777.6 g de compost + 93.31 g de Ca(OH)₂ por bolsa.
- T₂ – suelo + 1555.2 g de compost + 233.28 g de Ca(OH)₂ por bolsa.
- T₃ – suelo + 2332.8 g de compost + 373.25 g de Ca(OH)₂ por bolsa.
- T₄ – solamente suelo (3.73 kg) sin enmiendas.

En el invernadero, las bolsas se mantuvieron a capacidad de campo (CC) durante siete semanas para darle tiempo al suelo de reaccionar con los materiales mejoradores del suelo aplicados y que los microorganismos del suelo actuaran en la formación del complejo arcillo-húmico.

A las siete semanas se simuló la inundación de los suelos y representando condiciones de campo de donde provenía el suelo. El objetivo de inundar es comprobar si el suelo se vuelve a masificar o éste permanece estable por la presencia de complejos arcillo-húmicos.

Al finalizar estas siete semanas de espera para dejar actuar los microorganismos del suelo, se anegó sin disturbarlo por 16 horas, después se dejó secar en condiciones ambientales, este proceso se realizó dos veces, dejando secar el suelo al aire libre, evitando la precipitación. En la primera se tardó 18 días (29/8/2004 – 15/9/2004) en secar y en la segunda se tardó 25 días (16/9/2004 – 10/10/2004) para luego evaluar la estabilidad de los agregados del suelo.

La toma de los datos de las variables a medir se realizó entre los días 14/10/2004 y 17/10/2004.

Acondicionamiento de la estructura

La estructura del suelo procedente de un área dedicada al cultivo de arroz (inundación) ha sido completamente deteriorada, por lo cual se debe reacondicionar mediante mecanización apropiada. En el caso de este estudio se seleccionó uno de los suelos más representativos de la condición de degradación, del cual se extrajeron muestras de los primeros 30 cm de profundidad a las cuales se les reacondicionó su estructura mediante la simulación por rompimiento de la capa compactada. Para simular este proceso se dejaron secar las muestras y luego se utilizó un martillo para golpear los bloques de suelo que estaban dentro de un saco de polipropileno; luego para simular la acción de las rastras en incorporar las enmiendas de M O y cal al suelo, se utilizó una pala de jardinero.

Determinación de la efectividad de enmiendas

Se diseñó un programa de aplicación de enmiendas consistente en tres dosis de M.O. y cal para evaluar su efectividad en estabilizar la estructura generada. Con base en los datos morfológicos, físicos y químicos de los suelos caracterizados se diseñaron enmiendas físicas y químicas para estabilizar la estructura generada por el acondicionamiento físico (mecanización). Los niveles de materia orgánica y cal por aplicarse se determinaron con base en los análisis físicos y químicos obtenidos previamente.

Este suelo se extrajo para poder realizar la etapa de pruebas en campo con él, dichas pruebas consistieron en tres diferentes dosis de M O y Ca(OH)_2 (alta, media y baja) para su rehabilitación. Luego de extraer el suelo se dejó secar para poder manipularlo y simular la mecanización sin compactarlo más. Dicha mecanización se simuló mediante la ruptura de los agregados, metiendo éstos en un saco de polipropileno y golpeándolos con un martillo para así poder disminuir el tamaño de los agregados y bloques del suelo.

Una vez que se obtuvieron agregados más pequeños se procedió a mezclar los tratamientos con este suelo en bolsas plásticas las cuales se instalaron en un invernadero durante siete semanas para su evaluación y así terminar de simular la mecanización recomendada a la zona estudiada.

Variables medidas

Forma, tamaño, y grado de los agregados

La forma y grado de los agregados fue cuantificada con la ayuda de la metodología definida en el manual de descripción de perfiles de la FAO (1977). Para el tamaño de los agregados se realizó una separación de los diferentes tamaños de mediante el uso de cuatro tamices diferentes con los cuales se obtuvieron cinco rangos de tamaño diferentes,

éste proceso se describe en la cuantificación del porcentaje del peso del suelo ocupado por los agregados.

Distribución de los agregados según diámetro

Para cuantificar el porcentaje del suelo ocupado por los agregados se separaron según su diámetro, utilizando cuatro tamices (190 mm, 4 mm (5 mesh), 2 mm (10 mesh), y 0.841 mm (20 mesh)), obteniendo cinco rangos de tamaño. Dichos rangos fueron: 1) agregados >190 mm, 2) agregados <190 mm y >4 mm, 3) agregados <4 mm y >2 mm, 4) agregados <2 mm y >0.841 mm y 5) agregados <0.841 mm.

Para diferenciar entre los agregados y arenas <2mm de diámetro se procedió a separarlos como se explica a continuación:

Método para separar los agregados de las arenas de dicha muestra.

1. Extraer 50 g de cada muestra y agregar 100 ml de una solución dispersante (NaOH 0.1N), agitar la mezcla y dejar en reposo de 15 a 20 horas.
2. Dispersar los agregados mediante acción mecánica con una licuadora, por un tiempo de dos minutos.
3. Una vez licuada la muestra se deposita en una probeta de 1000 ml, y se afora hasta los 1000 ml con agua destilada.
4. Tapar el pico de la probeta (con un film de parafina).
5. Agitar la probeta hasta que las partículas estén en suspensión.
6. Colocar la probeta sobre una superficie plana y dejar precipitar las partículas por 40 segundos (tiempo que tardan en precipitar las partículas de arena según el Método de Bouyoucus para medir textura), luego decantar.
7. Depositar el sedimento de la probeta sobre un tamiz de 0.417 mm (40 mesh) y lavarlo hasta que solamente queden arenas. Este principio se basa en que las arenas (2-0.5 mm) son partículas más grandes que las del limo y la arcilla (>0.5 mm).
8. Una vez que se separa la arena de los agregados, se procede a colocarla en crisoles y secarla en una mufla con una temperatura de 93°C (200°F), durante 17 horas.
9. Esta arena obtenida se tamiza (20 mesh) para separarla según su tamaño en: 1) arena 2 mm – 0.841 mm y 2) arena <0.841 mm.
10. Con estos pesos de las arenas, según su tamaño, se procedió a restárselos a los pesos de las muestras tamizadas >0.841 mm y <0.841 mm. Obteniendo el valor real de estos agregados.

Este proceso es similar al Método de Bouyoucus para medir textura hasta el paso 5. El paso 6 tiene como referencia el tiempo de precipitación de las arenas, descrito por Bouyucus.

Con estos resultados se expresó en porcentaje de agregados de cada uno de los tamaños de los mismos y así compararlos unos con otros.

Resistencia a la penetración

Para la resistencia a la penetración se hicieron cinco mediciones por muestra con el penetrómetro de bolsillo, las cuales fueron en forma vertical sobre la superficie de la muestra. Con estos datos se obtuvo un promedio por muestra.

