

PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE MODELOS DE LABRANZA

PARTE I. RELACIONES ENTRE SISTEMAS DE LABRANZA, CONDICIÓN DEL SUELO Y RESPUESTA DEL CULTIVO

*Fernando Lozano Osorno¹ - Bernardo Castillo Herrán².
¹Ingeniero agrícola. Programa Nacional de Maquinaria
agrícola y Postcosecha, Corpoica.
²Ingeniero agrícola, M.Sc Departamento de
Ingeniería Agrícola
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá*

Resumen

Se evaluaron seis tratamientos de labranza, desde uno con el suelo totalmente pulverizado hasta uno con cero remoción, a fin de establecer las relaciones pertinentes entre la condición del suelo, cuantificada mediante la determinación de algunas de sus propiedades fisicomecánicas, la respuesta de una especie vegetal (maíz) a tales condiciones y la

preservación de los recursos agua y suelo en el tiempo. Los sistemas de menor movimiento de suelo mostraron índices interesantes de conservación del suelo y del agua, al tiempo que los tratamientos de mayor remoción presentaron mejores respuestas del cultivo, pero señalaron una inestabilidad del suelo que debería revertir tal situación en el futuro. El

contenido de humedad y la resistencia a la penetración fueron los parámetros que mostraron una mayor sensibilidad a la condición del suelo por efecto de los sistemas de preparación, por lo cual deberían ser considerados prioritarios en la elaboración de modelos de labranza.

L INTRODUCCIÓN

Dentro del contexto de conservación del suelo para largos períodos de productividad y de las necesidades de un sustento fisicomecánico para el desarrollo de raíces y de las especies agrícolas, es importante establecer qué tipo de remoción se va a imponer, que nivel de disturbación se debe alcanzar, en resumen, qué labranza realizar.

De acuerdo con Spoor, citado por Soane y Pidgeon [31], la labranza se debería definir por la condición resultante del suelo, lo cual debería cumplir los requisitos necesarios para una cama de semillas y raíces adecuada. Estas condiciones, según Gavande [11] son: permitir una fácil penetración de agua, tener retención de humedad favorable, poseer capacidad de aire adecuada, ser resistente a agentes erosivos y tener resistencia mínima a la penetración de raíces pero adecuada para el sustento del cultivo.

Los sistemas de preparación del suelo suelen clasificarse como: labranza convencional, caracterizada por una fuerte remoción del suelo con una intensa aplicación de diversos implementos tales como arados, rastrillos, arados rotativos, etc., y labranza de conservación con dos modalidades básicas (reducida y cero), preparaciones en las cuales se reduce o elimina del todo la roturación y el movimiento de las partículas del suelo. Sin embargo, más que adoptar un sistema determinado, ya establecido, debería pensarse en la necesidad de llevar el suelo a las condiciones mencionadas y de acuerdo con el cultivo que se quiera establecer.

Resulta evidente que cada tipo de suelo, conjugado con su estado inicial, requiere un manejo específico para la preservación de sus características, y que conlleve a una conservación de la estructura, consistencia, densidad aparente, resistencia, etc. Surge así la pregunta: ¿cómo determinar tal estado? De allí se desprende el objetivo principal del presente estudio: establecer un procedimiento indicativo para tomar decisiones en la selección de sistemas de labranza en

función de algunos parámetros fisicomecánicos del suelo. Además seleccionar las propiedades físicas y mecánicas del suelo que sean reflejo del estado de éste.

A. Efecto de sistemas de labranza sobre propiedades físicas del suelo

No parece haber una tendencia definida respecto a los efectos de los diferentes sistemas de labranza sobre la densidad aparente, DA, y su propiedad relacionada porosidad total, PT. Así, en regiones tropicales en suelos de textura liviana, (Anazodo *et al* [1], como en suelos de textura pesada, (Centurión y Demattê [9]), no se encontraron diferencias significativas de DA entre sistemas de reducción de labranza y convencionales. Igual situación fue registrada en regiones templadas, en suelos de textura media según Bauder *et al* [2]; Blevins *et al* [6] y Erbach *et al* [10]. Mientras que otros investigadores hallaron tendencias de mayores DA en sistemas de reducción de labranza en comparación con los sistemas convencionales: Bateman [4]; Soane y Pidgeon [31], Mahboubi, *et al* [22] y Kitur *et al* [17].

Conviene anotar, en consideración a lo anterior, y de acuerdo con Liebig *et al* [21], que podría esperarse que otros índices como resistencia a la penetración sean más sensibles como indicadores de compactación y de la condición del ambiente de raíces que DA.

Respecto a la macroporosidad, MP, la mayoría de investigaciones señalan que se presentaron mayores valores en labranza convencional que en labranza reducida o cero: Bauder *et al* [2] en suelos francoarcillosos; Hill [13] en suelos francolimosos; Taylor *et al* [34], en suelos arcillosos. Por otra parte, Bateman [4] observó que en los sistemas convencionales dos pases de rastrillo tándem, posteriores a la arada, regresaron los valores de MP a sus niveles originales. En suelos arcillosos, Centurión y Demattê [9] encontraron capas de bajas MP entre los 10 cm y 13 cm en labranza reducida y entre los 20 cm y 23 cm en sistemas convencionales.

Se ha encontrado, respecto a la conductividad hidráulica K que: mientras para algunos investigadores K es mayor en sistemas de no labranza que en labranza convencional: (Douglas *et al* citados por Mahboubi *et al* [22]; Blevins *et al* [6], Kayombo y Lal

[20], para otros sucede lo contrario (Gantzer y Blake, citados por Mahbouibi, *et al* [22]. Blevins *et al* [6] para profundidades entre 0,0 cm y 7,0 cm en suelos de textura media no registraron diferencias significativas de K entre diferentes tratamientos.

Una característica que ha sido muy utilizada para comparar efectos de la labranza sobre el suelo es su contenido de humedad, CH. Según las investigaciones, existe una relación estrecha entre el CH y la cantidad de residuos sobre el suelo, los cuales influyen sobre la evaporación en las primeras fases del crecimiento de cultivos y por la trasmisibilidad de agua a través del perfil durante otras fases del desarrollo de plantas. Así ha sido informado en zonas tropicales en toda clase de texturas por Centurión y Demattê [9]. Kayombo y Lal [18] Baryeh [5], Lal [20], Ojeniyi [26] e ICA [14]. En zonas templadas ha ocurrido otro tanto y así lo registran Bauder *et al* [2], Erbach *et al* [10], Blevins *et al* [6], Kitur *et al* [17], Blevins *et al* [6], Johnson *et al* [16], Raghavan y McKyes [29], Shannoltz y Lillard [32].

Una medida que también ha sido ampliamente usada para múltiples propósitos es el índice de cono IC, entre éstos: la resistencia del suelo al crecimiento de raíces en trabajos de Taylor y Bruce [34], Camp y Lund [8], Greacen *et al* y Bowen, citados por Perumpral [28]. También existen estudios para determinar el impedimento mecánico al crecimiento de raíces y emergencia de plantas: Farrell y Greacen, Blancher *et al*, Bradford, nuevamente citados por Perumpral [28].

Manor *et al* [23] encontraron cierta variabilidad del IC causada por la labranza y el tráfico en comparación con la heterogeneidad del suelo.

Diferentes estudios muestran comportamientos contrastantes de este parámetro: en el trópico, con texturas livianas, Anazodo *et al* [1] no encontraron diferencias significativas entre sistemas de reducción de labranza y convencionales. En regiones templadas y suelos de textura media, Bauder *et al* [2] informaron que los sistemas de reducción de labranza presentan mayores IC que los convencionales y reflejan la persistencia de los efectos del tráfico y una falta de mejoramiento natural por fuerzas climáticas. Lo mismo fue observado por Kitur *et al* [17] y mostraron que las diferencias desaparecieron debajo de los 23 cm.

