

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

**Efecto del subsoleo en la propiedades
físicas y químicas del suelo y en el
rendimiento de cuatro cultivos en
Zamorano, Honduras**

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

Presentado por:

José Luis Pantoja Guamán

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2005

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.

José Luis Pantoja Guamán

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2005

**Efecto del subsoleo en las propiedades físicas y químicas del
suelo y en el rendimiento de cuatro cultivos en Zamorano,
Honduras**

Presentado por:

José Luis Pantoja Guamán

Aprobado:

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.
Asesor Principal

Abelino Pitty, Ph.D.
Coordinador del Área Temática

Carlos Gauggel, Ph.D.
Asesor

Abelino Pitty, Ph.D.
Director Interino Carrera de
Ciencia y Producción
Agropecuaria

Luis De Jesús Carbajal, Ing. Agr.
Asesor

George Pilz, Ph.D.
Decano Académico

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

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi mejor amigo todos estos años.

A mis padres y a mis hermanos, con mucho cariño.

A todos aquellos que han apoyado para que esta meta se cumpla.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres porque me enseñaron que la vida no te regala nada, que hay que luchar por las cosas que uno quiere.

Al Dr. Carlos Guggel y a la Ing. Gloria Arévalo, por sus consejos, confianza, apoyo y amistad, y por no tener límites para apoyar en la realización de este trabajo.

A la Ing. Hilda Flores, Rosa, Jackelín y Martha por su colaboración y amistad.

A los Ings. Diana Moran, Eduardo Gurdián, Reiniero Barahona, Francisco Cueva y Luis de Jesús Carvajal, por sus consejos, apoyo y amistad. Sigán adelante que este Zamorano les da alcance.

A mis compañeros Carlos Morales, Freddy Llive, Fernando Treviño, y de manera especial a Santos Calderón por su apoyo incondicional, y por ayudarme en la recolección de datos en mi ausencia; gracias amigos, y sigan adelante.

A Gabby, Myriam y Jessy, porque me han brindado su cariño, comprensión y apoyo incondicional, un abrazo “hijas”.

A todos mis amigos que siguen en Ecuador o están fuera del país, un abrazo y muchos éxitos.

A Chame 05, porque el mejor “cagadal” que hizo fue ser un buen compañero de cuarto en la etapa zamorana.

A todos mis amigos y compañeros, por su amistad y por todos los momentos compartidos dentro y fuera de Zamorano.

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a la realización de este estudio.

A Zamorano, porque me enseñó a hacer la diferencia.

AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES

A la Fundación Nippón por ayudarme a financiar mis estudios en Zamorano.

A la Gerencia de Empresas Universitarias de la Escuela Agrícola Panamericana por contribuir con el financiamiento de este proyecto.

RESUMEN

Pantoja, J. 2005. Efecto del subsoleo en las propiedades físicas y químicas del suelo y en el rendimiento de cuatro cultivos en Zamorano, Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniería en Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 97 p.

La compactación es la pérdida de la porosidad del suelo. Un horizonte compacto se puede formar por el uso de equipos que laborean el suelo a la misma profundidad y/o el pisoteo animal, ocasionando pérdida de la estructura, profundidad efectiva, drenaje interno, aumento en la densidad aparente y mayor resistencia a la penetración de raíces. La profundidad efectiva se mejora rompiendo las capas compactas mediante el subsoleo. Zamorano mantiene sus sistemas productivos en suelos con horizontes compactos que limitan el crecimiento radicular, por ello existe el interés de evaluar el efecto de la recuperación de estos suelos. Se evaluó el efecto del subsoleo en el acondicionamiento de las propiedades físicas, su efecto en las propiedades químicas y el efecto en el rendimiento de maíz (*Zea mays* cv. Dekalb D-343 y cv. HB 104), cebolla (*Allium cepa* L. cv. Granex 429), pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* cv. Sureño) en tres áreas. Se utilizó un tractor de 135 HP para labrar la mitad del área con un subsolador de dos cinceles provisto de aletas; el espaciamiento de subsoleo y su profundidad potencial de penetración en el suelo fueron de 75 y 60 cm respectivamente. Se realizaron dos pases, el primero paralelo a la pendiente y el segundo a 45° del primero. La eficiencia neta del subsoleo fue menor al 70% en las tres áreas ya que el tractor utilizado no tuvo la capacidad para fracturar el suelo a la profundidad requerida. El subsoleo mejoró la profundidad y el volumen de raíces e incrementó el flujo vertical de agua y el lavado de nutrientes, lo cual redujo el pH del suelo, la materia orgánica (MO), P, Ca y Mg, mientras que el K, Cu, Fe, Mn y Zn se encuentran en mayor concentración en el área con subsoleo. El N se encuentra en iguales concentraciones en los dos tratamientos. Los análisis foliares no mostraron diferencia de absorción de nutrientes. El subsoleo mejoró el rendimiento de mazorca con tuza en el maíz Dekalb D-343, pero presentó un menor desempeño en la producción de mazorca sin tuza en el maíz Dekalb D-343, materia fresca (MF) en el pasto Estrella (primer corte) y materia seca (MS) en el maíz Dekalb D-343, pasto Estrella y sorgo forrajero (primer corte). No se observaron diferencias en la producción de cebolla Granex 429, MF en el maíz Dekalb D-343, pasto Estrella (segundo corte) y sorgo forrajero (primer y segundo corte), MS en pasto Estrella y sorgo forrajero (segundo corte) ni en la producción de mazorcas con y sin tuza en el maíz HB 104. Para alcanzar una eficiencia óptima en el subsoleo es necesario utilizar un tractor de mayor potencia para alcanzar la profundidad de fractura esperada.

Palabras clave: Compactación, densidad aparente, lixiviación, porosidad, subsoleo.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Contenido.....	viii
Índice de Cuadros.....	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Anexos.....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
Localización de las áreas de estudio.....	4
Criterios de selección de parcelas en el campo.....	5
Tratamientos.....	5
Subsoleo.....	7
Evaluación de la eficiencia del subsoleo.....	7
Cultivos.....	8
Materiales para la caracterización del suelo y mapeo.....	9
Caracterización de suelos.....	9
Descripción morfológica y física.....	9
Densidad aparente.....	12
Caracterización química del suelo.....	12
Análisis foliar.....	12
Biodisponibilidad de Nutrientes.....	13
Variables Medidas.....	13
Variables Dependientes.....	13
Área A (Lote 13, Zona II).....	13
Maíz cv. Dekalb D-343.....	13
Cebolla cv. Granex 429.....	14
Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero).....	14
Pasto estrella.....	14
Área C (Cuadrante 2 de San Nicolás).....	14
Sorgo forrajero cv. Sureño.....	14

Maíz cv. HB 104.....	15
Variables Independientes.....	15
Análisis Estadístico.....	15
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SUBSOLEO.....	17
EFECTO DEL SUBSOLEO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	18
Área A (Lote 13, Zona II).....	18
Maíz cv. Dekalb D-343.....	18
Factores físicos y morfológicos del suelo.....	18
Densidad aparente.....	19
Cebolla cv. Granex 429.....	19
Factores físicos y morfológicos del suelo.....	19
Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero).....	21
Primer corte de pasto estrella.....	21
Factores físicos y morfológicos del suelo.....	21
Densidad aparente.....	22
Segundo corte de pasto estrella.....	23
Factores físicos y morfológicos del suelo.....	23
Densidad aparente y humedad del suelo.....	24
Área C (Cuadrante 2, San Nicolás).....	25
Primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño.....	25
Factores físicos y morfológicos del suelo.....	25
Densidad aparente.....	27
Segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño.....	27
Factores físicos y morfológicos del suelo.....	27
Densidad aparente.....	28
Maíz cv. HB 104.....	29
Factores físicos y morfológicos del suelo.....	29
Densidad y humedad del suelo.....	30
EFECTO DEL SUBSOLEO EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO Y EN LA ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN LAS PLANTAS.....	31
Área A (Lote 13, Zona II).....	31
Maíz cv. Dekalb D-343.....	31
Análisis químico del suelo.....	31
Análisis foliar.....	32
Cebolla cv. Granex 429.....	33
Análisis químico del suelo.....	33
Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero).....	34
Primer corte de pasto estrella.....	34
Análisis químico del suelo.....	34
Análisis foliar.....	35
Segundo corte de pasto estrella.....	36
Análisis químico del suelo.....	36
Análisis foliar.....	36
Área C (Cuadrante 2, San Nicolás).....	37

Primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño.....	37
Análisis químico del suelo.....	37
Análisis foliar.....	38
Segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño.....	39
Análisis químico del suelo.....	39
Análisis foliar.....	40
Maíz cv. HB 104.....	40
Análisis químico del suelo.....	40
Análisis foliar.....	41
EFFECTO DEL SUBSOLEO EN LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES...	42
Área A (Lote 13, Zona II).....	42
Maíz cv. Dekalb D-343.....	42
Cebolla cv. Granex 429.....	42
Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero).....	42
Primer corte de pasto estrella.....	42
Segundo corte de pasto estrella.....	43
Área C (Cuadrante 2, San Nicolás).....	43
Primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño.....	43
Segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño.....	43
Maíz cv. HB 104.....	43
EFFECTO DEL SUBSOLEO EN LAS PROPIEDADES AGRONÓMICAS Y EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS.....	44
Área A (Lote 13, Zona II).....	44
Maíz cv. Dekalb D-343.....	44
Cebolla cv. Granex 429.....	45
Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero).....	46
Primer corte de pasto estrella.....	46
Segundo corte de pasto estrella.....	46
Área C (Cuadrante 2, San Nicolás).....	47
Primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño.....	47
Segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño.....	47
Maíz cv. HB 104.....	48
4. CONCLUSIONES.....	49
5. RECOMENDACIONES.....	50
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
7. ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1	Evaluación de la eficiencia del subsoleo en las tres áreas seleccionadas, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	17
2	Densidad aparente (g/cc) del suelo en el cultivo de maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	19
3	Densidad aparente (g/cc) del suelo en el primer corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	22
4	Densidad y humedad del suelo en tres profundidades en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	24
5	Correlación entre la humedad y densidad aparente del suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	24
6	Densidad aparente (g/cc) en el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	27
7	Densidad aparente (g/cc) del suelo en el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	29
8	Densidad y humedad del suelo a 10, 20 y 30 cm en el cultivo de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	30
9	Correlación entre la humedad y densidad aparente del suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad en el maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	31
10	Análisis de suelo en solución extractable (Melich 3) realizado a la siembra del maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	32
11	Análisis foliar para el cultivo de maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	33
12	Análisis químico de suelo en solución extractable (Melich 3) para el cultivo de cebolla cv. Granex 249, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	33
13	Análisis químico del suelo en solución extractable (Melich 3) en el primer corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	34

14	Análisis foliar para el primer corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	35
15	Análisis químico del suelo en solución extractable (Melich 3) para el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	36
16	Análisis foliar para el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	37
17	Análisis químico del suelo en solución extractable (Melich 3) para el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	38
18	Análisis foliar para el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	38
19	Análisis químico del suelo en solución extractable (Melich 3) para el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	39
20	Análisis foliar para el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	40
21	Análisis químico del suelo en solución extractable (Melich 3) para el cultivo de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	41
22	Análisis foliar para el cultivo de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	41
23	Resultado de las variables medidas en el cultivo de maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	45
24	Resultado de las variables medidas en el primer corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	46
25	Resultado de las variables medidas en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	46
26	Resultado de las variables medidas en el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	47
27	Resultado de las variables medidas en el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	48
28	Resultado de las variables medidas en el maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1	Localización de las áreas de estudio en la EAP, Zamorano, Honduras.....	4
2	Área A, 5,000 m ² del Lote 13 de Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	5
3	Área B, 2,500 m ² del Lote Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	6
4	Área C, 10,000 m ² del Cuadrante 2 del Pivote Central, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	6
5	Subsolador utilizado en la evaluación, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	7
6	Evaluación de la eficiencia del subsoleo.....	8
7	Distribución de minicalicatas en el cultivo de cebolla cv. Granex 429. Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	10
8	Distribución de minicalicatas en el cultivo de pasto estrella. Lote Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	10
9	Distribución de minicalicatas en el cultivo maíz cv. HB 104, a la siembra (A) y a la cosecha (B), Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	11
10	Esquema de las propiedades físicas del suelo en el cultivo de maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	18
11	Esquema de las propiedades físicas del suelo en el cultivo de cebolla cv. Granex 429, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	20
12	Esquema de las propiedades físicas del suelo en el primer corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	22
13	Esquema de las propiedades físicas del suelo en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	23
14	Correlación entre la humedad y densidad aparente del suelo en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	25
15	Esquema de las propiedades físicas del suelo en el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	26
16	Esquema de las propiedades físicas del suelo en el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	28

17	Esquema de las propiedades físicas del suelo en el cultivo de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	29
-----------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1	Programa de fertilización para los cultivos evaluados.....	53
2	Plan de Manejo para los cultivos evaluados en el proyecto.....	54
3	Datos de evaporación, precipitación y riego de 2004 y 2005 (hasta junio) en el Pivote Central, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	55
4	Descripción del suelo del Lote 13 de Zona II, durante el cultivo de maíz cv. Dekalb D-343. E.A.P., Zamorano, Honduras.....	56
5	Fotografía de las calicatas del área estudiada después del subsoleo, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	57
6	Fotografía de las calicatas del área estudiada justo antes de la cosecha de maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	58
7	Mapas de profundidad (cm) de los primeros cuatro horizontes durante el cultivo de cebolla cv. Granex 429, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	59
8	Mapas de resistencia a la penetración (kg/cm^2) de los primeros cuatro horizontes durante el cultivo de cebolla cv. Granex 429, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	60
9	Descripción de las propiedades morfológicas y físicas de los suelos, durante el primer corte de pasto estrella, Lote Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	61
10	Fotografía de las calicatas del área estudiada al momento de realizado el subsoleo, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	62
11	Fotografía de las calicatas del área estudiada al primero corte del pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	63
12	Mapas de densidad aparente (g/cc) del suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	64
13	Mapas de humedad del suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	65
14	Mapas de profundidad (cm) de los tres primeros horizontes en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	66

15	Mapas de resistencia a la penetración (kg/cm^2) de los tres primeros horizontes en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	67
16	Descripción de las propiedades morfológicas y físicas del suelo en el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	68
17	Fotografía de las calicatas del área estudiada a la siembra del primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras....	69
18	Fotografía de las calicatas del área estudiada al primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	70
19	Descripción de las propiedades morfológicas y físicas del suelo en el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	71
20	Fotografía de las calicatas del área estudiada al rebrote de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	72
21	Fotografía de las calicatas del área estudiada en el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	73
22	Mapas de profundidad (cm) de los cuatro primeros horizontes a la siembra de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	74
23	Mapas de resistencia a la penetración (kg/cm^2) de los cuatro primeros horizontes a la siembra de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	75
24	Mapas de profundidad (cm) de los tres primeros horizontes a la cosecha de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	76
25	Mapas de resistencia a la penetración (kg/cm^2) de los tres primeros horizontes a la cosecha de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	77
26	Mapas de densidad aparente (g/cc) en el cultivo de maíz cv. HB 104 a 10, 20 y 30 cm de profundidad, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	78
27	Mapas humedad (%) del suelo en el cultivo de maíz cv. HB 104 a 10, 20 y 30 cm de profundidad, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.....	79
28	Matriz de biodisponibilidad de macronutrientes nutrientes para las áreas estudiadas. E.A.P., El Zamorano, Honduras.....	80
29	Matriz de biodisponibilidad de micronutrientes para cada uno de las áreas estudiadas, E.A.P., El Zamorano, Honduras.....	81

INTRODUCCIÓN

En los suelos de uso agrícola, el desequilibrio ocasionado por la exportación de los residuos de cosecha, la incorporación de fertilizantes minerales para compensar las pérdidas de fertilidad y la destrucción periódica de la estructura por las prácticas de laboreo suponen una transformación continua del suelo (Almendros 2000).

Las condiciones físicas del suelo condicionan la expresión final de su fertilidad química, es así que a una mayor resistencia a la penetración de raíces los nutrientes se vuelven menos disponibles (Taboada y Micucci 2002).

La productividad se reduce por la degradación del suelo y es mantenida mediante prácticas de conservación de suelos. El suelo sufre cambios en la superficie y en sus capas internas. El deterioro interno de los suelos es de tres tipos: i) el deterioro químico por la pérdida de nutrientes, acidificación y salinidad, contaminación y anegamiento; ii) el deterioro físico causado por el encostramiento y compactación, desertificación, hundimiento de suelos orgánicos por drenaje y oxidación, acumulación de sales de Na, Mg y Si; iii) el deterioro biológico causado por los agroquímicos que alteran la actividad biológica (Oldeman *et al.* 1990). Estos problemas se pueden corregir: utilizando cultivos de cobertura, rotando cultivos, manteniendo un buen drenaje, adecuado manejo de los residuos de la cosecha, cultivando en terrazas o curvas a nivel si la pendiente es pronunciada, realizando subsoleo para romper las capas compactas y aplicando la fertilización en forma eficiente (Parr *et al.* 1990).

La labranza es necesaria para la producción agrícola; sin embargo impide la sucesión natural de la vegetación y si se realiza en condiciones inadecuadas provoca problemas, uno de ellos es el sellado superficial del suelo y la compactación (Benzing 2001); sin embargo, la labranza convencional presenta horizontes superficiales con estructura menos limitante que la labranza cero (López 2004).

Se define como compactación de suelos a la densificación de horizontes en el perfil del suelo. Las capas o “pie de arado” son formadas por el uso de equipos pesados y por el laboreo continuo a la misma profundidad así como por el pisoteo animal. Las texturas franco arcillo limoso y franco arcillosa, bajos contenidos de arcilla expansible, la acción del sílice y altos contenidos de sodio intercambiable favorecen la formación del pie de arado. La susceptibilidad a la compactación disminuye con el aumento de arcilla, limo y carbono orgánico, por consiguiente los suelos degradados no solo se vuelven menos fértiles, sino también más susceptibles a la compactación. (Taboada y Micucci 2002).

El pie de arado afecta la infiltración de agua, la penetración radical y la aireación del suelo. El impedimento al flujo vertical del agua ocasiona acumulación de agua, creando condiciones anaeróbicas que se distinguen por la formación de motas (Taboada y Micucci 2002), lo cual se manifiesta en un menor rendimiento del cultivo.

Los suelos sometidos a pisoteo animal presentan menor aireación, infiltración y presencia de agregados indeseables mayores a 25 mm que no poseen evidencia de micro estructura. Los suelos que se pastorean muy secos tienden a no mostrar compactación superficial; lo opuesto ocurre en los suelos pastoreados en niveles intermedios de contenido hídrico, cuya superficie presenta menor estabilidad estructural, mayor densidad aparente y resistencia superficial; en un suelo húmedo se produce compactación del suelo, ocasionando pérdidas de estructura superficial (Taboada y Micucci 2002).

Las raíces de las plantas se expanden y entrecruzan con sus vecinas, extendiéndose hacia los horizontes más profundos y creciendo de 2 a 80 mm/día dependiendo del tipo de cultivo, temperatura y humedad del suelo y mediante dos alternativas: i) aprovechando los poros edáficos existentes, con un tamaño adecuado para permitir su acomodamiento y ii) creando los poros radicales al ir atravesando el suelo (Taboada y Micucci, 2002). En el segundo caso las raíces deben superar la resistencia a la penetración empujando sus ápices radicales.

Cuando una limitante mecánica se incrementa, el crecimiento radicular se reduce. Es así que se ha establecido a 2 MPa como el umbral crítico de resistencia a la penetración, sobre el cual se detiene el crecimiento radicular (Taboada y Micucci 2002).

Estudios previos muestran que Zamorano ha mantenido sus sistemas productivos tradicionales en suelos que presentan propiedades físicas limitadas, con alta variabilidad textural vertical y horizontal que limita el desempeño normal de los cultivos (Castro 2003).

El uso inapropiado de la maquinaria ha contribuido al proceso degradativo del suelo, lo cual se manifiesta en la formación de un pie de arado (horizonte Ad), pérdida de estructura, baja capacidad de infiltración, poca porosidad y drenaje interno deficiente (Fernández 2003). Bajo estas condiciones los cultivos de hortalizas, pastos y granos básicos no tienen el mejor desempeño ya que el horizonte compacto limita el desarrollo de su sistema radicular, afectando la producción.

La ruptura de los horizontes compactos con un subsolador permite una mejor exploración de raíces en el perfil del suelo. En los periodos húmedos los agregados grandes del suelo no suelen comportarse como limitantes para el desempeño radicular y las raíces los penetran fácilmente (Taboada y Micucci 2002).

El efecto del subsoleo depende de las condiciones físicas en las que se encuentre el suelo al momento de realizar el trabajo. Es necesario que el suelo no este saturado, sino próximo al punto de marchites permanente¹.

Debido a su degradación, los suelos de Zamorano deben ser sometidos a enmiendas conducentes a su rehabilitación para mejorar sus características (Fernández 2003); es necesario establecer una rotación de cultivos que enriquezca el suelo una vez este se rehabilite (Barahona 2000); partiendo de la regeneración estructural de los suelos, mejorando su porosidad, drenaje interno e incrementando su profundidad efectiva (López 2003). Esto se consigue al subsolar a la profundidad que el suelo lo requiera, en dirección paralela a la pendiente del terreno, seguido de un pase a un ángulo de 45° de intercepción

¹ Gauggel, G. 2005. Comunicación verbal. E.A.P., Zamorano, Honduras.

con respecto al primer pase, que permita fracturar el horizonte Ad, acondicionando el subsolador con aletas para fracturar el suelo en mayor proporción (Castro 2003).

Experiencias en Zamorano muestran que se necesita un tractor de cuando menos 300 HP para romper por completo las capas duras del suelo, el cual debe jalar un subsolador de tres cinceles provistos de aletas y espaciados no más de 150 cm, para obtener una buena eficiencia de subsoleo (>70%). Esto se consigue realizando tres pases, los dos primeros siguen la dirección de la pendiente, el segundo pasa por la parte media del primero y el tercer pase se realiza a 45° de los dos anteriores, además, el tractor debe alcanzar una velocidad de 6 km/h².

Zamorano enfrenta dificultades de orden económico para rehabilitar y acondicionar sus suelos. El equipo agrícola con el que se cuenta no tiene la capacidad de fracturar el suelo a la profundidad que se necesita. Por esta razón la Unidad de Suelos, con el apoyo financiero de la Gerencia de Empresas Universitarias, decidió evaluar el efecto del subsoleo en tres áreas de producción de interés económico para Zamorano.

El proyecto evaluó el impacto de la rehabilitación física del suelo en el rendimiento de cuatro cultivos y se monitoreó la evolución de las propiedades físicas y morfológicas del suelo. Los resultados obtenidos permitieron identificar los cambios que ocurren en el tiempo y las transformaciones de la estructura generada en el suelo. Los datos morfológicos, físicos y químicos de los suelos caracterizados junto con los rendimientos de cada cultivo, permitieron determinar la efectividad del subsoleo.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del subsoleo en las propiedades físicas y químicas del suelo y en el rendimiento de maíz (*Zea mays* cv. Dekalb D-343 y cv. HB 104), cebolla (*Allium cepa* L. cv. Granex 429), pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* cv. Sureño), bajo las condiciones edáficas de Zamorano. Los objetivos específicos fueron: i) evaluar el efecto del subsoleo en las propiedades físicas del suelo; ii) evaluar el efecto del subsoleo en las propiedades químicas del suelo; iii) evaluar el efecto del subsoleo en la absorción y disponibilidad de nutrientes; iv) evaluar el efecto del subsoleo en la evolución de las propiedades morfológicas, físicas y químicas del suelo a través del tiempo, y v) evaluar el efecto del subsoleo en el desarrollo de maíz (*Zea mays* cv. Dekalb D-343 y cv. HB 104), cebolla (*Allium cepa* L. cv. Granex 429), pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* cv. Sureño).

² Fino, M. 2005. Comunicación verbal. E.A.P., Zamorano, Honduras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de las áreas de estudio

El estudio se realizó en la E.A.P., Zamorano, San Antonio de Oriente, Fco. Morazán, Honduras, la cual se encuentra a 800 msnm y corresponde a un bosque seco subtropical³; además presenta dos épocas climáticas, una época seca de noviembre a abril y una época lluviosa de mayo a octubre. La temperatura media anual es de 24 °C. El año 2004 presentó una precipitación baja de 685 mm; y el año 2005 presentó alta precipitación ya que hasta junio alcanzó 550 mm (Estación Meteorológica Zamorano 2005).

Para el estudio se seleccionaron tres áreas representativas de los diferentes sistemas productivos de Zamorano (Figura 1), estas son:

- Área A: 5,000 m² del Lote 13 de Horticultura, Zona II.
- Área B: 2,500 m² del Lote Zorrales 5, Ganado Lechero.
- Área C: 10,000 m² del Cuadrante 2, San Nicolás.



Figura 1: Localización de las áreas de estudio en la EAP, Zamorano, Honduras.

Fuente: Méndez, R. 2005. E.A.P., Zamorano, Honduras.

³ Agudelo, N. 2005. Comunicación verbal. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Criterios de selección de parcelas en el campo

Las áreas fueron seleccionadas por solicitud de la Gerencia de Empresas Universitarias, siguiendo el criterio de ubicarlas en tres de los sistemas productivos de importancia económica de Zamorano. Estas áreas fueron escogidas en coordinación con el encargado de cada Unidad y luego fueron delimitadas. Cada parcela se subdividió en dos ó cuatro lotes para subsolar la mitad del área y mantener la otra mitad bajo la condición actual como testigo, a fin de evaluar y comparar el rendimiento de los cultivos en un suelo con subsoleo y en un suelo sin subsoleo.

Tratamientos

En el estudio se compararon dos tratamientos, uno con subsoleo previo a la siembra del primer ciclo del cultivo y otro bajo la condición actual de mecanización.

Se establecieron tres parcelas demostrativas:

En el Lote 13 de Zona II, el área de experimentación fueron 5,000 m² (50×100 m), divididos en dos tratamientos, uno con subsoleo y el otro bajo la condición actual de mecanización, con dos sub-áreas contiguas (Figura 2).

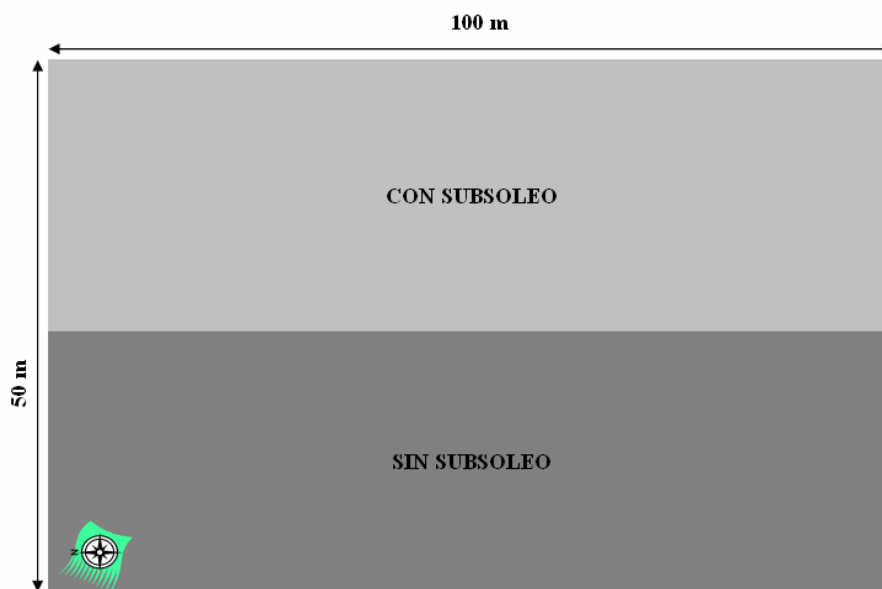


Figura 2: Área A, 5,000 m² del Lote 13 de Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.

En el Lote Zorrales 5 de Ganado Lechero, el área de experimentación fueron 2,500 m² (50×50 m), divididos en dos tratamientos, uno con subsoleo y otro bajo la condición actual de mecanización, con dos sub-áreas cada uno (Figura 3).

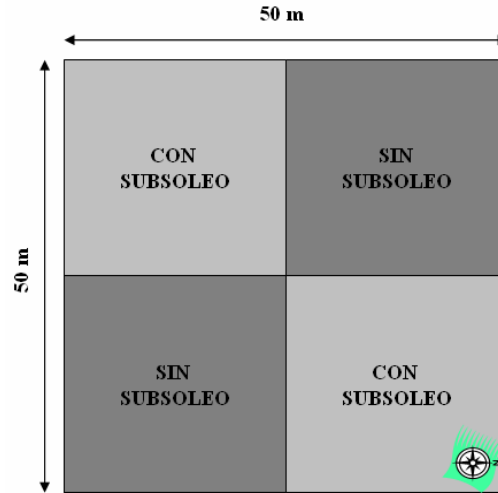


Figura 3: Área B, 2,500 m² del Lote Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

En el Cuadrante 2 de San Nicolás, el área de experimentación fueron 10,000 m² (100×100 m), divididos en dos tratamientos, uno con subsileo y otro bajo la condición actual de mecanización, con dos sub-áreas cada uno, de 2,500 m² cada una (Figura 4).

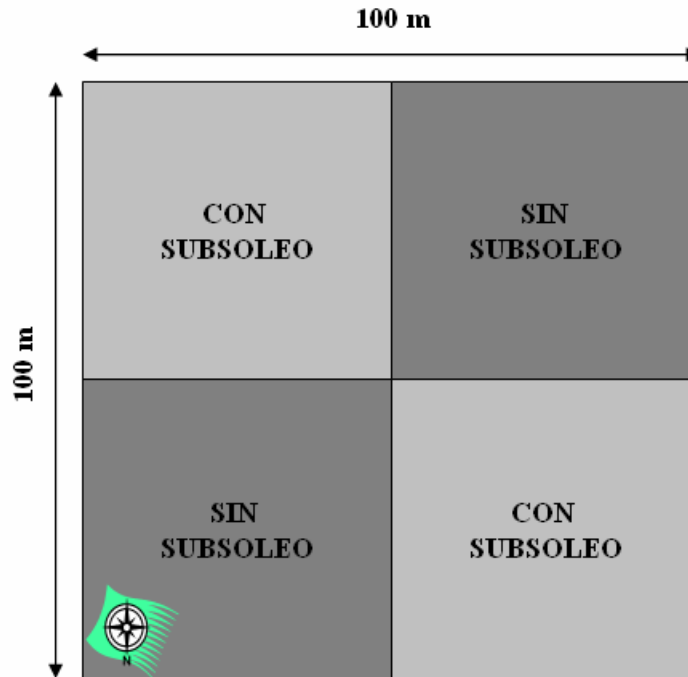


Figura 4: Área C, 10,000 m² del Cuadrante 2 del Pivote Central, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Subsoleo

Previo a la siembra en cada lote, en marzo de 2004 se subsoló la mitad del área utilizando un subsolador de dos cinceles provisto de aletas y espaciados 1.5 m, con lo que al realizar el pase intermedio se consigue un espaciamiento final entre pase de subsoleo de 75 cm. En la otra mitad se mantuvo la condición en que se encontraba el suelo. La profundidad máxima que el subsolador podía penetrar el suelo fue de 60 cm (Figura 5). Se utilizó un tractor MX de 135 HP.