Densidad aparente

Ésta fue medida basándose en el método de desplazamiento de volumen de agua, desarrollado por Arquímedes.

Cada muestra se sumergió en un volumen conocido de agua y por desplazamiento se determinó el volumen ocupado por ésta. También a cada tratamiento se le determinó el porcentaje de humedad y el peso; cabe mencionar que para este cálculo el suelo debe estar totalmente seco (105°C / 24 horas).

$$\text{Densidad Aparente} = (\text{peso suelo seco} \div \text{volumen desplazado}) \text{ g/cc}$$

Unidad experimental

Bolsas plástico con dimensiones de 47.5 de largo × 18 cm de ancho y 31 cm de profundidad (26672.4 cm³) que contenían los tratamientos mencionados, los cuales se instalaron en un invernadero para su evaluación.

Análisis estadístico

Los tratamientos se aplicaron en un Diseño Completamente al Azar con seis repeticiones. Se hizo un ANDEVA y se determinaron las diferencias entre tratamientos con una separación de medias por medio de la prueba SNK con un 10% de significancia.

Estimación de costos de adecuación para el área de estudio

Se estimaron los costos de adecuación para el área de estudio con base en la disponibilidad de maquinaria agrícola y materiales estabilizantes de la estructura (fuentes de materia orgánica y de calcio) necesarios para la rehabilitación de los suelos en El Zamorano. Estos datos se obtuvieron en la unidad de maquinaria agrícola, Empresa Universitaria de Olericultura y oficina de suministros de El Zamorano.

RESULTADOS Y DISCUSION

Etapas de campo

Mapa de suelos

Se elaboró un mapa de suelos del área (Anexo 1) donde se identificaron seis unidades de suelos donde predominan las texturas franco arcillosas finas y muy finas en los primeros 60 cm de profundidad (80% del área), las cuales se encuentran sobre texturas medias o finas. En el sector central del lote se encuentran dos franjas de suelos de texturas superficiales finas a medias sobre texturas medias a gruesas a más de 60 cm de profundidad (20% del área)

En el mapa se muestran las calicatas de donde se describen las características de cada una de las unidades de suelo (Anexo 2).

Propiedades morfológicas y físicas de los suelos estudiados

Presentan una profundidad efectiva reducida, que varía entre los 10 a los 20 cm, limitada por horizontes compactados degradados, debido a la mecanización para arroz de inundación. Esta degradación del suelo se expresa en horizontes masivos, extremadamente firmes; con poros no conectados que ocurren entre los 10 hasta 100 cm de profundidad (estos horizontes constituyen pies de arado Ad; y otros horizontes masivos Bg y C) y horizontes masivos, muy firmes con poros vesiculares que ocurren de los 15 a los 100 cm (horizontes Ad). Estos tipos de horizontes poseen alta resistencia a la penetración de raíces con valores usualmente mayores a los 4.5 kg/cm² y una baja conductividad hidráulica, lo cual ocasiona problemas de anegamiento de agua en la superficie y de drenaje interno del suelo. La condición actual dura afecta los rendimientos y los inhabilita para uso agrícola diferente al arroz, por esto es de gran importancia mecanizar para poder rehabilitar el área de estudio y estabilizar la estructura una vez que se forme.

El área en estudio cuenta con un nivel freático en promedio a los 50 cm. de profundidad, por lo cual se debe drenar esta zona. En esta área se debe diseñar un sistema de drenaje para mejorar las condiciones actuales.

Indices de calidad de suelos

La comparación entre el índice actual y el óptimo nos permite saber que tan distante está el suelo estudiado de ser un suelo óptimo. La comparación entre el índice actual y el potencial indica cuanto se pueden mejorar las propiedades de un suelo mediante enmiendas físicas o químicas.

Los suelos estudiados tienen un índice de calidad actual de 9.8 lo que representa un 26% de la calidad con respecto a un suelo en óptimas condiciones. Las limitantes principales las constituyen la textura fina (rica en arcilla), estructura degradada, mal drenaje, profundidad efectiva limitada, alta resistencia a la penetración y baja conductividad hidráulica. El índice de calidad potencial es de 19.6 y representa un 52% de calidad que puede llegar respecto a un suelo de óptimas condiciones.

Las características que se pueden mejorar mediante adecuación son: estructura, drenaje, profundidad efectiva, resistencia a la penetración y conductividad hidráulica (Cuadro 2).

Cuadro 2. Índice de calidad de suelo del área estudiada.

Criterio	Valor Actual	Valor potencial	Valor óptimo
Textura	1.2	1.2	6.0
Estructura	1.8	2.8	3.5
Drenaje	0.7	2.1	3.5
Profundidad efectiva	0.4	1.6	4.0
Fragmentos gruesos	2.7	2.7	4.5
Resistencia a la penetración	0.4	2.8	3.5
Conductividad hidráulica	0.4	2.1	3.5
Erosión	0.8	2.8	4.0
Agua disponible	1.5	1.5	5.0
Total	9.8	19.6	37.5
Porcentaje del óptimo	26%	52%	100%

Suelo óptimo para el uso agrícola tomando en cuenta los mismos criterios es de 37.5.

Etapa de laboratorio

Fuente de materia orgánica

La fuente de M O seleccionada fue el compost por ser el de mayor contenido de carga intercambiable por unidad de materia orgánica de las tres muestras analizadas. El compost presentaba solamente 7.44% de M O, en comparación a las otras fuentes de M O analizadas humus de lombriz y bokashi producidos en la E.A.P., los cuales presentaron un 24.34% y 19.23% de M O, sin embargo, el criterio de selección fue aplicar la fuente de M O que aportara el mayor valor de CIC (Cuadro 3).

En el cuadro 3 se presentan los resultados del análisis químico realizado a las fuentes de materia orgánica disponibles en la Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.

Cuadro 3. Resultado de análisis químicos completos de las fuentes de materia orgánica.

Fuentes de M O	Compost zona 1 E.A.P.		Humus de lombriz E.A.P.		Bokashi E.A.P	
	Ext.	Sol.	Ext.	Sol.	Ext.	Sol.
C.I.C. meq/100g	14.00		32.50		28.50	
MO %	7.44		24.34		19.23	
N total %	0.37		1.22		0.96	
C.E. mmhos/cm		29.58		16.32		8.57
ppm						
N-NO₃⁻		1,481.86		572.12		52.30
P	2,093	4	4,580	30	3,802	53
K	6,700	2,220	8,150	1,375	6,050	1,721
Ca	11,450	341	14,250	103	14,900	150
Mg	1,700	236	2,800	85	2,650	117
Cu	19	0	5	0	4	1
Fe	2,650	0	1,900	0	1,650	8
Mn	2,200	1	1,400	1	2,125	4
Zn	48	0	93	0	100	1

C.I.C. Capacidad de intercambio catiónico
 C.E. Conductividad eléctrica
 meq/100g miliequivalentes en 100g de suelo
 mmhos/cm. Milimhos por cm.
 Ext. Extractables en Melich3

Sol. Solubles en pasta saturada
 N-NO₃⁻ Nitrógeno como NO₃⁻
 M O Materia orgánica
 E. A. P. Escuela Agrícola Panamericana

En el cuadro 4 se presenta la relación de intercambio catiónico por unidad de materia orgánica de cada una de las fuentes estudiadas.