B. Comportamiento mecánico del suelo agrícola

Respecto a las características mecánicas, Greacen [12] afirmó que la resistencia al corte y compresiva del suelo es importante en agricultura respecto al mantenimiento de la estructura del suelo contra compactación por animales y maquinaria y a la determinación de las especificaciones de implementos de preparación de suelos. Schafer, *et al* [33] comentaron la conveniencia de expresar los resultados de la labranza en términos como la resistencia al corte del suelo.

Koolen y Kuipers [19] aseguraron que las propiedades de la resistencia del suelo son reacciones a las fuerzas aplicadas y pueden variar con el tiempo bajo la influencia del clima, manejo del suelo y cultivo.

Según lo anterior, teniendo en cuenta la anisotropía del suelo y considerando que su respuesta a los esfuerzos es difícil de describir cuantitativamente en forma simple y comprensible, se han desarrollado modelos diferentes aplicados según la situación dada, (Reece [30]), en los cuales intervienen una o varias medidas de las propiedades del suelo. Uno de tales modelos es el de Mohr-Coulomb, en el cual la resistencia esta dada por $\tau = C + \sigma \cdot \text{tg} \phi$. Donde τ es la resistencia al corte, C es la cohesión, σ es el esfuerzo compresivo o normal y ϕ es el ángulo de fricción interna del suelo. Los parámetros C y ϕ se han usado generalmente para caracterizar la resistencia del suelo y definir un modelo de falla en la relación suelo-herramienta.

Algunas de las pruebas usadas para determinar la resistencia al corte son: compresión inconfiada, corte directo, corte *in situ* con caja torsional. La prueba de compresión triaxial se ha excluido de los estudios de similitud suelo - máquina por razones prácticas de preservación y manipulación de muestras, requerimientos de equipo especial, períodos considerables, etc., que conllevan altos costos.

Existen ciertas ventajas de las mediciones *in situ* respecto a las de laboratorio, según Bakhtin *et al* [7], por la dificultad de obtener muestras indisturbadas de la superficie del suelo, y según Okello [24] porque los métodos de laboratorio son

laboriosos, de difícil ejecución y poco representativos en suelos sueltos. Es importante que el dispositivo utilizado produzca un comportamiento de falla aproximadamente en la misma proporción que el sistema suelo-máquina en estudio, según lo afirmaron Johnson *et al* [15].

C. Respuesta del cultivo

Las especies vegetales deben responder, según sus propias características genéticas, a la diversidad de condiciones fisicomecánicas generadas por los diferentes sistemas de preparación de suelos, de una manera más o menos definida de acuerdo con la lógica de los requerimientos de aire, agua y nutrientes. No obstante, ocurren complicaciones en la estimación de esa respuesta, por la interacción de otras variaciones, tales como química del suelo, competencia de malezas, salinidad, ataque de plagas y enfermedades, etc. Por tanto, se hace aquí una pequeña reseña de respuestas del cultivo de maíz a algunos sistemas de labranza obtenidos en referencias internacionales seleccionadas.

En regiones tropicales, en condiciones de textura gruesa, Ojeniyi [26] encontró que respondía mejor la especie en condiciones de reducción de labranza que con sistemas que incluían arada; posiblemente debido a la mayor disponibilidad de agua en todo el período vegetativo. Esta respuesta se cuantificó en porcentaje de germinación, altura de plantas y aún rendimiento de grano. No ocurrió lo mismo en el ensayo registrado por Anazodo *et al* [1], donde los mayores rendimientos de grano se obtuvieron con sistemas que producían pulverización de suelo con “*rotovator*”, en comparación con sistemas de reducción de labranza; esto se atribuyó a la mayor resistencia mecánica del suelo bajo estos últimos sistemas y a la mayor competencia de malezas. Pero es importante anotar que estos autores reconocen que el sistema de labranza cero con un manejo adecuado del “*mulch*” y de herbicidas han alcanzado productividades iguales que con sistemas convencionales. Oni [25], trabajando en este tipo de suelos (franco arenoso), no encontró diferencias significativas en la respuesta del cultivo (altura de plantas y producción de grano) entre un sistema convencional de labranza y un tratamiento de preparación en fajas; el autor señala que después de establecido el cultivo, el desarrollo de la especie fue gobernado más por otros factores que por la labranza.

En países de la zona templada, Erbach *et al* [10] en suelos de textura media (franca a franco arcillosos) hallaron peores resultados de germinación y altura de plantas bajo los sistemas de reducción de labranza frente a los sistemas convencionales, atribuibles, según los autores, al manejo de residuos, en el inicio del período vegetativo, es decir, que los residuos cerca de la semilla no permitieron un contacto adecuado suelo-semilla, y produjeron incluso efectos alelopáticos.

II. METODOLOGÍA

Esta investigación se realizó en el centro de investigaciones Tibaitatá, municipio de Mosquera (Cundinamarca), durante los años de 1995 y 1996. La zona agroecológica es Fa con temperatura promedio de 13° C y humedad relativa promedio de 80%, una lluvia promedio anual de 650 mm/año. El lote presentaba textura francolimosa.

A. Tratamientos de labranza

Se establecieron seis sistemas de labranza que imponían diferentes grados de disturbación sobre el suelo; desde cero remoción hasta bien mullido con el tamaño de los agregados resultantes muy pequeño. Entre estos dos estados límites se definieron cuatro intermedios.

Los tratamientos de labranza fueron (ver figura 1):

Tratamiento 1: desyerba con guadañadora, un pase de arado de discos, dos pases de rastra excéntrica, dos pases de rastrillo pulidor (tándem), un pase de arado rotativo, siembra de maíz, una desyerbada manual, dos controles mecánicos de malezas con cultivadora de escardillos.

Tratamiento 2: desyerba con guadañadora, un pase de rastrillo excéntrico, dos pases de rastrillo pulidor (tándem), siembra de maíz, una desyerbada manual, dos controles mecánicos de malezas con cultivadora de escardillos.

Tratamiento 3: desyerbada con guadañadora, un pase de arado de cincel, un pase de rastrillo excéntrico, siembra de maíz, una desyerbada manual, dos controles mecánicos de malezas con cultivadora de escardillos.

Tratamiento 4: desyerbada con guadañadora, un pase de rastrillo excéntrico, un pase de rastrillo pulidor (tándem), siembra de maíz, una desyerbada manual, dos controles mecánicos de malezas con cultivadora de escardillos.

Tratamiento 5: aplicación de un herbicida (glifosato), un pase de rastrillo excéntrico, siembra de maíz, dos desyerbadas manuales, dos controles mecánicos de malezas con cultivadora de escardillos.

Tratamiento 6: labranza cero. Aplicación de un herbicida (glifosato), siembra de maíz, dos desyerbadas manuales con azadón en el período de desarrollo del cultivo, dos controles mecánicos de malezas con cultivadora rotativa

El área seleccionada para cada tratamiento fue de 80m * 20m (1600 m²), resultando un área total de experimento de 0,96 ha.

B. Información del cultivo

Se sembró maíz variedad ICA V508. En cuanto a respuesta del cultivo se midió la altura de plantas a los 40, 80 y 120 días, después de la siembra. En la cosecha se cuantificó la producción de mazorcas, forraje y materia seca.

C. Evaluación de la condición del suelo

Referente a la cuantificación de la condición del suelo se monitorearon las siguientes propiedades:

Densidad aparente: norma ASTM D 698, retención de humedad; norma ASTM D 315 y conductividad hidráulica medidas en los tiempos: antes de labranza (tiempo 0), inmediatamente después de labranza (tiempo 1), tiempo de cosecha (tiempo 2), y en las profundidades 1 (0,0cm- 15cm) y 2 (15cm-30cm).

