27054 AGRO

EVALUACIÓN DE DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZA COMO CONTRIBUCION AL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA PRODUCCION DEL CULTIVO DE PAPA EN LA VEREDA "LOS SOCHES", LOCALIDAD DE USME.

ANA DELIA BEJARANO H.

Trabajo presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO AGRONOMO,

Director

FABIO RODRIGO LEIVA

Director asociado

LAUREANO GUERRERO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE AGUA Y SUELO
BOGOTA D.C.
2000

GRACIAS A :

Todos aquellos que estuvieron presentes en el momento y la situación adecuada.

Profesores Fabio Leiva y Laureano Guerrero por su acertada y generosa orientación.

Don Felix Cristancho por su espontanea y desinteresada confianza.

Juan Carlos y Fredy Forero por el tiempo y esfuerzo dedicados pacientemente.

Prof. Orlando Martínez por su precisa y eficaz colaboración.

Cesar G. Alvarez por el acompañamiento y consejo oportuno.

.... Hacia el primer día, todos señalaban a nuestros países.
Hacia el tercero o cuarto, señalábamos a nuestros continentes.
Pero al quinto día, ya éramos conscientes de que sólo hay una Tierra.

BIN SALMON AL – SAUD
Astronauta de Arabia Saudí.

DEDICATORIA

A mi sobrina Daniela.
Deseo que tengas un Mundo
donde puedas vivir la vida de muchas maneras,
pero no de cualquier manera.

A cuantos aman la vida y la
Tierra que la hace posible,
siendo conscientes de que
Cometer un error y
no corregirlo es otro error.

Este trabajo hace parte de las investigaciones realizadas por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia – Bogotá, sin embargo los juicios e ideas expresadas por el autor son de su absoluta responsabilidad y en nada comprometen a la Universidad Nacional de Colombia.

(Artículo 14 de la Resolución 0047 de 1981)

EVALUATION OF DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS AS A CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE PRODUCTION OF POTATO CROPS *(Solanum tuberosum)* IN THE DISTRICT " LOS SOCHES" (USME).

Bejarano Ana Delia[1]. Leiva Fabio Rodrigo[2]. Guerrero Laureano[3]

ABSTRACT

The present study was accomplished in the district "Los Soches" (Usme), during the first semester of 1999, with the general objective of evaluating the contribution to environmental conservation (soil) and the economic impact of reduced tillage toward sustainable production of potato crops in this locality. Particularly this study looked at the effects of different mechanical disturbance levels on some soil physical properties and on crop development and yield. The soil variables evaluated were structural stability, moisture content, moisture retention, bulk density, porosity, pore distribution and cone penetration resistance. The crop variables assessed were leaf index, stem density, plant height and crop yield (tubers). In addition a financial analysis which included total costs, total income and net income was accomplished. The statistic model was a split-plot design with four random distributed treatments, namely: T1 (conventional tillage), T2 (reduced tillage with chisel), T3 (reduced tillage with rotovator) and T4 (zero tillage).

The results showed that the reduced tillage systems preserved soil structural stability, maintained high soil moisture content, greater moisture retention capacity and few variations in cone penetration resistance and in pore distribution during the crop cycle. T3 showed good results in terms of soil moisture content and moisture retention leading to better crop development, greater leaf index, stem density and tuber yield (ton/Ha). Such crop yield increase led to the highest production costs ($ 4'133.036 /Ha) due to increased labor demand, packages, harvest and transportation. T4 (zero tillage) had the smallest costs as a result of a huge reduction in tillage cost with a difference in total costs of

[1] Agronomist. Universidad Nacional de Colombia. Apdo Aéreo 14490, Bogotá

[2] Associate Professor. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia.

[3] Assistant Professor. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia.

$98.648 with respect to T3. This latter treatment achieved the best financial performance followed by T4. T1 (conventional tillage) exhibited high variations in penetration resistance, distribution of pores and bulk density and reduced both crop development and yield where compared to T3 and T4. T2 (reduced tillage with chisel) resulted in a poor behavior in terms of soil variables, crop development, yields and costs probably as a result of misuse owning to lack of training of the operator. Taking into account the potential contribution of chisel plough to soil conservation it is recommended further assessment. This study confirms that conservation tillage is a real option which may contribute to soil conservation, economic benefits and sustainable production of potato crops in the locality of Usme.

Key words: Tillage, sustainability, soil conservation, potato.

EVALUACIÓN DE DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZA COMO CONTRIBUCION AL DESARROLLO DE LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DEL CULTIVO DE PAPA (Solanum Tuberosum) EN LA VEREDA "LOS SOCHES", LOCALIDAD DE USME.

Bejarano Ana Delia[1]. Leiva Fabio Rodrigo[2]. Guerrero Laureano[3].

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la vereda "Los Soches" de la localidad de Usme, durante el semestre A de 1999, con el objetivo general de evaluar el aporte a la conservación ambiental (suelo) y el impacto económico de la racionalización de la labranza para la producción sostenible del cultivo de papa en esta localidad, y de manera particular, analizar los efectos de diferentes niveles de disturbio mecánico del suelo sobre algunas propiedades físicas del mismo y sobre parámetros de desarrollo y rendimiento del cultivo. Con tal fin se distribuyeron al azar cuatro tratamientos correspondientes a T1:labranza convencional, T2:labranza reducida con cincel, T3:labranza reducida con rotovator y T4:labranza cero. Se evaluaron las variables de suelo: estabilidad estructural, contenido de humedad, retención de humedad, densidad aparente, porosidad, distribución de poros, resistencia a la penetración; y las variables del cultivo: área foliar, densidad de tallos, altura de planta y rendimientos de tubérculos. Además, se realizó un análisis financiero que incluyó: costos totales, ingresos totales e ingresos netos. El procesamiento y análisis de la información se hizo mediante un modelo estadístico de parcelas divididas.

En general, los resultados mostraron que los sistemas de labranza reducida conservaron la estabilidad estructural, mantuvieron un alto contenido de humedad y una mayor capacidad de retención de humedad, pocas variaciones en los valores de resistencia a la penetración y una distribución de poros adecuada durante el ciclo del cultivo. La labranza reducida con rotovator (T3) mantuvo niveles elevados de agua aprovechable (A.A) y retención de humedad, lo cual se reflejó en un mejor desarrollo del cultivo en términos de mayor área foliar, densidad de tallos y producción de tubérculos en ton/Ha. Este

[1] Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia. Apartado Aéreo 14490, Bogotá, Colombia
[2] Profesor Asociado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia.
[3] Profesor Asistente. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia.

incremento en el rendimiento ocasionó los más altos costos de producción ($4'133036/Ha) por la mayor demanda de mano de obra, empaques y transporte al momento de la cosecha, con una diferencia de $98648 con respecto a la labranza cero (T4). Este último sistema tuvo los menores costos de producción debido a la reducción de operaciones de preparación de terreno. Sin embargo, el T3 (labranza reducida con rotovator) generó los mejores ingresos, seguido por T4. El sistema de labranza convencional (T1) presentó grandes variaciones en resistencia a penetración, distribución de poros y densidad aparente, lo cual posiblemente influyó negativamente sobre el desarrollo y producción del cultivo, con un rendimiento de tubérculos inferior al presentado en T3 y T4. El tratamiento con cincel (T2) resultó en un pobre comportamiento en las variables del suelo, desarrollo del cultivo, rendimientos y costos, debido a la inadecuada utilización de este equipo por falta de entrenamiento del tractorista. Se recomienda mayor investigación con este implemento, dado su potencial para la labranza de conservación. Se concluye que los sistemas de labranza de conservación representan una opción real para cultivos de papa en la localidad de Usme, trayendo consigo ventajas técnicas, económicas y de conservación del suelo, lo cual favorece la producción sostenible en la región.

Palabras claves: Labranza, sostenibilidad, conservación de suelos, papa.