Cuadro 4. Capacidad de intercambio catiónico de las fuentes de materia orgánica y el suelo analizados para ser utilizados en el estudio.

Material	CIC meq / 100 g de materia orgánica
Compost	188.3
Humus de lombriz	133.5
Bokashi	148.2
Suelo	35.2

C.I.C. meq / 100gr. Capacidad de intercambio catiónico, en miliequivalentes por 100 gramos de suelo.

Aumentar 1% de materia orgánica en el suelo a 20 cm de profundidad significa adicionar 20t de está, por lo cual las dosis establecidas en el estudio aumentan en gran medida el porcentaje de M O en el suelo. Al haber mayor cantidad de M O en el suelo hay mayor actividad biológica lo cual no conlleva a un suelo más friable y con menor resistencia a la penetración.

Según Gauggel, 2003 las dosis de M O entre 60 y 120 t/ha evitan el deterioro estructural y la masificación. Para los suelos arcillosos se recomienda entre 80 a 140 t/ha para mejorar la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico, por lo cual se considero que las dosis propuestas estuvieron dentro de los rangos normales de aplicación.

Forma, tamaño, y grado de los agregados

Los agregados de los tres tratamientos con M O + Cal fueron granulares (g), bloques angulares (ba) y bloques subangulares (bsa) de grado moderado (m) y fuerte (f) con los siguientes rangos de tamaños según diámetro:

>190 mm, 18.2%, ba, f	<2 mm y >0.841 mm, 6.6% g, m
<190 mm y >4 mm 40%, ba y bsa, f y m	<0.841 mm, 7.4% g, m
<4 mm y >2 mm, 12.3%, ba y bsa, f y m	Los No Agregados 15.5%

El testigo también presento una estructura granular (g), de grado débil (d) en los agregados finos y bloques angulares (ba) o bloques subangulares (bsa) moderados (m) a fuertes (f) en los otros tamaños. Este suelo tiene tendencia a masificarse y con los siguientes rangos de tamaños según diámetro:

>190 mm, 81%, ba, f	<2 mm y >0.841 mm, 1.5%, g, d
<190 mm y >4 mm, 7%, ba y bsa, f y m	<0.841 mm, 1.6%, g, d
<4 mm >2 mm, 6%, ba y bsa, f y m	Los No Agregados 3.5%

Distribución de los agregados del suelo según su diámetro

En el cuadro 5 se observa la distribución por tamaño de los agregados se muestra en el porcentaje del peso de cada uno de los tamaños según el peso total y se graficaron en el anexo 4.

Cuadro 5. Distribución en porcentaje de los agregados del suelo según su diámetro.

Tratamiento t/ha	> 190 mm	< 190 mm y > 4 mm	< 4 mm y > 2 mm	< 2 mm y > 0.8 mm	< 0.8 mm	No Agregados
50 MO + 6 Cal	19.9 a ^δ	38.5 a	13.5	6.7 a	7.1 a	14.2 A
100 MO + 15 Cal	11.8 a	44.3 a	12.6	6.2 a	8.1 a	16.9 A
150 MO + 24 Cal	22.9 a	37.1 a	10.8	6.8 a	6.9 a	15.3 A
Testigo	80.5 b	6.9 b	5.9	1.5 b	1.6 b	3.5 B

^δ Los valores en la misma columna seguidos por diferente letra son estadísticamente diferentes (P<0.1).

MO Fuente de materia orgánica (compost 7.44% M O) en toneladas/hectárea.

Cal. Ca(OH)₂ en toneladas/hectárea.

En la formación de agregados en cada uno de los tamaños y entre los tratamientos no se encontró diferencia estadística, sin embargo existe diferencia al compáralos con el testigo.

Los agregados de diámetros < 190 mm y > 4 mm están en mayores cantidades y permanecen estables en los tratamientos con enmiendas vs. el testigo por lo tanto estos tratamientos son más eficientes que el testigo en la formación de agregados en un rango < 190 mm y > 4 mm de diámetro.

El testigo mantiene más agregados >190 mm de diámetro lo cual demuestra que éstos suelos sin las enmiendas recomendadas tienden a masificarse nuevamente.

Los agregados de diámetros < 4 mm y > 2 mm son similares estadísticamente, esto denota que dichos agregados son los que en su mayoría ya estaban formados en el suelo antes de aplicar las enmiendas.

Resistencia a la penetración

Los valores obtenidos de resistencia a la penetración en cada uno de los tratamientos y el testigo se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Resistencia a la penetración de los diferentes tratamientos después del tiempo de evaluación.

Tratamiento t/ha	Resistencia a la Penetración
	kg / cm ²
50 MO + 6 Cal	0.98 a ^δ
100 MO + 15 Cal	0.80 a
150 MO + 24 Cal	1.47 a
Testigo	3.45 b

^δ Los valores en la misma columna seguidos por diferente letra son estadísticamente diferentes (P<0.1).

MO. Fuente de materia orgánica (compost 7.44% M O) en toneladas/hectárea.

Cal. Ca(OH)₂ en toneladas/hectárea.

En la resistencia a la penetración de cada uno de los tratamientos con M O + Cal no se encontró diferencia estadística, sin embargo existe diferencia al compáralos con el testigo.

Esta diferencia entre tratamientos y testigo se debe a la tendencia de este suelo en masificarse la cual se reduce con la aplicación de M O + Cal independientemente de las dosis evaluadas dan una mayor estabilidad entre agregados, evitan el deterioro estructural, la masificación y reduce la resistencia a la penetración.

Para la mayoría de los cultivos resistencias a la penetración mayores de 1.7 kg/cm² son limitantes para el crecimiento radicular, aunque cultivos muy agresivos en su crecimiento radicular como el maíz pueden tolerar hasta un 2.5 kg/cm² (Gauggel 2003).

Densidad aparente

Los valores obtenidos en la densidad aparente de c/u de los tratamientos y el testigo se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 7. Densidad aparente de los diferentes tratamientos después del tiempo de evaluación.

Tratamiento t/ha	Densidad Aparente g / cc
50 MO + 6 Cal	0.84 a ^δ
100 MO + 15 Cal	0.90 ab
150 MO + 24 Cal	0.96 bc
Testigo	0.99 c

^δ Los valores en la misma columna seguidos por diferente letra son estadísticamente diferentes (P<0.1).

