

16921

RESPUESTA DEL SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) A LA
INTERACCION LABRANZA - FERTILIZACION EN EL MAGDALENA MEDIO

MANUEL FERNANDO SANCHEZ TOLEZ - I. A.

SANTAFE DE BOGOTA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE AGRONOMIA

1.994

16921

16.921

14 JUL 1994

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RESPUESTA DEL SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) A LA
INTERACCION LABRANZA - FERTILIZACION EN EL MAGDALENA MEDIO

MANUEL HERNANDO V. SANCHEZ TELLEZ I.A.

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial
para optar al título de I.A. M. Sc. en Fitotecnia:
Tecnología de la Producción Agraria

DIRECTOR: EDGAR AMEZQUITA C. I.A., Ph. D

ANALIZADO - Ref. 17850

SANTAFE DE BOGOTA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE AGRONOMIA

1994

D E D I C A T O R I A

*A MIS PADRES, quienes con su esfuerzo y
abnegación lograron mi superación.*

A MI ESPOSA, por su voluntad y comprensión.

*A MIS HIJOS, por su ánimo y alegría en el
alcance de esta nueva meta.*

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos:

- A *EDGAR AMEZQUITA COLLAZOS, I.A., Ph.D. Director del trabajo.*
- A *LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FAC. DE AGRONOMIA, PROGRAMA DE POSTGRADO.*
- AL *INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA.*
- A *GONZALO ABAD ARANGO, M.V.Z., Director CRECED Magdalena Medio Caldense.*
- A *LUZ MIREYA PINZON PERDOMO, por su compañerismo y ayuda.*
- A *TODOS LOS FUNCIONARIOS DEL CRECED MAGDALEMA MEDIO CALDENSE, por su amistad y colaboración.*
- A *Semillas Pioneer S.A, MONOMEROS y ALFANGEL Y CIA LTDA.*
- A *todas aquellas personas que en una u otra forma contribuyeron en la realización del presente trabajo.*

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	5
2.1 COMPACTACION DE SUELOS	5
2.2 LABRANZA Y COMPACTACION DE SUELOS	8
2.3 EL SORGO DE GRANO (<u>Sorghum bicolor</u> L. Moench)	15
2.3.1 Requerimientos Ecológicos	15
2.3.2 Fertilización en Sorgo de grano	16
2.3.2.1 Respuesta del Sorgo de grano a la fertilización de nitrógeno.	17
2.3.2.2 Respuesta del Sorgo de grano a la fertilización de fósforo.	19
2.3.2.3 Respuesta del Sorgo de grano a la fertilización potásica.	21
3. MATERIALES Y METODOS	23
3.1 LOCALIZACION	23
3.2 CONDICIONES BIOFISICAS	23
3.2.1 Precipitación pluvial	23
3.2.2 Formación vegetal	24
3.2.3 Fisiografía	24

	Pág.
3.2.4 Geología	24
3.2.5 Suelos	25
3.2.6 Unidades agroecológicas	25
3.3 MANEJO DEL CULTIVO	26
3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL	27
3.4.1 Descripción de tratamientos	28
3.4.1.1 Labranza con cincel	28
3.4.1.2 Labranza tradicional o convencional	30
3.4.1.3 Fertilización	31
3.5 METODOS DE ANALISIS	31
3.5.1 Determinaciones físicas	31
3.5.1.1 Densidad aparente	31
3.5.1.2 Densidad real	33
3.5.1.3 Porosidad total	33
3.5.1.4 Textura	33
3.5.2 Determinaciones químicas	33
3.5.3 Análisis estadístico	34
3.5.4 Análisis económico	34
3.6 VARIABLES DE RESPUESTA	35
3.6.1 Días a floración - Días a cosecha	35
3.6.2 Altura de la planta - Longitud excursión de la panoja - Longitud de la panoja	35
3.6.3 Número de plantas cosechadas - Peso por panoja - Rendimiento.	36

	Pág.
4. RESULTADOS Y DISCUSION	37
4.1 ANALISIS FISICO	37
4.1.1 Densidad real	37
4.1.2 Densidad aparente	38
4.1.3 Porosidad total	40
4.1.4 Textura	42
4.2 ANALISIS QUIMICO	43
4.3 VARIABLES DE RESPUESTA	43
4.3.1 Finca La Luisa	43
4.3.2 Finca Casa de Palma	51
4.3.3 ANAVA Combinado	57
4.4 PRODUCCION	68
4.4.1 Sistemas de labranza y rendimiento	68
4.4.2 Fertilización y rendimiento	70
4.5 ANALISIS ECONOMICO	75
4.5.1 Análisis económico de la fertilización	79
4.5.2 Análisis económico de la labranza	82
4.5.3 Análisis económico de la interacción labranza - fertilización	83
5. CONCLUSIONES	88
6. RECOMENDACIONES	90
RESUMEN	91
BIBLIOGRAFIA	93