1. INTRODUCCION

El desconocimiento de los requerimientos de labranza para las diferentes especies de cultivos y regiones agroecológicas ha inducido a la práctica generalizada de labranza intensiva, que unida al uso inadecuado de equipos, ocasionan daño a las propiedades físicas del suelo (pérdida de estabilidad estructural, compactación, erosión), incremento en el costo de maquinaria agrícola, exigencias considerables de energía (combustible) y mano de obra, alterando el ambiente y la sostenibilidad de la producción agrícola en el largo plazo. Esto ha llevado a la búsqueda de soluciones que representen factibilidad técnica y económica para el agricultor dentro de un marco de manejo racional y sostenible de los recursos naturales (Gavande, 1991; González, 1994)

La labranza reducida, la cual disminuye operaciones con relación a la labranza convencional, y la siembra directa ó labranza cero, que consiste en la eliminación de las operaciones con arados y rastrillos y la colocación directa de la semilla en el suelo sin retirar la cobertura vegetal, conforman lo que se conoce como labranza de conservación (Leiva, 1998), y se presenta como la alternativa para solucionar el impacto negativo de las prácticas convencionales de labranza.

Investigaciones a nivel nacional sobre sistemas de labranza han mostrado que la labranza de conservación mejora las propiedades físicas del suelo (estructura, porosidad) y conduce a una mayor conservación de humedad, posiblemente por la capa vegetal existente desde el momento de la siembra. La densidad aparente, sin embargo, tiende a valores altos en estos sistemas, por el menor disturbio del suelo (González, 1994). Igualmente se ha encontrado un mejor comportamiento en rendimientos (Ton/Ha) en cultivos bajo labranza de conservación, comparados con sistemas convencionales (Herrera, 1989; Ortiz, 1994). Cultivos como maíz y papa han mostrado una tendencia a incrementar sus rendimientos en la medida en que se reducen operaciones de labranza (Rodríguez, 1984). Estos aumentos

en rendimientos han sido asociados con una mayor conservación de la humedad del suelo (Leiva, 1998). Sin embargo, los costos de mano de obra, empaques y transporte pueden aumentar cuando se obtienen mayores rendimientos (González, 1994).

La disminución de costos de mecanización, el manejo racional del suelo y las mayores producciones obtenidas en algunos casos, son aspectos importantes a considerar para justificar y profundizar la investigación en sistema de labranza de conservación.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el aporte a la conservación ambiental (suelo) y el impacto económico de la racionalización de la labranza para la producción sostenible del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en la localidad de Usme. De manera particular se buscó estudiar los efectos de diferentes niveles de disturbio mecánico del suelo sobre algunas propiedades físicas del mismo y sobre parámetros de desarrollo y rendimiento del cultivo de papa.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Localización e Historia del lote:

El presente trabajo se realizó durante el semestre A de 1999, en la localidad de Usme, vereda Los Soches, localizado a 3200 msnm, con pluviosidad promedio anual de 1200 mm y una temperatura promedio de 12°C. En el lote se ha mantenido una rotación de papa- arveja aproximadamente por 8 años, con preparación del suelo de manera convencional, usando arados de discos y rotovator. Durante el año inmediatamente anterior a la realización de este trabajo el lote permaneció en descanso (barbecho).

2.2. Materiales y Equipos:

En la preparación de las parcelas para cada uno de los tratamientos se emplearon los siguientes equipos:

Tabla 1. Materiales y equipos utilizados para la evaluación de diferentes sistemas de labranza en la vereda "Los Soches" (Usme).

MATERIAL Y/O EQUIPO	ESPECIFICACION
Tractor Ford 6900.	Potencia 60 HP.
Arado rotatorio	Profundidad labranza 18 cm
Arado de discos	Profundidad labranza 26.2 cm
Arado de Cincel Vibratorio	Profundidad labranza 18.5 cm; 5 ganchos;
Material Vegetal	Semilla certificada de papa, variedad parda pastusa.

2.3. Tratamientos de Labranza:

El trabajo se llevó a cabo en un área de 3800m^2 en donde se distribuyeron al azar cuatro tratamientos en parcelas de 950m^2 cada una.

- Tratamiento 1: T1 Labranza convencional (1 pase de arado de discos + 2 pases de rotovator).
- Tratamiento 2: T2 Labranza reducida (2 pases de cincel)
- Tratamiento 3: T3 Labranza reducida (aplicación previa de herbicida + 1 pase de rotovator)
- Tratamiento 4: T4 Labranza cero (aplicación previa de herbicida + siembra directa)

la labranza cero donde no se surcó. La fertilización se realizó en corona y de acuerdo con el análisis de suelos (Tabla 2). Se empleó el equivalente a una dosis por hectárea de 750 Kg. de 10-30-10,50 Kg. de K_2SO_4, 250 Kg. de MgO y 500 Kg de superfosfato triple aplicando el 50% al momento de la preparación del suelo y 50% al mes y medio de desarrollo del cultivo. Las labores de desyerba (atierre) y aporque se efectuaron a los 35 y 70 días del cultivo respectivamente.

Se controló "gota" (*Phithopthora infestans)* con aplicaciones periódicas de Mancozeb (Dithane y Manzate) y Metalaxyl (Ridomil). Gusano blanco se controló con aplicaciones de Carbofuran (Furadan, Curater). Además se usaron pellets de molusquicidas (Metaldehido) durante los meses de mayor humedad para el control de babosas.

Tabla 2. Análisis de suelo mostrando las características químicas del lote utilizado para la evaluación de diferentes sistemas de labranza en la vereda "Los Soches" (Usme)

Textura: F.Ar pH : 5.5						CIC meq/100g: 30.2 Materia orgánica (%): 14					
C %	N %	P ppm	Ca meq/ 100g	Mg meq/ 100g	K meq/ 100g	Na meq/ 100g	Al meq/ 100g	Mn ppm	Fe ppm	Zn ppm	Cu ppm
8.10	0.70	18	4.0	0.0	0.42	0.08	0.5	6.96	242.	6.30	4.78

2.4. Análisis Estadístico

El modelo estadístico empleado para el procesamiento y análisis de la información fue el de parcelas divididas.

Para cada tratamiento se definieron 5 puntos de muestreo (sobre el surco) para la evaluación de las variables de suelo: densidad aparente, contenido de humedad y resistencia a la penetración, con una periodicidad mensual. Para determinar retención de humedad y estabilidad estructural se tomaron 3 muestras (antes de los tratamientos, un mes después de ellos y a la cosecha) (Tabla 3). Las variables de cultivo área foliar y densidad de tallos fueron evaluadas en la época de

floración, donde teóricamente se alcanza el máximo desarrollo del cultivo; la variable altura de planta se midió mensualmente hasta la época de floración, y rendimiento se determinó al momento de la cosecha.

Tabla 3. Variables medidas y métodos utilizados para la evaluación de diferentes sistemas de labranza en la vereda "Los Soches" (Usme).

MEDICION DE VARIABLES DEL SUELO	
CARACTERISTICA	METODOS
❖ Contenido de humedad (15-20cm) ❖ Densidad Aparente ❖ Porosidad y distribución de poros ❖ Resistencia a la penetración (10,20,30,40 y 50cm) ❖ Retención de Humedad ❖ Estabilidad estructural	❖ Secado en estufa a 110ºC ❖ Método del terrón parafinado ❖ Determinación indirecta a partir de las relaciones masa-volumen del suelo(Montenegro,1991) ❖ Penetrómetro de cono ❖ Ollas de tensión ❖ Método de Yoder
MEDICION DE VARIABLES DEL CULTIVO	
CARACTERISTICA	METODOS
❖ Nº días siembra a emergencia ❖ Nº días siembra a floración ❖ Area foliar ❖ Altura de plantas ❖ Densidad de tallos ❖ Producción de tubérculos (ton/ha).	❖ Observaciones y conteo directos ❖ Observaciones y conteo directos ❖ Medidor electrónico durante la floración. ❖ 5 plantas por parcela, muestreo al azar. ❖ Metodología CIP (Wiersema, 1981) durante floración. ❖ Recolección de tubérculos en los surcos centrales de cada parcela, y la parcela total.
ANALISIS FINANCIERO	
❖ Análisis de costos totales, Ingresos Netos, rentabilidad.	❖ Costo Total: Incluye Mano de obra+insumos+ transporte ❖ Ingreso Total: Obtenido por venta de cosecha ❖ Ingreso Neto: Ingreso total - Costo Total ❖ Rentabilidad: $\frac{\text{Ingreso neto} * 100}{\text{Ingreso Total}}$

3. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos para las variables de suelo y cultivo y sus interrelaciones, así como el análisis financiero para cada uno de los tratamientos evaluados.