MO. Fuente de materia orgánica (compost 7.44% M O) en toneladas/hectárea.

Cal. Ca(OH)₂ en toneladas/hectárea.

Hubo diferencia estadística, la densidad aparente según aumentaba la dosis de compost + Ca(OH)₂ así aumentaba la densidad. Lo cual no indica que las dosis ≤ 50 t/ha de compost + 6 Ca(OH)₂ trabajan mejor que las dosis mayores a ésta. Valores de densidad aparente mayores indican menor porosidad del suelo.

Estos resultados dejan ver que la adición de M O + Cal mejoran la agregación de los suelos compactados generando agregados pequeños (< 190 mm y > 0.841 mm) y estables con dosis relativamente bajas.

Esto lo constata Gauggel 2003, quien menciona que la materia orgánica humificada mejora la capacidad de intercambio catiónico de los suelos, lo cual a su vez mejora el intercambio de nutrientes, la porosidad al reaccionar con el calcio formando complejos arcillo-húmicos, y por lo tanto el intercambio gaseoso, produciéndose un mejor drenaje de estos suelos compactados y pesados.

Recomendaciones de manejo en campo

Con base en los resultados se propone el esquema de manejo de los suelos para el área estudiada.

Cuadro 8. Esquema recomendado para la adecuación del área de estudio.

Acción en la simulación	Acción en el campo	Objetivo
Secar el suelo	Drenar	Bajar humedad Reacondicionar estructura
Romperlo Mezclar materiales (premezcla M O+ Ca(OH) ₂)	Subsolar Mezclar acondicionadores (premezcla M O+ Ca(OH) ₂) Dispersar acondicionadores (estercoladora)	Uniformizar la aplicación Uniformizar la aplicación
Aplicar tratamientos Incorporación Bolsas plásticas con agujeros	Incorporación (2 rastra pesada + pulidora) Acamado	Mezclar bien acondicionadores O ₂ para favorecer microorganismos Humedad para favorecer microorganismos
Mantener muestras a CC	Regar y mantener a CC	Tiempo de reacción de acondicionadores
Esperar 2 meses	Esperar 2 meses	

CC Capacidad de campo

M O Materia orgánica.

Con base en este cuadro se proponen las prácticas a realizar para la rehabilitación de este suelo se deben realizar en el siguiente orden:

Drenar

Para la rehabilitación del área de estudio es necesario diseñar un sistema de drenajes, que permita bajar el nivel freático el cual se encontró a 50 cm de profundidad en promedio a por lo menos 120 cm en el lote, dichos drenes deben tener pendientes $\leq 0.05\%$ para prever la erosión de éstos.

Para éste sistema se recomienda realizar un drenaje periférico en la parte alta del lote el cual deberá interceptar los flujos de aguas subterráneas que vienen a nacer a la zona de estudio. Dicho drenaje debe ser de por lo menos 2 m de profundidad con taludes 1:1.5, con 0.60 metros de ancho de fondo, para poder drenar la zona de estudio a una profundidad promedio de 1.2 m (Cabanilla et al. 2004).

Subsolar

Una vez construido el sistema de drenajes y seco el suelo es necesario realizar un subsoleo a un metro de profundidad, con un subsolador de dos puntas, distanciadas 130 cm una de la otra, esto para destruir las capas compactadas. Para obtener un buen resultado en dicha práctica se recomendó tres pases de subsolador, los cuales pueden ser distribuidos así: Opción 1: el primer pase se debe realizar en paralelo a la pendiente del lote a subsolar, el segundo debe hacerse a 135° con respecto a la perpendicular de la pendiente y el tercero a 45° . Opción 2: los primeros dos pases se deben realizar en paralelo a la pendiente del lote a subsolar y procurando intercalarlos para que la distancia final entre “huella” y “huella” se de 75 cm aproximadamente y el tercer pase se realizará a un ángulo de 45° .

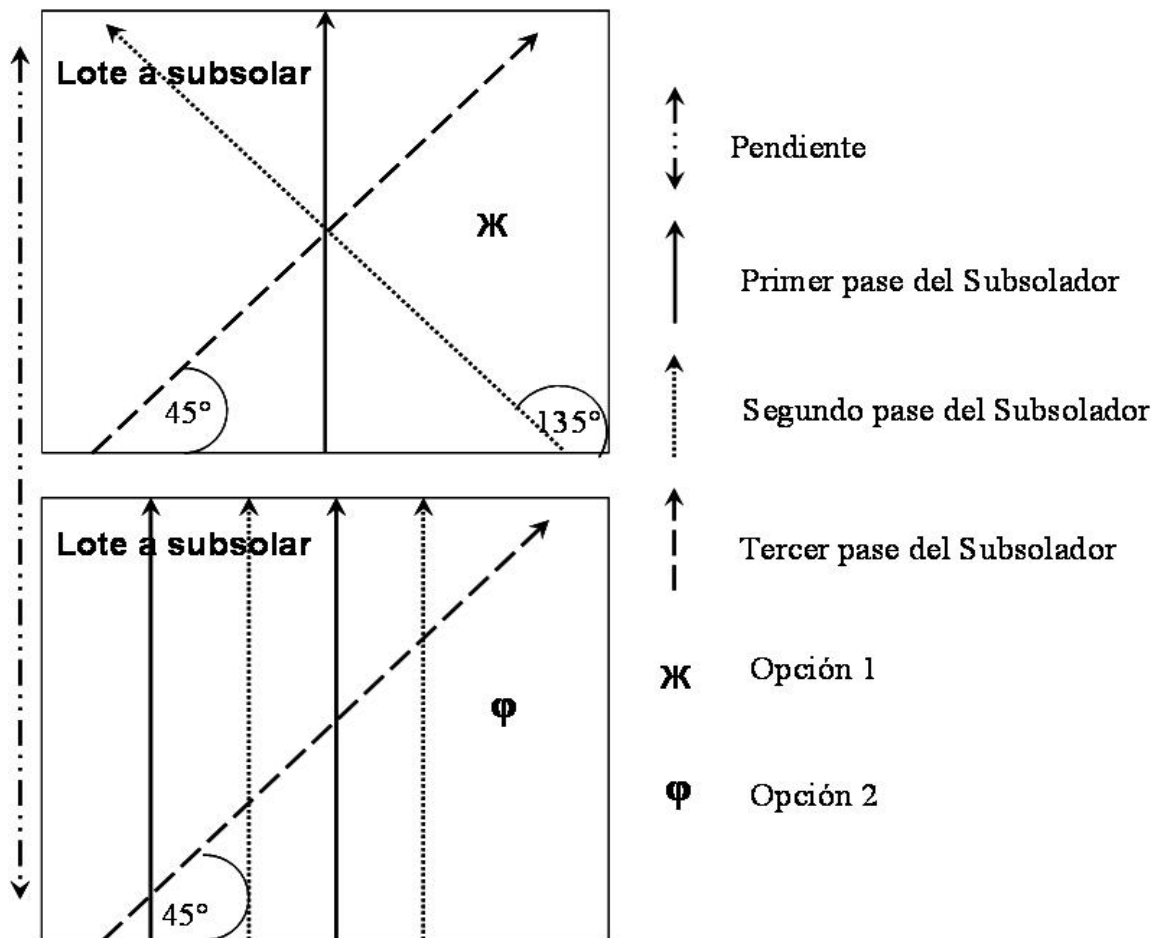


Figura 1. Diagrama de los pases de subsolador recomendados.