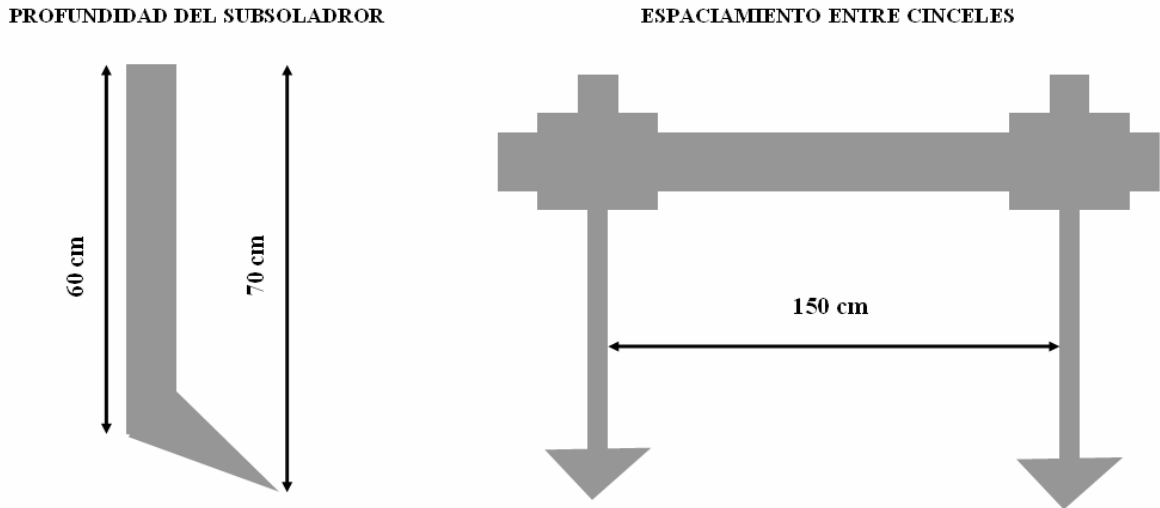


Figura 5: Subsolador utilizado en la evaluación, E.A.P., Zamorano, Honduras.

En el área designada para el subsoleo se realizaron dos pases: el primero siguiendo la dirección de la pendiente y el segundo diagonal al primero (45°), para reducir los camellones que quedan entre los cinceles.

Evaluación de la eficiencia del subsoleo

Luego de realizado el subsoleo en cada área se hizo una calicata de 2×1×1 para determinar la eficiencia del subsoleo.

Primero se obtuvo la eficiencia de penetración (E_p) del subsolador en el perfil del suelo dividiendo la profundidad real (P_r) que penetró el subsolador entre la profundidad potencial (P_p) que este podía alcanzar (60 cm). Luego se obtuvo la eficiencia de fractura (E_f) entre los cinceles dividiendo la profundidad de fractura (P_f) entre los cinceles por la profundidad real (P_r) que penetró el subsolador (Figura 6). Finalmente, se obtuvo la eficiencia neta (E_n) al multiplicar la eficiencia de penetración (E_p) por la eficiencia de fractura (E_f) entre cinceles⁴.

⁴ Fino, M. 2005. Comunicación verbal. E.A.P., Zamorano, Honduras.

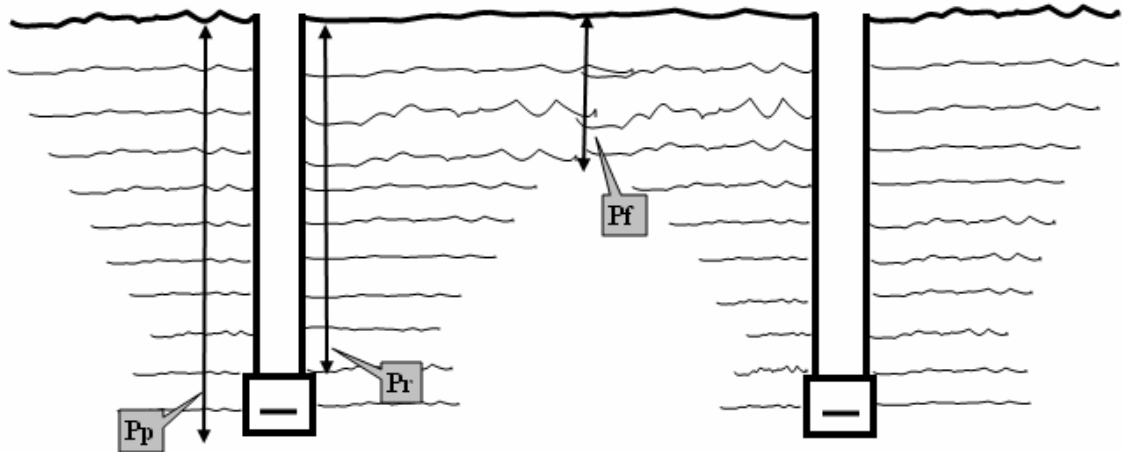


Figura 6. Evaluación de la eficiencia del subsoleo.

Cultivos

En cada área se evaluaron dos a tres ciclos de cultivo con el fin de determinar los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo a través del tiempo.

En el Lote 13 de Zona II se sembró maíz (*Zea mays* cv. Dekalb D-343) en el primer ciclo, a 17 cm entre planta y 90 cm entre hileras, lo cual equivale a 65,360 plantas/Ha, desde marzo a agosto de 2004. En el siguiente ciclo se sembró cebolla (*Allium cepa* L. cv. Granex 429) bajo el sistema de tres hileras por cama, a una distancia entre centros de cama de 120 cm, con lo que se obtuvo una densidad de 350,000 plantas/Ha, esto se evaluó de enero a marzo de 2005.

En el Lote Zorrales 5 de Ganado Lechero se sembró pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en julio de 2004, a partir de estolones cortados e incorporados con rastra pequeña. El primer corte se hizo en septiembre de 2004 y el segundo en junio de 2005.

En el Cuadrante 2 de San Nicolás se sembró sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* cv. Sureño) en el 2004, a chorro corrido a 80 cm entre hileras, con lo cual se obtuvo una densidad de 240,000 plantas/Ha. El primer ciclo se evaluó de marzo a julio de 2004 y en el segundo ciclo se evaluó el rebrote del sorgo de julio a octubre del mismo año. En el tercer ciclo se sembró maíz (*Zea mays* cv. HB 104) a 80 cm entre hileras y 20 cm entre plantas, lo cual equivale a una densidad de 62,500 plantas/Ha, desde enero a mayo de 2005.

En cuanto a la fertilización y al manejo agronómico de los cultivos, se siguió el plan establecido por los responsables de cada Unidad. En los Anexos 1 y 2 se presenta el programa de fertilización y el plan de manejo correspondientes a cada área. El Anexo 3 muestra la distribución mensual de evaporación y la precipitación de San Nicolás, así como la distribución mensual del riego para el Cuadrante 2 de San Nicolás durante 18 meses (enero de 2004 a junio de 2005).

Materiales para la caracterización del suelo y mapeo

Se utilizó el equipo de caracterización de calicatas del Laboratorio de Suelos de la E.A.P., el cual, además de las herramientas para la excavación, incluye: libreta Munsell, penetrómetro de bolsillo, densímetro, unidad GPS para georreferenciar las parcelas. Para la elaboración de los mapas de variabilidad espacial se utilizó el Surfer ⁽⁷⁾ Program (Golden Software 1999).

Caracterización de suelos

Descripción morfológica y física

Para describir el perfil del suelo en los dos tratamientos se hicieron calicatas en forma aleatoria durante el estudio. Las características físicas determinadas en cada horizonte fueron: color, textura, estructura, profundidad del horizonte, consistencia, porosidad, distribución de raíces, límite y resistencia a la penetración. Las calicatas fueron descritas empleando la metodología de descripción de perfiles de suelo de la FAO (1977).

El orden que se siguió para realizar las calicatas se describe a continuación.

Una vez subsolado el suelo se hicieron dos calicatas de 2×1×1 m localizadas al azar, una en el área con subsoleo y otra en el área sin subsoleo para evaluar la efectividad del subsoleo antes de la siembra del maíz, pasto y sorgo forrajero respectivamente; esto para caracterizar el suelo morfológica, física y químicamente.

La resistencia a la penetración se midió con el penetrómetro de bolsillo en cada horizonte. También se tomaron muestras para medir la densidad aparente con el densímetro de los dos primeros horizontes.

Se repitió este procedimiento antes de la cosecha en el maíz y antes del primer corte en el pasto y el sorgo, para determinar los cambios que pudo haber sufrido el suelo durante el primer ciclo de cultivo.

Para la caracterización química se tomaron dos muestras de suelo en las calicatas realizadas antes de la siembra de los cultivos, tomando dos muestras de los dos primeros horizontes, una de cada horizonte, para realizar el análisis químico completo.

Este sistema de evaluación se repitió para el segundo ciclo del sorgo.

Para el caso de la cebolla (área A), se realizaron 40 minicalicatas a los 30 días de establecido el cultivo, 20 por tratamiento. Se utilizó una distribución rectangular, en la cual los puntos estaban separados 20 m en dirección norte-sur y 10.5 m en dirección este-oeste (Figura 7). Se decidió utilizar este sistema para abarcar toda el área experimental y verificar la distribución morfológica y física del suelo.

Los datos obtenidos permitieron elaborar mapas para identificar las variaciones espaciales en cuanto a la profundidad de los horizontes y la resistencia a la penetración, mismos que se realizaron con el Surfer ⁽⁷⁾ Program (Anexos 4 y 5).

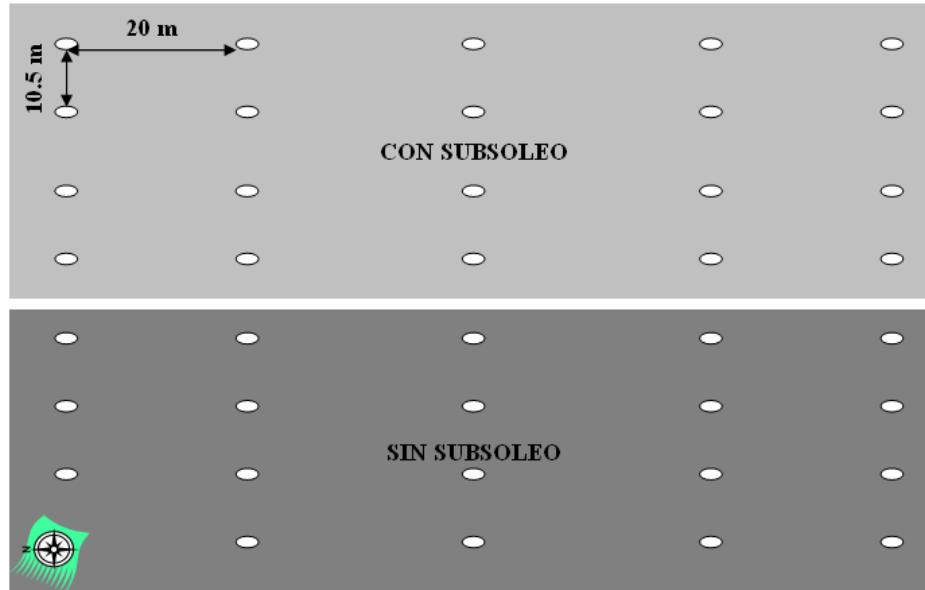


Figura 7. Distribución de minicalicatas en el cultivo de cebolla cv. Granex 429. Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.

En el segundo corte de pasto (área B) se realizaron 20 minicalicatas (junio 2005), 10 por tratamiento, cinco por cuadrante siguiendo una distribución espacial en forma de rombo (Figura 8). Los datos obtenidos permitieron elaborar mapas de suelo para identificar las variaciones espaciales de densidad aparente, humedad, profundidad de los horizontes y resistencia a la penetración. Estos mapas se realizaron con el Surfer⁽⁷⁾ Program (Anexos 9 al 12).

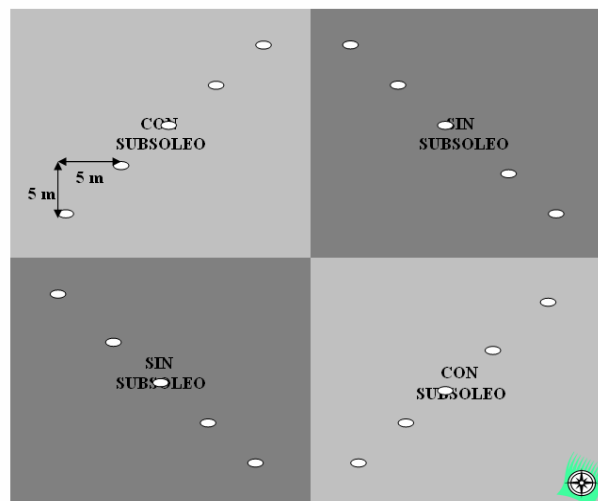


Figura 8. Distribución de minicalicatas en el cultivo de pasto estrella. Lote Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Para el caso del maíz de San Nicolás (área C) se añadió un cuadrante sin subsoleo ya que en las evaluaciones del sorgo se encontraron diferencias importantes se extendió el área sin subsoleo para comprobar los resultados.

En este caso se realizaron 30 minicalicatas a pocos días de establecido el cultivo, seis por cuadrante con una distribución rectangular uniforme a fin de abarcar toda el área experimental (Figura 9A) y verificar la distribución de la profundidad de los cuatro primeros horizontes y su resistencia a la penetración. Para la cosecha se incrementó el número de minicalicatas a 50, 10 por cuadrante (Figura 9B). En este caso se evaluó la profundidad, resistencia a la penetración densidad aparente y humedad de los tres primeros horizontes. Los mapas de distribución se realizaron empleando el Surfer⁽⁷⁾ Program (Anexos 19 al 24).

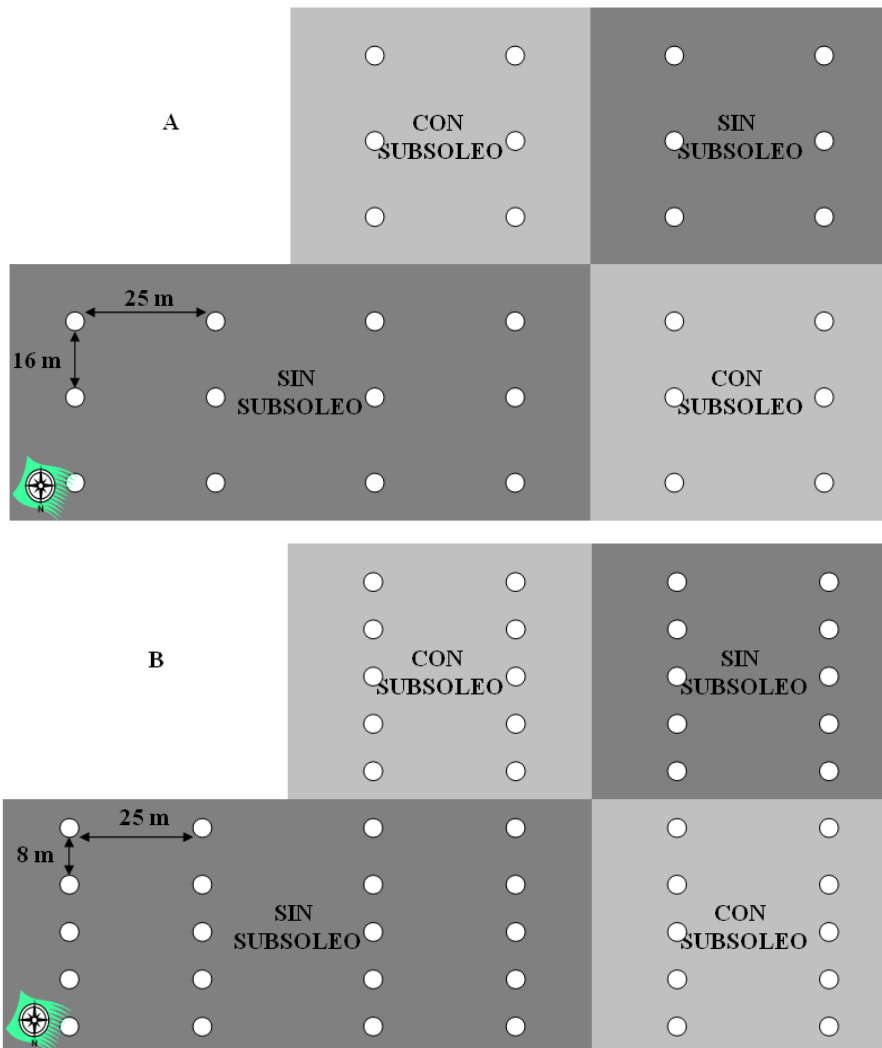


Figura 9. Distribución de minicalicatas en el cultivo maíz cv. HB 104, a la siembra (A) y a la cosecha (B), Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Densidad aparente

Esta propiedad se midió con el densímetro, con el cual se colectó un volumen de suelo conocido (98 cc). En el primer ciclo para las tres áreas y en el segundo ciclo para el área C (rebrote de sorgo) se tomó a la siembra y a la cosecha dos muestras de los dos primeros horizontes, una de cada horizonte, en los dos tratamientos, cuatro muestras en total.

En el segundo corte de pasto estrella se incremento la intensidad de muestreo. En cada minicalicata se tomaron tres muestras, a los 10, 20 y 30 cm de profundidad, 30 muestras por tratamiento (60 en total).

En el maíz del Cuadrante 2 de San Nicolás también se incremento el muestreo. Se tomaron tres muestras por minicalicata realizada a la cosecha, a los 10, 20 y 30 cm, 60 para el área con subsoleo y 90 para el área sin subsoleo (150 muestras en total).

Caracterización química del suelo

Para identificar los cambios químicos que el subsoleo produce en el suelo, se realizaron los siguientes análisis químicos: pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu de los dos primeros horizontes, por tratamiento, al inicio de cada ciclo de cultivo.

Los métodos empleados por el laboratorio de suelos de la E.A.P. son los siguientes:

Medición del pH o reacción del suelo mediante el método de solución de suelo y agua en una proporción 1:1 y medida mediante el potenciómetro con electrodo de vidrio.

Medición de Materia Orgánica y nitrógeno total mediante el método Walkley y Black.

La medición de Ca, Mg, K, P, Fe, Mn, Zn y Cu se realizó mediante la extracción con la solución Melich 3 y determinados con absorción atómica (Perkin Elmer), con excepción del P, el cual se determinó por colorimetría.

Análisis foliar

Se llevaron a cabo a fin de comparar los cambios en la disponibilidad de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu) por efecto del subsoleo, los cuales se realizaron en la época establecida para muestreo foliar en cada cultivo (Jones 1991), midiendo la concentración de nutrientes en la hoja madura más joven tomada al final del periodo vegetativo.

En el maíz, el muestreo foliar se realizó al día 55 después de la siembra; en el sorgo se realizó el día 52 después de la siembra; y en el pasto el día del corte (el día 28 después de iniciado su crecimiento). En cebolla no se realizaron análisis foliares debido a que no se tuvo cuidado en la etapa de muestreo y esta se pasó.

Biodisponibilidad de Nutrientes

Con base en los análisis de suelos de cada área y el análisis foliar de cada cultivo se analizó la biodisponibilidad de nutrientes para cada caso y se elaboró cuadros de biodisponibilidad de los macro y micronutrientes (Anexos 28 y 29).

Variables Medidas

Variables Dependientes

Área A (Lote 13, Zona II)

Maíz cv. Dekalb D-343

Altura de la planta: Medida a los 55 días después de la siembra (inicio de la floración) tomando la distancia entre la base del tallo y el último nudo ubicado en la base de la flor masculina. Para ello se midieron al azar 10 plantas por tratamiento.

Largo y ancho de la quinta hoja: Medida al día 55, la cual se ubicó a partir del ápice de la planta. La longitud de la hoja se midió desde la unión entre la vaina y la lámina hasta la punta de la lámina; y el ancho se midió a 10 cm de la punta de la lámina.

Concentración foliar de nutrientes al inicio de la floración (55 días): Para ello se colectó una muestra de 10 hojas maduras jóvenes por tratamiento, las cuales corresponden a la tercera hoja a partir del ápice de la planta.

Producción de materia fresca y materia seca (kg/ha): Para lo cual se tomaron cinco muestras al azar por tratamiento (10 en total), en un área de 1.8 m² cada una (2.0×0.9 m), a los 90 días, cortando el maíz a la base del tallo para luego pesar cada muestra. Para la obtención de materia seca se secaron las muestras en un horno a 60 °C por 48 horas y luego se pesaron.

Humedad del cultivo (%): Se obtuvo por diferencia entre la materia fresca y la materia seca.

Producción en elote (kg/ha), con y sin tuza: Para ello se tomaron al azar 10 muestras por tratamiento (20 en total) a lo largo de una hilera, de cuatro m cada una. En cada muestra se contaron el número de plantas y el número de mazorcas para sacar la relación de número de mazorcas por planta.

Volumen de raíces: Determinado por el desplazamiento de agua en una probeta de volumen conocido. Se obtuvieron seis sistemas radiculares por tratamiento en las calicatas realizadas a la cosecha.

Profundidad de raíces: Determinada durante la descripción de calicatas de la cosecha, en las raíces de seis plantas por tratamiento.

Cebolla cv. Granex 429

Producción de bulbo comercial (kg/ha): Para ello se tomaron cuatro muestras por tratamiento (8 en total), de 4.8 m² cada una (2.4×2.0 m), en el momento de cosecha del bulbo

Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero)

Pasto estrella

Producción de materia fresca y materia seca (kg/ha): Se obtuvieron tres muestras por cuadrante, seis por tratamiento (12 en total) en 1 m² cada una (1×1 m), tomadas al azar. Las muestras se cortaron a 5 cm de altura en promedio y se pesaron para obtener la materia fresca. Para la obtención de la materia seca se secaron en un horno a 60 °C por 48 horas y luego se pesaron. Para el segundo corte, se incrementó la cantidad de muestras a 10 por tratamiento y se siguió el mismo procedimiento.

Humedad del cultivo (%): Se obtuvo por diferencia entre la materia fresca y la materia seca.

Concentración foliar de nutrientes: Para lo cual se tomó una muestra conformada por las hojas superiores del cultivo recogidas al azar por tratamiento el día del corte.

Profundidad de raíces: Determinada durante la descripción de calicatas de la cosecha, en las raíces de seis plantas por tratamiento.

Área C (Cuadrante 2 de San Nicolás)

Sorgo forrajero cv. Sureño

Altura de la planta: Medida a los 54 (inicio de la floración) y 84 días (previo al corte) después de la siembra, tomando la distancia entre la base del tallo y el último nudo ubicado en la base de la flor. Para los dos casos se tomaron al azar 10 plantas por tratamiento (20 en total). Para el segundo ciclo solo se efectuó la medición al día 54.

Concentración foliar de nutrientes: Al inicio de la floración (54 días) se colectó una muestra de 10 hojas maduras jóvenes tomadas al azar por tratamiento, cinco hojas por cuadrante. Las hojas corresponden a la tercera hoja a partir del ápice de la planta.

Producción de materia fresca y materia seca (kg/ha): Se tomaron 10 muestras al azar por tratamiento (20 en total), cinco muestras por cuadrante, de 1.4 m² cada una (2.0×0.7 m), a los 85 días de establecido el cultivo, cortando el sorgo a la base del tallo. Las muestras se pesaron inmediatamente para obtener la cantidad de materia fresca producida. Para la obtención de la materia seca se secaron las muestras en un horno a 60 °C por 48 horas y luego se pesaron.

Humedad del cultivo (%): Se obtuvo por diferencia entre la materia fresca y la materia seca.

Volumen de raíces: Determinado por el desplazamiento de agua por la raíz en una probeta de volumen conocido. Esto se evaluó en seis por tratamiento al final del ciclo.

Profundidad de raíces: Determinada durante la descripción de calicatas de la cosecha, en las raíces de seis plantas por tratamiento.

Maíz cv. HB 104

Altura de la planta: Medida a los 55 días después de la siembra (inicio de la floración) tomando la distancia entre la base del tallo y el último nudo ubicado en la base de la flor. Se midieron al azar 10 plantas por tratamiento.

Concentración foliar de nutrientes: Al inicio de la floración (55 días) se colectó una muestra de 10 hojas maduras jóvenes por tratamiento tomadas al azar. Las hojas corresponden a la tercera hoja a partir del ápice de la planta.

Producción de maíz seco (kg/ha) con y sin tuza: Se tomaron al azar 10 muestras por cuadrante (50 en total: 20 del área con subsoleo y 30 del área sin subsoleo), en 1.6 m² cada una (0.8×2.0 m).

Variables Independientes

Para conocer los cambios que sufre el suelo a través del tiempo se monitorearon las siguientes variables físicas del suelo: estructura, porosidad, resistencia a la penetración, drenaje interno, profundidad efectiva de raíces, densidad aparente, humedad del suelo, consistencia en húmedo y seco. Para ello se realizaron calicatas a la siembra y a la cosecha de cada ciclo, durante la primera etapa de evaluación y minicalicatas en la última etapa de evaluación de cada zona.

Análisis Estadístico

Dado que el objetivo de este estudio es evaluar el efecto de la rehabilitación morfológica y física del suelo en el rendimiento de los cultivo de interés bajo manejo comercial, no se

aplicó un diseño estadístico clásico que permita aleatoriedad estricta. Por tanto, el análisis estadístico que se realizó es:

- El análisis de varianza (ANDEVA) aplicando un modelo lineal general (GLM), con un diseño completo al azar (DCA) y una separación de medias mediante la prueba “T” utilizando una $P < 0.05$. Esto se realizó con el paquete estadístico Statistics Analysis System (SAS[®] 2001).
- La correlación entre la humedad y la densidad aparente del suelo, para el segundo corte del pasto estrella en Zorrales 5 y el maíz del Cuadrante 2 de San Nicolás.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SUBSOLEO

La eficiencia de profundidad en la penetración del cincel fue mayor en el Lote 13 de Zona II (93%) y se obtuvo una menor eficiencia de penetración en Zorrales 5 (67%). La eficiencia de fractura entre cinceles fue mayor en el Cuadrante 2 de San Nicolás (70%) y el menor rompimiento se obtuvo en Zorrales 5 (58%). La eficiencia neta fue menor a la recomendada (70%) en todos los casos⁵ (Cuadro 1).

Cuadro 1. Evaluación de la eficiencia del subsoleo en las tres áreas seleccionadas, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Área	Profundidad (cm)			Eficiencia (%)		
	Potencial (Pp)	Penetración (Pr)	Fractura entre cinceles (Pf)	Penetración (Ep)	Fractura entre cinceles (Ef)	Neta (En)
Lote 13, Zona II	60	56	38	93	68	63
Zorrales 5, Ganado Lechero	60	40	23	67	58	38
Cuadrante 2, San Nicolás	60	50	35	83	70	58

Debido a que en este estudio se hicieron dos pases, el segundo a 45° del primero, no se fragmentaron completamente los camellones que se originan entre los cinceles del subsolador. Además, el tractor utilizado alcanzó una velocidad de 3 km/h, lo cual no es suficiente para romper en forma efectiva el pie de arado, ya que se recomienda una velocidad de 6 km/h para fracturar el suelo en forma eficiente con este equipo⁶. Esto ocasionó que la eficiencia neta no fuera la esperada, acarreando dificultades de evaluación a lo largo del estudio.

⁵ Gauggel, C. 2005. Comunicación verbal. E.A.P., Zamorano, Honduras.

⁶ Fino, M. 2005. Comunicación verbal. E.A.P., Zamorano, Honduras.

EFFECTO DEL SUBSOLEO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Área A (Lote 13, Zona II)

Maíz cv. Dekalb D-343

Factores físicos y morfológicos del suelo

Las propiedades físicas del suelo del Lote 13 (Anexo 4) y las fotografías de las calicatas descritas a la siembra y a la cosecha (Anexos 5 y 6) muestran que el suelo presenta diferente composición textural en cada horizonte, siendo franco arcillo arenoso (FArA) en los primeros 30 cm, franco arenoso (FA) y arcillo arenoso (ArA) de los 30 – 50 cm y con predominio de textura arenosa (A) a profundidades mayores a los 50 cm y en algunos casos presenta un horizonte franco arcillo arenoso (FArA) bajo el horizonte arenoso (A).

Este suelo presenta compactación a menos de 40 cm de profundidad como consecuencia del pie de arado (horizonte Ad) que reduce el crecimiento radicular y su drenaje interno, lo cual se agrava por el alto contenido de arcilla (Figura 10).

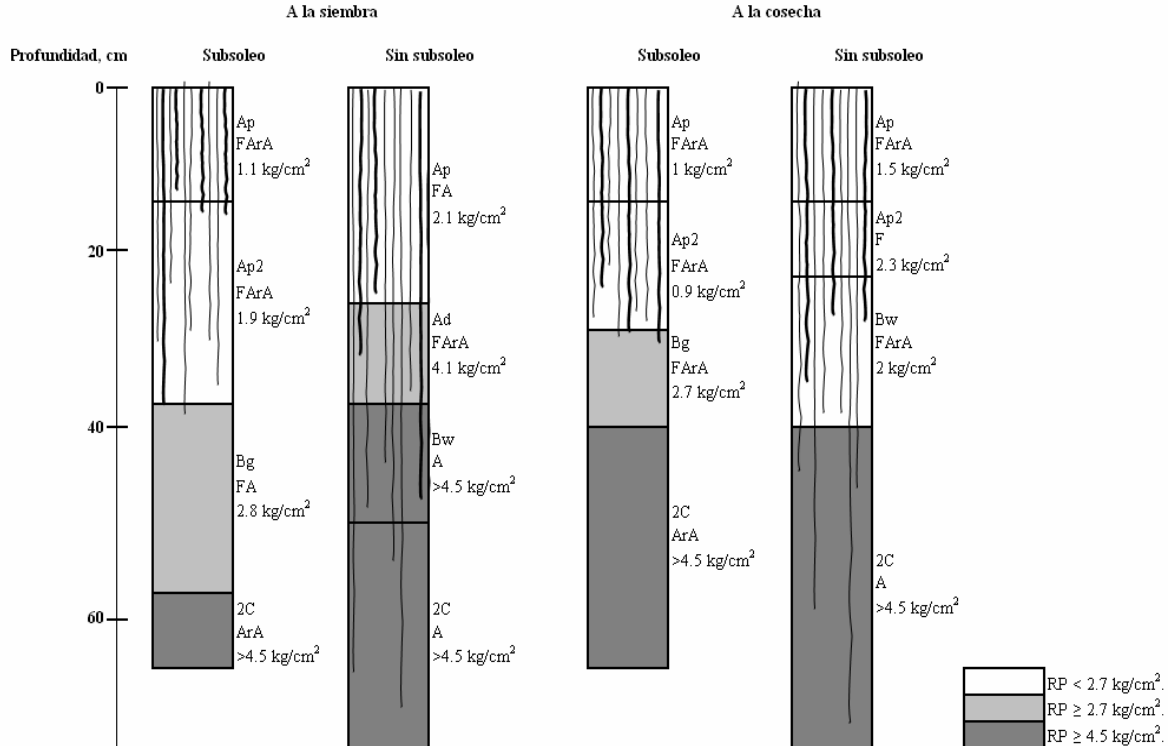


Figura 10. Esquema de las propiedades físicas del suelo en el cultivo de maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.

El esquema muestra un aumento en la profundidad efectiva del suelo por efecto del subsoleo en la evaluación realizada antes de la siembra (marzo de 2004), mientras que, la evaluación realizada en la cosecha (cinco meses después del subsoleo) no presentó cambio por efecto del subsoleo. Este comportamiento llevó a pensar que el efecto del subsoleo no es el mismo en toda el área ya que no se utilizó el mismo sitio de muestreo entre las calicatas. La variación en las propiedades físicas del suelo para los dos tratamientos se originan por esta situación, lo cual indica que la variabilidad espacial del efecto del subsoleo no se puede verificar en cualquier sitio, sino que se debe utilizar un punto fijo como sitio de monitoreo.