3.1. VARIABLES DEL SUELO

3.1.1.Estabilidad estructural del suelo

La estructura del suelo afecta directamente algunas propiedades como la retención y conducción del agua y el movimiento de aire dentro del suelo. El tránsito de maquinaria y animales afectan la estructura del suelo y pueden compactarlo. La labranza modifica los agregados del suelo cambiando su tamaño, propicia pérdida de materia orgánica y afecta la estructura y la estabilidad estructural (Harris et al.,1966 y Low,1972). De la capacidad que tengan los agregados para mantener su forma cuando se humedecen, depende el libre paso del agua y la entrada del aire al suelo (Gavande,1991)

La Figura 1 muestra el comportamiento de la estabilidad estructural para cada uno de los tratamientos. Antes de la aplicación de los tratamientos los valores del índice de estabilidad estructural se hallaban entre 0.7 y 0.9, indicando que este suelo presentaba una estructura ligeramente estable (Montenegro et al, 1990).

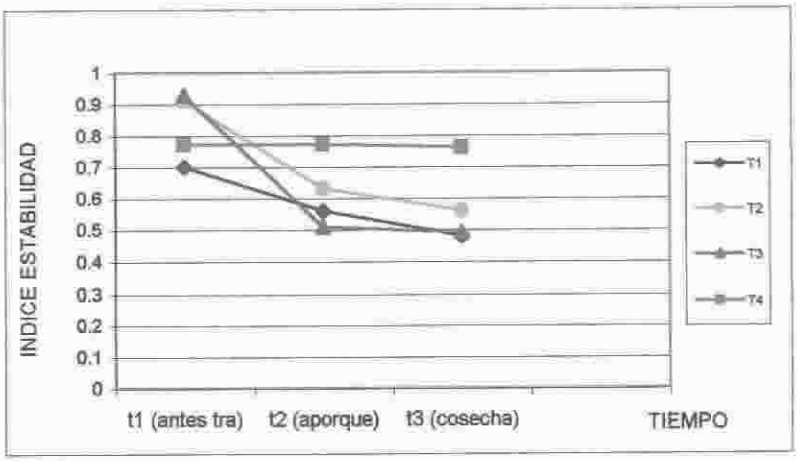


Figura 1. Comportamiento de la estabilidad estructural en el tiempo para diferentes sistemas de labranza en la vereda "Los Soches" (Usme).

A partir de la aplicación de los tratamientos, el índice presenta un descenso evidente para los tratamientos T1 (L. convencional) y T3 (L. rotovator), lo cual es explicable si se tiene en cuenta que para ambos tratamientos se utilizó el rotovator, un implemento altamente disturbador, el cual cuando es usado intensivamente puede dañar la estructura del suelo, causando su desagregación. (Leiva,1998 ; Montenegro et al 1990).

En cuanto al T2 (L. Cincel), resulta difícil explicar el descenso en el índice de estabilidad, ya que se usó un equipo recomendado para labores de labranza reducida, sin embargo la realización de un pase extra con azadón para desterronar y desarraigar el pasto puede explicar el descenso en el índice para este tratamiento. El T4 (L. cero) es el único tratamiento que mantiene constante el índice de estabilidad, lo cual permite afirmar que este sistema no tuvo un impacto negativo sobre la estabilidad estructural por el menor disturbio mecánico del suelo. Este aspecto resulta relevante en un proceso de producción sostenible y de conservación del suelo.

El aporque realizado en el tiempo 2, parece no haber incidido negativamente sobre el índice de estabilidad para ninguno de los tratamientos. A partir de ese tiempo la tasa de disminución de ese índice decreció , particularmente en los tratamientos T2 y T3, lo cual sugiere que este tipo de suelo tiende a recuperar la estabilidad estructural con relativa facilidad.

3.1.2. Contenido de humedad:

El agua del suelo afecta de modo determinante muchas propiedades físicas y químicas que suceden en el suelo, como también el crecimiento de las plantas. El contenido de agua también influye en el del aire y los cambios en el movimiento de los gases en el suelo, afectando así, los fenómenos de respiración, la actividad de los microorganismos y el estado químico del suelo (Montenegro et al, 1990).

Para esta variable el modelo mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos y tiempos, razón por la cual se realizó una prueba de Duncan (Tabla 4). Esta prueba mostró que el tratamiento 4 (L. cero) presentó los mayores promedios de humedad durante todo el ensayo. Los tratamientos T2 (L. cincel) y T3 (L. rotovator) presentaron valores promedios de humedad significativamente menores al encontrado en T4, mientras que para T1 (L. convencional) los contenidos promedios de humedad se mantuvieron en valores intermedios entre la labranza cero y los tratamientos de labranza reducida. Sin embargo, el alto régimen de lluvias durante este período no permitió notar diferencias marcadas de humedad entre los sistemas de labranza convencional y labranza cero.

Los mayores contenidos de humedad en la labranza cero pueden estar relacionados con una disminución en la evaporación del agua debido a la cobertura vegetal existente y a el menor disturbio mecánico del suelo. Esto resulta ventajoso, particularmente en las primeras fases de crecimiento del cultivo, donde existen altas demandas de agua.

Tabla 4. Comparación del promedio de contenido de humedad (%) a profundidad de 15 a 20 cm. entre diferentes sistemas de labranza por la prueba Duncan.

Promedios	Tratamiento
54.32 a	4
49.59 ba	1
45.69 b	2
45.41 b	3

En general los mayores promedios de humedad para todos los tratamientos correspondieron a los tiempos 2,3,6 y 7 , mientras que los menores se presentan en los tiempos 1,4 y 5. Esto concuerda con el comportamiento de las lluvias en la zona durante ese semestre, el cual fue bastante húmedo durante el transcurso del cultivo. (Figuras 2 y 3).

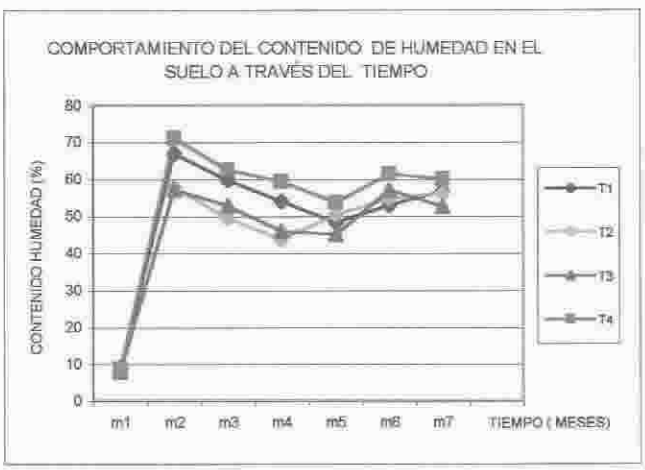


Figura 2. Contenido de humedad (%) a profundidad (15 a 20 cm) en el tiempo para diferentes sistemas de labranza. Usme.