Semanalmente se midieron el contenido de humedad gravimétrica y el índice de cono en profundidades desde 0,0 cm a 52,5 cm cada 3,5 cm; con un cono de 12,83 mm de base y ángulo de 30°, textura o granulometría: (norma ASTM D 422) y la densidad real o gravedad específica: (norma ASTM D 854).

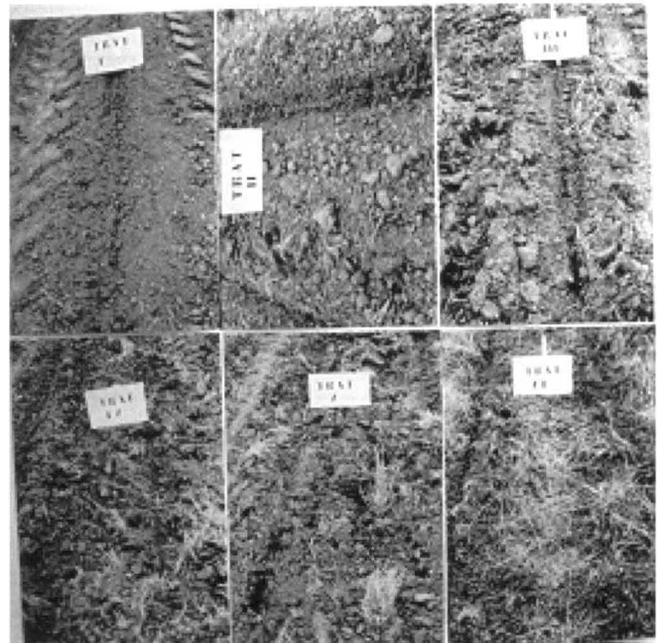


Figura 1. Tratamientos de labranza.

Con las características anteriores se calcularon las siguientes: porosidad total, macroporosidad o porosidad drenable calculada como porcentaje de saturación - % Ch_v (1/3 bar), meso más microporosidad calculada como % Ch_v (1/3 bar).

Para obtener los parámetros C y ϕ de la ecuación de Mohr-Coulomb se realizaron: prueba de corte directo: (norma ASTM D 3080), prueba de corte *in situ* con caja de torsión, de acuerdo con lo expuesto por Payne y Fountaine [27]. Estas pruebas se realizaron en los tiempos 0, 1 y 2. Se efectuó también la prueba de compresión confinada: (norma ASTM D 2166.) en los tiempos 0 y 2. Todas estas pruebas se realizaron en las profundidades 1 y 2.

D. Análisis estadístico

El diseño experimental adoptado para esta evaluación corresponde a "experimentos factoriales", dado que este procedimiento permite analizar varios factores simultáneamente, con poco trabajo adicional aumentando la precisión, la cobertura y la utilidad de los resultados, incluyendo información referente a interacción entre los factores si fuere necesario.

Se definieron los tratamientos de labranza, como ya fue explicado, los cuales se distribuyeron al

Tratamiento	t ₀		t ₁		t ₂	
	DA	PT	DA	PT	DA	PT
1	0,98	55,87	0,79	65,93	1,10	51,37
2	0,92	58,65	0,97	57,37	1,10	51,31
3	0,94	57,93	0,77	65,33	1,06	52,87
4	0,97	57,74	0,90	60,64	0,99	56,57
5	0,95	58,02	0,84	62,59	1,04	53,58
6	0,92	59,44	1,04	53,53	1,00	56,07

Cuadro 1. Densidad aparente (Mg/m³) y porosidad total (%) Profundidad 1 (0,0 cm - 15 cm).

Tratamiento	t ₀		t ₁		t ₂	
	DA	PT	DA	PT	DA	PT
1	0,97	57,18	1,02	54,79	1,04	54,16
2	0,94	59,36	0,99	56,68	1,09	52,69
3	0,99	56,46	0,89	59,78	1,08	52,84
4	0,92	60,34	1,00	55,87	1,08	51,43
5	0,96	57,10	0,96	57,04	1,02	54,75
6	0,94	58,98	1,03	54,21	1,01	55,13

Cuadro 2. Densidad aparente (Mg/m³) y porosidad total (%) Profundidad 2 (15 cm - 30 cm).

Fuente de variación	Densidad aparente	Porosidad total	Macroporosidad	Meso + micro porosidad	Conduct. hidráulica	Contenido humedad	Resistencia penetración
Tratamiento de labranza	N.S	N.S.	N.S.	N.S.	*	**	**
Profundidad	*	*	**	*	N.S.	**	**
Tiempo de medición	**	**	**	**	**	**	**
Repetición	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.	**	**

- * Diferencias significativas al 5% de probabilidad.
 ** Diferencias significativas al 1% de probabilidad.
 N.S. Diferencias estadísticamente no significativas.

Cuadro 3. Análisis estadístico de propiedades físicas

azar dentro del lote, cada uno con tres repeticiones. Los sitios para tomar los datos necesarios dentro de cada parcela también se escogieron aleatoriamente.

Según la variable dependiente estudiada, es decir, la variable sobre la que se estudia el efecto de los factores, se definió el número de niveles de factores, para cada análisis de varianza en particular. Así, por ejemplo, aquellas mediciones que tenían una secuencia en el tiempo y realizadas en dos profundidades, se optó por tomar los tratamientos de labranza, el tiempo y los estratos (profundidades) como factores y los datos correrlos en el modelo estadístico completamente al azar (incluso las repeticiones para cada tratamiento fueron incluidas como factores). Se efectuaron análisis de varianza para los grupos de variables, suelo y cultivo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Densidad aparente, DA, y porosidad total, PT

Las densidades aparentes medidas y las porosidades totales calculadas para todos los tratamientos, para las dos profundidades y para los tres tiempos, se muestran en los cuadros 1 y 2. No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque sí entre profundidades y tiempos de medición (cuadro 3).

Pudo observarse que una fuerte remoción con labranza primaria (arado) y varios rastrillos generaron inicialmente una PT alta y una DA baja, principalmente de 0,0 cm a 15 cm, pero a medida que va pasando el período vegetativo del cultivo, el suelo con estos tratamientos va adensándose.

Los tratamientos con intensidades de labranza baja, 4 y 5, sufrieron cambios favorables, no tan fuertes, con la labranza. Esta condición se proyectó hasta el final del período vegetativo, tiempo en el cual tenían las condiciones de PT y DA más favorables del conjunto de ensayos, junto con el tratamiento 6, que luego de un breve período de adensamiento por el tráfico, mejoraron la PT y DA con el tiempo.

El tratamiento que incluyó cincelada mejoró notablemente la condición en la profundidad 1 e

Tratamiento	t ₀	t ₁	t ₂
1	12,99	31,77	15,67
2	18,96	16,36	16,88
3	16,49	22,28	17,06
4	15,68	22,29	23,53
5	15,42	26,70	19,21
6	17,31	24,56	22,24

Cuadro 4. Macroporosidad (%) Profundidad 1 (0,0 cm - 15 cm)

Tratamiento	t ₀	t ₁	t ₂
1	15,45	12,87	18,62
2	18,59	15,77	18,97
3	9,99	22,50	16,29
4	17,91	13,24	17,32
5	12,42	16,47	21,21
6	15,16	14,33	22,30

Cuadro 5. Macroporosidad (%) Profundidad 2 (15 cm - 30 cm)

incluso 2, en contraste con los otros tratamientos, pero esa mejora no se mantuvo con el tiempo.