En la cosecha se observó mayor crecimiento radicular en el área con subsoleo, lo cual se debe a que se redujo la resistencia a la penetración en los primeros días de establecido el cultivo, que para los primeros dos horizontes fue $< 2.7 \text{ kg/cm}^2$; aunque se puede notar un horizonte compacto, con resistencia a la penetración de raíces $> 2.7 \text{ kg/cm}^2$, más superficial en el área con subsoleo (30 cm) con respecto al área sin subsoleo (38 cm).

Densidad aparente

La densidad aparente (Cuadro 2) es menor en los dos primeros horizontes en el área con subsoleo. Esta tendencia se mantiene hasta la cosecha para el primer horizonte y no para el segundo en el área con subsoleo, en la cual se observa un incremento en la densidad aparente. Esto indica que pudo existir un proceso de compactación a corto plazo y que el efecto de variación espacial del suelo en el sitio de muestreo pudo ser muy alto.

Cuadro 2. Densidad aparente (g/cc) del suelo en el cultivo de maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Horizonte	A la siembra	A la cosecha
Con subsoleo	Ap	1.17	1.20
	Ap2	1.34	1.40
	Promedio	1.26	1.30
Sin subsoleo	Ap	1.20	1.23
	Ad	1.43	1.38
	Promedio	1.32	1.31

Cebolla cv. Granex 429

Factores físicos y morfológicos del suelo

En el esquema de las principales características físicas del suelo a los 30 días de establecido el cultivo (11 meses después del subsoleo) (Figura 11) se observa que el área

con subsileo expresa las mismas condiciones de compactación que tenía antes del subsileo a partir del tercer horizonte.

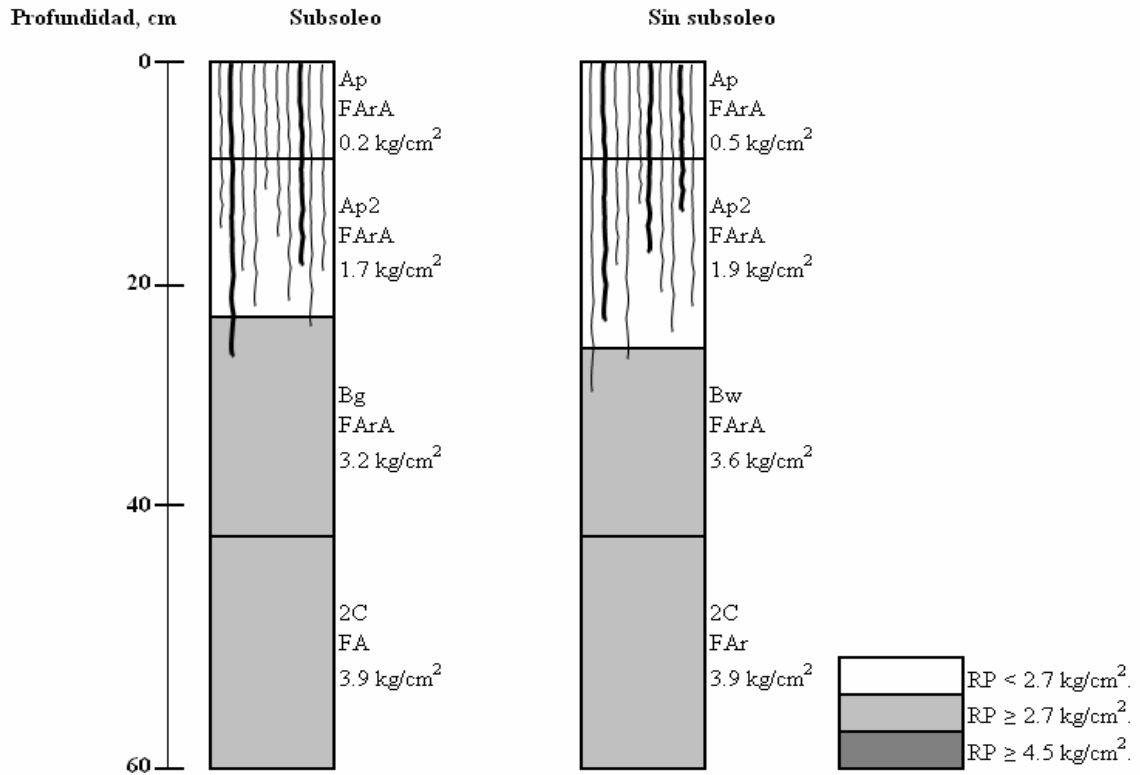


Figura 11. Esquema de las propiedades físicas del suelo en el cultivo de cebolla cv. Granex 429, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Para definir si esta condición es una respuesta a la modificación en el tiempo o efecto de la desuniformidad en la aplicación del subsileo se tomaron datos de profundidad de los horizontes y su resistencia a la penetración en 40 minicalicatas para elaborar mapas de variabilidad espacial.

Los mapas de profundidad de los cuatro horizontes descritos (Anexo 7) muestran que el primer horizonte es más profundo en el área con subsileo con respecto al área sin subsileo (12 cm y 8 cm respectivamente); esta diferencia se mantiene para el segundo horizonte (28 cm y 22 cm respectivamente), pero desaparece para el tercer y cuarto horizonte en los cuales ya no se observan diferencias en profundidad.

En la distribución espacial de la resistencia a la penetración de cada horizonte (Anexo 8) del primer y cuarto horizonte no se observan diferencias, pero en el segundo y tercer horizonte es notorio que el área sin subsileo presenta valores más altos que el área con subsileo; en el segundo horizonte los valores predominantes son de 1.2 a 2.0 kg/cm² para la mayor parte del área, lo cual no es una limitante física para el crecimiento radicular.

Este comportamiento del suelo hace presumir que el laboreo de este lote ha unificado la condición de las propiedades físicas en los dos primeros horizontes, y que posiblemente el área fue subsolada a la misma profundidad con anterioridad. El tercer horizonte presenta valores de resistencia a la penetración $> 4.5 \text{ kg/cm}^2$, lo cual impide el crecimiento de raíces, principalmente en el área sin subsoleo. El cuarto horizonte tiene una resistencia a la penetración $> 4.5 \text{ kg/cm}^2$ en casi toda el área.

Todo esto indica por qué el crecimiento radicular se limita a los primeros tres horizontes, debido posiblemente a que toda el área fue subsolada a poca profundidad, por lo cual el efecto del subsoleo no fue claro.

Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero)

Primer corte de pasto estrella

Factores físicos y morfológicos del suelo

Las características físicas del suelo del Lote Zorrales 5 (Anexo 9) y las fotografías de las calicatas descritas a la siembra y al primer corte (Anexos 10 y 11) muestran que el suelo presenta diferente composición textural en cada horizonte, siendo principalmente franco (F) en los primeros 10 cm y franco arcilloso (FAR) en los horizontes más profundos.

La compactación natural que se presenta cerca de la superficie (horizonte Ad) reduce el crecimiento radicular y la capacidad de drenaje interno del suelo, más aún por la presencia de arcilla (Figura 12). El horizonte compacto ocurre a 33 cm de la superficie en el área con subsoleo al momento de la siembra (cuatro meses después del subsoleo), pero las capas superficiales aumentan su resistencia a la penetración rápidamente y todo el perfil del suelo del área con subsoleo redujo su porosidad hasta el primer corte (seis meses después del subsoleo).

Al romper el pie de arado en las capas más superficiales el subsoleo mejoró la estructura y la porosidad y redujo la densidad aparente. En el área sin subsoleo los horizontes compactos persisten en el tiempo a 8 cm de profundidad.

La mayor elongación radicular observada al realizar el primer corte se debe a que el subsoleo redujo la resistencia a la penetración al momento de la siembra, que para los primeros dos horizontes es $< 2.7 \text{ kg/cm}^2$, lo cual favorece el crecimiento de las raíces. Sin embargo la lectura de calicatas realizada al primer corte muestra un perfil compactado ($> 2.7 \text{ kg/cm}^2$) a partir de la superficie, lo cual constituye una limitante físicas para el desarrollo radicular. El área sin subsoleo tiene valores de resistencia a la penetración $> 2.7 \text{ kg/cm}^2$ a partir del segundo horizonte, siendo la mayoría de ellos $> 4.5 \text{ kg/cm}^2$, lo cual restringe el crecimiento radicular. También se puede notar que el área con subsoleo presenta más poros y raíces que el área sin subsoleo.

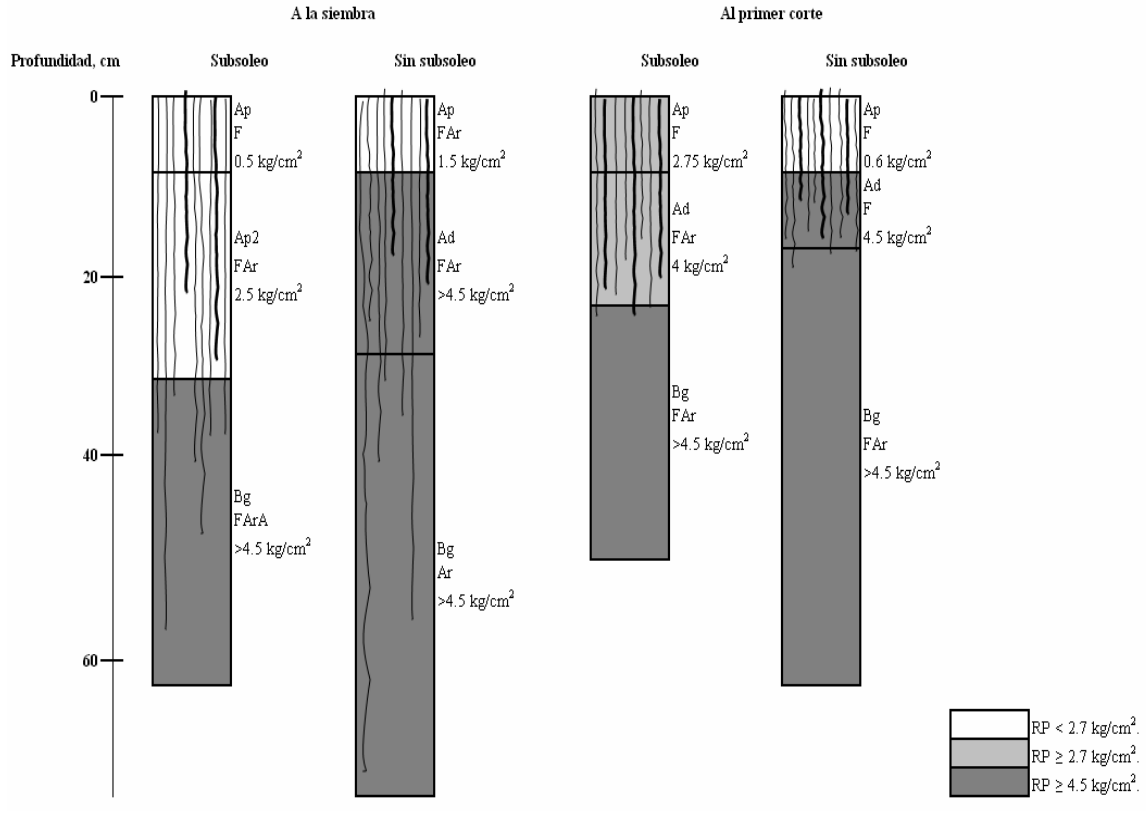


Figura 12. Esquema de las propiedades físicas del suelo en el primer corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Densidad aparente

El área con subsoló tiene en promedio un suelo con menor densidad aparente que el área sin subsuelo; esta tendencia se mantiene hasta el primer corte (seis meses después del subsuelo), lo cual indica que el subsuelo ayuda a mejorar la estructura y la porosidad del suelo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Densidad aparente (g/cc) del suelo en el primer corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Horizonte	A la siembra	Al corte
Con subsuelo	Ap	0.96	1.03
	Ap2	1.24	1.16
	Promedio	1.10	1.09
Sin subsuelo	Ap	1.14	0.94
	Ad	1.20	1.43
	Promedio	1.17	1.18

Segundo corte de pasto estrella

Factores físicos y morfológicos del suelo

El esquema que resume las 20 minicalicatas realizadas en la segunda evaluación (15 meses después del subsoleo) muestra que el suelo es principalmente franco arcilloso (FAr) hasta los 30 cm y varía de franco arcillo arenoso (FArA) a franco arenoso (FA) en los horizontes más profundos (Figura 13).

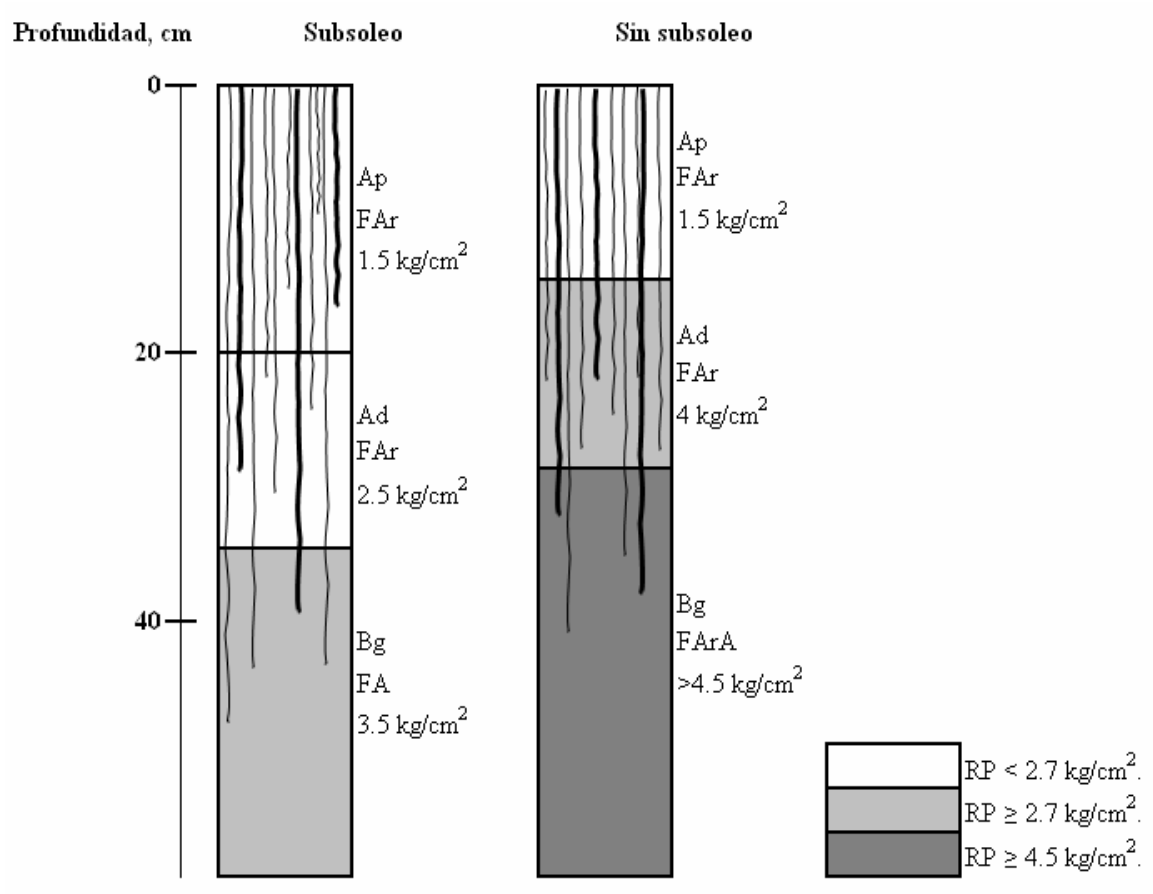


Figura 13. Esquema de las propiedades físicas del suelo en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Se observó mayor elongación radicular en el área con subsoleo lo cual se debe a que la compactación de los horizontes es más profunda que en el área sin subsoleo; esto se confirma con los valores más bajos de resistencia a la penetración ($< 2.7 \text{ kg/cm}^2$) que presenta el área con subsoleo en los primeros 35 cm.

Densidad aparente y humedad del suelo

La densidad aparente fue igual para los dos tratamientos a los 10 cm de profundidad; esto cambió a los 20 y 30 cm donde el área con subsoleo presentó valores más bajos, lo cual indica que se mantienen mayores condiciones de porosidad que favorecen el crecimiento radicular. En cuanto a la humedad no hay diferencia a los 10 y 20 cm de profundidad, sin embargo, a los 30 cm se puede notar que el área con subsoleo presenta mayor humedad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Densidad y humedad del suelo en tres profundidades en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Variable	Profundidad (cm)	Tratamiento	
		Con subsoleo	Sin subsoleo
Densidad (g/cc)	10	1.17 ^a	1.22 ^a
	20	1.17 ^b	1.29 ^a
	30	1.23 ^b	1.38 ^a
Humedad (%)	10	21.42 ^a	21.09 ^a
	20	22.80 ^a	18.51 ^a
	30	20.80 ^a	15.96 ^b

^{ab} Promedios de la misma fila seguidos por diferente letra difieren entre sí, prueba "T" (P < 0.05).

La correlación entre la humedad y la densidad aparente es mayor a los 30 cm (Cuadro 5).

Cuadro 5. Correlación entre la humedad y densidad aparente del suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Profundidad (cm)	Correlación
10	-0.63
20	-0.54
30	-0.70
Total	-0.65

Esta correlación es negativa, lo que indica que a mayor densidad aparente existe un proceso de compactación que reduce la porosidad del suelo y por tanto su capacidad para retener humedad (Figura 14). La humedad es mayor en el área con subsoleo, alcanzando valores superiores al 25 %, principalmente en el cuadrante nororiental de la parcela (Anexo 13).

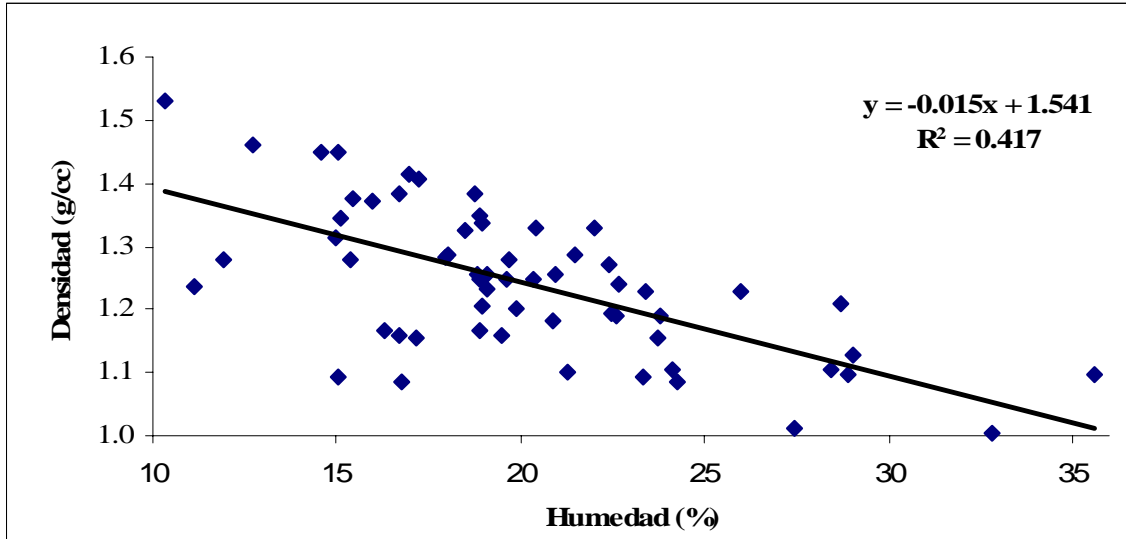


Figura 14. Correlación entre la humedad y densidad aparente del suelo en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

No hay diferencia en la distribución espacial de la profundidad de los tres primeros horizontes, excepto pequeñas áreas que presentan una profundidad mayor en los dos tratamientos (Anexo 14).

En cuanto a la resistencia a la penetración no hay una tendencia clara que favorezca a uno de los tratamientos en el primer y tercer horizonte; no así en el segundo horizonte, en el cual el área con subsoleo presenta valores más bajos, lo que favorece el crecimiento de las raíces (Anexo 15).

Área C (Cuadrante 2, San Nicolás)

Primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño

Factores físicos y morfológicos del suelo

Las características físicas del suelo (Anexo 16) y las calicatas descritas a la siembra y a la cosecha (Anexos 17 y 18) muestran que el suelo presenta diferente composición textural en su perfil, siendo principalmente franco (F) en los primeros 8 a 16 cm de profundidad, franco arcillo arenoso (FArA) hasta los 52 cm y arcillo arenoso (ArA) a mayores profundidades, con pequeñas áreas que poseen suelos con textura arenosa (A).

La compactación se presenta a pocos cm de la superficie como consecuencia del pie de arado (horizonte Ad) que reduce el crecimiento radicular y el drenaje interno del suelo, esto se agrava por el contenido de arcilla en los horizontes más superficiales (Figura 15).

Al romper el pie de arado se mejoró la estructura, profundidad efectiva, porosidad y densidad aparente a la siembra del cultivo, pero las condiciones de compactación se vuelven a presentar al corte del cultivo.

Las raíces del área con subsoleo son más cortas que en el área sin subsoleo a la siembra (marzo de 2004). La mayor longitud y volumen radicular que se observa a la cosecha (cuatro meses después del subsoleo) se debe a que el subsoleo redujo la resistencia a la penetración de raíces en los dos primeros horizontes ($< 2.7 \text{ kg/cm}^2$). Sin embargo la calicata descrita a la cosecha (cuatro meses después del subsoleo) muestra una resistencia a la penetración $> 2.7 \text{ kg/cm}^2$ más superficial en el área con subsoleo (13 cm), lo cual es una limitante física para el crecimiento radicular.

El área sin subsoleo tiene valores de resistencia a la penetración $> 2.7 \text{ kg/cm}^2$ a partir del segundo horizonte (8 cm). El área con subsoleo presentó más poros y raíces que el área sin subsoleo a la cosecha.

Este comportamiento también indico que el área seleccionada fue subsolada anteriormente, sin que existan registros al respecto.

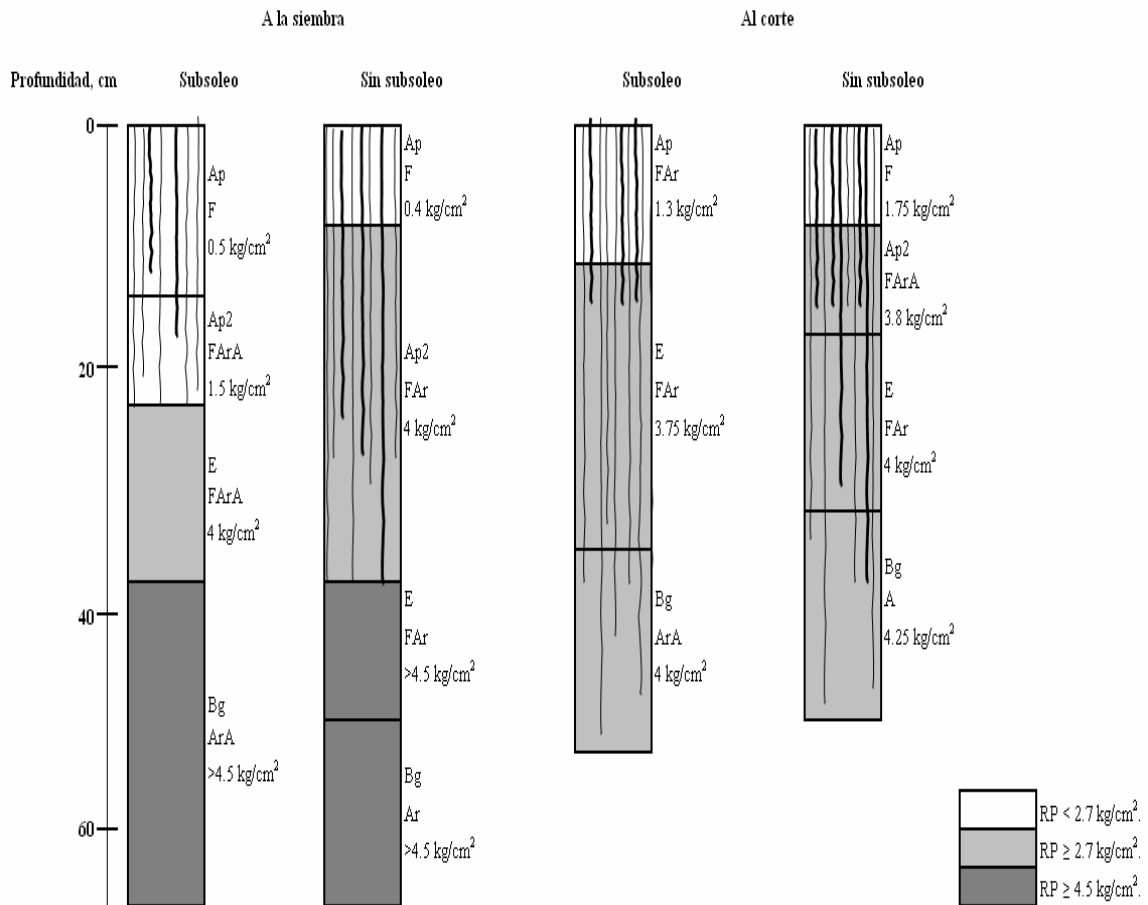


Figura 15. Esquema de las propiedades físicas del suelo en el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Densidad aparente

El área con subsoleo tiene una menor densidad aparente que el área sin subsoleo; esta tendencia se mantiene hasta el primer corte, lo cual indica que el subsoleo ayuda a mejorar la porosidad del suelo. Las variaciones entre la densidad aparente de la siembra (inmediatamente después de realizado el subsoleo) y la cosecha (cuatro meses después del subsoleo) son mínimas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Densidad aparente (g/cc) en el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Horizonte	A la siembra	Al corte
Con subsoleo	Ap	1.07	1.15
	Ap2	1.26	1.29
	Promedio	1.17	1.22
Sin subsoleo	Ap	1.21	1.23
	Ap2	1.29	1.32
	Promedio	1.25	1.28

Segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño

Factores físicos y morfológicos del suelo

Las calicatas descritas al rebrote y a la cosecha (Anexos 19 al 21) muestran que la variación en la composición textural del suelo se mantiene en todo el perfil, siendo principalmente franco arcilloso limoso (FARL) hasta los 47 cm de profundidad en la mayor parte del área, con variaciones de franco arcilloso (FAR), franco arcillo arenoso (FARa) y arcillo arenoso (ARa) en áreas más pequeñas. A mayores profundidades se encuentran texturas arcillo arenosas (ARa), franco arenosas (FA) y arenosas (A).

El mejoramiento en la estructura, profundidad efectiva, porosidad y densidad aparente producido por el subsoleo se mantiene a través del tiempo (Figura 16). Se puede identificar que el área con subsoleo presenta horizontes más friables ($< 2.7 \text{ kg/cm}^2$) hasta los 47 cm en el rebrote del sorgo (cinco meses después del subsoleo) y 38 cm en la cosecha (ocho meses después del subsoleo), mientras que, el área sin subsoleo mantiene todo el perfil compactado al rebrote (cinco meses después del subsoleo) y los primeros 20 cm de un horizonte friable a la cosecha.

Es posible que las variaciones en las propiedades físicas descritas entre el rebrote y la cosecha del cultivo se deban a un efecto de variabilidad espacial del suelo en el momento del monitoreo, ya que no se utilizó el mismo sitio para realizar la evaluación.

El área sin subsoleo presenta raíces más profundas que el área con subsoleo, lo cual se debe a la presencia de estructuras con bloques subangulares de todos los tamaños heredadas posiblemente de un trabajo anterior de subsoleo.

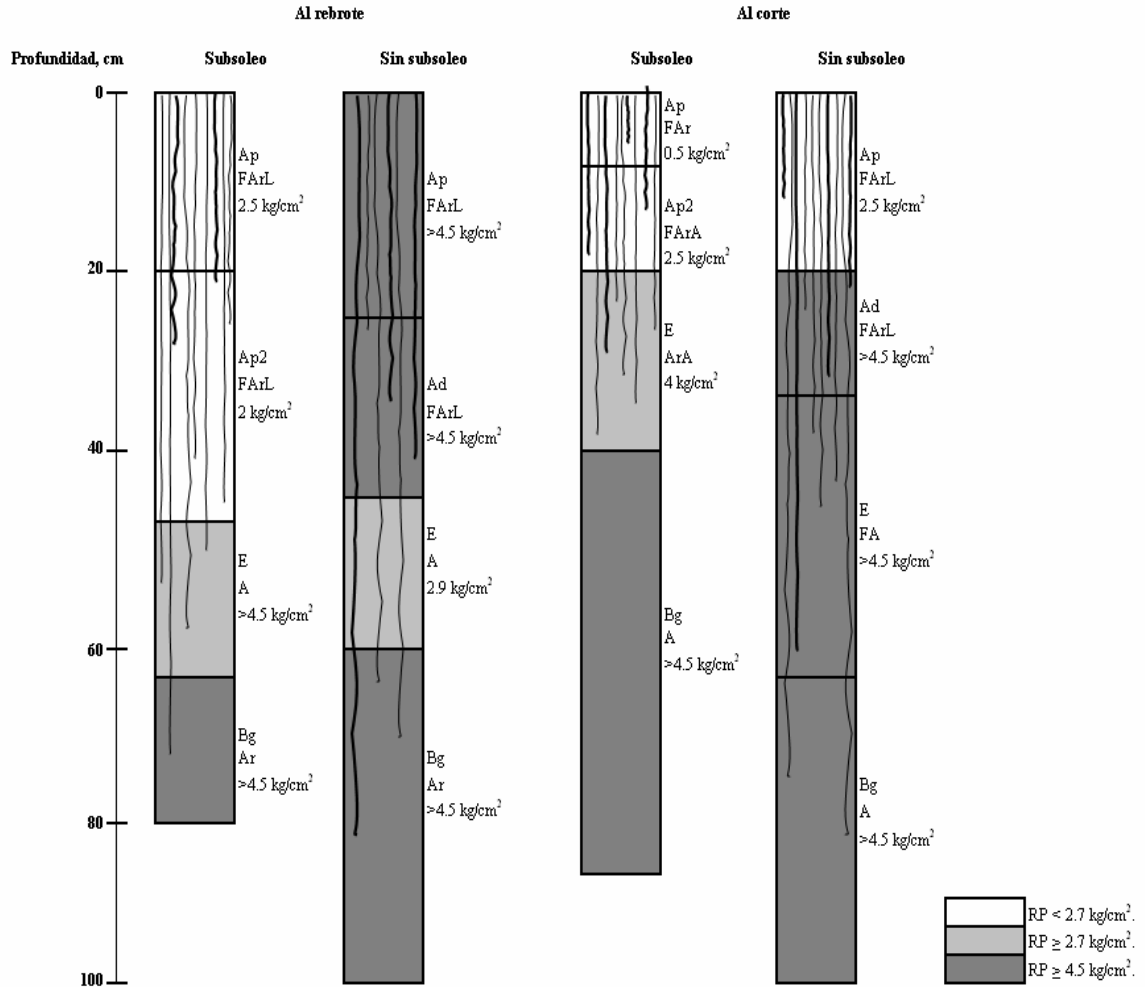


Figura 16. Esquema de las propiedades físicas del suelo en el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Densidad aparente

El área con subsoleo tiene una menor densidad aparente que el área sin subsoleo; esta tendencia se mantiene hasta el segundo corte (Cuadro 7). Desde el rebrote a la cosecha se incrementa la densidad aparente, lo cual indica que hay una ligera compactación del suelo con el paso del tiempo.