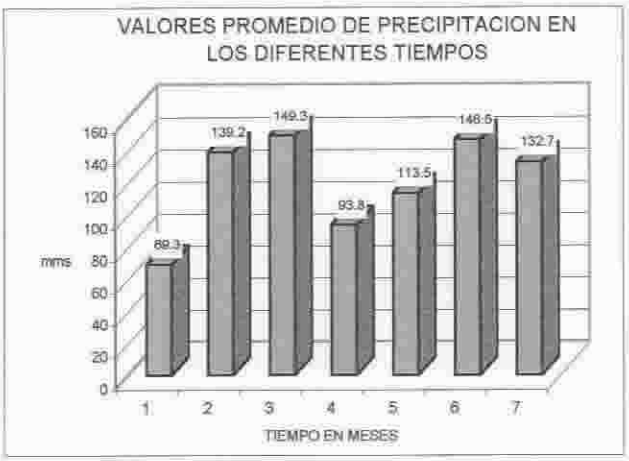


Figura 3. Promedios de precipitación de marzo a septiembre 1999. Fuente: IDEAM.

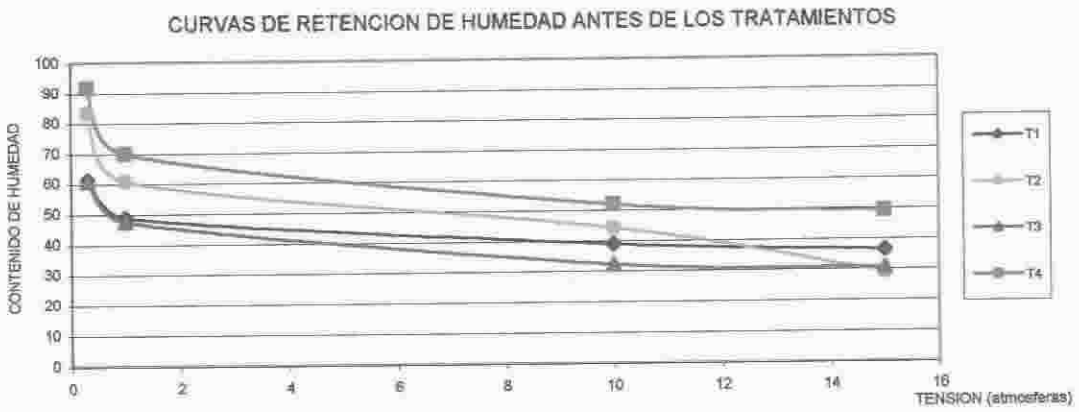
3.1.3. Retención de humedad:

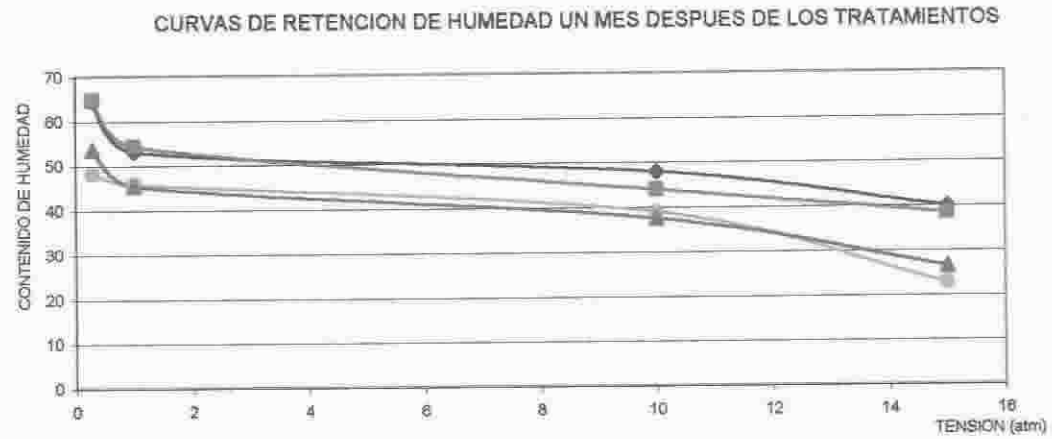
La cantidad de agua que un suelo puede almacenar se conoce como capacidad de retención de humedad (Montenegro et al, 1990). La determinación de una curva de retención tiene gran importancia agrícola, dado que permite estimar la cantidad de agua que un suelo puede almacenar dentro de límites dados de succión; es decir, la cantidad de agua de fácil aprovechamiento (succión baja) y la de difícil aprovechamiento (succión alta) por las plantas (Forsythe,1985). La capacidad de retención de humedad por parte del suelo, como también los valores de capacidad de campo (0.3 atm) se pueden ver afectados negativamente con el uso excesivo de maquinaria en la preparación del terreno, particularmente en terrenos con altos contenidos de humedad, y su efecto directo es causar compactación reduciendo el espacio poroso (Guerrero y Restrepo , 1978).

La Figura 4 muestra que después de aplicados los tratamientos y hasta la cosecha la capacidad de campo (C.C) aumentó ligeramente para el caso de T1 (L. convencional), mientras que para los demás tratamientos esta capacidad disminuyó notoriamente. Sin embargo, el tratamiento que mantiene los mayores valores de C.C. durante todo el tiempo hasta la cosecha fue el T4 (L. cero). Esta situación posiblemente guarda relación con una mejor distribución de macro y mesoporos, lo que sugiere que dicha proporción es mejor en la labranza cero en comparación con los otros tratamientos en los que la mecanización altera la estructura aumentando los macroporos, influyendo en la capacidad de retención.

En cuanto al contenido de humedad ó agua aprovechable (A.A), se observo una alta heterogeneidad del suelo, evidenciada en las grandes diferencias entre los valores del contenido de A.A para cada una de las parcelas, dicha heterogeneidad favoreció a los tratamientos T2 (L. cincel) y T4 (L. cero) que presentaron los más altos valores al iniciar el ensayo, mientras que el T1(L. convencional) y el T3 (L. rotovator) mostraron los más bajos. A partir del tiempo 1 y hasta la cosecha el

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA





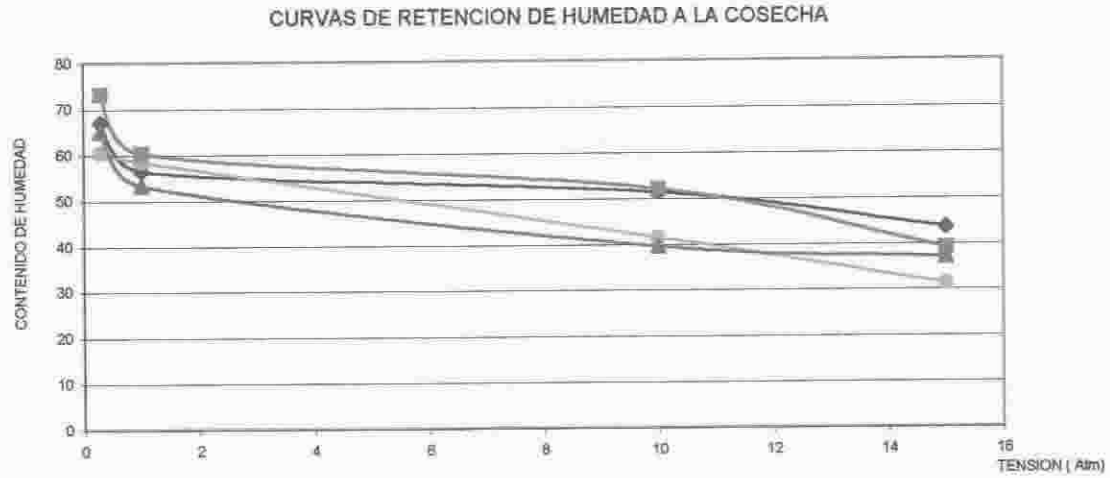


Figura 4. Comportamiento de la retención de humedad a través del tiempo para diferentes sistemas de labranza.

tratamiento T1 mantiene constante sus contenidos de A.A con respecto a los demás tratamientos, con una muy ligera disminución al final del ensayo. Los tratamientos T2 (L. cincel) Y T3 (L .rotovator) observaron un descenso marcado en para el t2 (desyerba) los cuales aumentan ligeramente al momento de la cosecha. El tratamiento de labranza cero (T4) se destaco por los mayores contenidos en porcentaje de A.A desde el tiempo 2 y hasta la cosecha. (Figura 5). Estos resultados sugirieren que en este ensayo el comportamiento en los contenidos de Agua aprovechable está más directamente relacionado con las características propias del suelo que con el nivel de disturbio mecánico del suelo.