La profundidad 2 se comportó como base receptora de los esfuerzos compactantes de las operaciones efectuadas en la profundidad 1. Los tratamientos con mayor intensidad de maquinaria 1 y 2, provocaron adensamientos mayores que los de menor uso de maquinaria; (5 y 6). Se observó que los daños causados por compactación después de la labranza se incrementaron con el paso del tiempo hasta el período de cosecha. En contraste, los tratamientos 5 y 6 con labranza reducida y nula tendieron a mejorar su DA y PT, al final de período vegetativo.

Esta situación cambiante a lo largo del período vegetativo, sin diferencias estadísticas en promedio, esta en concordancia con lo expresado en la revisión de literatura para estos parámetros. (ver cuadros 1, 2, 3).

B. Macroporosidad, MP

En los cuadros 4 y 5 se presentan los valores de macroporosidad para los tratamientos,

profundidades y tiempos. Nuevamente se consiguieron diferencias significativas para profundidades y tiempos de medición (cuadro 3)

Las altas intensidades de labranza consiguieron altas macroporosidades justo después de los tratamientos y en la profundidad 1; sin embargo, esta aparente mejora disminuyó considerablemente con el paso del tiempo, llegando a estados bajos de aireación (cuadro 4). Con tratamientos de labranza reducida o nula, como 4, 5 y 6, los aumentos de macroporosidad fueron también importantes, pero esta condición se conservó con el tiempo.

Según este análisis, la pulverización de los suelos hizo que los agregados se separaran lo suficiente como para dar una aireación considerable justo después de la labranza en estado seco. Factores ambientales, como lluvia, consiguen que se formen masas compactas, en las que los macroporos que quedan entre las partículas más grandes se llenen con las partículas pequeñas. Además por existir mayor área con mayor número de partículas, las superficies de contacto son mayores y la aglomeración más fácil.

En la profundidad 2, el proceso fué interesante: la MP disminuyó en todos los tratamientos, excepto en el 3 con labranza profunda. Como se verá en el cuadro 7 los descensos de meso y microporosidad no fueron notorios, es decir, los cambios en PT se debieron casi exclusivamente a los cambios en MP. La compactación redujo más el espacio poroso para circulación de aire. El paso del tiempo trajo aumentos de MP hasta valores mayores que los iniciales en el tiempo 0, excepto para el tratamiento 3, en el que la MP disminuyó.

Puede notarse cómo, y de acuerdo con lo reportado por Bateman [4], los pases de rastrillo tándem en la labranza secundaria de sistemas convencionales llevaron los valores de MP a sus niveles originales, particularmente hacia los 15 cm de profundidad del perfil.

C. Mesoporosidad más microporosidad

En los cuadros 6 y 7 se muestran las cifras referentes a la proporción de poros medianos y pequeños para todos los tratamientos, profundidades y tiempos de medición.

Se encontraron diferencias significativas por tiempos más altas que por profundidades o repeticiones (cuadro 3)

Debe pensarse que con la labranza, idealmente, se deberían conseguir cantidades proporcionalmente altas tanto de macroporos como de mesoporos más microporos. Se nota que se partió de un cierto nivel de compactación en el que la proporción de meso + microporos era más alta que la macroporos. Aunque con la labranza en general se consiguió, en parte, mejorar esta proporción en todos los tratamientos, las mayores proporciones relativas (mayor equilibrio) se consiguieron a lo largo de todo el período vegetativo en los tratamientos de menor remoción del suelo (4, 5 y 6), (ver cuadros 4, 5, 6 y 7).

Al parecer, el efecto destructivo de terrones por la labranza se realiza a través de los poros menores, que son puntos de falla. Al romperse los terrones a través de los microporos, el porcentaje baja con el aumento de los terrones y macroporos.

En la profundidad 2, inmediatamente después de la labranza, los valores de meso y microporosidad o se mantuvieron casi constantes, como en los tratamientos 1 y 2, o disminuyeron solo un poco, como en el resto, excepto en el 3, en el cual si hubo una gran disminución atribuible al efecto del arado de cincel. Pareciera que el efecto de la maquinaria sobre esta profundidad es leve en los valores de microporosidad a corto plazo, aunque en el tiempo 3 sí se encontraron disminuciones notorias, posiblemente por el lavado de las partículas pequeñas desde la profundidad 1, que taparon los poros menores de la profundidad 2.

D. Conductividad hidráulica, K

Los valores de conductividad hidráulica para todos los tratamientos, en los tres tiempos de medición y para los dos niveles de profundidad se observan en los cuadros 8 y 9. En promedio se encontraron diferencias significativas entre tiempos y tratamientos pero no entre profundidades (cuadro 3).

La conductividad hidráulica es un buen indicador del comportamiento descrito por las características DA, PT y MP.

Después de la labranza se alcanzaron valores muy altos de K Como se ve en el cuadro 8, el

Tratamiento	t ₀	t ₁	t ₂
1	42,88	34,15	35,70
2	39,69	41,02	34,43
3	41,43	43,04	35,81
4	42,06	38,35	33,04
5	42,60	35,89	34,37
6	42,06	28,97	33,83

Cuadro 6. Mesoporosidad más Microporosidad (%)
Profundidad 1 (0,0 cm- 15 cm).

Tratamiento	t ₀	t ₁	t ₂
1	41,72	41,93	32,09
2	40,77	40,91	32,09
3	46,47	37,29	35,26
4	42,44	42,63	34,68
5	44,68	40,58	33,06
6	43,83	39,89	32,50

Cuadro 7. Mesoporosidad más Microporosidad (%)
Profundidad 2 (15 cm - 30 cm).

Tratamiento	t ₀	t ₁	t ₂
1	0,22	50,83	0,03
2	0,46	6,62	0,06
3	0,53	3,00	0,53
4	2,80	24,37	0,82
5	0,29	16,69	0,10
6	0,91	0,82	1,33

Cuadro 8. Conductividad hidráulica (cm/h)
Profundidad 1 (00 cm - 15 cm).

Tratamiento	t ₀	t ₁	t ₂
1	0,40	24,02	0,40
2	0,20	3,28	1,24
3	2,15	5,00	0,36
4	1,37	7,25	0,08
5	0,33	6,07	1,09
6	0,14	1,45	0,37

Cuadro 9. Conductividad hidráulica (cm/h)
Profundidad 2 (15 cm -30 cm).

tratamiento 1, por ejemplo, de gran disturbación, tuvo una gran cantidad de macroporos, capaces de permitir el paso del agua. El tratamiento 6, de labranza cero, redujo un poco su permeabilidad en función del descenso de PT, aunque MP haya aumentado.

Después del período vegetativo del cultivo, *K* se estabilizó: de valores altos se paso a valores inferiores o similares a los del tiempo 0.

Es evidente que los tratamientos 1 y 2 de valores muy altos de *K* pasaron a valores muy bajos después del período vegetativo, reflejando lo ya descrito en MP y PT. En contraste está el tratamiento 6, que de valores bajos pasó a valores mejores con el paso del tiempo.

E. Contenido de humedad, CH

Según el cuadro 3, esta característica presentó diferencias significativas por tratamientos, tiempos, profundidades e incluso repeticiones.

Las figuras 2 y 3 indican que la labranza hizo que la humedad disminuyera, en la profundidad 1, hasta las primeras siete semanas después de realizada, sobre todo en los tratamientos de mayor remoción, lo que se debió probablemente a la mayor exposición al ambiente.