Cuadro 7. Densidad aparente (g/cc) del suelo en el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Horizonte	Al rebrote	Al corte
Con subsoleo	Ap	1.16	1.19
	Ap2	1.28	1.28
	Promedio	1.22	1.24
Sin subsoleo	Ap	1.33	1.41
	Ad	1.37	1.41
	Promedio	1.35	1.41

Maíz cv. HB 104

Factores físicos y morfológicos del suelo

El suelo mantiene variaciones en cuanto a composición textural en cada horizonte (Figura 17), siendo principalmente franco (F) y franco arcillo (FAr) en los primeros 22 cm de profundidad, franco arcillo arenoso (FArA) hasta los 53 cm y arcillo arenoso (ArA) o arenoso (A) a mayores profundidades.

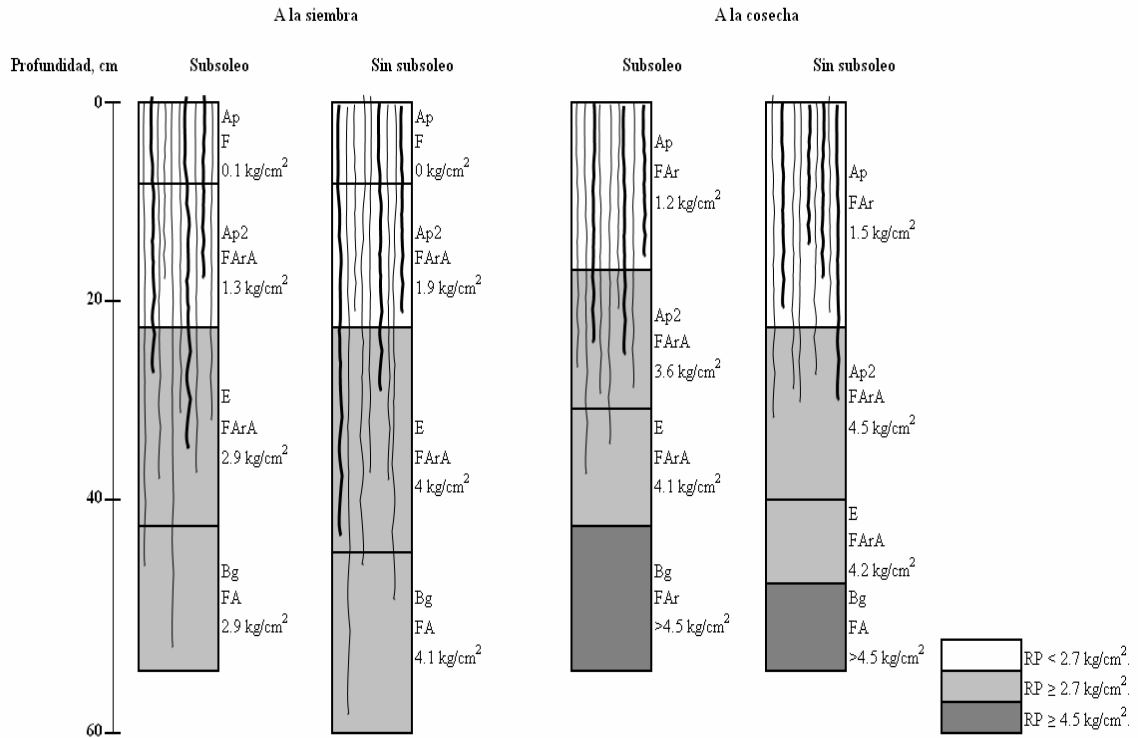


Figura 17. Esquema de las propiedades físicas del suelo en el cultivo de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

La compactación (resistencia a la penetración $> 2.7 \text{ kg/cm}^2$) se presenta a partir de los 18 a 22 cm en casi toda el área, lo cual indica la aparición de un pie de arado (horizonte Ad), que reduce el crecimiento radicular y la capacidad de drenaje interno del suelo, situación que se agrava por el contenido de arcilla.

En el esquema anterior se observa que el efecto del subsoleo realizado no se mantuvo en el perfil del suelo al momento de la siembra (10 meses después del subsoleo), y que los dos tratamientos presentan una variación similar en sus propiedades físicas. En la cosecha (14 meses después del subsoleo) se observó una mayor longitud de raíces en el área con subsoleo, pero sin diferencias significativas.

Los mapas de profundidad de los horizontes (Anexo 22) realizados a la siembra no muestran una tendencia clara que favorezca a uno de los tratamientos; no así los mapas de resistencia a la penetración (Anexo 23), en los cuales si se tienen valores más bajos en el área con subsoleo en los dos primeros horizontes, alcanzando 1.3 kg/cm^2 en la mayor parte del área, mientras que el área sin subsoleo tiene valores de 1.3 a 2.9 kg/cm^2 en la mayoría de su área; para el tercer y cuarto horizonte no se aprecia esta diferencia.

Los mapas de profundidad de los horizontes (Anexo 24) realizados a la cosecha muestran que las profundidades de los horizontes fueron mayores en el área sin subsoleo que en el área con subsoleo. Los mapas de resistencia a la penetración (Anexo 25) muestran valores más bajos en el área con subsoleo. La limitante física de resistencia a la penetración ($> 2.7 \text{ kg/cm}^2$) se observa a partir del segundo horizonte en toda el área, encontrándose los valores más altos ($> 4.5 \text{ kg/cm}^2$) en el área sin subsoleo.

Densidad y humedad del suelo

El subsoleo mejora la estructura del suelo reduciendo su densidad, pero también favorece el movimiento vertical del agua (Cuadro 8), con lo cual se facilita la lixiviación de nutrientes.

Cuadro 8. Densidad y humedad del suelo a 10, 20 y 30 cm en el cultivo de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Variable	Profundidad (cm)	Tratamiento	
		Con subsoleo	Sin subsoleo
Densidad (g/cc)	10	1.13 ^a	1.08 ^a
	20	1.13 ^a	1.12 ^a
	30	1.10 ^b	1.20 ^a
Humedad (%)	10	10.35 ^b	13.28 ^a
	20	12.83 ^a	13.01 ^a
	30	13.99 ^a	13.60 ^a

^{ab} Promedios de la misma fila seguidos por diferente letra difieren entre sí, prueba "T" ($P < 0.05$).

La densidad aparente es igual para los dos tratamientos a los 10 y 20 cm de profundidad; a los 30 cm el área sin subsoleo presenta una mayor densidad aparente, lo cual indica que el área con subsoleo mantiene las condiciones de porosidad (Anexo 26).

El área sin subsoleo tiene 2.9% más húmeda que el área con subsoleo, lo cual equivale a 2.9 mm de lámina de agua en el campo para los primeros 10 cm; no se observan diferencias a los 20 y 30 cm de profundidad (Anexo 27). La diferencia de humedad puede reducir el crecimiento del cultivo por el efecto acumulativo de tener 2.9 mm menos de agua. Esta situación se agrava debido a que el sistema de riego de San Nicolás (Pivote) no permite realizar aplicaciones fraccionadas en periodos de tiempo menores a 72 horas, ya que el área es extensa (50 Ha). Sin embargo, se trata que el volumen de riego aplicado (Anexo 3) cubra los requerimientos de cada etapa fonológica del cultivo⁷.

La correlación entre humedad y densidad del suelo es mayor a los 10 cm (Cuadro 9), pero la correlación total no muestra una tendencia clara que indique una relación entre estas variables. La humedad es mayor en el área sin subsoleo, alcanzando valores superiores al 16.5%, principalmente en el cuadrante central del lado norte de la parcela (Anexo 27).

Cuadro 9. Correlación entre la humedad y densidad aparente del suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad en el maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Profundidad (cm)	Correlación
10	-0.36
20	-0.04
30	-0.23
Total	-0.13

EFFECTO DEL SUBSOLEO EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO Y EN LA ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN LAS PLANTAS

Área A (Lote 13, Zona II)

Maíz cv. Dekalb D-343

Análisis químico del suelo

El análisis químico del suelo (Cuadro 10) muestra que el pH está en el rango adecuado en los dos tratamientos, por lo que no debería interferir en el desarrollo del cultivo; en los

⁷ Álvarez, F. 2005. Comunicación verbal. E.A.P., Zamorano, Honduras.

dos casos el pH desciende con la profundidad; sin embargo el área con subsoleo presentó un pH ligeramente más ácido (6.01) que el área sin subsoleo (6.40), lo cual puede ser causado por la lixiviación de cationes del suelo (Ca y Mg) en el área con subsoleo.

Cuadro 10. Análisis de suelo en solución extractable (Melich 3) realizado a la siembra del maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Horizonte	pH (H ₂ O)	% M.O.	% N total	mg/kg (Extractable)							
					P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	Ap	6.27	2.33	0.12	177	338	2110	130	3.30	218	180	4.30
	Ap2	5.75	2.34	0.12	200	338	2010	120	3.10	274	151	4.60
	Promedio	6.01	2.33	0.12	189	338	2060	125	3.20	246	166	4.45
Sin subsoleo	Ap	6.59	2.15	0.11	190	294	2210	140	3.20	208	176	3.80
	Ad	6.20	2.33	0.12	200	302	2100	130	3.10	259	128	4.00
	Promedio	6.40	2.24	0.11	195	298	2155	135	3.15	234	152	3.90
Rango medio [¶]		5.50 [†]	2.00	0.20	13	150	1000	180	1.70	56	28	1.70
		7.50	4.00	0.50	30	280	2500	250	3.40	112	112	3.40

[¶] Rango medio utilizado por el Laboratorio de suelos de la E.A.P.

[†] pH óptimo para maíz (Alarcón 2005).

La materia orgánica está próxima al límite inferior del rango adecuado, mientras que el N está en concentraciones bajas en el suelo. Esto indica la presencia de un proceso degradativo que ha reducido estos componentes del suelo y no se han restaurado con el tiempo. El P, K, Fe, Mn y Zn están en concentraciones altas en el suelo; el Ca y el Cu están dentro del rango adecuado y el Mg esta bajo el rango adecuado. También se puede identificar que el K, Cu, Fe, Mn y Zn están en mayores concentraciones en al área con subsoleo, no así el P, Ca y Mg que son más altos en el área sin subsoleo.

Este comportamiento de los nutrientes se debe a que el mejoramiento en la estructura originado por el subsoleo produce cambios en las reacciones químicas (reacciones REDOX) y bioquímicas del suelo. Estos cambios consisten en el incremento de la lixiviación de nutrientes, la descomposición de materia orgánica y la actividad biológica; mientras que se reduce la humedad y se modifican las relaciones catiónicas⁸.

Análisis foliar

El análisis foliar (Cuadro 11) muestra que en los dos tratamientos el N, Ca y Mg están bajo el rango adecuado. El P, K, Cu, Mn y Zn están en los rangos adecuados y el Fe está en altas concentraciones. Las concentraciones de P, Ca, Fe y Zn son ligeramente más

⁸ Gauggel, C. 2005. Comunicación verbal. E.A.P., Zamorano, Honduras.

altas en el área con subsoleo; el N, K, Mg y Mn están en concentraciones más bajas en el área con subsoleo; el Cu tiene iguales concentraciones en los dos tratamientos.

Cuadro 11. Análisis foliar para el cultivo de maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	%					mg/kg			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	2.64	0.35	2.37	0.22	0.10	8	89	32	26
Sin subsoleo	2.71	0.34	2.50	0.20	0.12	8	71	36	23
Rango adecuado [¶]	3.00	0.25	2.00	0.25	0.13	3	10	15	15
	3.50	0.45	2.50	0.50	0.30	15	20	300	60

[¶]Rango adecuado de concentración foliar de nutrientes para el cultivo de maíz (Jones et al. 1991).

Cebolla cv. Granex 429

Análisis químico del suelo

El análisis químico del suelo (Cuadro 12) muestra que el pH es menor en el área con subsoleo, pero se mantiene en los rangos adecuados para el cultivo de cebolla.

Cuadro 12. Análisis químico de suelo en solución extractable (Melich 3) para el cultivo de cebolla cv. Granex 249, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Horizonte	pH (H ₂ O)	% M.O.	% N total	mg/kg (Extractable)							
					P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	Ap	6.34	2.24	0.11	181	332	1830	130	3.20	262	161	3.70
	Ap2	6.37	1.41	0.07	152	270	1600	110	2.80	230	157	2.80
	Promedio	6.36	1.82	0.09	166	301	1715	120	3.00	246	159	3.25
Sin subsoleo	Ap	6.59	2.17	0.11	186	384	2010	140	4.20	241	172	4.70
	Ap2	6.47	1.75	0.09	122	252	1880	140	3.90	263	190	2.80
	Promedio	6.53	1.96	0.10	154	318	1945	140	4.05	252	181	3.75
Rango medio [¶]		6.00 [†]	2.00	0.20	13	150	1000	180	1.70	56	28	1.70
		7.20	4.00	0.50	30	280	2500	250	3.40	112	112	3.40

[¶]Rango medio utilizado por el Laboratorio de suelos de la E.A.P.

[†]pH óptimo para cebolla (Alarcón 2005).

La diferencia de pH se debe a que las concentraciones de K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn son más altas en el área sin subsoleo, lo que indica que la pérdida de nutrientes es mayor en el área con subsoleo debido a la lixiviación y mayor actividad bioquímica, la cual se incrementa en un suelo mejor estructurado y más poroso.

La materia orgánica y el N están por debajo de los rangos adecuados, pero se mantienen las concentraciones ligeramente más altas en el área sin subsoleo, confirmando el proceso de lixiviación.

El P, K, Fe y Mn están sobre el rango adecuado; el Ca está en el rango adecuado; el Mg está bajo el rango adecuado; el Cu y el Zn están en el rango adecuado en el área con subsoleo y altos en el área sin subsoleo.

Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero)

Primer corte de pasto estrella

Análisis químico del suelo

El análisis químico del suelo (Cuadro 13) muestra que el pH está en el rango adecuado en los dos tratamientos por lo que no debería interferir en el desarrollo del cultivo ni en la disponibilidad de nutrientes, sin embargo, el área con subsoleo tuvo un pH ligeramente más ácido (5.72) que el área sin subsoleo (5.82), lo cual se debe a que las concentraciones de P, K, Ca y Mg son más altas en el área sin subsoleo, porque hay menor lixiviación.

Cuadro 13. Análisis químico del suelo en solución extractable (Melich 3) en el primer corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Horizonte	pH (H ₂ O)	% M.O.	% N total	mg/kg (Extractable)							
					P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	Ap	5.54	3.10	0.16	17	384	2050	250	3.30	226	98	0.90
	Ap2	5.90	1.89	0.09	11	180	1770	190	2.70	166	85	0.60
	Promedio	5.72	2.50	0.12	14	282	1910	220	3.00	196	92	0.75
Sin subsoleo	Ap	5.50	5.75	0.29	55	856	2260	290	2.60	330	98	2.80
	Ad	6.14	2.35	0.12	9	156	2100	230	3.10	188	115	0.80
	Promedio	5.82	4.05	0.20	32	506	2180	260	2.85	259	107	1.80
Rango medio [¶]		4.30 [†]	2.00	0.20	13	150	1000	180	1.70	56	28	1.70
		8.40	4.00	0.50	30	280	2500	250	3.40	112	112	3.40

[¶] Rango medio utilizado por el Laboratorio de suelos de la E.A.P.

[†] pH óptimo para pasto *Cynodon* sp. (Feuchter 2000).

La materia orgánica está próxima al límite inferior del rango adecuado y el N ocurre en concentraciones bajas en el área con subsoleo, lo que indica la presencia de un proceso degradativo que ha reducido estos componentes del suelo. Esto no ocurre en el área sin subsoleo, ya que la materia orgánica está en el extremo superior del rango adecuado y el N está en el extremo inferior del rango adecuado.

El P y el Mg están en concentraciones altas en el área sin subsoleo y dentro del rango adecuado en el área con subsoleo; el K y el Fe están en concentraciones altas en los dos tratamientos; el Ca, Cu y Mn están dentro del rango adecuado; el Zn está en el rango adecuado en el área sin subsoleo y bajo el rango adecuado en el área con subsoleo.

El P, K, Ca, Mg, Fe, Mn y Zn están en mayores concentraciones en el área sin subsoleo, lo cual no ocurre con el Cu. Esto confirma que el proceso de lavado de nutrientes es mayor en el área con subsoleo, mientras que las capas compactas del área sin subsoleo reducen la lixiviación.

Análisis foliar

El análisis foliar (Cuadro 14) muestra que el N está bajo en el área sin subsoleo y en el rango adecuado en el área con subsoleo. El Ca está bajo el rango adecuado en los dos tratamientos, lo que significa que el aporte del suelo y la fertilización no aportó suficiente Ca, aunque su concentración foliar en el área sin subsoleo es ligeramente más alta en el área con subsoleo. El P, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn están en el rango adecuado y en concentraciones ligeramente más altas en el área con subsoleo.

Cuadro 14. Análisis foliar para el primer corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	%					mg/kg			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	3.40	0.32	2.29	0.28	0.17	11	89	50	28
Sin subsoleo	2.40	0.25	1.91	0.33	0.15	10	69	40	22
Rango adecuado [¶]	3.00	0.15	1.00	0.50	0.13	5	50	25	20
	6.00	0.60	4.00	1.00	0.50	50	350	300	250

[¶] Rango adecuado de concentración foliar de nutrientes para el cultivo de pasto *Cynodon* sp. (Jones et al. 1991).

Segundo corte de pasto estrella

Análisis químico del suelo

El análisis químico del suelo (Cuadro 15) muestra que el pH se mantiene en el rango adecuado para este cultivo; sin embargo el área con subsoleo presentó un pH ligeramente más ácido (5.40) que el área sin subsoleo (5.80).

La materia orgánica ocurre en las mismas concentraciones en los dos tratamientos y está en el rango adecuado y la concentración de N es igual para los dos tratamientos pero está bajo el rango adecuado. El P está bajo el rango adecuado en el área con subsoleo y alto en el área sin subsoleo; el Mg está dentro del rango normal en el área con subsoleo y ligeramente alto en el área sin subsoleo; el K y el Fe están en niveles altos para los dos tratamientos; el Ca, Cu y Mn están dentro del rango adecuado; el Zn está bajo el rango adecuado en los dos tratamientos. El P, Mg, Fe, y Zn están en mayor concentración en el área sin subsoleo, mientras que el K, Ca, Cu y Mn están en menor concentración.

Cuadro 15. Análisis químico del suelo en solución extractable (Melich 3) para el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Horizonte	pH (H ₂ O)	% M.O.	% N _{total}	mg/kg (Extractable)							
					P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	Ap	5.38	3.75	0.19	15	618	1930	250	2.70	216	106	1.10
	Ad	5.42	3.50	0.17	8	522	1980	240	2.90	214	104	0.80
	Promedio	5.40	3.62	0.18	12	570	1955	245	2.80	215	105	0.95
Sin subsoleo	Ap	5.60	5.42	0.27	61	530	2110	300	2.50	322	57	2.00
	Ad	6.00	1.82	0.09	18	306	1720	240	2.80	227	81	0.60
	Promedio	5.80	3.62	0.18	39	418	1915	270	2.65	275	69	1.30
Rango medio [¶]		4.30 [†]	2.00	0.20	13	150	1000	180	1.70	56	28	1.70
		8.40	4.00	0.50	30	280	2500	250	3.40	112	112	3.40

[¶] Rango medio utilizado por el Laboratorio de suelos de la E.A.P.

[†] pH óptimo para pasto *Cynodon* sp. (Feuchter 2000).

Análisis foliar

En análisis foliar (Cuadro 16) muestra que el N es bajo en el área sin subsoleo y está próximo al límite inferior del rango adecuado en el área con subsoleo; el P y K están

dentro del rango adecuado en los dos tratamientos, con una concentración ligeramente más alta de K en el área con subsoleo; el Ca está bajo el rango adecuado en los dos tratamientos; el Mg está en el límite inferior del rango adecuado en el área con subsoleo y bajo el rango adecuado en el área sin subsoleo.

Cuadro 16. Análisis foliar para el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	%					mg/kg			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	3.05	0.30	2.17	0.31	0.15	11	115	43	27
Sin subsoleo	2.20	0.32	1.98	0.29	0.12	8	83	68	22
Rango adecuado [¶]	3.00	0.15	1.00	0.50	0.13	5	50	25	20
	6.00	0.60	4.00	1.00	0.50	50	350	300	250

[¶]Rango adecuado de concentración foliar de nutrientes para el cultivo de pasto *Cynodon* sp. (Jones et al. 1991).

Se puede observar que los micronutrientes están dentro del rango adecuado en los dos tratamientos, con concentraciones de Cu, Fe y Zn ligeramente más altas en el área con subsoleo y una concentración más alta de Mn en el área sin subsoleo.

Área C (Cuadrante 2, San Nicolás)

Primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño

Análisis químico del suelo

El análisis químico del suelo (Cuadro 17) muestra que el pH está bajo el rango adecuado para este cultivo, por lo que su desarrollo puede verse afectado, sin embargo el área con subsoleo presentó un pH más ácido (5.01) que el área sin subsoleo (5.44).

La materia orgánica está próxima al límite inferior del rango adecuado, y la concentración de N está bajo el rango adecuado en los dos tratamientos. El P, K, Fe y Mn están en niveles altos en el suelo; el Mg y el Zn están bajos; el Ca y el Cu están dentro de los rangos adecuados. El K, Ca, Mg, Cu y Zn están en mayor concentración en el área sin subsoleo, mientras que el P, Fe y Mn están en menor concentración en esta área. Esta diferencia puede originar el cambio de pH entre los dos tratamientos, ya que existe una mayor concentración de cationes en el área sin subsoleo, lo cual eleva ligeramente el pH.

Cuadro 17. Análisis químico del suelo en solución extractable (Melich 3) para el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Horizonte	pH (H ₂ O)	% M.O.	% N total	mg/kg (Extractable)							
					P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	Ap	4.78	2.46	0.12	89	716	1350	160	2.30	267	174	1.60
	Ap2	5.24	2.17	0.11	34	358	1430	140	2.70	299	165	1.30
	Promedio	5.01	2.32	0.12	61	537	1390	150	2.50	283	170	1.45
Sin subsoleo	Ap	5.26	2.74	0.14	67	764	1610	170	2.60	322	135	2.10
	Ap2	5.61	2.31	0.12	12	346	1890	170	3.00	234	98	1.30
	Promedio	5.44	2.52	0.13	39	555	1750	170	2.80	278	117	1.70
Rango medio [¶]		5.80 [†]	2.00	0.20	13	150	1000	180	1.70	56	28	1.70
		7.50	4.00	0.50	30	280	2500	250	3.40	112	112	3.40

[¶] Rango medio utilizado por el Laboratorio de suelos de la E.A.P.

[†] pH óptimo para sorgo (Alarcón 2005).

Análisis foliar

El análisis foliar (Cuadro 18) muestra que el N está bajo el rango adecuado en los dos tratamientos; el K y el Mg están deficientes para los dos tratamientos, el Ca está en el límite inferior del rango adecuado; el P está sobre el rango adecuado; el Cu, Fe y Mn están dentro del rango adecuado; el Zn está dentro del rango adecuado en el área sin subsoleo y bajo en el área con subsoleo. Las concentraciones de N, P, Ca y Fe son ligeramente mayores en el área con subsoleo, mientras que el K, Cu, Mn, y Zn están en menores concentraciones. El Mg está en iguales concentraciones en los dos tratamientos.

Cuadro 18. Análisis foliar para el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	%					mg/kg			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	2.58	0.32	1.79	0.18	0.16	7	87	33	18
Sin subsoleo	2.48	0.31	1.83	0.16	0.16	8	82	43	28
Rango adecuado [¶]	3.20	0.13	2.00	0.15	0.20	2	55	6	20
	4.20	0.25	3.00	0.90	0.50	15	200	100	40

[¶] Rango adecuado de concentración foliar de nutrientes para el cultivo de sorgo forrajero (Jones et al. 1991).

Segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño

Análisis químico del suelo

El análisis químico del suelo (Cuadro 19) muestra que el pH está bajo el rango adecuado para este cultivo, por lo que su desarrollo puede verse afectado. El área sin subsoleo tiene un pH más ácido (5.10) que el área con subsoleo (5.35). Esta variación entre las diferencias de pH entre las primera y segunda evaluación, que para el primer corte fue menor en el área con subsoleo, pudo ocasionarse porque no se utilizó el mismo sitio de muestreo.

La materia orgánica está próxima al límite inferior del rango adecuado y el N está bajo el rango adecuado en los dos tratamientos. Esto indica que ha existido un proceso de lavado de los componentes nitrogenados del suelo.

La concentración de materia orgánica y N es ligeramente más alta en el área sin subsoleo. El P, K y Fe están en niveles altos en los dos tratamientos; el Ca y el Cu están dentro del rango adecuado; el Mg y el Zn están bajo el rango adecuado; y el Mn está en el rango adecuado en el área con subsoleo pero alto en el área sin subsoleo. Todos los nutrientes, con excepción del Fe y Mn, están en mayores concentraciones en el área con subsoleo.

Esta diferencia en concentración puede originar el cambio de pH entre los dos tratamientos, ya que existe una mayor concentración de cationes en el área con subsoleo, lo cual eleva su pH.

Cuadro 19. Análisis químico del suelo en solución extractable (Melich 3) para el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Horizonte	pH (H ₂ O)	% M.O.	% N total	mg/kg (Extractable)							
					P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	Ap	5.38	2.31	0.12	55	634	1640	220	2.80	335	112	2.00
	Ap2	5.32	2.40	0.12	58	470	1650	160	3.00	346	111	1.70
	Promedio	5.35	2.35	0.12	57	552	1645	190	2.90	341	112	1.85
Sin subsoleo	Ap	4.90	2.81	0.14	51	610	1280	120	2.10	269	157	1.40
	Ad	5.29	2.32	0.12	32	406	1510	130	2.70	251	133	1.00
	Promedio	5.10	2.56	0.13	42	508	1395	125	2.40	260	145	1.20
Rango medio [¶]		5.80 [†]	2.00	0.20	13	150	1000	180	1.70	56	28	1.70
		7.50	4.00	0.50	30	280	2500	250	3.40	112	112	3.40

[¶] Rango medio utilizado por el Laboratorio de suelos de la E.A.P.

[†] pH óptimo para sorgo (Alarcón 2005).

Análisis foliar

El análisis foliar (Cuadro 20) muestra que el N, K, Ca, Mg y Zn están bajo el rango adecuado en los dos tratamientos, lo que indica que la fertilización para estos nutrientes fue deficiente; el P está alto y en iguales concentraciones en los dos tratamientos; el Cu, Fe y Mn están dentro del rango adecuado. Las concentraciones de N, Fe, Mn y Zn son ligeramente mayores en el área sin subsoleo, mientras que el K y Mg están en menores concentraciones. El Ca está en iguales concentraciones en los dos tratamientos.

Cuadro 20. Análisis foliar para el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	%					mg/kg			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	2.25	0.28	1.42	0.07	0.11	6	53	30	17
Sin subsoleo	2.35	0.28	1.30	0.07	0.10	8	61	49	19
Rango adecuado [¶]	3.20	0.13	2.00	0.15	0.20	2	55	6	20
	4.20	0.25	3.00	0.90	0.50	15	200	100	40

[¶] Rango adecuado de concentración foliar de nutrientes para el cultivo de sorgo forrajero (Jones et al. 1991).

Maíz cv. HB 104

Análisis químico del suelo

El análisis químico del suelo (Cuadro 21) muestra que el pH está bajo el rango adecuado en los dos tratamientos y se incrementa con la profundidad. El área sin subsoleo presentó un pH ligeramente más ácido (5.09) que el área con subsoleo (5.37).

La materia orgánica está próxima al límite inferior del rango adecuado, mientras que el N está en concentraciones bajas en los dos tratamientos. Esto indica que ha existido un proceso de transformación que ha reducido la materia orgánica del suelo, la cual no se ha restaurado con el tiempo. El P, K, Fe y Mn están en concentraciones altas en el suelo; el Ca y el Cu están en el rango adecuado; el Mg y el Zn están bajo el rango adecuado. El P está en mayores proporciones en el área sin subsoleo; los demás elementos están en mayores proporciones en el área con subsoleo.

Cuadro 21. Análisis químico del suelo en solución extractable (Melich 3) para el cultivo de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Horizonte	pH (H ₂ O)	% M.O.	% N total	mg/kg (Extractable)							
					P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	Ap	5.23	2.07	0.10	44	422	1300	140	2.60	280	140	1.40
	Ap2	5.50	2.12	0.11	27	316	1500	150	2.90	242	105	1.00
	Promedio	5.37	2.09	0.10	36	369	1400	145	2.75	261	123	1.20
Sin subsoleo	Ap	4.70	2.06	0.10	67	428	1010	150	2.30	246	128	1.20
	Ap2	5.48	1.62	0.08	16	224	1390	130	2.60	225	110	0.80
	Promedio	5.09	1.84	0.09	42	326	1200	140	2.45	236	119	1.00
Rango medio [¶]		5.50 [†]	2.00	0.20	13	150	1000	180	1.70	56	28	1.70
		7.50	4.00	0.50	30	280	2500	250	3.40	112	112	3.40

[¶] Rango medio utilizado por el Laboratorio de suelos de la E.A.P.

[†] pH óptimo para maíz (Alarcón 2005).

Análisis foliar

El análisis foliar (Cuadro 22) muestra que en los dos tratamientos el N está bajo el rango adecuado; el P, Ca, Mg y Zn están próximos al límite inferior del rango adecuado; el K y el Fe están en concentraciones altas; el Cu y Mn están en el rango adecuado. Las concentraciones de N, K, Ca, Fe y Zn son ligeramente más altas en el área con subsoleo; el Mn está en concentraciones más bajas en el área con subsoleo; el Mg y el Cu tienen iguales concentraciones en los dos tratamientos.

Cuadro 22. Análisis foliar para el cultivo de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Tratamiento	%					mg/kg			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Con subsoleo	2.60	0.26	2.93	0.28	0.14	9	85	149	25
Sin subsoleo	2.58	0.26	2.91	0.26	0.14	9	84	158	22
Rango adecuado [¶]	3.00	0.25	2.00	0.25	0.13	3	10	15	15
	3.50	0.45	2.50	0.50	0.30	15	20	300	60

[¶] Rango adecuado de concentración foliar de nutrientes para el cultivo de maíz (Jones et al. 1991).

EFECTO DEL SUBSOLEO EN LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

Área A (Lote 13, Zona II)

Maíz cv. Dekalb D-343

Es necesario subir y fraccionar la dosis de fertilización con N, Ca y Mg para que el fertilizante aplicado sea aprovechado de mejor forma por el cultivo; el P y el K tienen una disponibilidad óptima y al estar en condiciones altas en el suelo no es necesario aplicarlos; hay que mantener la dosis de fertilización con Cu; el Fe, Mn y Zn se presentan en altas concentraciones por lo que no se deben aplicar mientras el suelo cubre los requerimientos del cultivo. La materia orgánica está próxima al límite inferior del rango adecuado, por lo que se debe realizar una aplicación de mantenimiento.

Cebolla cv. Granex 429

No se pudo obtener la disponibilidad de los nutrientes ya que no se contó con los análisis foliares. Pero, con base en los análisis químicos del suelo, se puede inferir que es necesario mejorar la condición química del suelo con la adición de materia orgánica e incrementando y fraccionando la dosis de fertilización con N y Mg; y mantener la fertilización con P, K, Ca, Fe, Mn, Cu y Zn ya que estos elementos están dentro del rango adecuado en el suelo.

Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero)

Primer corte de pasto estrella

Es necesario subir y fraccionar la dosis de fertilización con N y Ca en los dos tratamientos para que el fertilizante aplicado sea aprovechado de mejor manera por el cultivo; aplicar dosis de mantenimiento de P y Mg en el área con subsoleo, no es necesario realizar aplicaciones en el área sin subsoleo; el K y el Fe no deben aplicarse en ninguno de los tratamientos ya que su concentración en el suelo es alta y su disponibilidad es óptima; la fertilización con Cu y Mn debe mantenerse; la aplicación de Zn debe incrementarse en el área con subsoleo y mantenerse en el área sin subsoleo. La materia orgánica está próxima al límite inferior del rango adecuado en el área con subsoleo, por lo que es necesario realizar una aplicación de mantenimiento; esto no es necesario en el área sin subsoleo.

Segundo corte de pasto estrella

Es necesario subir y fraccionar la dosis de fertilización con N, Ca y Zn para los dos tratamientos; aplicar dosis de mantenimiento de Cu y Mn en los dos tratamientos; el K y el Fe no deben aplicarse en ninguno de los tratamientos ya que su concentración en el suelo es alta y su disponibilidad es óptima; mantener la fertilización con P en el área sin subsoleo y subirla en el área con subsoleo. La aplicación de Mg debe subirse en el área sin subsoleo y mantenerse en el área con subsoleo. La materia orgánica está dentro del rango adecuado en los dos tratamientos por lo que se recomienda realizar aplicaciones de mantenimiento.

Área C (Cuadrante 2, San Nicolás)

Primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño

Incrementar y fraccionar la dosis de fertilización con N y Mg; bajar la dosis de fertilización con P; el K muestra una disponibilidad baja siendo necesario subir la fertilización con este elemento; el Ca está en los rangos adecuados, por lo que se deben realizar aplicaciones de mantenimiento para los dos tratamientos; el Fe y el Mn están altos en el suelo, por lo que no se recomienda realizar aplicaciones; la fertilización con Cu debe mantenerse ya que está en los rangos adecuados; se debe subir y fraccionar la fertilización con Zn para el área con subsoleo, y mantenerse para el área sin subsoleo. Hay que añadir materia orgánica al suelo, principalmente al área con subsoleo, para facilitar la retención de nutrientes y estabilizar la estructura y porosidad del suelo.

Segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño

Incrementar y fraccionar la dosis de fertilización con N; bajar la dosis de fertilización con P; subir y fraccionar la fertilización con Mg para el área sin subsoleo, y mantener para el área con subsoleo; el K, Ca y Zn muestran una disponibilidad baja siendo necesario subir la fertilización; el Fe y el Mn están altos en el suelo, por lo que no es necesario realizar aplicaciones; la fertilización con Cu debe mantenerse ya que está en los rangos adecuados; subir y fraccionar la fertilización con Zn para el área con subsoleo, y mantener para el área sin subsoleo. Hay que añadir materia orgánica al suelo para facilitar la retención de nutrientes y estabilizar la estructura y porosidad del suelo.

Maíz cv. HB 104

Incrementar y fraccionar la fertilización con N; aplicar dosis de mantenimiento de P, K y Ca; subir la fertilización con Mg y Zn; el Fe y el Mn están altos en el suelo, por lo que no

se recomienda realizar aplicaciones; la fertilización con Cu debe mantenerse ya que está en los rangos adecuados. Hay que añadir materia orgánica al suelo para facilitar la retención de nutrientes y estabilizar la porosidad y estructura del suelo.

La disponibilidad de nutrientes de cada área se encuentra resumida en los Anexos 28 y 29.

EFFECTO DEL SUBSOLEO EN LAS PROPIEDADES AGRONÓMICAS Y EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Área A (Lote 13, Zona II)

Maíz cv. Dekalb D-343

El análisis estadístico (Cuadro 23) muestra que el área sin subsoleo presentó una menor profundidad de raíces (25 cm) con respecto al área con subsoleo (39 cm); el volumen de raíces no presentó diferencias entre los tratamientos; las diferencias pueden ser causadas por la eliminación en el pie de arado hasta los 38 cm.

La longitud y ancho de las hojas no presentan diferencias entre los dos tratamientos. El área con subsoleo presentó mayor altura de plantas al inicio de la floración, sin embargo, en la fase reproductiva se observó uniformidad en la plantación. Por alguna razón el área sin subsoleo presenta una mayor densidad de plantas por hectárea. No se observan diferencias en el número de mazorcas por planta, pero en el peso de mazorca con tuza el área con subsoleo tiene un mejor desempeño, situación que se invierte en el peso de mazorca sin tuza.

No hubo diferencia en la producción de mazorcas con tuza; sin embargo, el rendimiento de mazorca sin tuza es mayor en el área sin subsoleo, lo cual es un reflejo de la mayor densidad de plantas existentes en esta área. Esta situación puede cambiar si se evalúan las dos áreas bajo las mismas densidades de plantas.

En el rendimiento de materia fresca no hay diferencia, aunque el área con subsoleo tiene un valor más alto, pero es menor en el rendimiento de materia seca, mostrando un valor favorable al área sin subsoleo. Esto se debe a que el área con subsoleo acumula más humedad en la planta y por tanto más biomasa, tal como lo indica el mayor tamaño de hoja, mayor peso con tuza, y mayor rendimiento en materia fresca, aunque en rendimiento neto de mazorca sin tuza y materia seca las cosas favorecen al área sin subsoleo.

Cuadro 23. Resultado de las variables medidas en el cultivo de maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Variable	Tratamiento	
	Con subsoleo	Sin subsoleo
Profundidad de raíces (cm)	39.00 ^a	24.83 ^b
Volumen de raíces (cc)	92.33 ^a	79.83 ^a
Longitud de la hoja (cm)	107.33 ^a	100.67 ^a
Ancho de la hoja (cm)	9.12 ^a	9.32 ^a
Altura de las plantas (cm)	198.70 ^a	183.40 ^b
Plantas por metro de cama	4.83 ^b	6.35 ^a
Plantas por hectárea	53,613.00 ^b	70,485.00 ^a
Mazorcas por planta	0.99 ^a	0.94 ^a
Peso de la mazorca con tuza	0.39 ^a	0.35 ^b
Peso de la mazorca sin tuza	0.17 ^b	0.21 ^a
Rendimiento con tuza (kg/ha)	10,252.70 ^a	11,458.70 ^a
Rendimiento sin tuza (kg/ha)	4,608.70 ^b	6,754.90 ^a
Materia fresca (kg/ha)	43,608.00 ^a	40,835.00 ^a
Materia seca (kg/ha)	9,578.80 ^a	10,587.00 ^a
Humedad (%)	76.98 ^a	73.78 ^a

^{ab} Promedios de la misma fila seguidos por diferente letra difieren entre sí, prueba "T" (P < 0.05).

Cebolla cv. Granex 429

No hay diferencia (P < 0.05) en cuanto a la producción, sin embargo, el área sin subsoleo tiene una producción ligeramente mayor que el área con subsoleo (10,154 kg/ha y 9,714 kg/ha respectivamente), ya que el área sin subsoleo mantiene una concentración de nutrientes ligeramente más alta que el área con subsoleo, y una mayor retención de humedad en la parte superior del perfil del suelo debido al pie de arado.

Cabe mencionar que las raíces de este cultivo necesitan poca profundidad, por lo que no se puede afirmar que el subsoleo beneficia el desempeño del cultivo de cebolla, ya que el rompimiento de horizontes compactos que se encuentran a 20 cm de profundidad no afecta mayormente su sistema radicular. Además, las camas del cultivo se levantan 20 cm sobre el perfil normal del suelo, alcanzando unos 40 cm de profundidad efectiva, por lo que no hay un efecto físico del subsoleo en este cultivo.

Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero)

Primer corte de pasto estrella

El área sin subsoleo presentó menor profundidad de raíces (15 cm) con respecto al área con subsoleo (27 cm), lo cual se debe a la reducción en el pie de arado (Cuadro 24). En cuanto al rendimiento de materia fresca y materia seca, el área sin subsoleo presentó un mejor desempeño, debido a que los dos primeros horizontes tienen una mayor concentración de nutrientes que en el área con subsoleo. La humedad en la biomasa del cultivo es mayor para el área sin subsoleo.

Cuadro 24. Resultado de las variables medidas en el primer corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Variable	Tratamiento	
	Con subsoleo	Sin subsoleo
Profundidad de raíces (cm)	27.2 ^a	15.3 ^b
Materia fresca (kg/ha)	18,149.0 ^b	23,593.0 ^a
Materia seca (kg/ha)	4,234.7 ^b	5,444.7 ^a
Humedad (%)	76.6 ^b	76.9 ^a

^{ab} Promedios de la misma fila seguidos por diferente letra difieren entre sí, prueba “T” (P < 0.05).

Segundo corte de pasto estrella

El rendimiento de materia fresca y materia seca no presentan diferencias, teniéndose un valor ligeramente más alto en el área con subsoleo (Cuadro 25), lo cual pudo deberse a que las condiciones del suelo tienden a homogenizarse con el tiempo. La humedad del cultivo es igual en los dos tratamientos.

Cuadro 25. Resultado de las variables medidas en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Variable	Tratamiento	
	Con subsoleo	Sin subsoleo
Materia fresca (kg/ha)	16,591.0 ^a	15,682.0 ^a
Materia seca (kg/ha)	4,060.0 ^a	3,960.0 ^a
Humedad (%)	75.3 ^a	74.6 ^a

^{ab} Promedios de la misma fila seguidos por diferente letra difieren entre sí, prueba “T” (P < 0.05).

Área C (Cuadrante 2, San Nicolás)

Primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño

El área sin subsoleo presentó menor profundidad y volumen de raíces (8.5 cm y 16.1 cc) que al área con subsoleo (28.0 cm y 22.5 cc) (Cuadro 26). Las diferencias se deben a la reducción del pie de arado que limita el crecimiento radicular en el área con subsoleo.

La altura de las plantas tiene un comportamiento particular. Se realizaron dos mediciones (a los 54 y 84 días), en la primera medición el área con subsoleo presentó mayor altura, pero a medida que el cultivo maduraba las plantas del área sin subsoleo crecieron en mayores proporciones alcanzando la misma altura que las plantas del área con subsoleo al día del corte. En el área sin subsoleo se realizó siembra directa, por lo que el material vegetal presente sobre el suelo ocasionó retraso en la germinación y un crecimiento más lento en las primeras etapas del cultivo, esto no se vio en el área con subsoleo.

En cuanto al rendimiento de materia fresca no se observan diferencias, aunque el área sin subsoleo tiene mayor producción que el área con subsoleo; si existe diferencia en la producción de materia seca ya que ésta es 1588 kg/ha más alta en el área sin subsoleo. No se observa diferencias en el contenido de humedad del cultivo, aunque se mantiene la tendencia de que el cultivo del área con subsoleo presenta un valor más alto.

Cuadro 26. Resultado de las variables medidas en el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Variable	Tratamiento	
	Con subsoleo	Sin subsoleo
Profundidad de raíces (cm)	28.0 ^a	8.5 ^b
Volumen de raíces (cc)	22.5 ^a	16.2 ^b
Altura de las plantas día54 (cm)	207.3 ^a	192.7 ^b
Altura de las plantas día84 (cm)	223.9 ^a	224.7 ^a
Materia fresca (kg/ha)	34,101.0 ^a	39,070.0 ^a
Materia seca (kg/ha)	9,009.6 ^b	10,597.8 ^a
Humedad (%)	73.0 ^a	69.0 ^a

^{ab} Promedios de la misma fila seguidos por diferente letra difieren entre sí, prueba "T" (P < 0.05).

Segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño

El área sin subsoleo presentó menor profundidad y volumen de raíces (9.0 cm y 11.8 cc) con respecto al área con subsoleo (25.5 cm y 17.67 cc) (Cuadro 27).

Las diferencias existentes se deben a la reducción del pie de arado que limita el crecimiento radicular en el área con subsoleo, cuyas condiciones se mantienen en la evaluación.

La altura de las plantas no presenta diferencias al corte del cultivo. En cuanto al rendimiento de materia fresca y materia seca no se observaron diferencias, sin embargo, el área sin subsoleo presenta una producción ligeramente mayor. En cuanto a la humedad del cultivo el área sin subsoleo acumula menos humedad en la biomasa, manteniéndose la tendencia presentada en el primer corte.

Cuadro 27. Resultado de las variables medidas en el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Variable	Tratamiento	
	Con subsoleo	Sin subsoleo
Profundidad de raíces (cm)	25.5 ^a	9.0 ^b
Volumen de raíces (cc)	17.7 ^a	11.8 ^b
Altura de las plantas día84 (cm)	147.9 ^a	160.5 ^a
Materia fresca (kg/ha)	25,279.0 ^a	27,547.0 ^a
Materia seca (kg/ha)	8,037.0 ^a	9,301.0 ^a
Humedad (%)	68.4 ^a	66.5 ^b

^{ab} Promedios de la misma fila seguidos por diferente letra difieren entre sí, prueba "T" (P < 0.05).

Maíz cv. HB 104

No hay diferencia en cuanto a altura de plantas y las variables de producción (kg/ha de mazorcas con y sin tuza) entre los tratamientos (Cuadro 28).

Cuadro 28. Resultado de las variables medidas en el maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Variable	Tratamiento	
	Con subsoleo	Sin subsoleo
Altura de las plantas al día55 (cm)	169.5 ^a	166.7 ^a
Producción mazorcas con tuza (kg/ha)	1,788.3 ^a	1750.3 ^a
Producción mazorcas sin tuza (kg/ha)	1,481.0 ^a	1429.2 ^a

^{ab} Promedios de la misma fila seguidos por diferente letra difieren entre sí, prueba "T" (P < 0.05).

CONCLUSIONES

El subsoleo mejoró la estructura e incremento la porosidad del suelo y la profundidad de raíces en el maíz Dekalb D-343, pasto estrella y sorgo forrajero, así como el volumen de raíces en el primer corte de sorgo forrajero. La altura de las plantas fue mayor en el área con subsoleo hasta la floración, pero luego la plantación se homogenizó en su etapa reproductiva para los casos de maíz Dekalb D-343 y HB 104 y los dos cortes de sorgo forrajero. El subsoleo incrementó el peso de mazorca con tuza en el maíz Dekalb D-343. Se encontró menor densidad de plantas en el maíz Dekalb D-343 en el área con subsoleo, lo cual incide en los resultados y puede deberse a la maquinaria empleada en la siembra y no al tratamiento.

El subsoleo rompió el pie de arado mejorando la estructura del suelo, la profundidad efectiva y su drenaje interno. Redujo la densidad aparente, la resistencia a la penetración de raíces, el pH y la concentración de N, P, K, Ca y Mg, mientras que el Cu, Fe, Mn y Zn no mostraron una tendencia clara en su concentración en el suelo por efecto del tratamiento.

Los análisis foliares no muestran diferencia en cuanto a la absorción de nutrientes entre los tratamientos.

El subsoleo mejoró el rendimiento de mazorca con tuza en el maíz Dekalb D-343, pero presentó una menor producción de mazorca sin tuza en el maíz Dekalb D-343 (debido a la menor densidad de plantas del área con subsoleo), materia fresca en el pasto Estrella (primer corte) y materia seca en el maíz Dekalb D-343, pasto Estrella y sorgo forrajero (primer corte).

Después de subsolar el suelo conservó durante los 15 meses de evaluación la porosidad, el drenaje interno y la estructura adquirida, observándose una tendencia a incrementar la densidad aparente y reducir el espacio poroso, pero no se alcanzó las condiciones iniciales de compactación al final de la evaluación. La concentración de nutrientes en el suelo tiende a ser similar entre los tratamientos al terminar la evaluación.

RECOMENDACIONES

Mejorar la calidad del subsoleo utilizando un equipo (tractor) de mayor potencia, para romper los horizontes compactos a la profundidad requerida.

Incrementar la intensidad de muestreo de los análisis de suelo, análisis foliares y calicatas para tener una mejor perspectiva del efecto del subsoleo, y corroborar su efecto con una mejor distribución espacial de los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo por efecto del subsoleo y la variabilidad espacial de sus propiedades.

Evitar el uso de cultivos de raíz poco profunda como la cebolla en la evaluación del efecto del subsoleo, ya que no se puede ver el efecto físico del rompimiento del pie de arado en el rendimiento del cultivo.

Revisar los programas de riego y fertilización y ajustarlos a las condiciones del suelo logradas por efecto del subsoleo, en la medida que los recursos lo permitan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, A. L. 2005. Rangos de pH óptimo para diferentes cultivos (en línea). Consultado el 9 de sep. 2005. Dpto. Producción Agraria (Área Edafología y Química Agrícola) - ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena. INFOAGRO. Disponible en: http://www.infoagro.com/abonos/pH_suelo.htm
- Almendros, G. 2000. Procesos de transformación de la materia orgánica en ecosistemas agrícolas e inalterados. En: La edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Tomo 1. Quintero, R.; Reyna, T.; Corlay, L.; Ibañez, A.; y García, N E. (Eds). UNAM. México.
- Barahona, R. 2000. Caracterización detallada de los suelos de San Nicolás y prácticas recomendadas para su uso sostenible, El Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. 51 p.
- Benzing, A. 2001. Agricultura Orgánica. Fundamentos para la región andina. Neckar-Verlag, Villingen-Schweningen, Alemania. 681 p.
- Castro, R. 2003. Caracterización detallada de los suelos de los sectores de Ganado Lechero y Monte Redondo 1, 2 y 3 de El Zamorano, Honduras para el establecimiento y renovación de pasturas. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. 45 p.
- Estación Meteorológica El Zamorano. 2005. Con base en la recopilación diaria de los datos climáticos de Zamorano. Zamorano, Honduras. Inédito.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1977. Land, water and plant nutrition (en línea). Consultado el 23 de mar. 2004. Disponible en: http://216.109.124.98/language/translatedPage?tt=url&text=http%3a//www.fao.org/ag/agl/swlwpnr/reports/y_nf/egypt/e_soils.htm&lp=en_es&intl=e1
- Fernández, J. 2003. Caracterización detallada de los suelos de los sectores de Zorrales y Monte Redondo, de Zamorano, Honduras para el establecimiento y renovación de pasturas. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. 55 p.
- Feutcher, F. R. 2000. Manual de transferencia tecnológica para adoptar la metodología del establecimiento y manejo agropecuario, biotecnología, propagación y uso sustentable de una pradera de pasto bermuda *Cynodon sp.* (L.) Pers (en línea). Consultado el 9 de sept. 2005. Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario del Noroeste. CD. Obregón, Sonora. México. Disponible en: http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/zacate/zacate.htm#1_5
- Golden Software, Inc. 1999. User's Guide. Surfer⁽⁷⁾ Program. Contouring and 3D Surface mapping for Scientists and Engineers. Golden, Colorado.

- Jones, B. Jr.; Wolf, J.B.; Hills, H.A. 1991. Plant analysis handbook micro macro publishing Inc. s.n.t. 193 p.
- López, A. 2004. Características del suelo en el cultivo del maíz bajo labranza cero y labranza convencional en suelos típicos del Valle de Quimistán, Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. 27 p.
- López, J. 2003. Caracterización de los suelos de la Zamoempresa de Cultivos Extensivos en el Valle de El Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. 35 p.
- Oldeman, L.R.; Hakkeling, R.T.; Sombroek, W.G. 1990. World of the status of human induced soil degradation: an explanatory note. The Global Assessment of Soil Degradation Project. (GLASOD). ISRIC/UNEP. 34 p.
- Parr, J.A.; Thapa, G.B.; Siderius, W.R. 1990. Rehabilitation of degraded arid range ecosystems. In Soil Conservation for Survival. Ed. Kebede T. and Hurni H. SWCS p. 356-372.
- SAS[®]. 2000. User`s Guide. Statistical Analysis Institute Inc. Carey N.C.
- Taboada, M.A.; Micucci, F.G. 2002. Fertilidad Física de los Suelos. Facultad de Aeronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 79 p.

ANEXOS

Anexo 1. Programa de fertilización para los cultivos evaluados.

Ubicación	Cultivo	Semana	Aporte (kg/ha)				
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Área A (Lote 13, Zona II)	Maíz cv. Dekalb D-343	1	0.2	0.3	0.3	0.2	7.0
		4	42.0	0.3	0.3	0.2	9.3
		7	62.7				16.2
		Total	104.9	0.6	0.6	0.4	32.5
	Cebolla cv. Granex 429	1	14.5	6.1	9.6		
		2	27.1	6.1	9.6	4.2	
		3	30.2	12.2	9.6	8.4	2.8
		4	27.3	12.2	17.9	8.4	2.8
		5	21.3	12.2	15.5	8.4	2.8
		6	24.9	6.1	25.1	8.4	2.8
7		26.1	6.1	32.3	4.2	2.8	
	Total	171.3	61.0	119.6	42.2	13.9	
Área C (Cuadrante 2, San Nicolás)	Primer ciclo de sorgo forrajero	1	24.5	62.7	19.1		11.6
		4	73.2		21.8		15.5
		7	83.6				27.0
		Total	181.4	62.7	40.9		54.1
	Segundo ciclo de sorgo forrajero	1	22.9	58.5			
		4	62.7		27.3		
		7	94.1		13.6		27.0
		Total	179.7	58.5	40.9		27.0
	Maíz cv. HB 104	1	32.7	83.6			
		4	55.5		33.0		
7		90.5		19.4		20.6	
Total		178.7	83.6	52.4		20.6	

En el Lote 13 de Zona II y el Cuadrante 2 de San Nicolás se mantuvo el programa de fertilización establecido por la Unidad correspondiente. En el Lote Zorrales 5 de Ganado Lechero no se fertilizó. Se utilizó urea (46% N) como fuente de N y Sulfato de Magnesio (16% MgO) como fuente de Mg en las áreas A y C. En el área A las fuentes de Ca y K fueron el Nitrato de Calcio (27% CaO y 15.5% N) y el Nitrato de Potasio (44% K₂O y 13.5% N) respectivamente. En el área C se utilizó KCl (60% K₂O) como fuente de K. Se utilizó MAP (50% de P₂O₅) y DAP (18% N, 46% P₂O₅) como fuentes de P para las áreas A y C respectivamente.

Anexo 2. Plan de Manejo para los cultivos evaluados en el proyecto.

Maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II:

- Herbicida Permit contra coyolillo.
- Riego frecuente.

Pasto estrella, Lote Zorrales 5, Ganado Lechero:

- Herbicida 2-4-D contra malezas de hoja ancha.
- No se aplico riego.

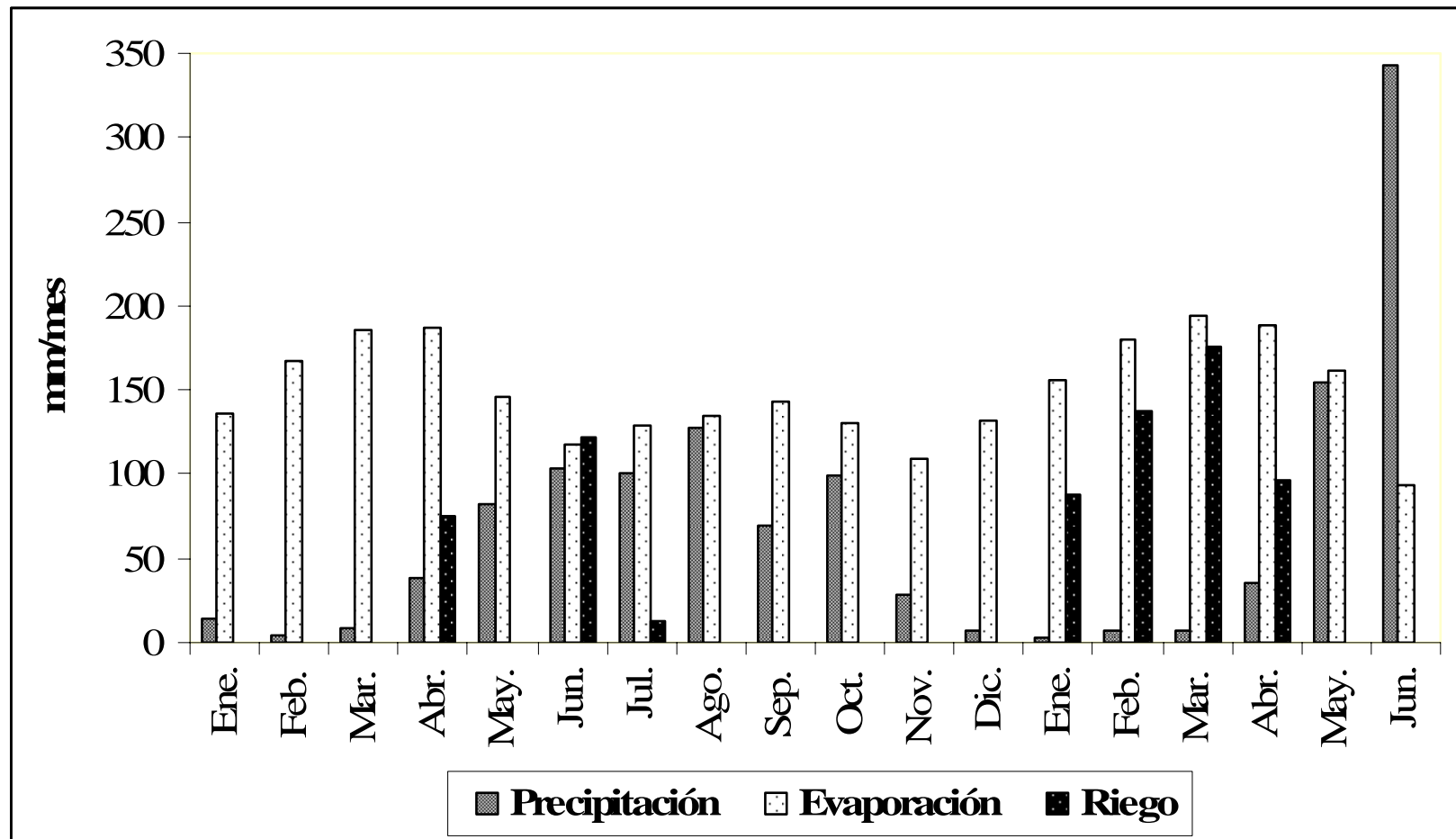
Sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás

- Herbicida Glifosato para combatir gramíneas y malezas de hoja ancha.
- Carbofurán para combatir varias plagas insectiles (13 kg/ha).
- Herbicida Atracina para combatir malezas de hoja ancha (1.75 kg/ha).
- Match contra *Mosis* sp.
- Liberación de *Telenomus remus* para combatir cogollero (*Spodoptera* sp.)
- Riego (210 mm en los dos ciclos).

Maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás

- Insecticida Lorsban (Clorpirifos).
- Match contra *Mosis* sp. (gusano medidor).
- Nomolt (Teflubenzurón) + Karate (Lambdacialotrina) para diatraea.
- Riego (498 mm/ciclo).

Anexo 3. Datos de evaporación, precipitación y riego de 2004 y 2005 (hasta junio) en el Pivote Central, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Fuente: Estación Metereológica El Zamorano. 2005. Con base en la recopilación diaria de los datos climáticos de Zamorano.

ÁREA A (Lote 13, Zona II)
MAÍZ CV. DEKALB D-343

Anexo 4. Descripción del suelo del Lote 13 de Zona II, durante el cultivo de maíz cv. Dekalb D-343. E.A.P., Zamorano, Honduras.

Perfil #	Unidad de mapeo	Horizonte	Profundidad (cm)	Color	Moteos %	Textura	Fragmentos gruesos	Estructura	Consistencia	Poros	Raíces	Resistencia a la penetración (kg/cm ²)	Límite
1 Subsoleo, a la siembra	-	Ap	0-16	10 YR 3/2		FArA		ba m f	fr	tt t f, tt v f	f g p	1.1	o c
	<u>M</u>	Ap2	16-36	10 YR 3/3		FArA		ba m f	fr	mf v p	f p	1.9	p d
	F-	Bg	36-58	10 YR 3/3		FA		ba tt d	f	f v p, m t p	a	2.8	p d
		2C	58-67x	5 Y 4/1	10	ArA		m	f	a	a	>4.5	
1 Sin subsoleo, a la siembra		Ap	0-26	7.5 YR 3/2		FA		bsa m d m f	fr	mf v m, mf t m	f p	2.1	p c
	<u>M</u>	Ad	26-37	7.5 YR 3/1	1	FArA		m	f	mf t p	f p	4.1	o c
	F-/g	Bw	37-50	10 YR 4/3		A		m	f	f v m, f t p	mf p	>4.5	q c
		2C	50-75x	10 YR 4/4		A	50% grava	m	f	f v p, m t p	mf p	>4.5	
2 Subsoleo, a la cosecha		Ap	0-15	7.5 YR 3/2		FArA		ba, bsa tt d	fr	f r p d	tt f	1	p d
	<u>M</u>	Ap2	15-30	7.5 YR 3/3		FArA		ba, bsa tt d	fr	tt v f	f p	0.9	p c
	F-	Bg	30-40	7.5 YR 5/2	7	FArA	7 % grava	p d g	fr	tt t f, m v p	a	2.7	p c
		2C	40-67x	5 Y 4/1	10	ArA		m	f	a	a	>4.5	
2 Sin subsoleo, a la cosecha		Ap	0-14	10 YR 3/2		FArA		bsa tt md	fr	m f v f	f p	1.5	o c
	<u>M</u>	Ap2	14-24	10 YR 3/2		F		bsa tt d	fr	m f v p	f p	2.3	p c
	F-/g	Bw	24-38	7.5 YR 5/3		FArA	Grava	bsa gm d	fr	tt v f	mf p	2	q c
		2C	38-75x	10 YR 4/4		A	grava 50%	bsa tt d	f	f v p	mf p	>4.5	

Unidad de mapeo: M: Familia textural franca (Texturas francas, arenas francas, franco arenosa, franco limosa), F-: Texturas finas (franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso), F+: Texturas arcillosas (franco arcillosa, arcillosa, arcillo limosa, arcillo arenosa), Gg: Gravas finas y gruesas.

Textura: F: franco, A: arena, AF: arena franca, FA: franco arenoso, FL: franco limoso, Ar: arcilla, FAr: franco arcilloso, FArA: franco arcillo arenoso, FArL: franco arcillo limoso.

Estructura: 1) Forma: g: granular, ba: bloques angulares, bsa: bloques subangulares, p: prismas, m: compacto. 2) Tamaño: tt: todos tamaños, m: medianos, g: gruesos, mg: muy gruesos, f: finos, mf: muy finos. 3) Grado: d: débil, f: fuerte, m: moderado.