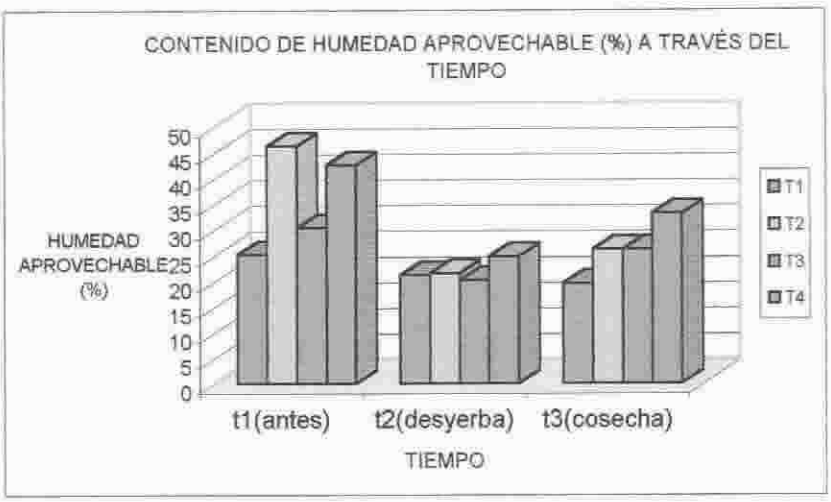


Figura 5. Humedad aprovechable (%) para diferentes sistemas de labranza a través del tiempo en la vereda "Los Soches" Usme.

Sin embargo estos mismos resultados indican que una menor alteración del suelo con los sistemas de labranza reducida y en especial de labranza cero contribuye a mantener niveles de capacidad de retención y agua aprovechable favorables para el cultivo.

3.1.4. Densidad Aparente y Porosidad Total

La densidad aparente muestra el estado de adensamiento del suelo y es un indicador del movimiento de fluidos (agua y gases), de la resistencia a la penetración radicular y del régimen térmico del suelo (Malagón, 1976; Herrera,1989). El uso de maquinaría agrícola produce alteraciones en los valores de la densidad aparente, lo que equivale a decir que altera la relación entre poros y partículas sólidas del suelo (Guerrero y Restrepo,1978). Cuando se prepara un suelo se puede aumentar su volumen, por incremento de la porosidad total, con lo cual se disminuye su densidad aparente; sin embargo, durante el periodo vegetativo del cultivo la porosidad disminuye y los valores de la densidad aparente aumentan tendiendo a volver a los valores existentes antes de la labranza. Esto ocurre por asentamiento del suelo y reacomodamiento de sus partículas (Ortiz,1994). La medición de la variación de la densidad aparente a través del tiempo permite determinar la residualidad del efecto de la labranza. (González,1994)

Para este trabajo, los valores promedio tanto de la densidad aparente como de la porosidad total muestran que a pesar de no existir diferencias estadísticas entre tratamientos (Tablas 4 y 5), el tratamiento T4 (L. cero) presenta valores más bajos de porosidad y ligeramente superiores en densidad. Esto se puede explicar sí se tiene en cuenta que la labranza altera la relación masa/volumen disminuyendo la densidad aparente, situación que no se presenta en T4 debido al mínimo disturbio que se causa al suelo.

Tabla 4. Comparación de promedios de densidad aparente entre diferentes sistemas de labranza por la prueba Duncan.

Promedios	Tratamientos
1.158 a	4
1.146 a	3
1.133 a	2
1.126 a	1

Tabla 5. Comparación de promedios de porosidad total (%) entre diferentes sistemas de labranza por la prueba Duncan.

Promedios	Tratamientos
0.454 a	1
0.442 a	2
0.433 a	3
0.432 a	4

Comportamiento en el tiempo:

El modelo mostró diferencias altamente significativas entre tiempos para la variable densidad aparente. Por ello se realizó una prueba de Duncan, la cual indica que los mayores valores de adensamiento y los menores de porosidad se presentaron en los tiempos 6 y 7(mes 5 y 6 de cultivo) (Tabla 6 y 7) debiéndose posiblemente al asentamiento que experimenta el suelo con el tiempo. Este comportamiento coincide con lo encontrado por Ortiz (1994). Resulta importante destacar que los valores de densidad a la cosecha son más altos que los presentados antes de aplicar los tratamientos, lo cual indica que en general para todos los tratamientos, el suelo presentó mayor compactación al finalizar el ensayo. También se debe resaltar el descenso en los valores de densidad aparente, con su respectivo incremento en porosidad, durante los tiempos 3 y 4, correspondiente al efecto de las labores de desyerba y aporque sobre el suelo, las cuales modifican la relación masa/ volumen.

Tabla 6. Comparación de promedios de densidad aparente entre tiempos para diferentes sistema de labranza por la prueba Duncan

PROMEDIOS	TIEMPO
1.2165 a	7
1.1750 ab	6
1.1455 b	5
1.1405 b	1
1.1210 bc	2
1.1125 bc	4
1.0770 c	3

Tabla 7. Comparación de promedios de porosidad total entre tiempos para diferentes sistema de labranza por la prueba Duncan.

Promedios	tiempos
0.472 a	3
0.454 ab	4
0.449 b	2
0.441 b	1
0.440 b	5
0.422 bc	6
0.406 c	7

La Figura 6 muestra que el T4 (L. cero) tiene el comportamiento más uniforme en densidad aparente durante el ensayo, debido al mínimo disturbio del suelo. Los tratamientos T1 (L. convencional) y T3 (L. rotovator) presentaron los mayores incrementos en densidad aparente durante el experimento, alcanzado valores considerablemente superiores al momento de la cosecha comparados con los valores antes del experimento. Particularmente, resulta indeseable el comportamiento del T1(L. convencional) el cual presentó valores finales de densidad superiores a los presentados por el T3 (L. rotovator) , indicando que el efecto disturbador del rotovator se ve acentuado por el uso del arado de discos, favoreciendo una mayor compactación en el suelo.

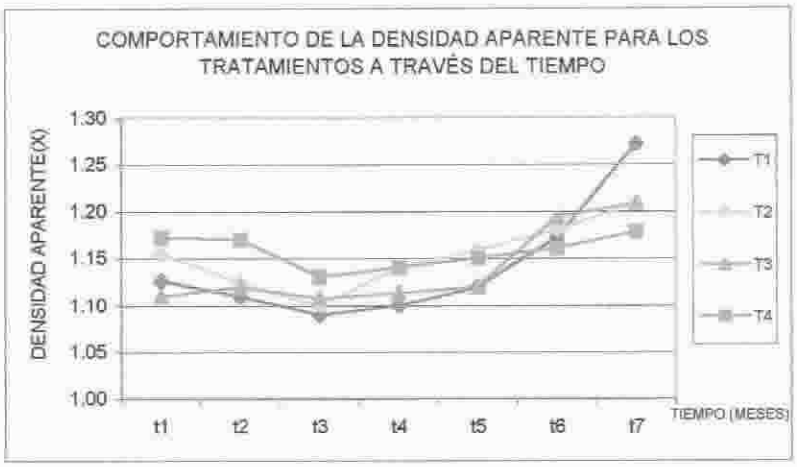


Figura 6. Comportamiento de la densidad aparente a través del tiempo para diferentes sistema de labranza en la vereda "Los Soches" (Usme)

3.1.5. Distribución de poros

Aunque el espacio poroso es continuo, debido a su naturaleza cavernosa puede considerarse que tiene una distribución de tamaño de poros, similar a la que se presenta con las partículas de suelo. La proporción y distribución de los poros por tamaño tiene gran importancia en las relaciones del suelo con las plantas y con algunas funciones específicas, donde el diámetro está relacionado con el potencial matricial, dando así una clasificación de la función del poro sobre la retención, disponibilidad y drenaje del agua en el suelo (Montenegro et al,1990; Gavande,1991). El total del espacio poroso ideal del suelo es de aproximadamente 50% , entre 10% y 15% deben ser macroporos y otro 10 a 15% microporos (Guerrero,1998).