Los tratamientos 3 y 6 presentaron un comportamiento especial. El 3 registró los mayores CH durante todo el ensayo, especialmente en la

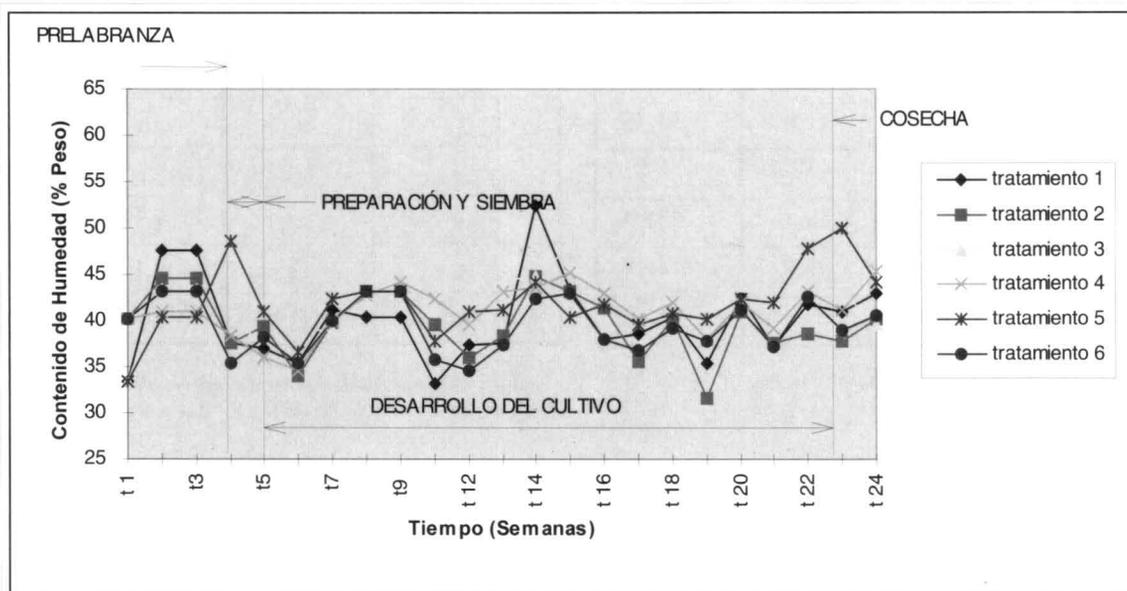


Figura 2. Contenido de humedad. Profundidad 1 (0,0-15 cm).

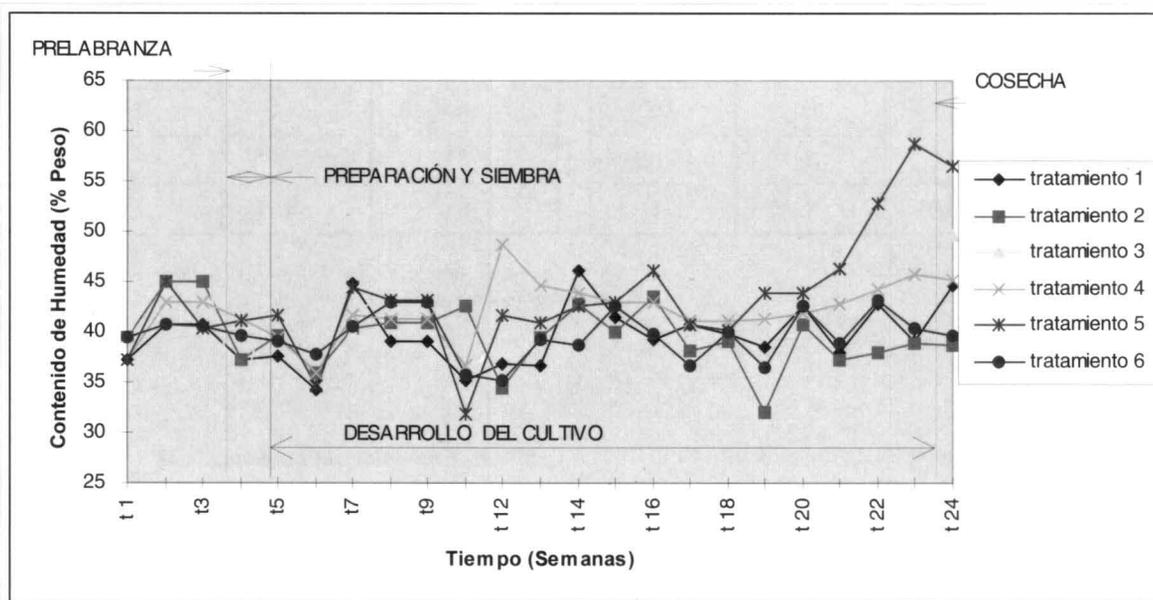


Figura 3. Contenido de humedad (%). Profundidad 2 (15 - 30 cm).

profundidad 2. El tratamiento 6 permaneció con CH bajo y casi constante debido seguramente a que en este experimento no se contó con una buena cantidad de cobertura vegetal.

En general, los tratamientos con menor remoción presentaron mayor CH que los de mayor remoción, con excepción del tratamiento 6; posiblemente los mayores valores de IC de este

tratamiento determinarían un menor grado de almacenamiento de agua, sugiriendo adensamientos que no fueron tocados.

Esto se reafirmaría porque cuando fueron adensándose nuevamente los tratamientos 1 y 2, de mayor remoción, hacia el final del período vegetativo del cultivo, empiezan a mostrar menores CH.

F. Índice de cono, IC

Al igual que el contenido de humedad, en la resistencia a la penetración se encontraron diferencias significativas por tratamientos, profundidades, tiempos y repeticiones (cuadro 3).

Mientras que el tratamiento 6 de cero labranza presentó los mayores valores durante todo el experimento, el 3, con uso de cincel, registró los menores valores justo después de la labranza y durante todo el período vegetativo. Esto pareciera mostrar que el efecto de la cincelada se mantiene por lo menos a lo largo de un período vegetativo, lo que contrasta con DA y PT (ver figuras 4 y 5).

Un análisis de todos los tratamientos parece indicar que la no labranza presentó valores iniciales mayores de IC, pero luego se disminuyó la resistencia; en contraste con los de alta remoción, luego de presentar los menores valores de IC, aumentaron fuertemente en función probablemente de los adensamientos en el transcurso del tiempo.

En la profundidad 2, el tratamiento 6 registró los mayores valores de IC después de la labranza, lo que se debería al efecto compactante del tráfico; luego se presentaron valores de IC intermedios. En contraste están los tratamientos 1 y 2, que después de ser los más “blandos” pasaron a tener los mayores valores

de IC hasta el final del período vegetativo. El tratamiento 3, registró los menores valores durante todo el experimento.

Se notan cuatro tendencias de comportamiento de IC por intensidad de labranza así: tratamiento 6, tratamientos 1 y 2, tratamientos 5 y 4 y tratamiento 3. Los de menor remoción (con excepción del 6) son los de menor resistencia (menor adensamiento) siendo el tratamiento 3, de cincelada, el mejor; y los de mayor remoción los de mayor adensamiento. Esta situación, que se complementa totalmente con lo observado al respecto de CH, sugiere una estrecha relación entre ambos parámetros.

Al parecer existió una tendencia a la formación de una capa compactada en una profundidad de mas o menos 30 cm, debida quizás al efecto de las labores de mecanización anteriores y actuales (figura 4).

G. Prueba de corte directo

En los cuadros 10 y 11 se muestran los valores de los parámetros C y ϕ , según la prueba de corte directo para todos los tratamientos y las dos profundidades.

Cohesión: este parámetro registró diferencias significativas únicamente entre tiempos de medición. (cuadro 12).