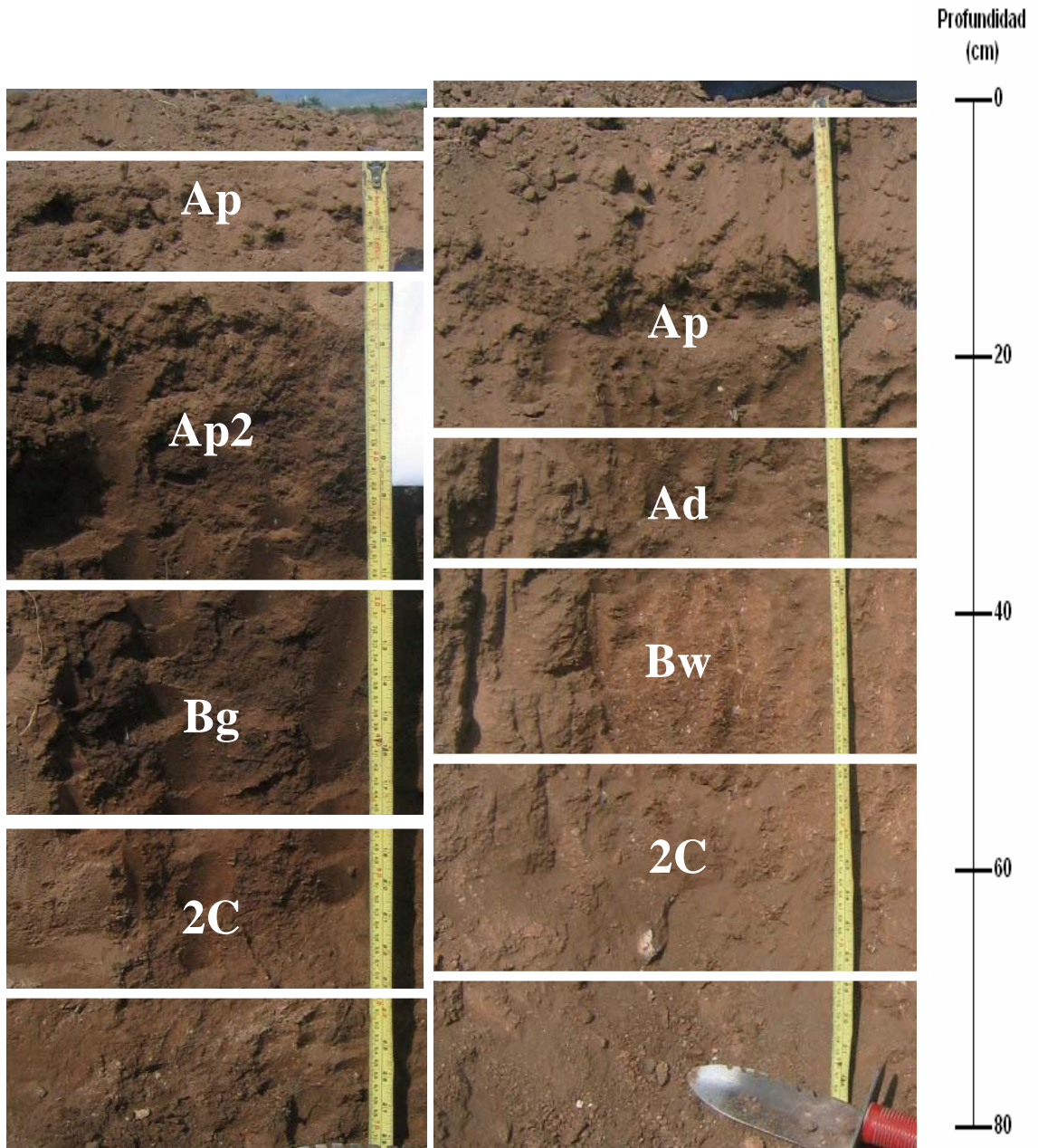
Consistencia: fr: friable, mfr: muy friable, f: firme, mf: muy firme

Poros: 1) Tamaño: f: finos, mf: muy finos, g: gruesos, m: medianos, tt: todos tamaños. 2) Forma: v: vesicular, t: tubular, r: reticular. 3) Cantidad: p: pocos, m: muchos, f: frecuentes, a: ausentes. 4) Continuidad: c: continuos, d: discontinuos.

Raíces: 1) Cantidad: m: muchas, p: pocas, f: frecuentes, a: ausentes. 2) Tamaño: f: finas, mf: muy finas, g: gruesas, tt: todos tamaños.

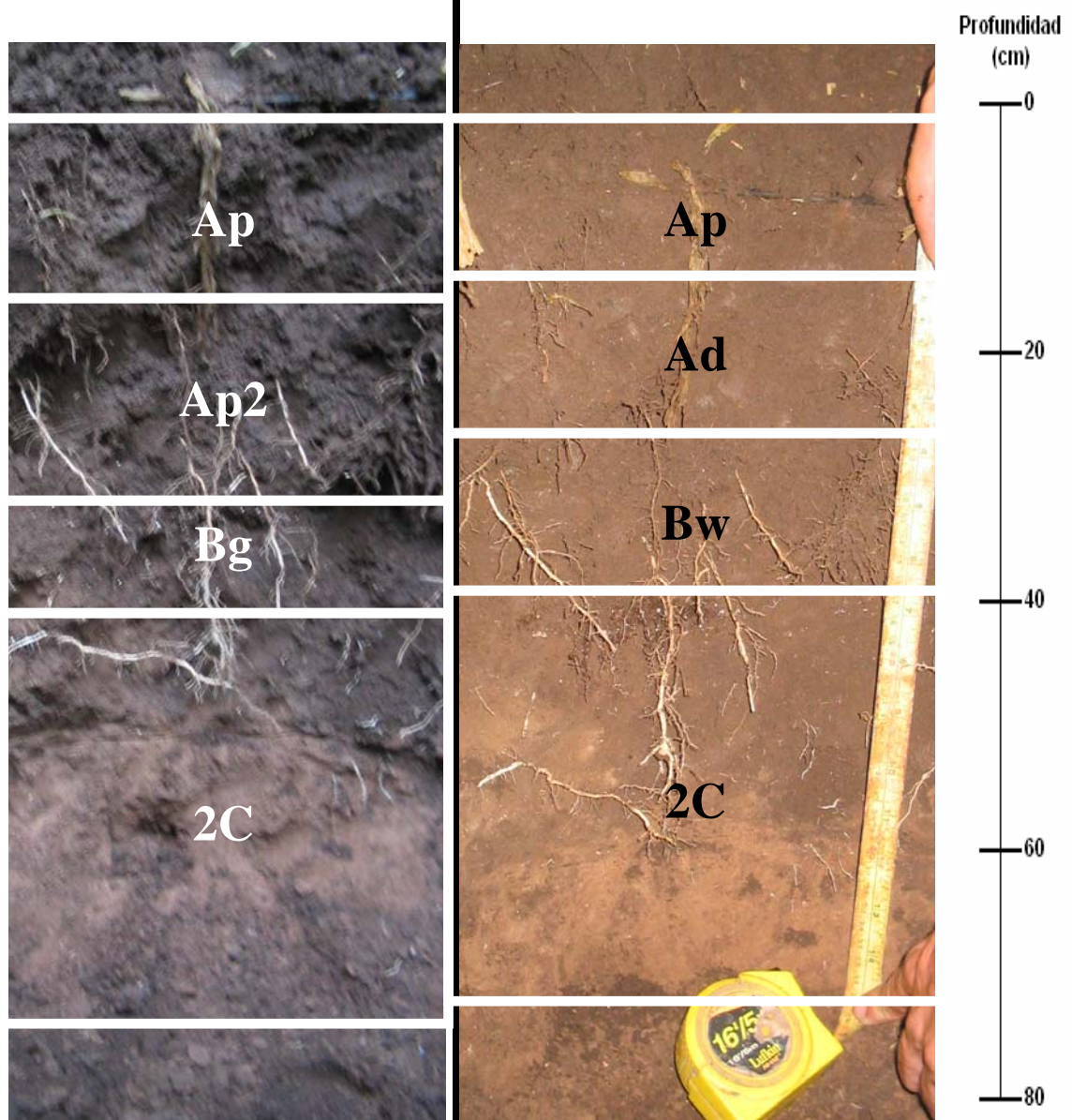
Límite: 1) Topografía: p: plano, o: ondulado, q: quebrado. 2) Nitidez: c: claro, d: difuso, g: gradual, a: abrupto.

Anexo 5. Fotografía de las calicatas del área estudiada después del subsoleo, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Calicata con subsoleo (izquierda) y sin subsoleo (derecha).
Fuente: Pantoja, 2005. Fotografías de la evaluación de campo.

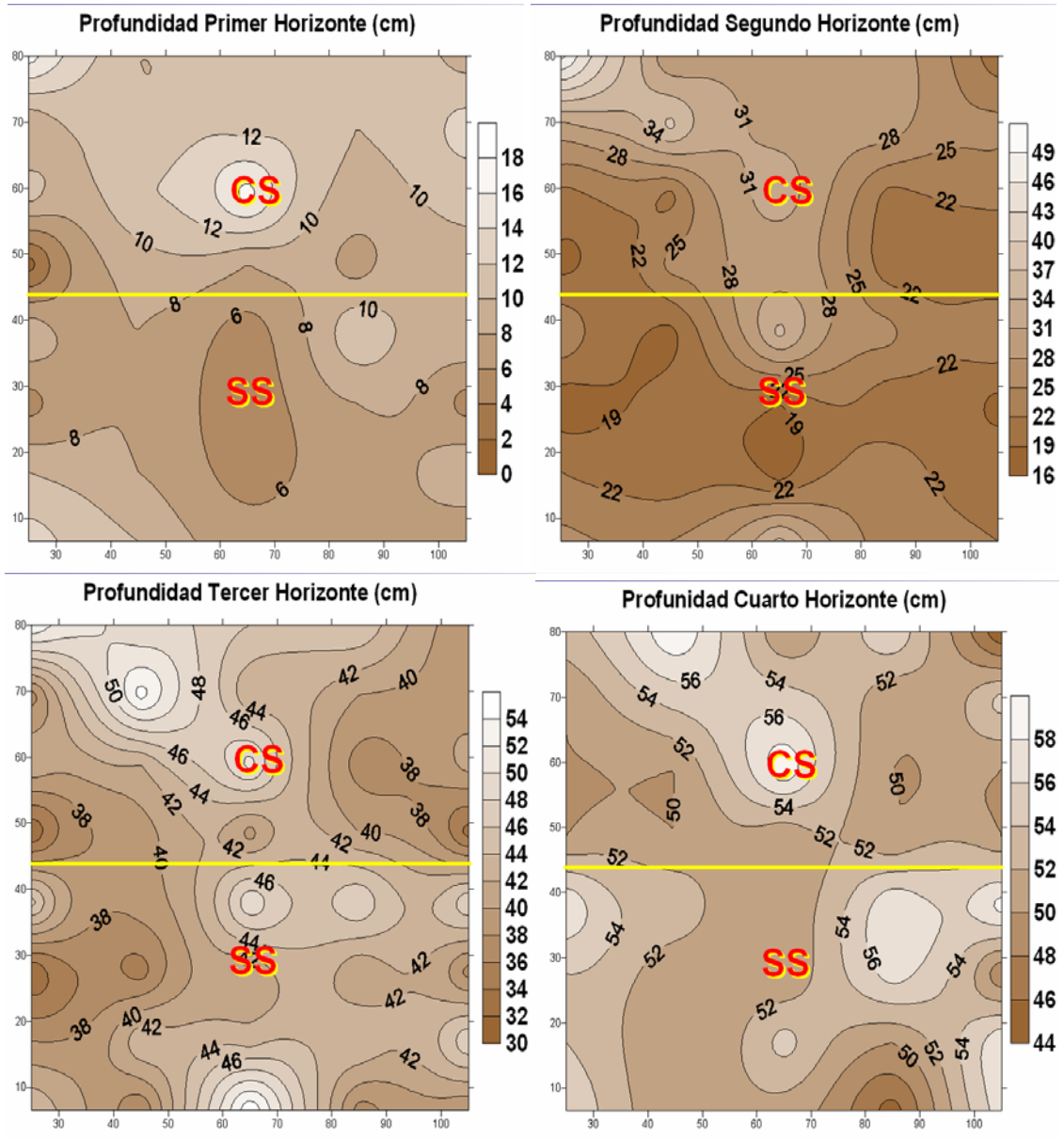
Anexo 6. Fotografía de las calicatas del área estudiada justo antes de la cosecha de maíz cv. Dekalb D-343, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.



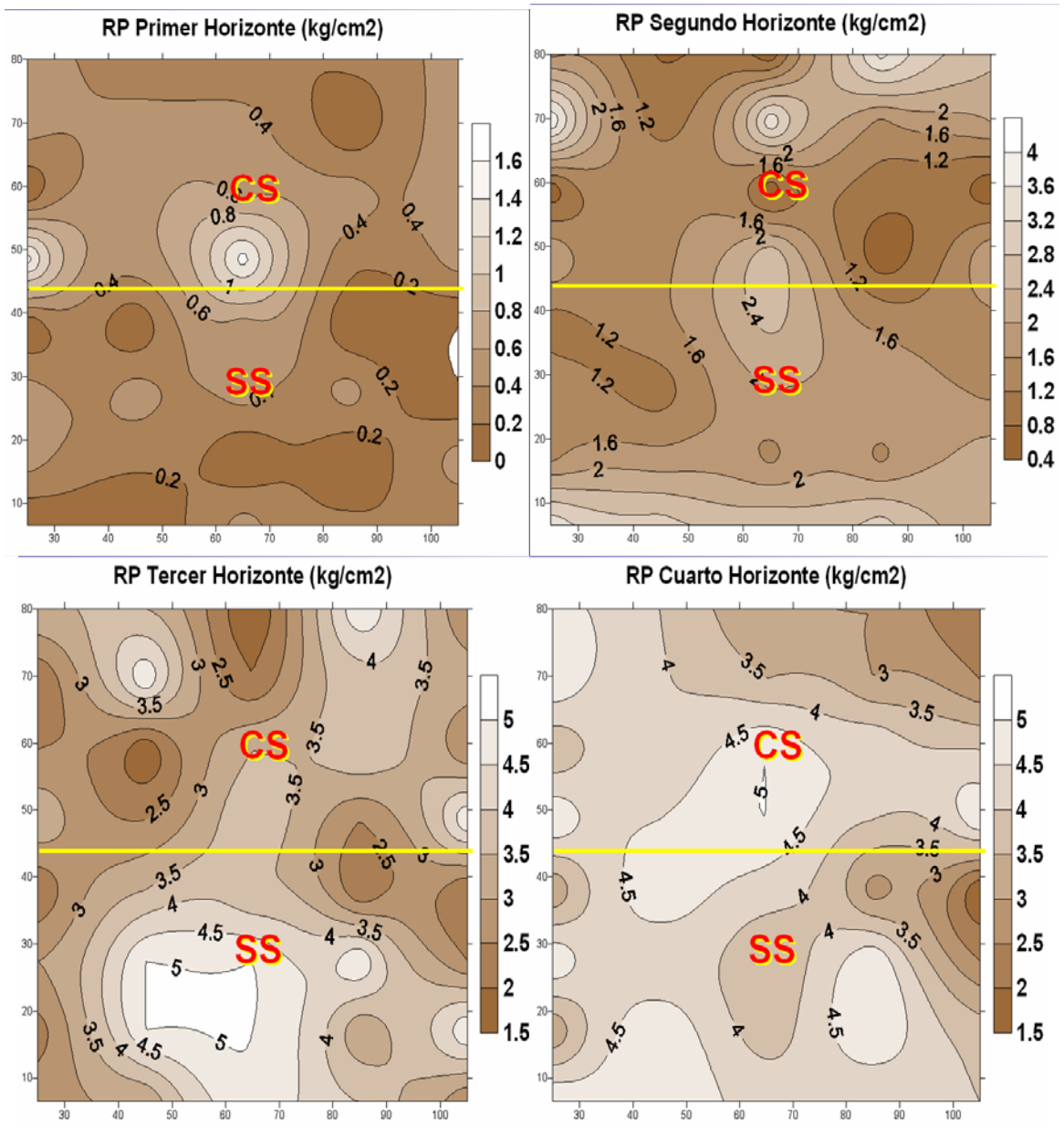
Calicata con subsoleo (izquierda) y sin subsoleo (derecha).
Fuente: Pantoja, 2005. Fotografías de la evaluación de campo.

CEBOLLA CV. GRANEX 429

Anexo 7. Mapas de profundidad (cm) de los primeros cuatro horizontes durante el cultivo de cebolla cv. Granex 429, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Anexo 8. Mapas de resistencia a la penetración (kg/cm^2) de los primeros cuatro horizontes durante el cultivo de cebolla cv. Granex 429, Lote 13, Zona II, E.A.P., Zamorano, Honduras.



ÁREA B (Zorrales 5, Ganado Lechero)

PRIMER CORTE DE PASTO ESTRELLA

Anexo 9. Descripción de las propiedades morfológicas y físicas de los suelos, durante el primer corte de pasto estrella, Lote Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Perfil #	Unidad de mapeo	Horizonte	Profundidad (cm)	Color	Moteos %	Textura	Fragmentos gruesos	Estructura	Consistencia	Poros	Raíces	Resistencia a la penetración (kg/cm ²)	Límite
1 Subsoleo, a la siembra	<u>M</u> F-	Ap	0-8	10 YR 3/2		F		ba bsa g f	f	tt vtr m c	f m	0.5	o c
		Ap2	8-33	10 YR 3/1		FAr		ba bsa g d	mf	mf v p d	mf p	2.5	o d
		Bg	33-64	7.5 YR 3/2	1	FArA		m	mf	f v p d	mf p	>4.5	
1 Sin Subsoleo, a la siembra	<u>E-</u> F+	Ap	0-8	7.5 YR 3/3		FAr		ba mg md	f	m v p f	f m	1.5	o a
		Ad	8-30	7.5 YR 3/2	7	FAr	grava fina	ba f d	f	m v p d	f p	>4.5	p a
		Bg	30-75x	7.5 YR 2.5/2	7	Ar		p g f	mf	f v p d f	mf p	>4.5	
2 Subsoleo, al primer corte	<u>M</u> F-	Ap	0-10	7.5 YR 3/2		F		bsa m f	fr	tt v m c f	f p	2.75	p g
		Ad	10-23	7.5 YR 4/2		FAr		ba g f	f	tt v m c f	f p	4	p d
		Bg	23-52x	5 YR 5/1	2	FAr		m	mf	a	a	>4.5	
2 Sin Subsoleo, al primer corte	<u>M</u> F-	Ap	0-8	7.5 YR 2.5/2		F		bsa m f	fr	tt vtr m c f	f p	0.6	p g
		Ad	8-17	7.5 YR 3/1	2	F		bsa mf md	f	tt v m d f	mf p	4.5	o c
		Bg	17-60x	7.5 YR 5/1		FAr		m	mf	mf t p d f	a	>4.5	

Unidad de mapeo: M: Familia textural franca (Texturas francas, arenas francas, franco arenosa, franco limosa), F-: Texturas finas (franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso), F+: Texturas arcillosas (franco arcillosa, arcillosa, arcillo limosa, arcillo arenosa), Gg: Gravas finas y gruesas.

Textura: F: franco, A: arena, AF: arena franca, FA: franco arenoso, FL: franco limoso, Ar: arcilla, FAr: franco arcilloso, FArA: franco arcillo arenoso, FArL: franco arcillo limoso.

Estructura: 1) Forma: g: granular, ba: bloques angulares, bsa: bloques subangulares, p: prismas, m: compacto. 2) Tamaño: tt: todos tamaños, m: medianos, g: gruesos, mg: muy gruesos, f: finos, mf: muy finos.

3) Grado: d: débil, f: fuerte, m: moderado.

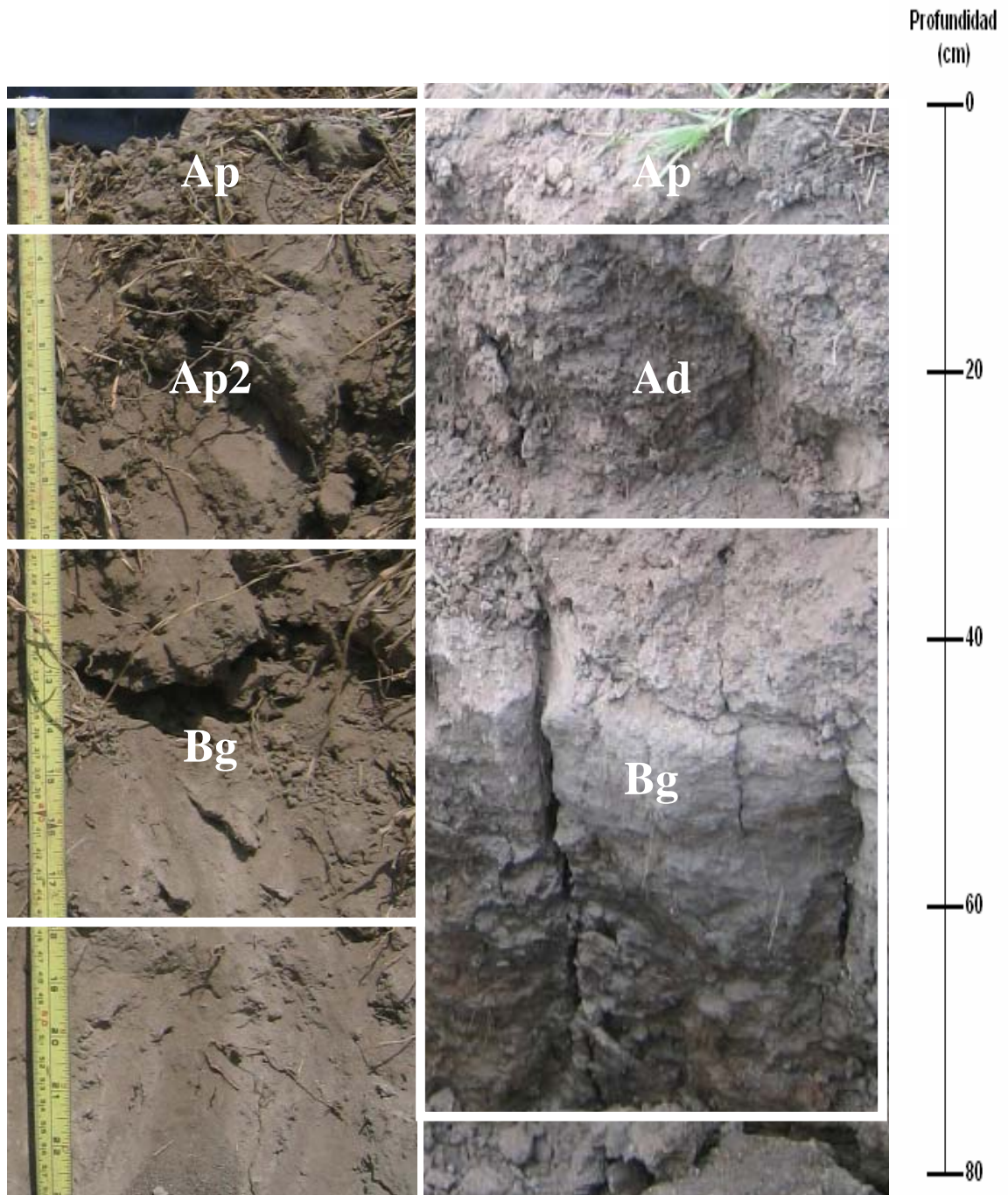
Consistencia: fr: friable, mfr: muy friable, f: firme, mf: muy firme

Poros: 1) Tamaño: f: finos, mf: muy finos, g: gruesos, m: medianos, tt: todos tamaños. 2) Forma: v: vesicular, t: tubular, r: reticular. 3) Cantidad: p: pocos, m: muchos, f: frecuentes, a: ausentes. 4) Continuidad: c: continuos, d: discontinuos.

Raíces: 1) Cantidad: m: muchas, p: pocas, f: frecuentes, a: ausentes. 2) Tamaño: f: finas, mf: muy finas, g: gruesas, tt: todos tamaños.

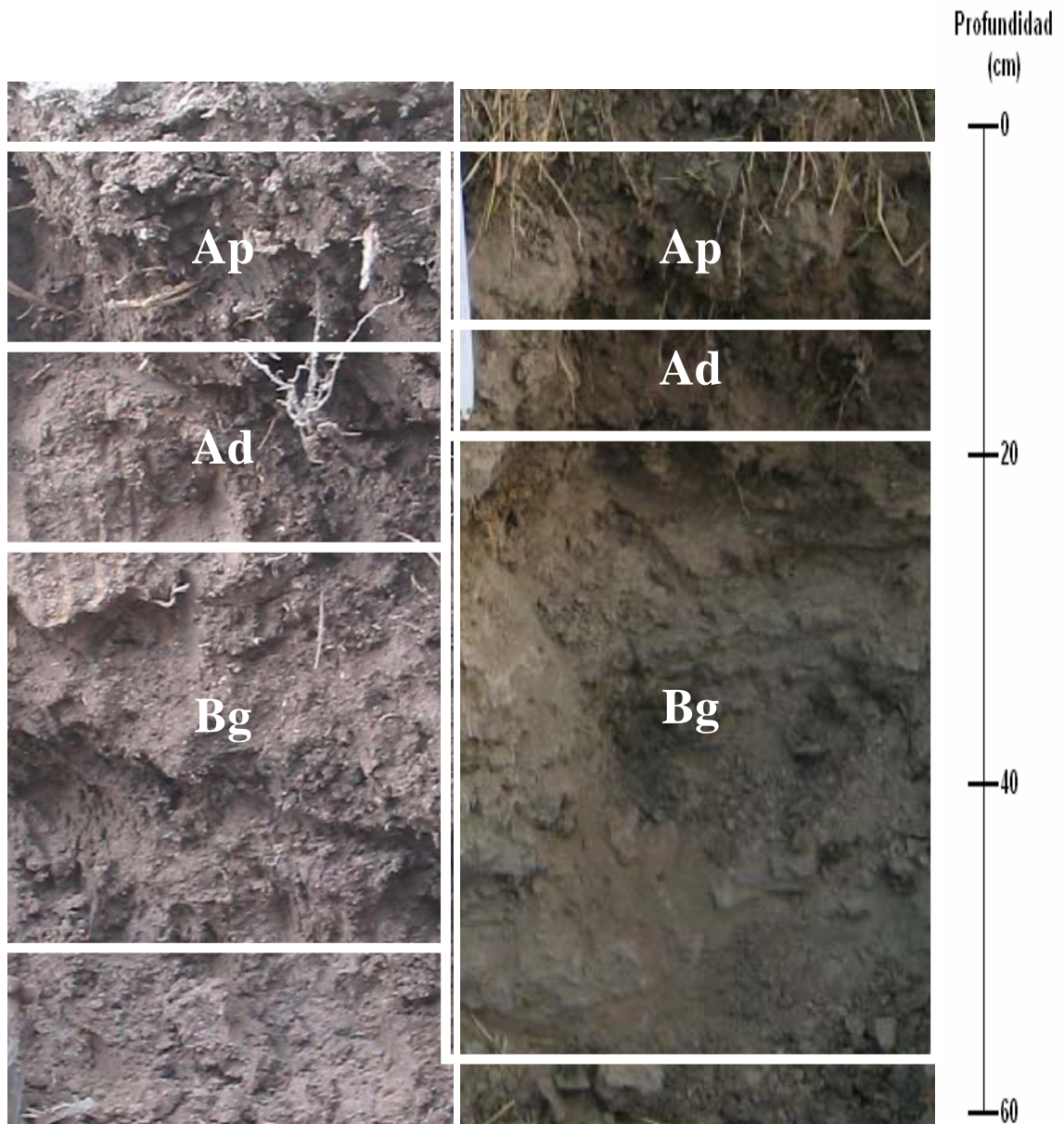
Límite: 1) Topografía: p: plano, o: ondulado, q: quebrado. 2) Nitidez: c: claro, d: difuso, g: gradual, a: abrupto.

Anexo 10. Fotografía de las calicatas del área estudiada al momento de realizado el subsoleo, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Calicata con subsoleo (izquierda) y sin subsoleo (derecha).
Fuente: Pantoja, 2005. Fotografías de la evaluación de campo.

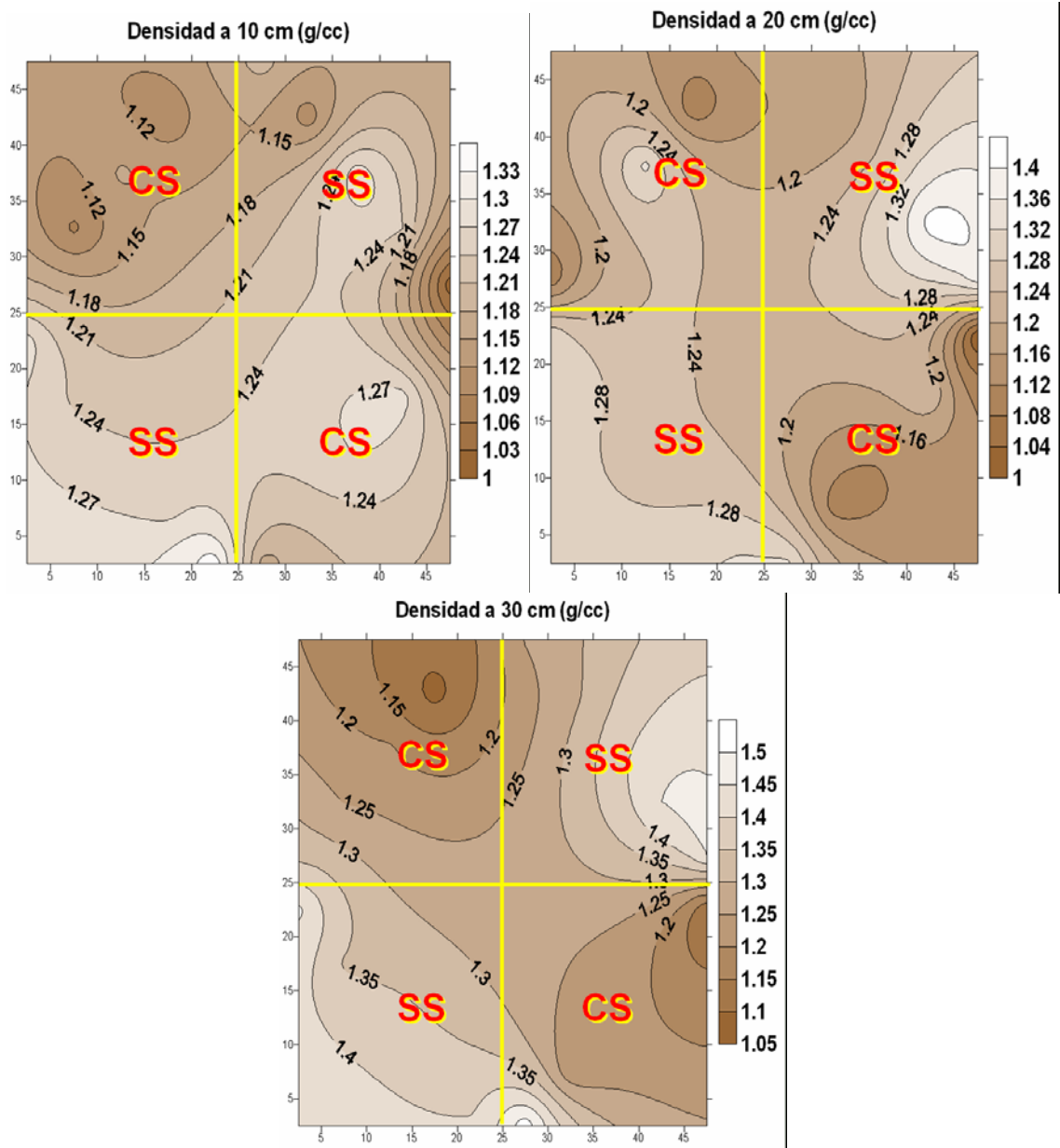
Anexo 11. Fotografía de las calicatas del área estudiada al primero corte del pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.