La tabla 8 muestra los valores de la distribución de poros en porcentaje para los diferentes tratamientos en tres tiempos distintos. Se observa que un mes después de aplicados los tratamientos la distribución del porcentaje de macroporos aumenta y el de mesoporos desciende para los sistemas de labranza convencional y labranzas reducidas (cincel y rotovator), evidenciándose el efecto

de la labranza que conduce a una mayor aireación pero menor capacidad de retención de agua (Amézquita,1981 y Herrera, 1989), situación que confirma lo sugerido en el comportamiento de la curvas de retención de humedad (Figura 4) y es correspondiente con lo encontrado por Méndez y Navas (1982).

Para el momento de la cosecha, en estos tratamientos los porcentajes de macro y mesoporos disminuyeron, mostrando la tendencia del suelo a reacomodar sus agregados y a volver a su estado inicial (González,1994). El tratamiento de labranza cero presentó gran estabilidad en distribución de poros a través del tiempo, consistentemente superior al de otros tratamientos estudiados. Este resultado coincide con el mejor comportamiento en retención y disponibilidad de agua aprovechable mostrado por este tratamiento y confirma que el sistema de labranza cero favorece la conservación de la humedad del suelo.

Tabla 8. Distribución del tamaño de poros (%) a través del tiempo para los diferentes sistemas de labranza evaluados en la vereda "Los Soches" (Usme).

Tamaño de poro	Tensión de humedad	Antes de los tratamientos				Un mes después (Antes de desyerba)				A la cosecha			
	Atm.	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Macro >60micras	0.3 *	13	14	13	12	15	17	16	12	12	14	12	11
Meso 10-60micras	1.00 *	10.5	12	10	14	9.5	10	9.5	15	9	10	9.2	15
Micro <10micras	10.00 *	8.5	9.5	9	11	8.5	9.5	8.2	11	8.5	9.5	8.5	11
	TOTAL	**32**	**35.5**	**32**	**36**	**33**	**36.5**	**33.7**	**37**	**29.5**	**33.5**	**29.7**	**37**

* Relación entre diámetro de poros y succión en atmósferas según metodología propuesta por Montenegro (1990).

3.1.6. Resistencia a la Penetración

La resistencia de un suelo a la penetración de un instrumento de sondeo es un índice integrado de la compactación del suelo, contenido de humedad, textura y tipo de mineral de arcilla (Baver et al.,1973) citados por Jiménez et al.,1992. La compactación en términos simples, es la reducción del volumen de una masa de suelo causada por una fuerza (peso) aplicada al suelo, reduciendo el volumen de poros y consecuentemente, de aire. Además, hace más difícil la penetración de las raíces (Bower y Kratky,1985).

El análisis estadístico realizado para la variable resistencia a la penetración mostró diferencias altamente significativas entre tiempos y en la interacción tiempo por tratamiento. Esto último significa que esta variable tuvo un comportamiento diferente para cada tratamiento en los distintos tiempos evaluados.

La Figura 7 muestra que después de la aplicación de los tratamientos (Tiempo2), hay una disminución en los valores de resistencia a la penetración para los tratamientos T1 (L. convencional), T2 (L. cincel) y T3 (L. rotovator) lo cual indica que las labores de labranza tuvieron efecto sobre esta variable, ocasionando descensos generalizados para todas las profundidades en las que fue medida. El sistema de labranza cero para el tiempo 2 mantuvo valores similares a los iniciales y relativamente bajos comparados con los encontrados en los otros tratamientos.

Para el tiempo 3, se observa un pequeño descenso en los valores de resistencia a penetración en los primeros 10 cm por efecto del atierre. A partir de esa profundidad y hasta los 30 cm se registraron incrementos notorios de esta variable para los tratamientos que usaron rotovator, debido posiblemente al asentamiento natural del suelo. El T4 (L. cero) mantuvo valores de resistencia similares a los del

tiempo anterior. El T2 (L. cincel) presentó un ligero incremento en resistencia a la penetración desde los 20 cm hasta los 50 cm de profundidad. Dado el activo crecimiento radicular que presenta el cultivo de papa en este tiempo, el patrón de crecimiento puede verse afectado por altos valores de resistencia, particularmente en T1 y T3. En el tiempo 4 se observa un descenso en los valores de las curvas para todos los tratamientos en los primeros 20 cm, debido a la labor de aporque. A profundidades mayores se mantuvieron los valores elevados mostrando un proceso de compactación del suelo, siendo más notorio en T1 y T3.

A partir del tiempo 5 hasta el 7, el comportamiento de las curvas es similar para todos los tratamientos, notándose que tanto el T1 (L. convencional) y el T3 (L. rotovator) mostraron los mayores valores, mientras que el tratamiento de labranza cero (T4), conservó los menores valores de resistencia y pocas variaciones en profundidad. Este resultado coincide con lo obtenido en densidad aparente.

De estos resultados se deduce que el tratamiento de labranza cero pudo favorecer en mayor grado el crecimiento radicular y el desarrollo de tubérculos, en comparación con los otros tratamientos, debido a las menores variaciones en la resistencia a la penetración. Según González (1994) la formación de tubérculos se dará con mayor éxito si la planta tiene que someterse a menores cambios en la resistencia mecánica del suelo; y si existen menores limitaciones para el crecimiento radicular y la formación de tubérculos, el rendimiento será mayor.

Para los tiempos 4,5 y 6, época en la que se presenta el proceso de engrosamiento y diferenciación del tubérculo, aunque no se perciben diferencias entre los tratamientos, el sistema de labranza convencional (T1) registró los valores más altos, situación que pudo incidir negativamente en el rendimiento del cultivo, ya que los procesos de engrosamiento y diferenciación se hallan relacionados con el llenado del tubérculo.