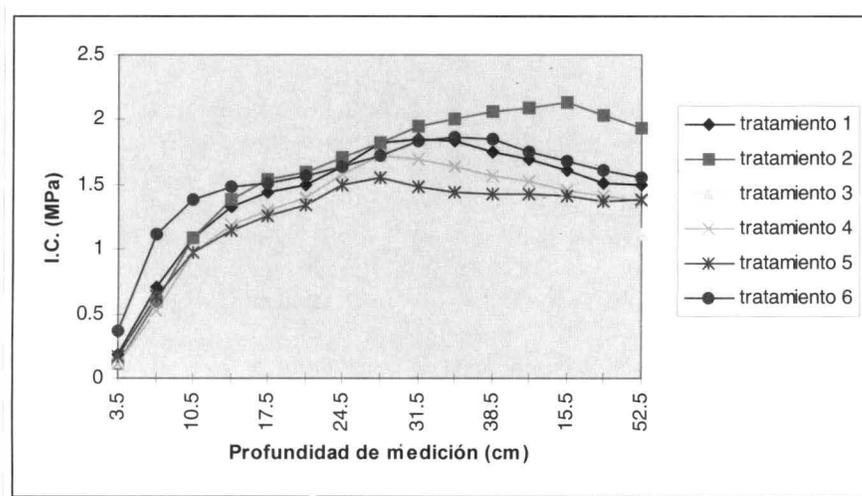


Figura 4. Índice de cono. Todas las profundidades y tiempos.

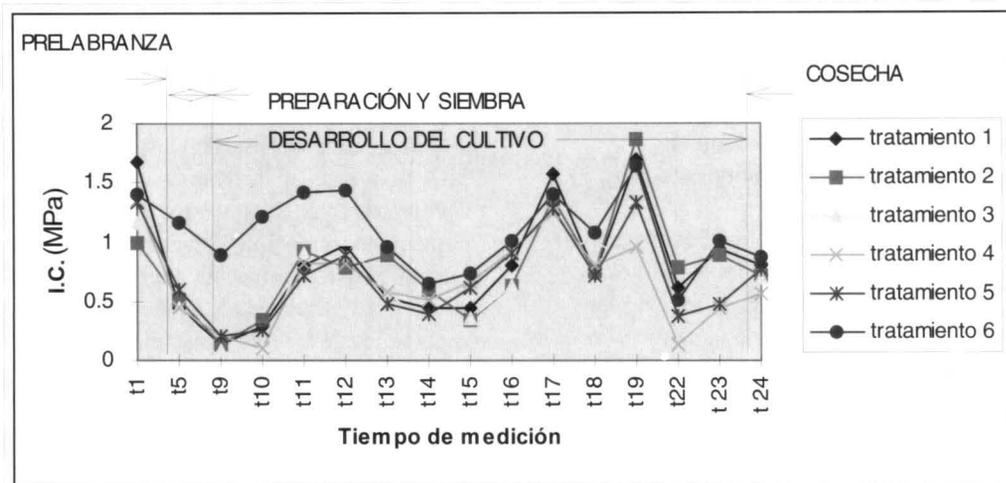


Figura 5. Índice de cono. Profundidad 1 (0,0 cm -15 cm)

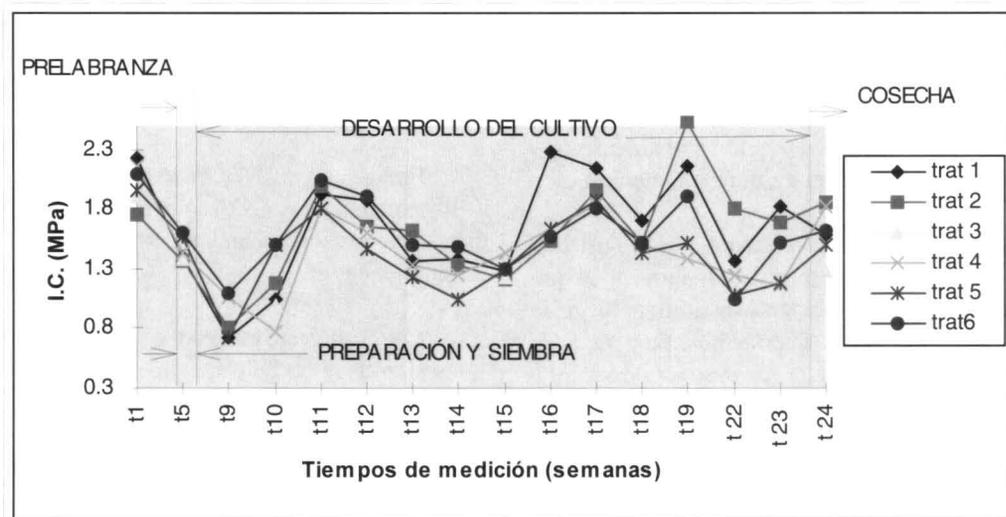


Figura 6. Índice de cono. Profundidad 2 (15 cm - 30 cm)

Para el tiempo 1, las cohesiones se redujeron en todos los tratamientos excepto en el 6, que permaneció relativamente constante. Las mayores remociones originaron grandes descensos de cohesión; las menores, la hicieron descender aunque no tan marcadamente.

Se encontró un aumento general de la cohesión después del período de desarrollo del cultivo, lo cual fue más notorio por el efecto en los tratamientos de menor remoción.

En la profundidad 2, la cohesión fue mayor. Los cambios en esta profundidad no fueron tan

marcados como en la 1, aunque el efecto del cincel parece hacer variar mucho este parámetro.

Para el final del período vegetativo se tendió a la homogenización de la cohesión en todos los tratamientos.

Ángulo de fricción interna: este no es un buen indicador de diferencias entre los diferentes factores: tratamientos, profundidades, tiempos, repeticiones (cuadro 12).

En los tratamientos en los que se presentaron disminuciones de cohesión (1 y 2) aumentó el valor

Tiempo	t ₀		t ₁		t ₂	
Tratamiento	C	∅	C	∅	C	∅
1	0,0243	33,99	0,0064	31,23	0,0300	25,26
2	0,0549	35,34	0,0047	33,69	0,0168	26,94
3	0,0261	44,13	0,0227	16,49	0,0423	20,82
4	0,0147	26,51	0,0086	32,05	0,0286	32,48
5	0,0341	35,30	0,0145	21,54	0,0412	18,39
6	0,0287	29,08	0,0287	29,08	0,0178	26,00

Cuadro 10. Cohesión (MPa) y ángulo de fricción (grados)
Corte Directo. Profundidad 1 (0,0 cm - 15 cm)

Tiempo	t ₀		t ₁		t ₂	
Tratamiento	C	∅	C	∅	C	∅
1	0,030	35,03	0,011	27,48	0,027	23,78
2	0,031	23,54	0,017	55,04	0,022	25,45
3	0,038	24,35	0,002	33,64	0,027	20,69
4	0,009	29,07	0,012	10,02	0,026	25,87
5	0,036	27,07	0,004	37,77	0,034	21,25
6	0,055	14,56	0,055	14,56	0,041	18,95

Cuadro 11. Cohesión (MPa) y ángulo de fricción (grados)
Corte directo. Profundidad 2 (15 cm - 30 cm)

Fuente de variación	Cohesión Corte Directo	Ángulo de fricción C. D.	Cohesión <i>in situ</i>	Ángulo de fricción <i>in situ</i>	Compresión inconfina
Tratamiento de labranza	N.S.	N.S.	**	N.S.	*
Profundidad	N.S.	N.S.	**	N.S.	N.S.
Tiempo de medición	**	N.S.	*	N.S.	N.S.

* Diferencias estadísticas al 5 % de probabilidad.

** Diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

N.S. Diferencias estadísticamente no significativas.