Para la opción 2 se recomienda utilizar un subsolador cuyas puntas estén distanciadas 130 cm una de la otra, mientras que para la opción 1 se pueden utilizar puntas distanciadas 130 cm o 75 cm una de la otra, obteniendo con la segunda una mayor ruptura de las capas compactadas. Previo a esta práctica se debe esperar a que el suelo este en un estado de humedad \leq al Punto de Marchitez Permanente (PMP), para obtener mayor eficiencia en la destrucción de las capas compactadas.

Aplicación de mejoradores de la estructura del suelo

En ésta etapa de la mecanización ya se han destruido las barreras físicas formadas por la compactación y/o masificación del suelo quedando listo para que se le aplique la materia orgánica y calcio. Se recomienda hacer la aplicación de éstos materiales dispersándolos uniformemente en el terreno con una estercoladora con las dosis obtenidas en el tratamiento uno T1 (50 t de compost y 6 t de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por ha) premezcladas, luego incorporarlos al suelo con un pase de rastra pesada (discos 42 pulgadas) de manera que estos materiales se mezclen con el suelo.

Rastra pesada

Una vez aplicados los tratamientos se recomienda hacer uno o dos pases con rastra pesada cuyos discos sean 42 pulgadas (106.8 cm), para romper los terrones y bloques de suelo resultantes de la subsolada, y mezclar los tratamientos aplicados.

Rastra liviana

Después de el o los pases con rastra pesada se recomienda realizar un pase con rastra liviana para mullir bien el suelo y permitir que el suelo pueda interactuar con los tratamientos de materia orgánica (en forma de compost) y calcio (en forma de $\text{Ca}(\text{OH})_2$) y así formar más complejos arcillo-húmicos, que le den mayor estabilidad a los agregados del suelo.

Levantamiento de camas

Para la preparación del terreno deben hacerse camas a lo largo del terreno para favorecer el intercambio gaseoso del suelo ya que las musáceas son plantas que necesitan una buena aireación de sus raíces para obtener buenos rendimientos. Dichas camas deben de ir orientadas paralelamente con la pendiente favoreciendo de está forma el drenaje del suelo de la zona, ya que ira un drenaje entre cada dos camas. (Figura 2.) Se recomienda un diseño de la plantación de doble hilera a tres bolillos por cama.

Bed Dimensions and Design

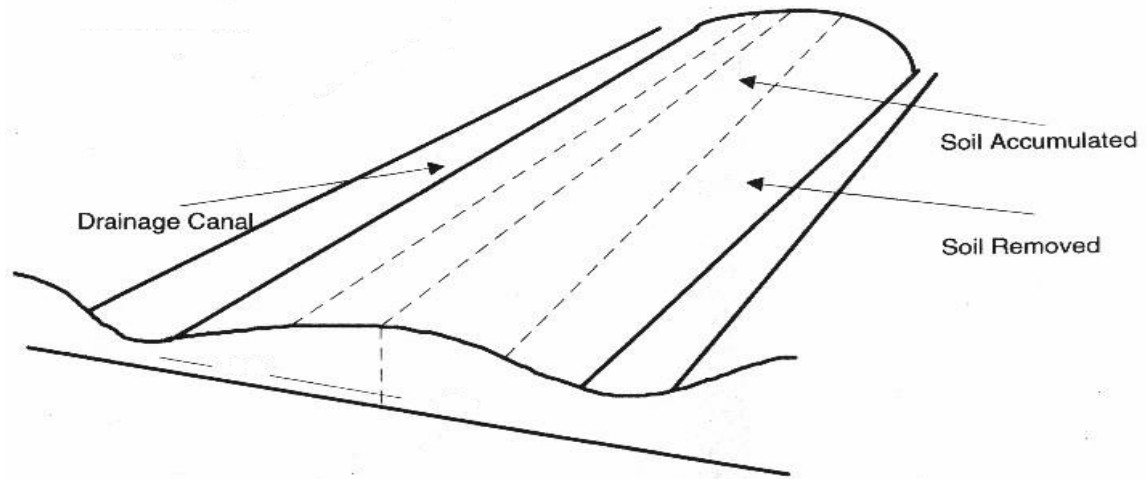


Figura 2. Diseño de cultivo en camas. Tomado de Gauggel 2003

Estimación de costos de adecuación para el área de estudio

Se estimó el costo aproximado para zamorano de la adecuación del suelo para plátano en \$/ha (L. 18.5/\$)

Cuadro 9. Costos aproximados para la adecuación por hectárea en Zamorano.

Práctica	Horas/ha	Pases	Tractor/ hora	Implemento/ hora	Costo/ha
Subsuelo	1.5	3	\$17	\$4	\$93
Estercolera	2	1	\$12	\$2	\$29
Rastra pesada	1.8	2	\$18	\$2	\$75
Pulidora	2	1	\$12	\$2	\$29
Acamado	2.5	1	\$12	\$2	\$35
Material	Costo por t	Cantidad	Descuento		Costo/ha
Compost	\$119	50	30%		\$4,171
Ca(OH) ₂	\$72	6	15%		\$367
Total					\$4,799

Datos proporcionados por la unidad de maquinaria agrícola de Zamorano, oficina de suministros y empresa universitaria de Olericultura.

CONCLUSIONES

El procedimiento que permite rehabilitar las propiedades físicas de los suelos arcillosos de las vegas 2 y 3 de El Zamorano, consiste en secar el suelo, romper los horizontes masificados, aplicación de 50 t/ha de compost + 6t/ha Cal hidratada, incorporarlos totalmente y dejarlos actuar por lo menos siete semanas manteniendo húmedo el suelo para mejorar la estructura.

Los suelos estudiados presentan problemas severos de compactación muy cerca de la superficie (10-20 cm), dicha compactación reduce drásticamente la tasa de infiltración y percolación del agua a través del perfil de suelo, limita el intercambio gaseoso del suelo y severamente el desarrollo radicular de los cultivos. Los horizontes arcillosos compactados tienen tendencia a compactarse nuevamente.

La principal limitante de estos suelos es la compactación de la mayor parte del perfil, donde se encontró pie de arado desde los 10cm hasta 100cm, estas capas compactadas limitan el desarrollo de cualquier cultivo.