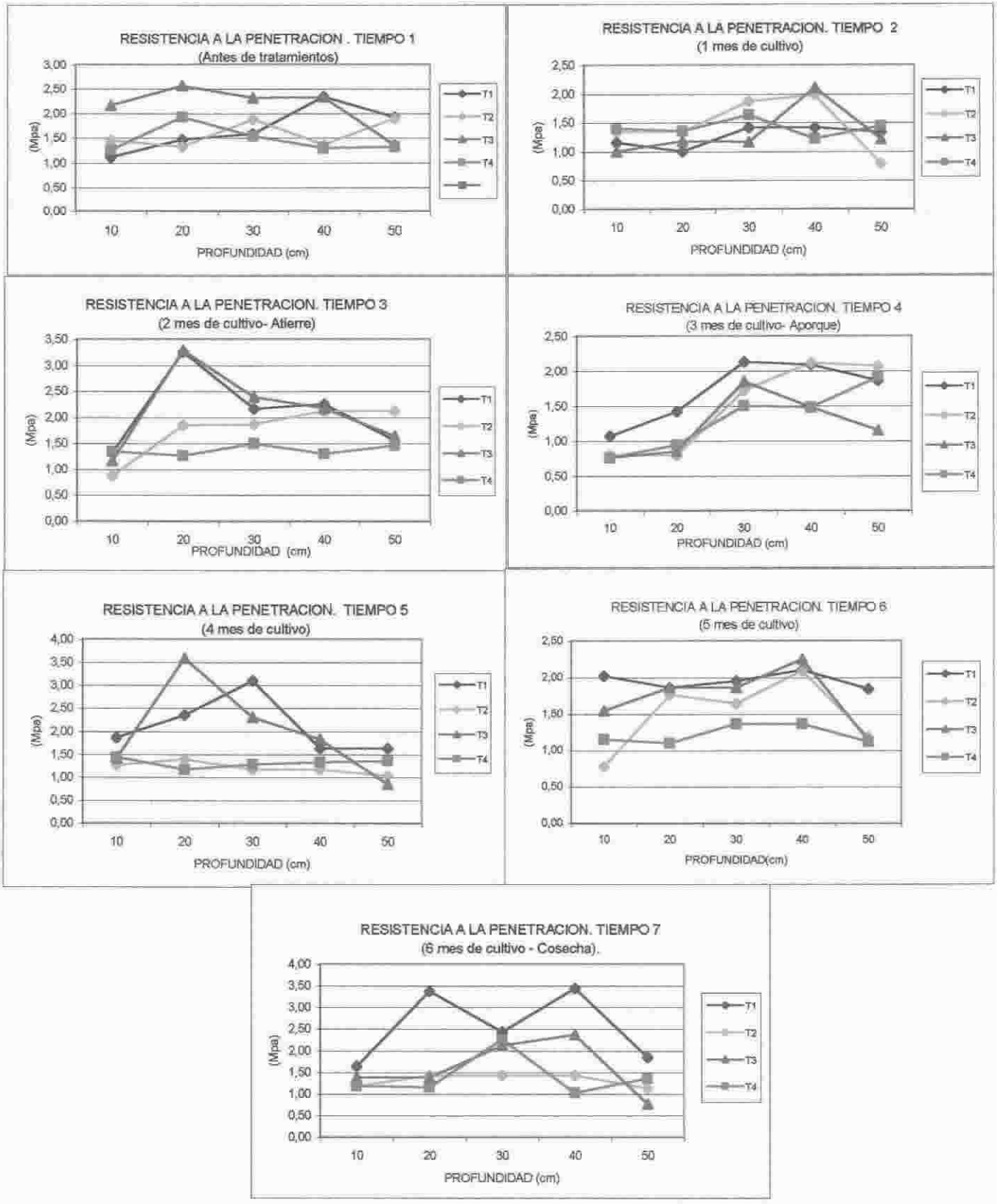


Figura 7. Comportamiento de la resistencia a la penetración para diferentes sistemas de labranza a través del tiempo.

Es importante destacar que algunos valores de resistencia a penetración observados en este trabajo superaron los 1.5 Mpa y 2 Mpa considerados como limitantes en los cultivos, reduciendo crecimiento de raíces y rendimientos. (Bishop and Grimes, 1978; Miller and Martín, 1986).

3.2. VARIABLES DEL CULTIVO

3.2.1. Crecimiento en altura de planta

El crecimiento se define como una sucesión de las diferentes conformaciones de la planta y se da por la combinación de factores genéticos inherentes y factores ambientales que influyen en la división, multiplicación y elongación celular, dando como resultado un aumento cualitativo y cuantitativo e irreversible del tamaño y peso de la planta (Alvarado,1988).

Para los dos primeros meses se presentó una tasa de crecimiento alta, sin diferencias notorias entre tratamientos. (Figura 8). Posteriormente se incrementó la tasa de crecimiento con diferencias a favor de los tratamientos 3 (L. rotovator) y T4 (L. cero), hasta el cuarto mes (floración).

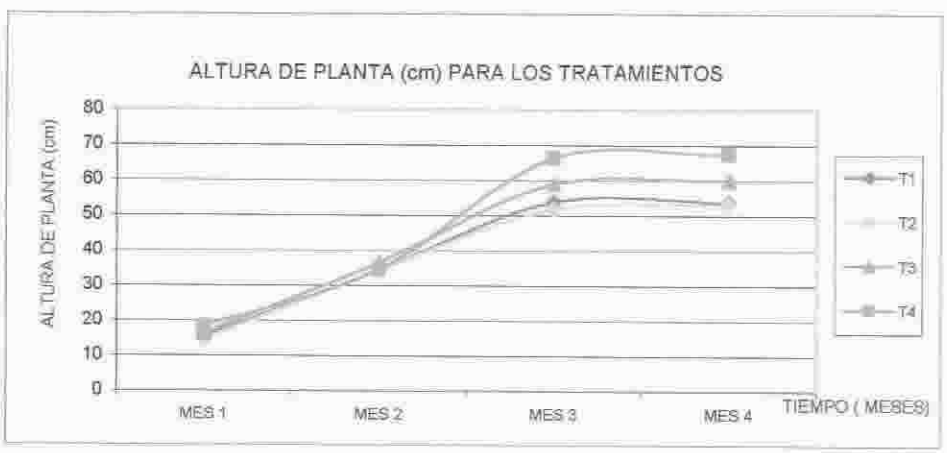


Figura 8. Comportamiento de la altura de planta (cm) a través del tiempo para todos los tratamientos de labranza.

El sistema de labranza cero presentó la mayor tasa de crecimiento y altura, lo cual corresponde a los resultados satisfactorios obtenidos con este tratamiento en las variables de densidad aparente, resistencia a la penetración, retención y contenido de humedad y agua aprovechable. Sin embargo, es importante resaltar que el semestre durante el cual se efectuó el ensayo fue húmedo, situación que favoreció un desarrollo similar del cultivo para los distintos tratamientos, coincidiendo con lo encontrado por otros trabajos similares (CAR, 2000).

3.2.2. Area foliar

El área foliar expresada en decímetros cuadrados de superficie foliar por planta es un indicativo de la actividad fotosintética y del aprovechamiento de la luz y es uno de los factores esenciales para el rendimiento de los vegetales cultivados (Demolón, 1966).

Los resultados muestran que los mayores valores de área foliar se presentaron en los tratamientos T3 y T4, mientras que los más bajos en T2. La labranza convencional presentó un valor intermedio. (Tabla 9). El comportamiento de esta variable con los diferentes tratamientos presenta similaridad con lo encontrado en altura de planta. (Figura 8).

Tabla 9. Valores totales de área foliar, densidad de tallos y rendimiento de un cultivo de papa para diferentes tratamientos de labranza.

	T1 (Convencional)	T2 (L. Cincel)	T3 .(L. Rotovator)	T4 (L. cero)
Area foliar (dm^2)	363.94	345.34	377.03	372.27
Densidad de tallos (N°tallos/$m^{2)}$	17.09	16.48	17.25	17.14
Rendimiento (ton/ha)	30.06	25.95	31.95	30.88

3.2.3. Densidad de Tallos

La densidad de tallos afecta la producción, el tamaño del tubérculo y la tasa de multiplicación (número de tubérculos por planta), lo que definirá el rendimiento del cultivo. Un aumento de la densidad de tallos conduce a un aumento en el rendimiento y hasta cierto punto a una disminución en el tamaño promedio del tubérculo (Wiersema, 1981).

El comportamiento para esta variable fue similar al presentado con la variable área foliar (Tabla 9), encontrándose mayores densidades de tallos en los tratamientos T3 y T4, lo que sugiere una mayor producción de tubérculos para estos mismos tratamientos.

3.2.4. Producción de tubérculos (Rendimiento)

Las mayores producciones en toneladas por hectárea se presentaron en los tratamientos T3 (L. rotovator) y T4 (L. cero), seguido por T1 (L. convencional), resultado previsible para el T4 de acuerdo con el comportamiento de las variables de suelo densidad aparente, contenido de humedad, retención y resistencia a la penetración, y las variables de cultivo área foliar, densidad de tallos y altura de planta (Tabla 9). Los rendimientos más bajos se presentaron con el T2 (L. cincel), correspondiendo con el pobre comportamiento de las variables de suelo y de cultivo para este tratamiento.

Teniendo en cuenta que la variedad parda pastusa por sus cualidades está destinada al consumo en fresco y no para industria se prefieren las calidades primera y segunda. La tabla 10 muestra que los tratamientos T4 y T3 presentaron mejores comportamientos en cuanto a producción de calidad primera y segunda, lo cual incide directamente en los niveles de ingresos. Los tratamientos T1 y T2

muestran un alto porcentaje en producción de calidad cero que para esta variedad no es deseable y de calidad tercera que no tiene valor comercial.

Tabla 10. Distribución (%) de la producción de calidades de papa para diferentes sistemas de labranza evaluados en Usme.