Cuadro 12. Análisis estadístico de propiedades mecánicas

de la fricción en la resistencia al corte, y el tratamiento 6 que presentó la mayor cohesión, tuvo el menor ángulo de fricción. Tratamientos intermedios como el 3 y 5 tuvieron así mismo valores intermedios de cohesión y ángulo de fricción interna.

En general, una combinación de cohesión y ángulo de fricción interna del suelo que originen una resistencia al corte alta, da como resultado una condición desfavorable del suelo, ya sea por una cohesión alta y un ángulo de fricción bajo o una cohesión baja y ángulo de fricción alto. Las condiciones más favorables se alcanzan con un equilibrio entre cohesión y ángulo de fricción interna, de tal manera que se consiga una resistencia al corte intermedia (entre 0, 2 y 0,5 MPa), asumiendo cargas normales típicas como las ocasionadas por tractores y herramientas de labranza.

H. Prueba de corte *in situ*

Los parámetros de resistencia del suelo C y ϕ medidos *in situ* se muestran en los cuadros 13 y 14.

Cohesión: se encontró variabilidad con diferencias significativas tanto por tratamientos, profundidad y tiempos (cuadro 12).

En general, los valores de cohesión hallados por este método son mayores que los halladas por corte directo.

En la profundidad 1, los tratamientos con operaciones convencionales de labranza perdieron casi toda la cohesión, mientras que el uso de cincel no logró disminuciones notorias,

Tiempo	t_0		t_1		t_2	
	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ
1	0,170	52,2	-	52,6	0,288	52,0
2	0,123	65,6	0,031	61,1	0,027	63,4
3	0,048	67,2	0,039	67,1	0,062	58,4
4	0,086	72,7	-	54,3	0,142	67,9
5	0,053	63,1	0,004	70,3	0,160	57,5
6	0,210	61,3	0,210	61,3	0,110	73,4

Cuadro 13. Cohesión (MPa) y ángulo de fricción interna (Grados) Corte *in situ* Profundidad 1 (0,0 cm - 15 cm)

Tiempo	t_0		t_1		t_2	
	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ
1	0,289	47,8	0,171	62,9	0,180	69,7
2	0,174	65,6	0,137	69,6	0,153	62,7
3	0,129	68,7	0,120	72,4	0,127	53,3
4	0,176	66,7	0,091	66,7	0,159	60,0
5	0,142	63,5	0,133	60,4	0,214	48,9
6	0,236	62,0	0,236	62,0	0,250	45,7

Cuadro 14. Cohesión (MPa) y ángulo de fricción interna (grados) corte *in situ* Profundidad 2 (15 cm - 30 cm)

pero en el final del período vegetativo los tratamientos 1, 4 y 5 se adensaron para dar valores de cohesión mas altos que en el tiempo 1 .

Los efectos de la labranza en la profundidad 2 fueron menos importantes que en la profundidad 1, aunque el tratamiento 4 sufrió un descenso, considerable. Al final del período vegetativo, los valores de cohesión fueron similares, en promedio, a los del tiempo 0.

Ángulo de fricción interna: según el análisis estadístico, no hubo diferencias significativas entre tratamientos, ni tiempos ni profundidades, lo que hace que esta variable, según esta prueba, no sea un elemento indicativo de cambios.

Los valores de acuerdo con esta prueba fueron mayores que los encontrados en corte directo. Aunque la prueba de corte *in situ* presenta un buen potencial, el mecanismo de falla no queda tan bien definido en comparación con la prueba de corte directo.

I. Prueba de compresión inconfiada

Con esta prueba las diferencias son significativas únicamente por tratamientos.

Los tratamientos con menor remoción tendieron a menor resistencia que los tratamientos de mayor disturbación, como el 1 y 2. De acuerdo con los cuadros 15 y 16, la profundidad 2 presentó mayores

valores de resistencia que la profundidad 1, aunque no significativamente.

Todo parece indicar que los tratamientos con altos niveles de disturbación sufren grandes cambios de su estado inicial de resistencia al corte, de acuerdo con la prueba compresión, para pasar a estados muy diferentes después del desarrollo del cultivo. Mientras el tratamiento 1 sufrió un gran descenso de resistencia, el tratamiento 2 aumentó. Los tratamientos con disturbaciones intermedias y bajas tendieron a permanecer constantes en sus valores de resistencia al corte, con valores mucho menores que los de alta disturbación.

Si se comparan los resultados según esta prueba con los resultados de los ensayos de laboratorio, se encuentra que la prueba de compresión inconfiada puede reflejar un estado conjunto de parámetros de cohesión y fricción, indicando un estado total de resistencia.

J. Comportamiento del cultivo

1. Altura de plantas

Se encontraron diferencias significativas por tratamientos y obviamente por los tiempos de medición de este parámetro (ver metodología).

Se encontraron tres grupos de tratamientos definidos según esta característica: los tratamientos 1 y 2 presentaron las mayores alturas, los tratamientos 5 y 4 tuvieron alturas intermedias y los tratamientos 6 y 3 las menores, lo que no pudo atribuirse únicamente

Tratamiento	t_0	t_2
1	0,184	0,118
2	0,175	0,456
3	0,045	0,078
4	0,331	0,143
5	0,060	0,122
6	0,054	0,065

Cuadro 15 Resistencia al corte compresión inconfiada (MPa) Profundidad 1.(0,0 cm -15 cm).

Tratamiento	t_0	t_2
1	0,204	0,083
2	0,194	0,551
3	0,061	0,100
4	0,253	0,087
5	0,070	0,334
6	0,077	0,089

Cuadro 16 Resistencia al corte compresión inconfiada. (MPa) Profundidad 2 (15 cm - 30 cm).

Tratamientos	t ₁	t ₂	t ₃
1	30,3	69,3	228,4
2	29,9	64,6	221,7
3	25,3	50,2	135,3
4	27,9	54,9	183,7
5	29,6	67,1	205,6
6	26,5	60,4	168,1

t₁: 40 días después de la siembra, t₂: 80 días después de la siembra,
t₃: 120 días después de la siembra.

Cuadro 17. Altura de plantas (cm).

Fuente de variación	Altura de plantas	Producción de forraje total	Producción de materia seca	Bultos de mazorca de 1ª
Tratamiento de labranza	**	**	*	N.S.
Tiempo de medición	**			
Repetición	*	*	N.S.	*

* Diferencias estadísticas al 5 % de probabilidad.
** Diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.
N.S. Diferencias estadísticamente no significativas.

Cuadro 18. Análisis estadístico del comportamiento del cultivo.

Tratamientos	forraje (Mg/ha)	Materia seca (Mg/ha)	Bultos de mazorca de 1ª (bulto/ha)
1	55,61	16,15	444,44
2	47,18	15,56	383,67
3	35,61	12,06	320,99
4	39,44	11,48	434,00
5	39,10	13,36	386,51
6	35,11	11,91	339,98

Cuadro 19. Comportamiento del cultivo.

a las características físicas del suelo, sino también a la presencia de salinidad en los sitios correspondientes a estos tratamientos.

2. Producción de forraje total

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos y entre repeticiones.

Según la cuadro 19, los tratamientos con mayor disturbación del suelo fueron los que tuvieron mayor producción de forraje, excepto el tratamiento 3. Este último tuvo producción similar al tratamiento 6 y, como ya se dijo, esto se debería al estado de salinidad. Los tratamientos de labranza reducida 4 y 5 tuvieron buenos rendimientos.

3. Producción de materia seca

La producción fue mayor en los tratamientos de mayor remoción y el 5, en comparación con los tratamientos de reducción de labranza (ver cuadro 19).