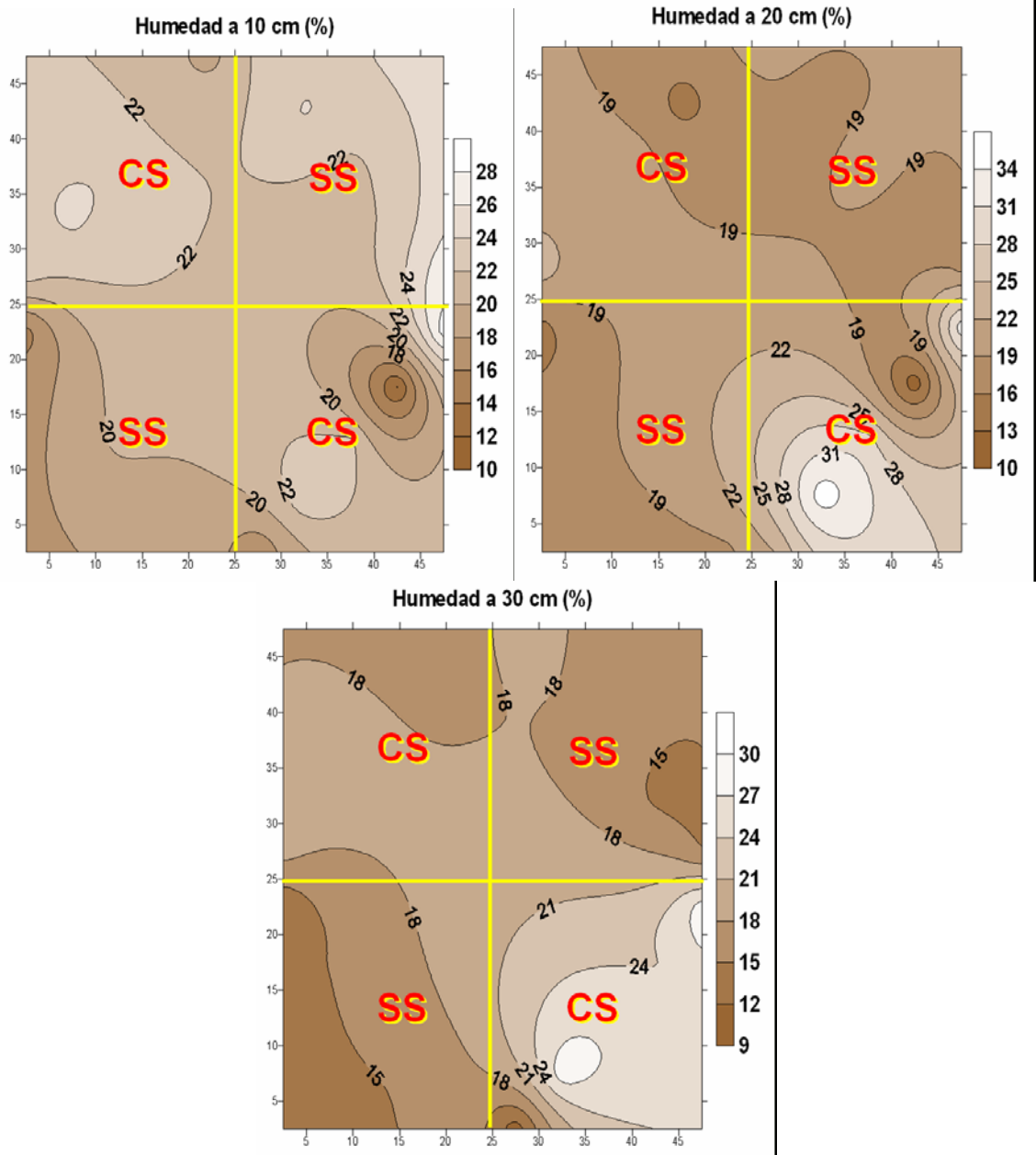
Calicata con subsileo (izquierda) y sin subsileo (derecha).
Fuente: Pantoja, 2005. Fotografías de la evaluación de campo.

SEGUNDO CORTE DE PASTO ESTRELLA

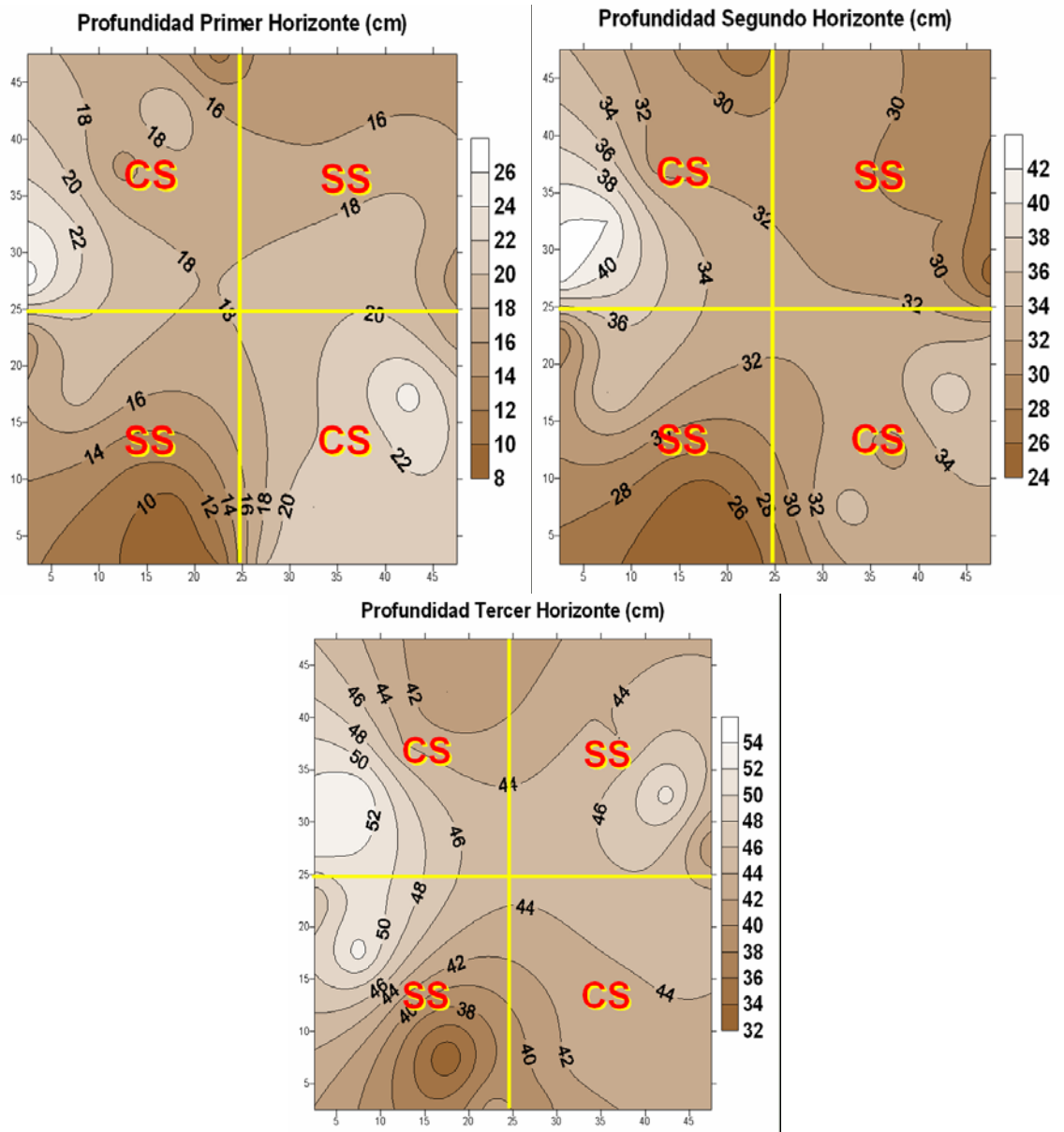
Anexo 12. Mapas de densidad aparente (g/cc) del suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.



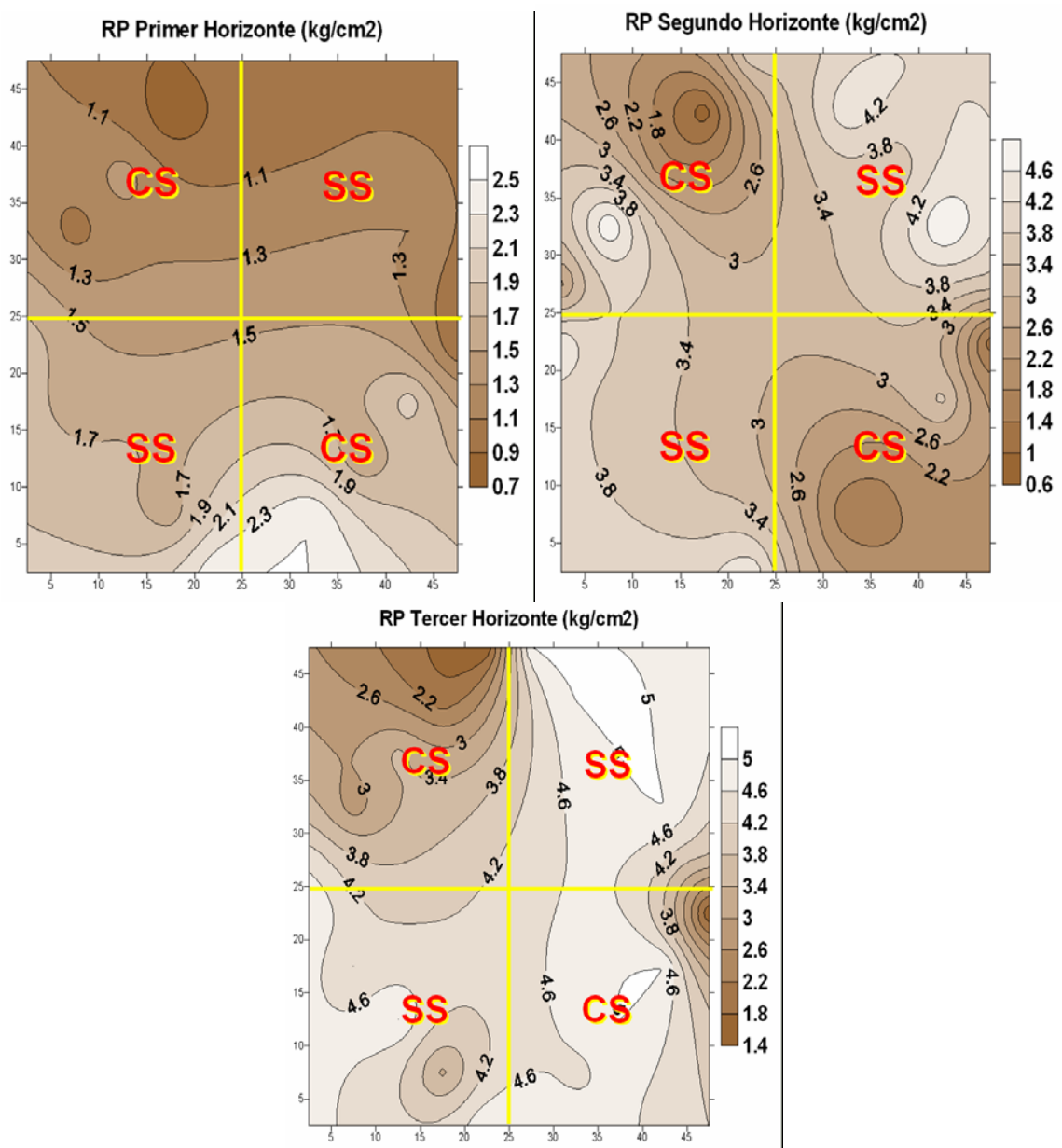
Anexo 13. Mapas de humedad del suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Anexo 14. Mapas de profundidad (cm) de los tres primeros horizontes en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Anexo 15. Mapas de resistencia a la penetración (kg/cm^2) de los tres primeros horizontes en el segundo corte de pasto estrella, Zorrales 5, Ganado Lechero, E.A.P., Zamorano, Honduras.



ÁREA C (Cuadrante 2, San Nicolás)

PRIMER CICLO DE SORGO FORRJERO CV. SUREÑO

Anexo 16. Descripción de las propiedades morfológicas y físicas del suelo en el primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Perfil #	Unidad de mapeo	Horizonte	Profundidad (cm)	Color	Moteos %	Textura	Fragmentos gruesos	Estructura	Consistencia	Poros	Raíces	Resistencia a la penetración (kg/cm ²)	Límite
1 Subsoleo, a la siembra	<u>M</u> F-/g	Ap	0-16	7.5 YR 3/2		F		bsa m m	fr	tt tv m c f	f p	0.5	p c
		Ap2	16-23	7.5 YR 3/2		FArA		m	fr	m f tv p d	f p	1.5	p d
		E	23-40	7.5 YR 3/2		FArA		m	f	m v p d	a	4	o d
		Bg	40-65x	5 Y 2.5/1		ArA		m	mf	a	a	>4.5	
1 Sin subsoleo, a la siembra	<u>M</u> F-	Ap	0-10	7.5 YR 3/1		F		g m f f	fr	tt vtr m c f	f p	0.4	p c
		Ap2	10-39	10 YR 3/2		FAr		bsa m f m	f	m t p	mf p	4	o d
		E	39-52	2.5 Y 4/1		FAr		m	mf	a	a	>4.5	o c
		Bg	52-66x	5 Y 2.5/1		Ar		m	mf	a	a	>4.5	
2 Subsoleo, al primer corte	<u>F</u> F+/g	Ap	0-13	10 YR 3/2		FAr		bsa mf m	fr f	tt t m c f	tt f	1.3	o d
		E	13-35	7.5 YR 3/1		FAr		bsa mg d	fr f	m v d f	f p	3.75	p d
		Bg	35-54x	7.5 YR 3/2		ArA		bsa mg d	f	m f v d f	f p	4	
2 Sin subsoleo, al primer corte	<u>M</u> F-/g	Ap	0-8	7.5 YR 3/2		F		bsa m f m	fr	m f v m c f	m f f	1.75	p g
		Ap2	8-19	7.5 YR 3/1		FArA		bsa tt d	fr	m g t p c f	m g f	3.8	o d
		E	19-34	7.5 YR 2.5/1	5	FAr		bsa m g d	f	m g t p d	m f p	4	p c
		Bg	34-52x	7.5 YR 3/3		A		ba m g d	f	m f v p d	f p	4.25	

Unidad de mapeo: M: Familia textural franca (Texturas francas, arenas francas, franco arenosa, franco limosa), F-: Texturas finas (franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso), F+: Texturas arcillosas (franco arcillosa, arcillosa, arcillo limosa, arcillo arenosa), Gg: Gravitas finas y gruesas.

Textura: F: franco, A: arena, AF: arena franca, FA: franco arenoso, FL: franco limoso, Ar: arcilla, FAr: franco arcilloso, FArA: franco arcillo arenoso, FArL: franco arcillo limoso.

Estructura: 1) Forma: g: granular, ba: bloques angulares, bsa: bloques subangulares, p: prismas, m: compacto. 2) Tamaño: tt: todos tamaños, m: medianos, g: gruesos, mg: muy gruesos, f: finos, mf: muy finos. 3) Grado: d: débil, f: fuerte, m: moderado.

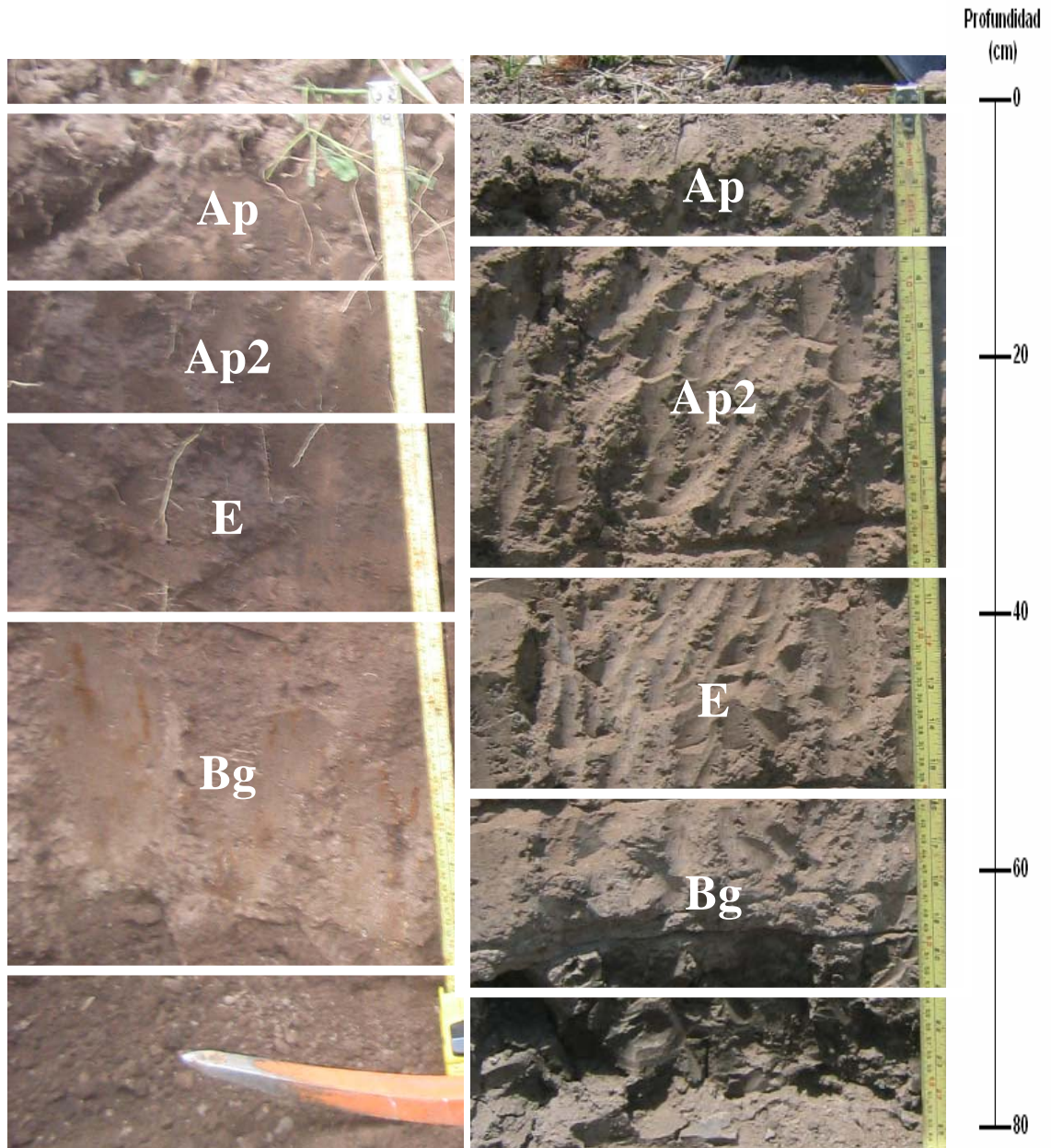
Consistencia: fr: friable, mfr: muy friable, f: firme, mf: muy firme

Poros: 1) Tamaño: f: finos, mf: muy finos, g: gruesos, m: medianos, tt: todos tamaños. 2) Forma: v: vesicular, t: tubular, r: reticular. 3) Cantidad: p: pocos, m: muchos, f: frecuentes, a: ausentes. 4) Continuidad: c: continuos, d: discontinuos.

Raíces: 1) Cantidad: m: muchas, p: pocas, f: frecuentes, a: ausentes. 2) Tamaño: f: finas, mf: muy finas, g: gruesas, tt: todos tamaños.

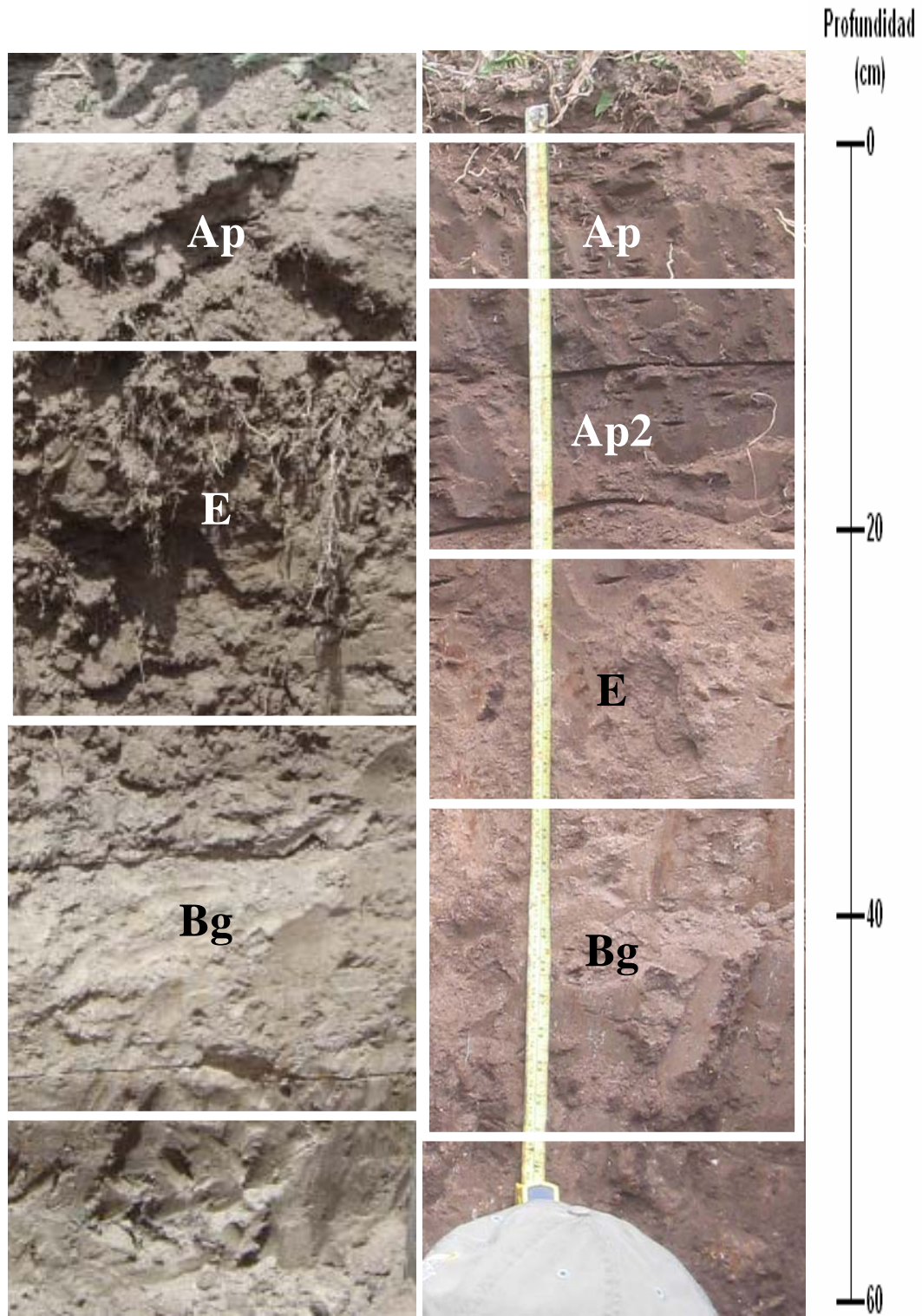
Límite: 1) Topografía: p: plano, o: ondulado, q: quebrado. 2) Nitidez: c: claro, d: difuso, g: gradual, a: abrupto.

Anexo 17. Fotografía de las calicatas del área estudiada a la siembra del primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Calicata con subsoleo (izquierda) y sin subsoleo (derecha).
Fuente: Pantoja, 2005. Fotografías de la evaluación de campo.

Anexo 18. Fotografía de las calicatas del área estudiada al primer corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Calicata con subsoleo (izquierda) y sin subsoleo (derecha).
Fuente: Pantoja, 2005. Fotografías de la evaluación de campo.

SEGUNDO CICLO DE SORGO FORRAJERO CV. SUREÑO

Anexo 19. Descripción de las propiedades morfológicas y físicas del suelo en el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.

Perfil #	Unidad de mapeo	Horizonte	Profundidad (cm)	Color	Moteos %	Textura	Fragmentos gruesos	Estructura	Consistencia	Poros	Raíces	Resistencia a la penetración (kg/cm ²)	Límite
3 Subsoleo, al rebrote	F- F-/g	Ap	0-20	10 YR 2/2		FArL		bsa m f f	fr	tt t c p	tt m	2.5	p a
		Ap2	20-47	10 YR 2/1		FArL		bsa g m f	fr	m t p	tt m	2	p a
		E	47-64	10 YR 3/1		FA		ba g m d	f	m t p	mf p	>4.5	p c
		Bg	64-80	10 YR 4/2	3	Ar		ba g m m	mf	mf v p	mf p	>4.5	
3 Sin subsoleo, al rebrote	F- F-/g	Ap	0-27	10 YR 2/2		FArL		bsa g m f	f	m f t c m	mf p	>4.5	p d
		Ad	27-45	10 YR 2/1		FArL		m	f	mf v d p	f p	>4.5	p a
		E	45-60	10 YR 3/2		FA		bsa m f f	fr	mf v c m	f p	2.9	p a
		Bg	60-100x	10 YR 4/2		Ar		ba g m m	f	mf v d p	mf p	>4.5	
4 Subsoleo, al segundo corte	F- g	Ap	0-8	7.5 YR 3/1		FAr		bsa m f m	fr	tt vtr m c	tt m	0.5	p c
		Ap2	8-22	7.5 YR 3/2		FArA		bsa f d	fr	m vr c f	m f p	2.25	p d
		E	22-38	5 YR 3/2		ArA		ba bsa m m d	fr f	m f t p d	g m p	4	o d
		Bg	38-87	7.5 YR 4/4		A		m	f	a	a	>4.5	
4 Sin subsoleo, al segundo corte	F- g	Ap	0-20	10 YR 2/2		FArL		bsa g m f	fr	m f t m c f	mf m	2.5	p d
		Ad	20-35	10 YR 3/2		FArL		m	f	mf v p d	f mf p	>4.5	p a
		E	35-60	10 YR 3/2		FA		bsa m f f	mf	mf v m c	f p	>4.5	p a
		Bg	60-100x	10 YR 4/2		A		ba g m m	mf	mf v p d	mf p	>4.5	

Unidad de mapeo: M: Familia textural franca (Texturas francas, arenas francas, franco arenosa, franco limosa), F-: Texturas finas (franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso), F+: Texturas arcillosas (franco arcillosa, arcillosa, arcillo limosa, arcillo arenosa), Gg: Gravas finas y gruesas.

Textura: F: franco, A: arena, AF: arena franca, FA: franco arenoso, FL: franco limoso, Ar: arcilla, FAr: franco arcilloso, FArA: franco arcillo arenoso, FArL: franco arcillo limoso.

Estructura: 1) Forma: g: granular, ba: bloques angulares, bsa: bloques subangulares, p: prismas, m: compacto. 2) Tamaño: tt: todos tamaños, m: medianos, g: gruesos, mg: muy gruesos, f: finos, mf: muy finos. 3) Grado: d: débil, f: fuerte, m: moderado.

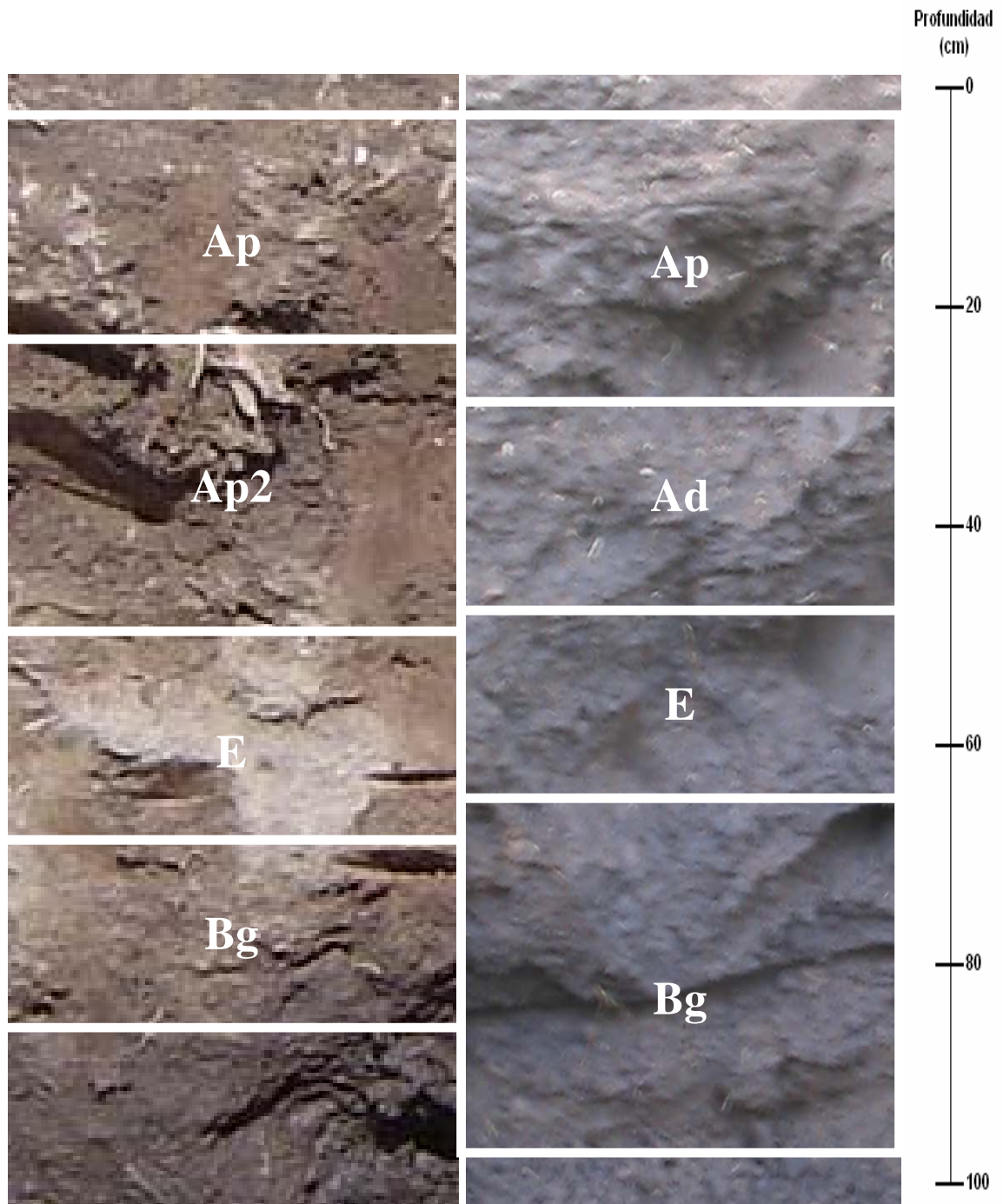
Consistencia: fr: friable, mfr: muy friable, f: firme, mf: muy firme

Poros: 1) Tamaño: f: finos, mf: muy finos, g: gruesos, m: medianos, tt: todos tamaños. 2) Forma: v: vesicular, t: tubular, r: reticular. 3) Cantidad: p: pocos, m: muchos, f: frecuentes, a: ausentes. 4) Continuidad: c: continuos, d: discontinuos.

Raíces: 1) Cantidad: m: muchas, p: pocas, f: frecuentes, a: ausentes. 2) Tamaño: f: finas, mf: muy finas, g: gruesas, tt: todos tamaños.