	T1	T2	T3	T4
Cero > 80 gr.	12 %	18 %	10 %	6 %
Primera 60 – 80 gr.	45 %	43 %	48 %	52 %
Segunda 30 – 60 gr.	33 %	26 %	35 %	38 %
Tercera (riche) < 30 gr.	10 %	13 %	7 %	4 %

4. ANALISIS FINANCIERO

Los mayores costos de producción se presentaron con el tratamiento T3 (L. rotovator), en tanto que los menores con el tratamiento T4 (L. cero), con una diferencia de $98.648 /Ha con respecto a T3. (Tabla 11). Los otros tratamientos presentaron costos similares entre sí e intermedios entre los tratamientos T3 y T4. Los mayores costos para el T3 (L. rotovator) se explican por el incremento de los ítems de empaques y transporte, los cuales están directamente relacionados con el mayor rendimiento obtenido con este tratamiento de labranza.

El mayor beneficio económico se obtuvo con el sistema de labranza reducida con rotovator (T3), mientras que el menor beneficio se presento con el tratamiento de labranza con cincel (T2), correspondiendo con la deficiente labor realizada por falta de experiencia del tractorista en el uso de este equipo. Con el tratamiento de labranza convencional se obtuvieron indicadores económicos intermedios entre T3 y T2.

Debe destacarse el hecho de que el sistema de labranza cero presentó los menores costos de producción, aún cuando su rendimiento y demanda de empaque y transporte fueron altos, lo cual se debe a una disminución evidente en los costos de preparación de terreno por la no utilización de maquinaria. En general, los resultados obtenidos con este tratamiento muestran que favorece la conservación de agua y suelos, además de la economía del productor.

Tabla.11. Costos de producción y rentabilidad por hectárea para diferentes tratamientos de labranza evaluados en la localidad de Usme.

COSTOS DE PRODUCCION Y RENTABILIDAD /HA PARA LOS TRATAMIENTOS				
ITEM	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
semilla	525000	525000	525000	525000
fertilizante	910000	910000	910000	910000
insecticidas	84210	84210	84210	84210
fungicidas	105263	105263	105263	105263
preparación terreno	255718	286094	220000	126952
aplicación Glifosato			14000	14000
fertilización y siembra	184210	184210	184210	184210
Aplicación extra herb.		28000		
aplicación pesticidas	221052	221052	221052	221052
desyerba y reabono	157833	157833	157833	157833
aporque	147368	147368	147368	147368
empaques	10200	10032	11100	10500
transportes	595000	545000	615000	600000
cosecha	921052	887000	952000	938000
COSTO TOTAL	**4110906**	**4081062**	**4133036**	**4034388**
INGRESO TOTAL	7812500	6990000	8190000	7975000
INGRESO NETO	**3702404**	**2908938**	**4056964**	**3940612**
RENTABILIDAD %	47,39	41,61	49.53	49.41

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de este trabajo permiten concluir que el sistema de evaluación de las variables físicas de suelo, de desarrollo del cultivo y las interacciones entre dichas variables, es una metodología adecuada para interpretar efectos de labranza en la producción de cultivos.

El sistema de labranza cero mostró efectos benéficos frente a los demás tratamientos no solo en aspectos técnicos y económicos sino también en cuanto a la conservación y mejora de las condiciones físicas del suelo. Esto indica que dicho sistema pueden ser incluido dentro de un programa de producción sostenible del cultivo de papa en la zona bajo estudio.

El sistema de labranza convencional, basado en el uso de arado de discos y rotovator, mostró un comportamiento inferior, tanto en aspectos de conservación de suelos, como de índices financieros, al compararlo con los tratamientos de labranza reducida con rotovator y labranza cero. Se recomienda evaluar con los agricultores de la zona las posibilidades de establecer estos sistemas de labranza de conservación.

La labranza reducida con rotovator presentó un comportamiento adecuado de las variables de crecimiento, desarrollo y rendimientos del cultivo, sin embargo, mostró resultados desfavorables en cuanto a la conservación de las características físicas del suelo. Esto confirma que es un equipo altamente disturbador de suelo.

Los resultados con el sistema de labranza reducida con cincel indican que el desconocimiento en el uso de este implemento no permite aprovechar su potencial

BIBLIOTECA AGRUPACIÓN

para labranza de conservación. En el presente estudio, el uso inadecuado de este equipo afectó notablemente el desarrollo y producción del cultivo de papa. Se recomiendan trabajos posteriores con el arado de cinceles a fin de evaluar su uso.

La continuación de este tipo de investigaciones se hace necesaria en los procesos de transición hacia el logró de sistemas productivos sostenibles que manejen racionalmente los recursos disponibles.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO, L. F. 1988. Crecimiento del cultivo de la papa. En curso de actualización en el cultivo de la papa. ICA Tibaitatá, Mosquera.

2. BAVER, L.; GARDNER, W. H y GARDNER, W.R. 1973. Física de suelos. Uthea. México D. F.

3. BISHOP, J. C. ; GRIMES, D. W. 1978. Precision tillage effects on potato root and tuber production. Department of vegetable crops and land, air, water resources. University of California.

4. BOWEN, J. y KRATKY, B. 1982. Labranza reducida . Es adecuada para usted?. En: Agricultura de las Américas (EEUU) 31 (6).

5. CAR. 2000. Cultivar sin Arar. Labranza mínima y siembra directa en los Andes..... El arte de producir conservando suelo y agua. CAR, KfW, GTZ, CORPORACION COLOMBO ALEMANA.

6. DEMOLON, A. 1966. Crecimiento de los vegetales cultivados. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.

7. FORSHYTE, W. 1985. Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, Costa rica. IICA

8. GAVANDE, S. 1991. Física de suelo, Principios y aplicaciones. Limusa. México D. F.

9. GONZALEZ, W.. 1994. Influencia de cuatro sistemas de labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo y la producción del cultivo de la papa (Solanum tuberosum). Universidad Nacional de Colombia. Facultad Agronomía. Tesis de grado.

10. GUERRERO, L. y RESTREPO, L. 1978. Comparación de tres sistemas de labranza en maíz. En: Revista ICA. Vol. XIII N° 2. Bogotá.

11. HERRERA, P. 1989. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Agrología. Tesis de grado.

12. JIMÉNEZ, J. PUENTES, H. y LEIVA, F. 1992. Efectos de tratamientos de labranza sobre la resistencia a la penetración de un Andisol. En: Revista Agronomía Colombiana. Vol. IX, N° 1.

13. LEIVA, F. 1998. Manejo Sostenible de suelos agrícolas. Convenio SENA - SAC- FENALCE- FONDO NACIONAL CEREALISTA. Universidad Nacional de Colombia. Produmedios. Bogotá.

14. MALAGON, .D. 1976. Propiedades Físicas de los suelos. IGAC. Bogotá.

15. MENDEZ, H. y NAVAS, J. 1982. Caracterización de Retención de humedad de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas del departamento de Nariño. Suelos Ecuatoriales. Revista Sociedad Colombiana de la Ciencia y el Suelo. Vol XII N° 1.

16. MILLER, D. E. and MARTIN, M. W. 1986. The effect of irrigation regime and subsoiling on yield and quality of three potato cultivars. Agricultural Research Service. U.S. Department of Agriculture in cooperation with Washington State University.

17. MONTENEGRO, H. 1990. Propiedades Físicas de los suelos. IGAC. Bogotá.

18. ORTIZ, C. 1994. Comparación de cinco sistemas de labranza en relación con algunas características del suelo y la producción de arveja (*Pisum sativum*) Universidad Nacional de Colombia. Fac. Agronomía. Tesis de grado

19. RODRIGUEZ, M. 1984. Influencia de la reducción de operaciones de labranza sobre algunas propiedades del suelo, erosión y escorrentía. Universidad Nacional de Colombia. Tesis M. Sc. Facultad de Agronomía.

20. WIERSEMA, S. 1981. Efecto de la densidad de tallos en la producción de papa. CIP. Boletín de información técnica 1. Lima, Perú.