La caracterización detallada de suelos indica que su índice de calidad actual (10) los suelos presentan grandes limitaciones para el desarrollo de cualquier cultivo debido a la pérdida de la estructura (masificación), texturas arcillosas, mal drenaje, alta resistencia a la penetración, y baja porosidad; sin embargo, implementando las enmiendas indicadas su índice de calidad potencial puede llegar a (20), lo que indica que los suelos pueden ser mejorados significativamente, sin llegar a la condición de un suelo ideal que tiene un valor de 37.5.

En el suelo estudiado al realizar las enmiendas, hubo mejora significativa en la resistencia a la penetración, densidad aparente y de la distribución del tamaño de los agregados.

La mejora de la estructura del suelo resultó con aplicaciones de 50 t de compost / ha y 6 t de $\text{Ca}(\text{OH})_2$; con aplicaciones mayores a ésta, no hay diferencia en la distribución de los tamaños de agregados a las siete semanas de evaluación.

Para la densidad aparente se obtuvieron mejores resultados con la aplicación de 50 t de compost / ha y 6 t de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que con dosis mayores.

El costo aproximado para El Zamorano para la adecuación del área de estudio es de \$4800/ha.

RECOMENDACIONES

Realizar la mecanización completa explicada en el documento y en el orden indicado (drenar, secar, subsolar, aplicar compost y calcio, incorporar los materiales y romper agregados muy gruesos) para conseguir buenos resultados en la rehabilitación de suelos arcillosos.

Aplicar 50 t de compost (3.72 t materia orgánica / ha) + 6 t de Ca(OH)_2 por hectárea como factores mejoradores del suelo, después de la rehabilitación física de los suelos arcillosos ya que éste tratamiento fue estadísticamente igual de efectivo que las otras dosis mayores.

Permitir un tiempo mayor a siete semanas de reacción de los mejoradores del suelo para poder cuantificar la respuesta total a la mejora del suelo ya que en la evaluación realizada se encontraron partículas de Ca(OH)_2 que todavía no habían reaccionado.

Repetir este estudio adjuntándole tratamientos en los cuales se prueben la materia orgánica y cal en forma separada para cuantificar la acción de cada uno de estos mejoradores en los suelos arcillosos y compararla con los tratamientos de este estudio en los cuales se aplicaron en conjunto.

Se recomienda realizar este estudio con recipientes completamente rígidos y con sus respectivos drenajes los cuales ayuden a mantener la muestra sin perturbaciones hasta su evaluación.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

Arregui J. 1998. Efecto de niveles de hierro sobre dos variedades de arroz en dos condiciones hídricas. E.A.P. 56 p.

Cabanilla et al. 2004. Rehabilitación de suelos arcillosos bajo arroz de inundación para utilizarlo con plátano. Grupo de trabajo de la clase Manejo de suelos y nutrición vegetal 2004 de la carrera de ciencia y producción agropecuaria, E. A. P. Zamorano. 10 p.

Galan S. V. 1992. Los Frutales Tropicales en los Subtropicos: Plátano. Madrid, Es. Ediciones Mundi-Prensa 173 p.

Gauggel C. 2003. Curso de Manejo de suelos y nutrición vegetal. E. A. P. Zamorano. Capítulos 14, 4 y 6 (Interpretación de análisis de suelos, conservación de suelos y preparación de suelos)

Guerrero A. 1996. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Barcelona, España. 206p.

Infoagro, 2002. El Cultivo del Arroz. (en línea). Consultado 27 de enero de 2004. Disponible en: <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm>

Infoagro, 2002. El Cultivo del Plátano (en línea). Consultado 27 de enero de 2004. Disponible en: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm

INIA-AGMA 2004. Preparación de Suelos en Arroz. (en línea). Consultado 30 de enero de 2004. Disponible en: <http://www.inia.cl/cobertura/quilamapu/infoarroz/arroz3.htm>

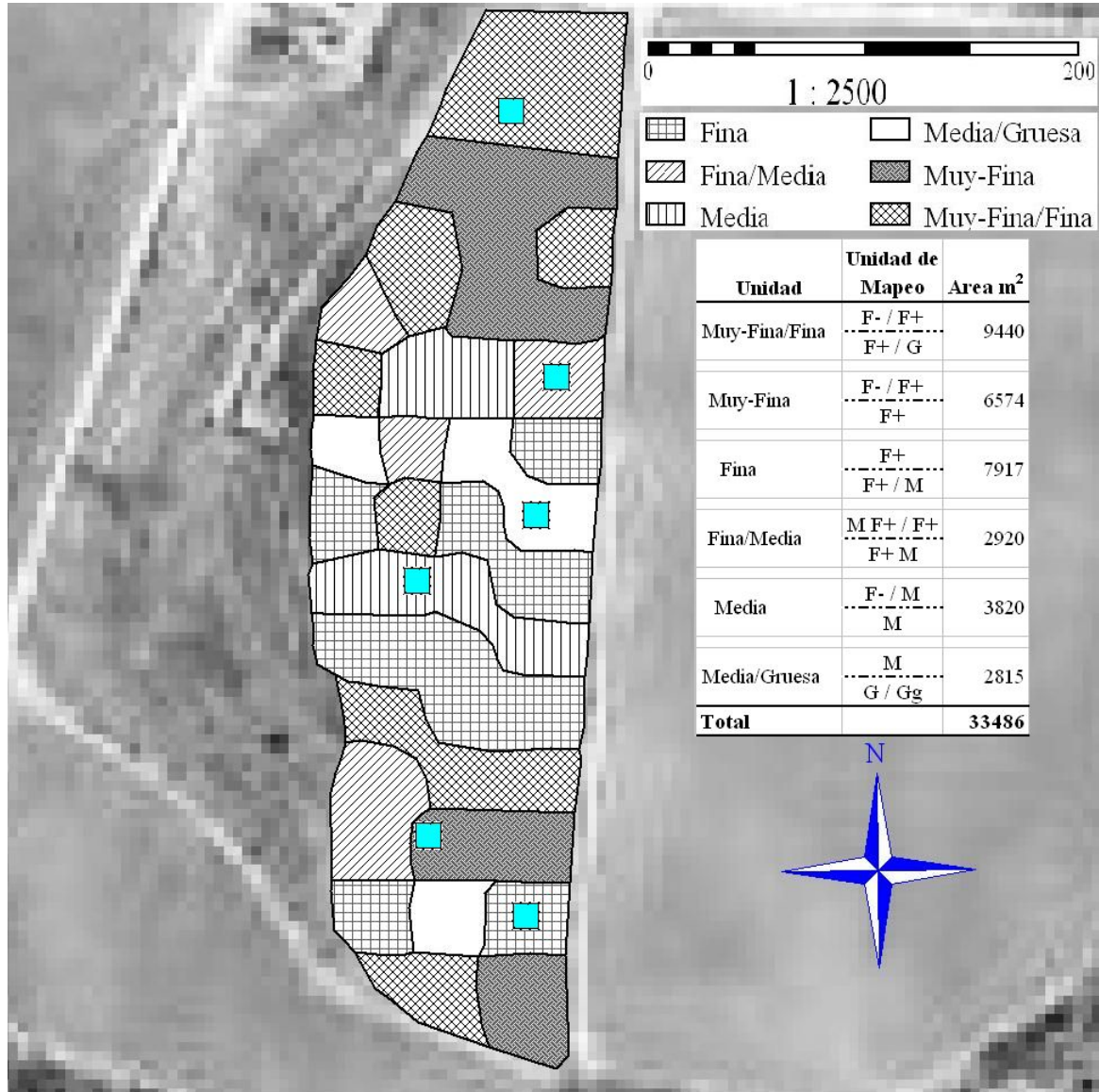
Ininbap en America Latina, 2002. Alimentación en América Latina y el Caribe. (en línea). Consultado 30 de enero de 2004. Disponible en: http://www.inibap.org/network/lacfood_spa.htm