4. Bultos de mazorca de primera

La producción de mazorca de primera no fue significativamente diferente entre tratamientos. Sin embargo, las mayores producciones se hallaron en los tratamientos 1, 2 y 4; es decir, en los tratamientos de labranza convencional, excepto el 4.

Todo el comportamiento mostrado en los puntos anteriores muestra que los mayores rendimientos fueron registrados por los tratamientos de labranza convencionales. Esto es de esperarse, por cuanto la labranza tradicional le da al suelo propiedades adecuadas justo después de la labranza, que van desmejorándose lentamente con el tiempo; por tanto, el análisis a corto plazo no será un buen indicador. Si se repitieran los tratamientos para cultivos consecutivos, seguramente esta situación podría invertirse.

Por lo demás, conviene recordar que la respuesta no solamente es reflejo de las condiciones del suelo impuestas por la labranza, sino que interactúan otros factores, tales como manejo de malezas y de residuos, y de localizaciones puntuales de problemas de drenaje y/o concentraciones de sales, como se comentó.

CONCLUSIONES

Los sistemas de preparación de suelo que incluyen una fuerte remoción de este presentan un mejoramiento rápido de la condición física del suelo, pero esta condición no se mantiene con el paso del tiempo y, por el contrario, luego se alcanzan índices inferiores en comparación con aquellos en los que el movimiento de suelo se reduce o se elimina. Se señala entonces la provocación de una inestabilidad del suelo a todas luces inconveniente para el desarrollo de las especies vegetales.

El índice de cono y el contenido de humedad del suelo, además de estar estrechamente ligados, se muestran como indicadores significativos y sensibles de la condición del suelo y para usarse en evaluaciones del efecto de la labranza sobre sus propiedades y sobre la productividad de diversas especies agrícolas.

Tanto la respuesta del cultivo, como el comportamiento de los valores de contenido de humedad, índice de cono y demás características, muestran la ineficacia de un tratamiento de cero labranza sin una buena cantidad de cobertura vegetal.

Respecto a la resistencia del suelo, la cohesión mostro ser mejor índice que \emptyset , ya que dio mayor variabilidad respecto a los tratamientos de labranza y tiempos de medición. Podrían implementarse otros métodos de medición de la resistencia que sean mas sensibles a los cambios del ángulo de fricción interna para este tipo de estudios.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANAZODO, U, ONWUALU, A, WATTS K. "Evaluation of alternative tillage systems in the absence of herbicides for maize production in a savannah loamy sand". *J. Astric. Eng. Res.*, 49, 259, 1991.
2. BAUDER, J, RANDALL, G, SWANN, J. "Effect of four continuous tillage systems on mechanical impedance of a clay loam soil". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 802, 1981.
3. BLEVINS, R., SIMTH, M., THOMAS, C., "Influence of conservation tillage on soil properties". *J. Soil and Water Cons.*, 38, 301, 1983.
4. BATEMAN, H. "Effect of field machine compaction on soil physical properties and crop response". *Trans. ASAE*, 6, 19, 1963.
5. BARYEH, E. "Tillage effects on growth, yield of maize and some soil properties - An experience at Dschang, Cameroon". *Agric. Eng.*, 41, 38, 1986.
6. BLEVINS, R., *et al* "Influence of no - tillage on soil moisture". *Agron. J.*, 63, 593. 1971.
7. BAKHTIN, P., KIRTBAYA, Y., NICOLAEVA, I. "Resistance of soils in the USSR to deformation and ploughing". Ninth International Congress of Soil Science, 1, 781, 1968.
8. CAMP, C. y LUND, Z. "Effect of mechanical impedance on cotton root growth". *Trans. ASAE*, 11, 188, 1968.
9. CENTURION, J. and DEMATTE, J. "Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja". *R. bras. Ci. Solo*, 9, 263, 1985.
10. ERBACH, D., *et al* K. "Maize response to tillage induced soil conditions". *Trans. ASAE*, 29. 690. 1986.
11. GAVANDE, S. *Física de suelos: principios y aplicaciones*. Limusa México. 1979.
12. GREACEN, E. "Water content and soil strength". *J. Soil Sci.*, 11, 313, 1960.
13. HILL, R. "Long - term conventional and no - tillage effects on selected soil physical properties". *Soil Sci. Am J.*, 54,161, 1990.
14. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. *Informe anual de actividades*. Programa de maquinaria agrícola, 1983 - 1989.
15. JOHNSON, C., *et al* . "Shear measurement for agricultural soils A review". *Trans. ASAE*, 30, 935, 1987.
16. JOHNSON, M., LOWERY, B., DANIEL, T. "Influence of no-tillage on soil moisture". *ASAE*, 27, 1385, 1984.
17. KITUR, B., *et al*. "Tillage effects on growth and yields of corn on Grantsburg soil". *J. Soil and Water Cons.*, 49, 266,1994.
18. KAYOMBO, B. y LAL, R. "Effects of soil compaction by rolling on soil structure an *development* of maize in no - till and disc ploughing systems on a tropical alfisol". *Soil Tillage Res.*, 7, 117, 1986.
19. KOOLEN, A. and KUIPERS, H. *Agricultural soil mechanics*. Springer-Verlag Berlin, 1983.
20. LAL, R. "No - tillage effects on soil properties under diferent crops in Western Nigeria". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40. 762. 1976.
21. LIEBIG, M., *et al*. "Controlled wheel traffic effects on soil properties in ridge tillage". *S. Sci. Soc. Am. J.* 57. 1061,1993.
22. MAHBOUBI, A., LAL, R., FAUSSEY, N. "Twenty - eight years of tillage effect on two soils on Ohio". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57, 506,1993.
23. MANOR. G., *et al*. "Soil cone index variability under fixed traffic tillage systems". *Trans. ASAE*. 34. 1952. 1991.
24. OKELLO, J. "A review of soil strength measurement techniques for prediction of terrain vehicle performance" *J. Agric. Engng Res.*, 50, 129, 1991.
25. ONI, K. "Traffic compaction and tillage effects on the performance of maize in sandy soil of Nigeria". *AMA*, 22, 27, 1991.
26. OJENIYI, S. "Effect of zero - tillage and disc ploughing on soil water, soil temperature and growth and yield of maize (*Zea mays L.*)". *Soil Tillage Res.*, 7, 173, 1986.
27. PAYNE, P. y FOUNTAINE, E. "A fiel method of measuring the shear strength of soils". *J. Soil Sci.*, 3, 136, 1952.
28. PERUMPRAL, J. "Cone penetrometer aplicacions: A review". *Trans. ASAE*. 30. 939. 1987.

29. RAGHAVAN, G., McKYES, E. "Effect of vehicular traffic on soil moisture content in corn (maize) plots". *J. Agric. Engng. Res.*, 23, 429, 1978.

30. REECE, A. "Soil mechanics of agricultural soils". *Soil Sci.*, 121, 332, 1977.

31. SOANE, B. y PIDGEON, J. "Tillage requirement in relation to soil physical properties". *Soil Sci.*, 119, 376, 1978.

32. SHANNOLTZ, V. y LILLARD, J. "Tillage systems effects on water use efficiency". *J. Soil and Water Cons.*, 24, 186, 1969.

33. SCHAFER, R., BOCKHOP, C., LOVELY, W. "Vane and torsion techniques for measuring soil shear". *Trans. ASAE*, 61, 57, 1963.

34. TAYLOR, H. y BRUCE, R. "Effects of soil strength on root growth and crop yield in the southern United States". *Ninth International Congress of Soil Science*, 1, 803, 1968.

35. TAYOR, F., et al. "Corn grown in a Ste, Rosalie clay under zero and traditional tillage", *Can. Agric. Eng.*, 26, 91, 1984.