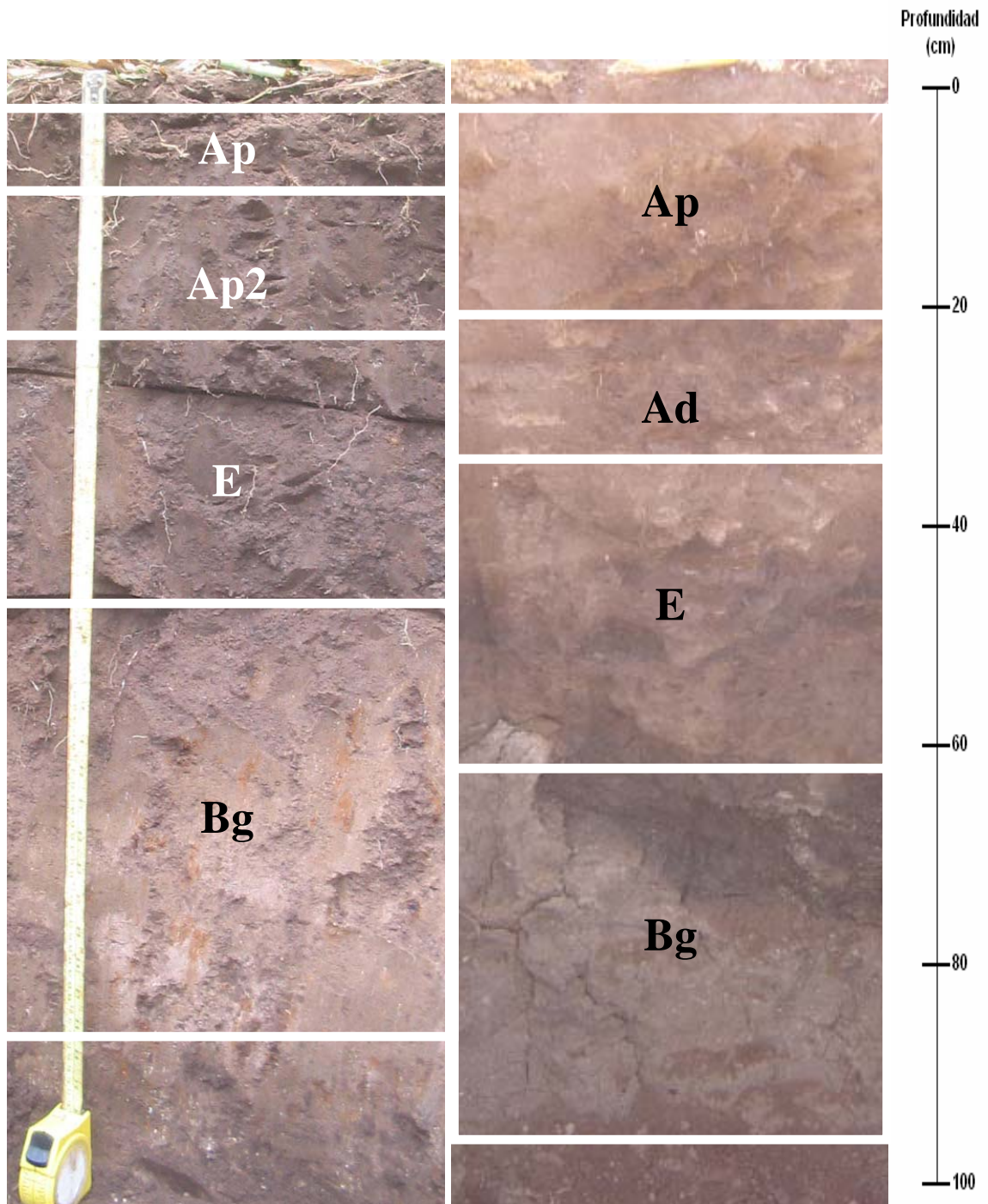
Límite: 1) Topografía: p: plano, o: ondulado, q: quebrado. 2) Nitidez: c: claro, d: difuso, g: gradual, a: abrupto.

Anexo 20. Fotografía de las calicatas del área estudiada al rebrote de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Calicata con subsoleo (izquierda) y sin subsoleo (derecha).
Fuente: Pantoja, 2005. Fotografías de la evaluación de campo.

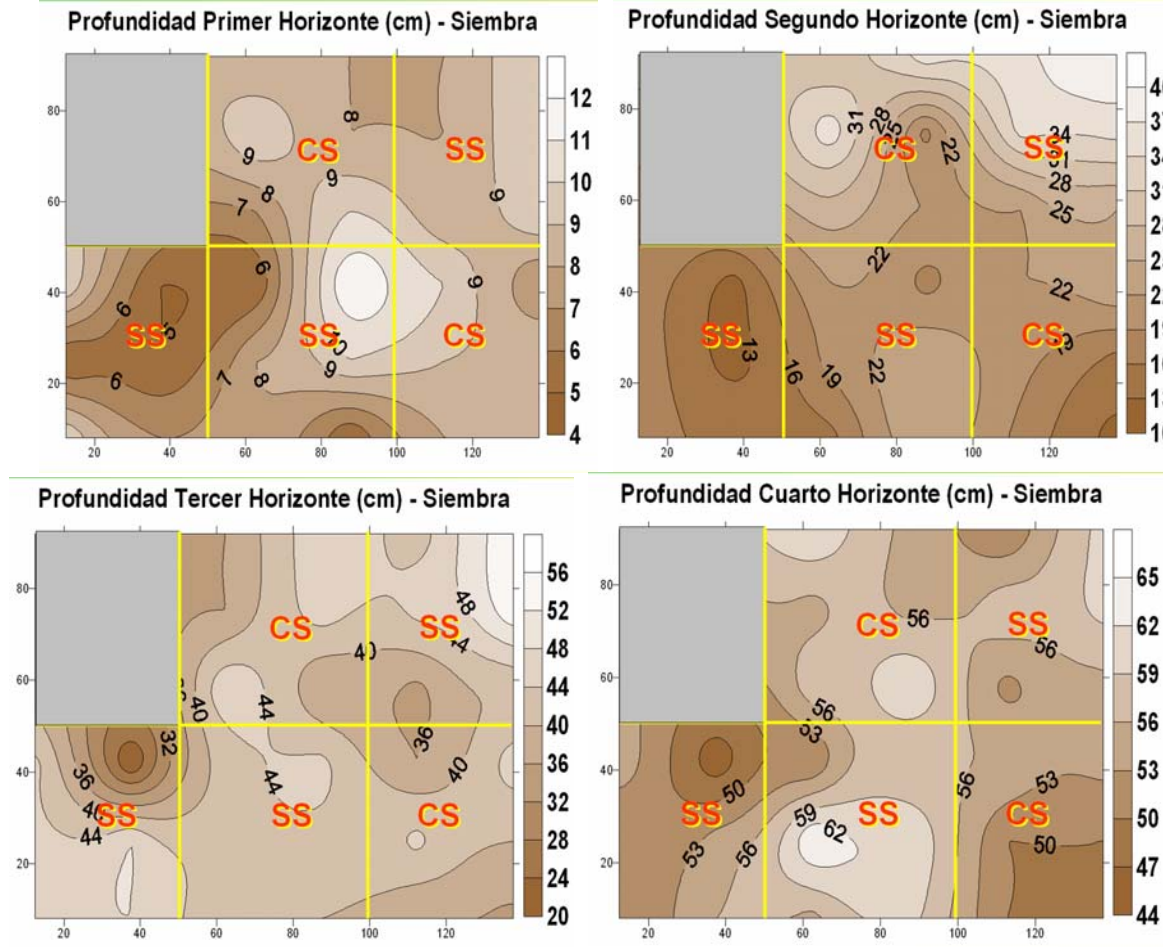
Anexo 21. Fotografía de las calicatas del área estudiada en el segundo corte de sorgo forrajero cv. Sureño, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.



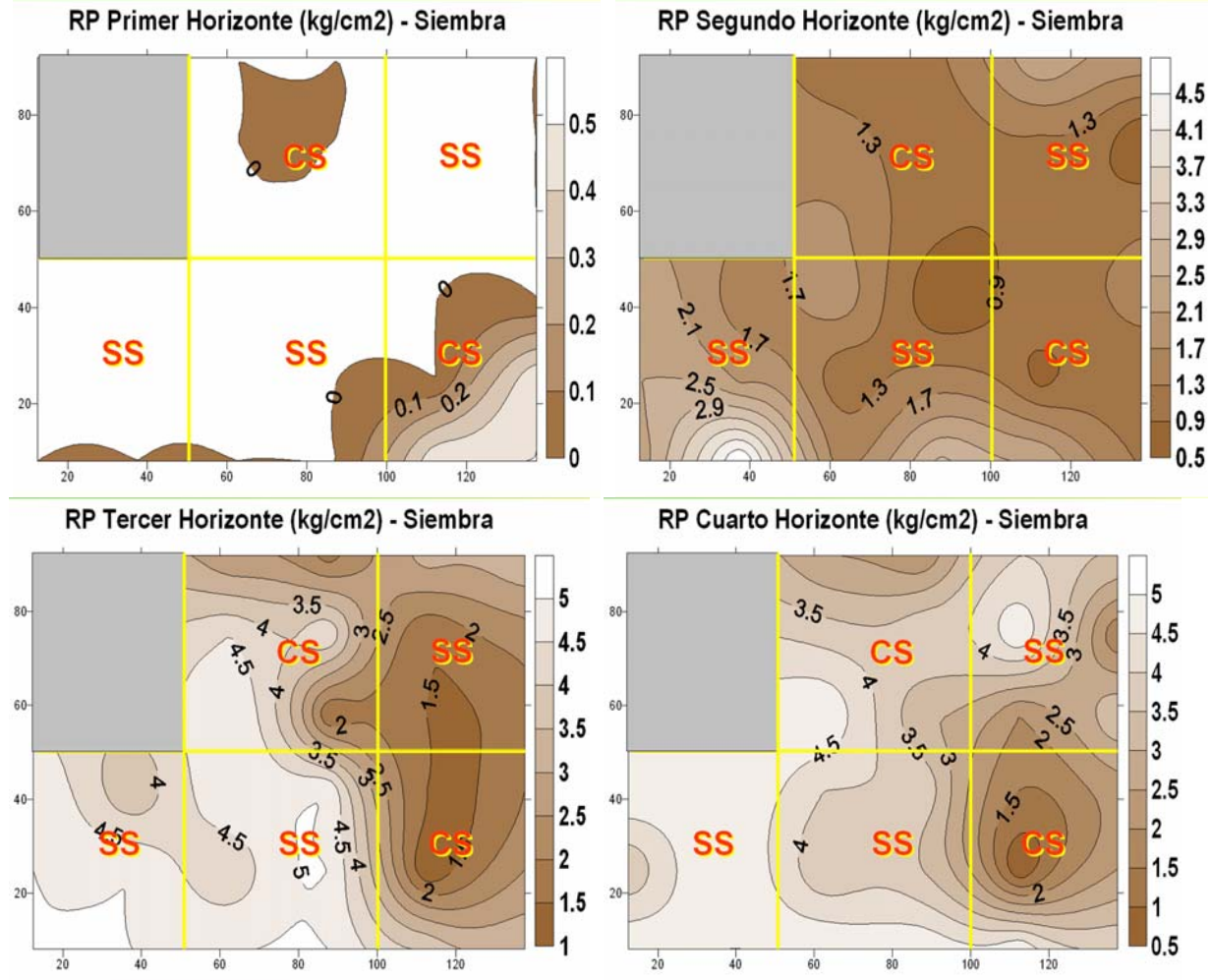
Calicata con subsoleo (izquierda) y sin subsoleo (derecha).
Fuente: Pantoja, 2005. Fotografías de la evaluación de campo.

MAÍZ CV. HB 104

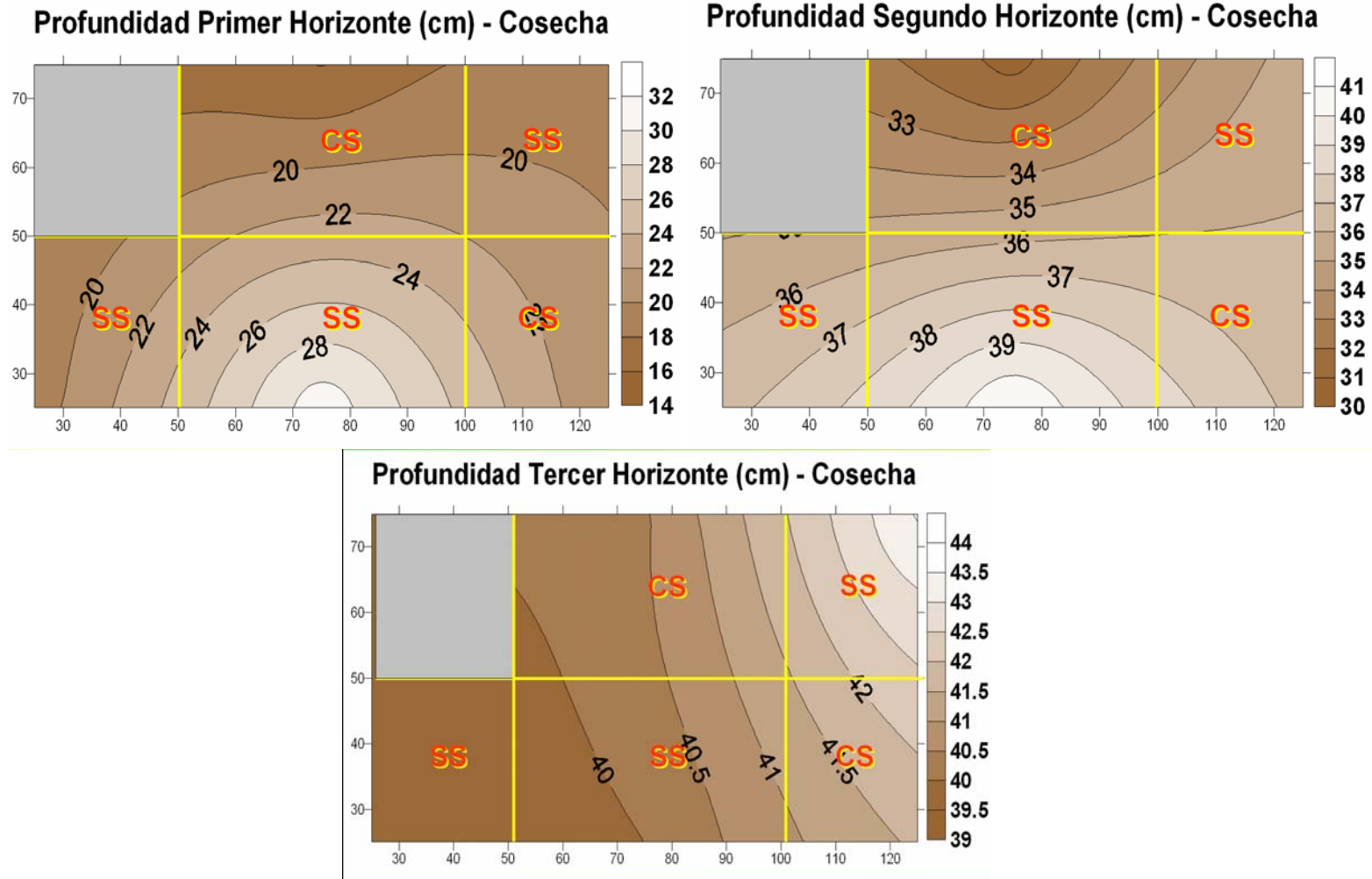
Anexo 22. Mapas de profundidad (cm) de los cuatro primeros horizontes a la siembra de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.



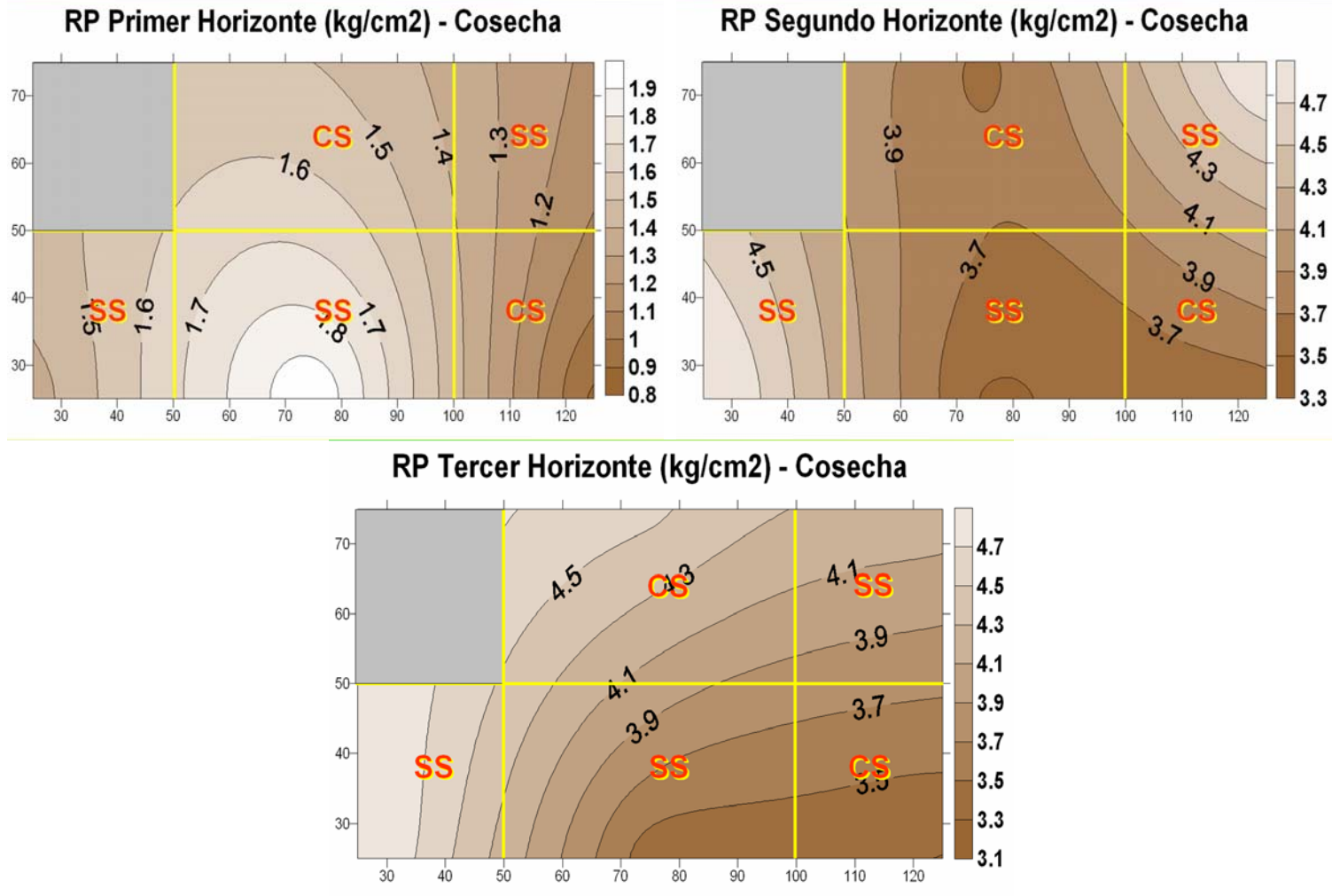
Anexo 23. Mapas de resistencia a la penetración (kg/cm^2) de los cuatro primeros horizontes a la siembra de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.



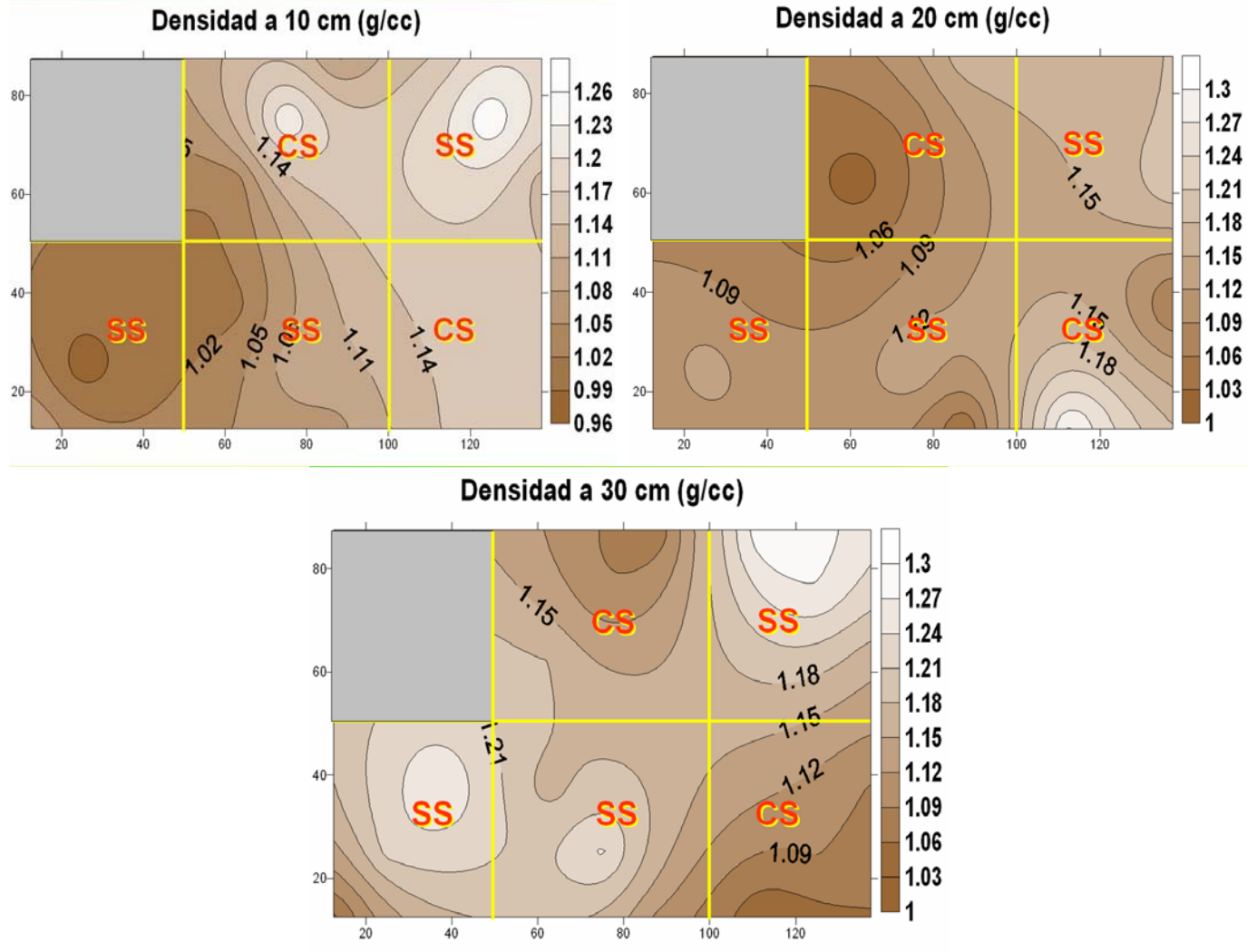
Anexo 24. Mapas de profundidad (cm) de los tres primeros horizontes a la cosecha de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.



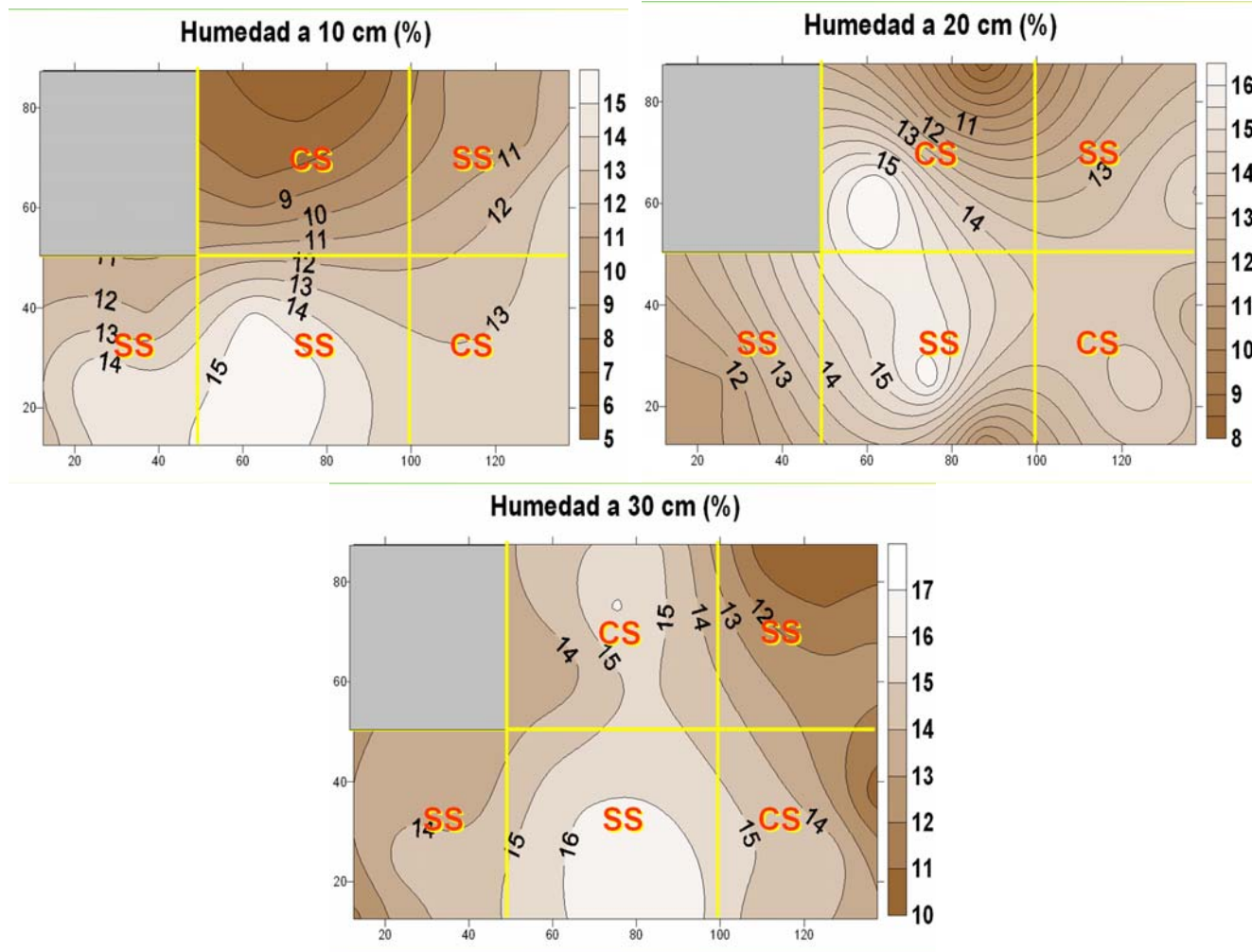
Anexo 25. Mapas de resistencia a la penetración (kg/cm^2) de los tres primeros horizontes a la cosecha de maíz cv. HB 104, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Anexo 26. Mapas de densidad aparente (g/cc) en el cultivo de maíz cv. HB 104 a 10, 20 y 30 cm de profundidad, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Anexo 27. Mapas humedad (%) del suelo en el cultivo de maíz cv. HB 104 a 10, 20 y 30 cm de profundidad, Cuadrante 2, San Nicolás, E.A.P., Zamorano, Honduras.



Anexo 28. Matriz de biodisponibilidad de macronutrientes nutrientes para las áreas estudiadas. E.A.P., El Zamorano, Honduras.

Área	Cultivo	Tratamiento	N				P				K				Ca				Mg			
			Suelo	Foliar	Disp.	Fert.	Suelo	Foliar	Disp.	Fert.	Suelo	Foliar	Disp.	Fert.	Suelo	Foliar	Disp.	Fert.	Suelo	Foliar	Disp.	Fert.
Área A (Lote 13, Zona II)	Maíz cv. Dekalb D-343	Con subsoleo	B	B	d	sf	A	O	o	na	A	O	o	na	O	B	b	s	B	B	d	sf
		Sin subsoleo	B	B	d	sf	A	O	o	na	A	O	o	na	O	B	b	s	B	B	d	sf
Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero)	Primer corte de pasto estrella	Con subsoleo	B	O	o	s	O	O	o	m	A	O	o	na	O	B	b	s	O	O	o	m
		Sin subsoleo	O	B	b	s	A	O	o	na	A	O	o	na	O	B	b	s	A	O	o	na
	Segundo corte de pasto estrella	Con subsoleo	B	O	o	s	B	O	o	s	A	O	o	na	O	B	b	s	O	O	o	m
		Sin subsoleo	B	B	d	sf	O	O	o	m	A	O	o	na	O	B	b	s	A	B	b	s
Área C (Cuadrante 2, San Nicolás)	Primer corte de sorgo forrajero	Con subsoleo	B	B	d	sf	A	A	a	bd	A	B	b	s	O	O	o	m	B	B	b	sf
		Sin subsoleo	B	B	d	sf	A	A	a	bd	A	B	b	s	O	O	o	m	B	B	b	sf
	Segundo corte de sorgo forrajero	Con subsoleo	B	B	d	sf	A	A	a	bd	A	B	b	s	O	B	b	s	O	B	b	s
		Sin subsoleo	B	B	d	sf	A	A	a	bd	A	B	b	s	O	B	b	s	B	B	d	sf
	Maíz cv. HB 104	Con subsoleo	B	B	d	sf	A	O	o	na	A	O	o	na	O	O	o	m	B	O	o	s
		Sin subsoleo	B	B	d	sf	A	O	o	na	A	O	o	na	O	O	o	m	B	O	o	s

Disp. = disponibilidad. Fert. = fertilización.

A = alto. O = óptimo. B = bajo. a = alta. o = óptima. b = baja. d = deficiente. s = subir. sf = subir dosis y fraccionarla. bd = bajar dosis. m = mantener dosis. na = no aplicar.

Anexo 29. Matriz de biodisponibilidad de micronutrientes para cada uno de las áreas estudiadas, E.A.P., El Zamorano, Honduras.

Área	Cultivo	Tratamiento	Cu				Fe				Mn				Zn			
			Suelo	Foliar	Disp.	Fert.	Suelo	Foliar	Disp.	Fert.	Suelo	Foliar	Disp.	Fert.	Suelo	Foliar	Disp.	Fert.
Área A (Lote 13, Zona II)	Maíz cv. Dekalb D-343	Con subsoleo	O	O	o	m	A	A	a	bd	A	O	o	na	A	O	o	na
		Sin subsoleo	O	O	o	m	A	A	a	bd	A	O	o	na	A	O	o	na
Área B (Zorrales 5, Ganado Lechero)	Primer corte de pasto estrella	Con subsoleo	O	O	o	m	A	O	o	na	O	O	o	m	B	O	o	s
		Sin subsoleo	O	O	o	m	A	O	o	na	O	O	o	m	O	O	o	m
	Segundo corte de pasto estrella	Con subsoleo	O	O	o	m	A	O	o	na	O	O	o	m	B	O	o	s
		Sin subsoleo	O	O	o	m	A	O	o	na	O	O	o	m	B	O	o	s
Área C (Cuadrante 2, San Nicolás)	Primer corte de sorgo forrajero	Con subsoleo	O	O	o	m	A	O	o	na	A	O	o	na	B	B	d	sf
		Sin subsoleo	O	O	o	m	A	O	o	na	A	O	o	na	O	O	o	m
	Segundo corte de sorgo forrajero	Con subsoleo	O	O	o	m	A	O	o	na	O	O	o	m	O	B	b	s
		Sin subsoleo	O	O	o	m	A	O	o	na	A	O	o	na	O	B	b	s
	Maíz cv. HB 104	Con subsoleo	O	O	o	m	A	A	a	bd	A	O	o	na	B	O	o	s
		Sin subsoleo	O	O	o	m	A	A	a	bd	A	O	o	na	B	O	o	s

Disp. = disponibilidad. Fert. = fertilización.

A = alto. O = óptimo. B = bajo. a = alta. o = óptima. b = baja. d = deficiente. s = subir. sf = subir dosis y fraccionarla. bd = bajar dosis. m = mantener dosis. na = no aplicar.