Lopez M.; Espinosa M. 1995. Manual de Nutrición y Fertilización del Banano. Quito, Ec. Inpofos A. S. 82 p.

Sheg T. C. 1990 Conservación de suelos para los pequeños agricultores en las zonas tropicales húmedas, Boletín de suelos de la FAO. Roma, Italia. FAO. 122p.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de las unidades de suelo de las extensiones de las vegas 2 y 3 en El Zamorano.



----- 60 cm de profundidad.

/ 30 cm de profundidad.

F- Texturas con arcillas livianas.

F+ Texturas con arcillas pesadas.

M Texturas francas.

G. Texturas arenosas.

Gg Texturas arenosas con grava y/o piedra.

■ Calicatas.

Anexo 2. Cuadro descriptivo de las calicatas realizadas en las extensiones de las vegas 2 y 3.

Unidad	Cali	Hori	Prof. cm	Color	Moteos	Txt	Estructura			Consi seco	RP	Porosidad				Raíces		limite
							tipogrado	clase				Tam	Form.	Frec.	Cont	Tam	Cant.	top niti
F+	1	Ap	0-20	7.5YR 2.5/1 Negro		F Ar	ba	f	tt	ld - d	> 4.5	t	ryt	f	c	tg	f	o g
F+ / M		Bg1	20-40	7.5YR 5/8 Gris muy Oscuro	5%, 5YR 5/8 Rojo Amarillento	F Ar	ba	d	m	f	> 4,5	f	v	f	nc	f	p	o a
		Bg2	40-50	10YR 4/2 Pardo Grisaceo Oscuro	20% de 5YR 4/4 Pardo Rojizo	F Ar	ba	d	m	f	> 4,5	f	v yt	p	nc	f	p	p a
		2C	50-68	10YR 3/2 Pardo Grisaceo muy oscuro	20% 5YR 5/8 Rojo Amarillento y 5% 5YR 3/1 Gris muy Oscuro	F L	ba	m-d	m-f	f	> 4,5	t	v yt	m		f	p	o g
		2C2	68-100	7.5YR 4/1 Gris Oscuro	5% de 5YR 3/1 Gris muy Oscuro	F L	ba	d	m		> 4,5	t	t	p		f	p	

Abreviaturas: Cali =# de calicata, Hori =Horizonte, Prof. =Profundidad, Txt =Textura, Consi =Consistencia, RP =Resistencia a la Penetración, Tam =Tamaño, Form =Forma, Frec. =Frecuencia, Cont. =Continuidad, Cant. =Cantidad, top =Topografía, niti =Nitidez. **Poros:** Tam =Tamaño; Form =Forma; Cant =Cantidad; **Raíces:** Tam = Tamaño; Cant =Cantidad; **Límite:** Top =Topografía; Niti =Nitidez. **Textura:** A = Arenoso; FA= Franco arenoso; F= Franco; FL= Franco Limoso; L= Limoso; FArA= Franco Arcillo Arenoso; FAR= Franco Arcilloso; FArL= Franco Arcillo Limoso; ArA= Arcillo Arenoso; ArL= Arcillo Limoso; Ar=Arcilloso; AF= Arenoso franco. **Estructura:** Tipo: g: granular; ba: bloques angulares; bsa: bloques subangulares; p: prisma; m: masivo; mi: migajosa; la: laminar; c: columnar. **Grado:** d: débil; m: moderado; f: fuerte; **Clase:** mf: muy finos; f: finos; m: medianos; g: gruesos; mg: muy gruesos. **Consistencia:** **En mojado:** npg: no pegajoso; lpg: ligeramente pegajoso; pg: pegajoso; mpg: muy pegajoso. **Plasticidad:** np: no plástico; lp: ligeramente plástico; p: plástico; mp: muy plástico. **En húmedo:** s: suelto; mf: muy friable; f: friable; fi: firme; mfi: muy firme; **En seco:** s: suelto; b: blando; ld: ligeramente duro; d: duro; md: muy duro; ed: extremadamente duro. **Poros:** **Tamaño:** t: todos los tamaños; g: gruesos; m: medianos; f: finos; mf: muy finos; a: ausentes. **Forma:** p: planares; v: vesiculares; t: tubulares; r: reticulares; **Frecuencia:** a: ausentes; p: pocos; f: frecuentes; m: muchos. **Continuidad:** c: conectados; nc: no conectados. **Raíces:** **Tamaño:** tg: todos los grosores; mf: muy finas; f: finas; m: medianas; g: gruesas; mg: muy gruesas. **Cantidad:** a: ausentes; p: pocos; f: frecuentes; m: muchos. **Límite:** **Topografía:** p: plano; o: ondulado; i: irregular; **Nitidez:** a: abrupto; g: gradual; d: difuso.

Anexo 2. Continuación.

Unidad	Cali	Hori	Prof. cm	Color	Moteos	Txt	Estructura			Consi seco	RP	Porosidad				Raíces		limite	
							tip	grado	clase			Tam	Form.	Frec.	Cont	Tam	Cant.	top	niti
F- / F+	5	Ap	0-10	10YR 2/2 Pardo muy Oscuro		F Ar	bsa	m	m-f	b	> 4.5	t	t	f	tg	m	p	g	
F+		Ad	10-22	10YR 2/1 Negro		Ar	p	d	g	d	> 4,5	m-f	t y v	f	f	f-p	p	g	
		Bg	22-43	Gley1 2.5/N Negro		Ar	p	m	g	b	> 4,5	m-f	t y v	f	m y f	p	p	g	
		Bg2	43-X	Gley1 2.5/N Negro		Ar L	m			d	> 4,5	f	t y v	p	f	p			
M	6	Ap	0-15	10YR 3/2		Ar	m			d	> 4.5	t	tf	p	m-f	p	p	a	
G / Gg		Bt1	15-25	10YR 3/3 con 5% de motas color 5/6		Ar	m			d	> 4.5	mf	t y v	p	m-f	p	p	a	
		Cr1	25-33	10YR 3/4		A F	m			b	4.0	f y mf	v, t y r	p	f	p	p	a	
		Bt2	33-41	10YR 4/4		F A	m			b	> 4.5	f-m	tt	m		a	p	d	
		Bt3	41-52	10YR 4/6		F L	m			b	3.8	f	v	m		a	o	d	
		Bt4	52-72	10YR 4/4 5% de motas 5Y 4/4		F L	m			b	3.5					a	p	a	
		Cr2	72-X	2,5Y 5/4		A con 15% de Grava	m			b	2.5					a	p	a	

Anexo 2. Continuación.

Unidad	Cali	Hori	Prof. cm	Color	Moteos	Txt	Estructura			Consi seco	RP	Porosidad			Raíces		limite
							tipogrado	clase				Tam	Form.	Frec.	Cont.	Tam	Cant.
F-	2		0-20	10YR 3/2 Pardo Grisáceo muy Obscuro		F A Ar	bsa	d	g	d	>4.5	m	t y v	f	m	p	p g

M			20-33	10YR 3/2 Pardo Grisáceo muy Obscuro		F Ar A	m			d	>4.5	m	t y v	p	f	p	p a
			33-50	7.5YR 3/1 Pardo Grisáceo muy Obscuro	30% de 5YR 5/8 Amarillento	F Ar A	m			d	>4.5	m-f	t y v	p	f	p	p a
			50-68	10YR 5/3 Pardo	30% 7.5YR 5/8 Pardo Oscuro	A	m			b	>4.5	m-f	t y v	p	g	f	p a
			60-90	7.5YR 6/8 Amarillo Rojizo	30% 7.5YR 5/8 Pardo Oscuro	Ag	m			b	> 4,5	f	p	f	f	f	p a
plasticidad																	
MF+ / F+	4	Ap	0-25	5YR 2.5/1 Negro		F Ar L	bsa	f	m-g	lp	1.68	tt		f	tg	f	p g

F+ / M		Ad	25-40	10YR 2/1 Negro		F Ar	m			lp	2.63	m	v	p	f	f-p	p a
		CbAg	40-54	10YR 5/2 Pardo Gisáceo		F A	m			lp	1.95	m-f	v	p	f	f-p	p a
		Bg	54-80	Gley1 2.5/N Negro		Ar L	bsa y ba	m-d	m-g	p	2.05	f	v	p	m-f	p-f	o d
		Bg2	80-120	2.5Y 2.5/1 Negro	3% 2.5YR 3/6 Rojo Oscuro	Ar L	ba	d	m	p	2.4	f	v	p	f	p	

Anexo 2. Continuación.

Unidad	Cali	Hori	Prof. cm	Color	Moteos	Txt	Estructura			Consi	RP	Porosidad				Raíces		límite	
							tipogrado	clase	seco			Tam	Form.	Frec.	Cont.	Tam	Cant.	top	niti
F- / F+	3	Ap	0-10	10YR 2/1 Negro		Ar	bsa	m	m	d	>4.5	tt		f		tg	f	o	g
F+ / G		Ad1	10-25	2YR 2/1 Negro		Ar	m			d	>4.5	m-f	t	p-f		tg	f	p	a
		Ad2	25-42	2YR 2/1 Negro		Ar	m			d	>4.5	f	t	p-f	c	m-f	f-p	p	g
		Bg1	42-76	2YR 2/1 Negro	3% 10YR 4/6 Pardo Amarillento	Ar	ba	d	m	d	>4.5	f	t y v	p-f	c	m-f	f	p	g
		Bg2	76-90	5YR 2.5/1	10 Y-5GY 3/5gy	Ar	ba	d	f	d	>4,5	f	t	p-f	c	m-f	p	p	g

Abreviaturas: Cali =# de calicata, Hori =Horizonte, Prof. =Profundidad, Txt =Textura, Consi =Consistencia, RP =Resistencia a la Penetración, Tam =Tamaño, Form =Forma, Frec. =Frecuencia, Cont. =Continuidad, Cant. =Cantidad, top =Topografía, niti =Nitidez. **Poros:** Tam =Tamaño; Form =Forma; Cant =Cantidad; **Raíces:** Tam = Tamaño; Cant =Cantidad; **Límite:** Top =Topografía; Niti =Nitidez. **Textura:** A = Arenoso; FA= Franco arenoso; F= Franco; FL= Franco Limoso; L= Limoso; FArA= Franco Arcillo Arenoso; FAr= Franco Arcilloso; FArL= Franco Arcillo Limoso; ArA= Arcillo Arenoso; ArL= Arcillo Limoso; Ar=Arcilloso; AF= Arenoso franco. **Estructura:** Tipo: g: granular; ba: bloques angulares; bsa: bloques subangulares; p: prisma; m: masivo; mi: migajosa; la: laminar; c: columnar. **Grado:** d: débil; m: moderado; f: fuerte; **Clase:** mf: muy finos; f: finos; m: medianos; g: gruesos; mg: muy gruesos. **Consistencia:** **En mojado:** npg: no pegajoso; lpg: ligeramente pegajoso; pg: pegajoso; mpg: muy pegajoso. **Plasticidad:** np: no plástico; lp: ligeramente plástico; p: plástico; mp: muy plástico. **En húmedo:** s: suelto; mf: muy friable; f: friable; fi: firme; mfi: muy firme; **En seco:** s: suelto; b: blando; ld: ligeramente duro; d: duro; md: muy duro; ed: extremadamente duro. **Poros:** **Tamaño:** t: todos los tamaños; g: gruesos; m: medianos; f: finos; mf: muy finos; a: ausentes. **Forma:** p: planares; v: vesiculares; t: tubulares; r: reticulares; **Frecuencia:** a: ausentes; p: pocos; f: frecuentes; m: muchos. **Continuidad:** c: conectados; nc: no conectados. **Raíces:** **Tamaño:** tg: todos los grosos; mf: muy finas; f: finas; m: medianas; g: gruesas; mg: muy gruesas. **Cantidad:** a: ausentes; p: pocos; f: frecuentes; m: muchos. **Límite:** **Topografía:** p: plano; o: ondulado; i: irregular; **Nitidez:** a: abrupto; g: gradual; d: difuso.

Anexo 3. Requerimientos de cal agrícola según la textura del suelo.

Cambio en pH deseado en la capa arable	Cal Agrícola (t/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

Anexo 4. Distribución en porcentaje de los agregados del suelo según su diámetro.