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Descripción de tratamientos de fertilización	32
TABLA 2. Resultados e interpretación del análisis químico del suelo de la finca La Luisa	39
TABLA 3. Resultados e interpretación del análisis químico del suelo de la finca Casa de Palma	39
TABLA 4. Valores de densidad real	41
TABLA 5. Valores de densidad aparente	44
TABLA 6. Valores de porosidad total	45
TABLA 7. Resumen del análisis de varianza para las variables agronómicas en el cultivo de Sorgo. Finca La Luisa	46
TABLA 8. Valores promedios y prueba de comparación de Tukey (0,05) para las variables agronómicas del cultivo de Sorgo. Finca la Luisa.	49
TABLA 9. Resumen del análisis de varianza para las variables agronómicas en el cultivo de sorgo Finca Casa de Palma.	52
TABLA 10. Valores promedios y prueba de comparación de Tukey (0,05) para las variables agronómicas del cultivo de Sorgo. Finca Casa de Palma.	56

	Pág.
TABLA 11. Resumen del análisis de varianza combinado para las variables agronómicas en el cultivo de sorgo. Fincas La Luisa y Casa de Palma.	58
TABLA 12. Valores promedios y prueba de comparación de Tukey (0,05) para las variables agronómicas del cultivo de Sorgo. Análisis combinado, fincas La Luisa - Casa de Palma	65
TABLA 13. Valores promedios y prueba de comparación de Tukey (0,05) para las variables agronómicas en las diferentes localidades	67
TABLA 14. Rendimiento promedio de Sorgo en kg/ha para cada sistema de labranza	69
TABLA 15. Rendimiento promedio de Sorgo en kg/ha para cada localidad y sistema de labranza. 1992 B	71
TABLA 16. Resumen del ANAVA combinado por localidades. Polinomio ortogonales y factores N, P y N*P.	76
TABLA 17. Valores promedios y prueba de comparación de Tukey (0,05) para la variable rendimiento.	77
TABLA 18. Determinación de los costos e ingresos adicionales por hectárea, en la producción de Sorgo proveniente de la fertilización. Finca La Luisa.	80
TABLA 19. Determinación de los costos e ingresos adicionales por hectárea, en la producción de Sorgo proveniente de la fertilización. Finca Casa de Palma	81
TABLA 20. Costos de preparación de suelos. La Luisa y Casa de Palma. 1992 B	84
TABLA 21. Determinación de los costos e ingresos adicionales por hectárea en la producción promedio de Sorgo, provenientes de la labranza	85
TABLA 22. Determinación de los ingresos adicionales por hectárea en la producción de Sorgo, provenientes de la labranza y del mejor tratamiento de fertilización.	86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Efectos de la compactación del suelo en la nutrición vegetal	6
FIGURA 2. Distribución en el campo de los tratamientos	29
FIGURA 3. Efecto de la interacción Labr x Fert en el peso de la panoja. Finca La Luisa	49
FIGURA 4. Efecto de la interacción Labr x Fert en la longitud de la panoja. Finca Casa de Palma	54
FIGURA 5. Efecto de la labranza en el Nº de plantas. Finca Casa de Palma	55
FIGURA 6. Efecto de la interacción Localidad x Fert en días a floración	61
FIGURA 7. Efecto de la interacción Localidad x Fert en excursión de la panoja	62
FIGURA 8. Efecto de la interacción Localidad x Fert en peso de la panoja	63
FIGURA 9. Efecto de la interacción Labr x Fert en longitud de la panoja. ANAVA combinado	64

FIGURA 10. Efecto de la fertilización en rendimiento de Sorgo en cada sistema de labranza. Finca La Luisa	72
FIGURA 11. Efecto de la fertilización en rendimiento de Sorgo en cada sistema de labranza. Finca Casa de Palma	73
FIGURA 12. Efecto de la fertilización en rendimiento de Sorgo en cada sistema de labranza. ANAVA combinado	74

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Ubicación geográfica de los experimentos	97
ANEXO 2. Balance hídrico	98
ANEXO 3. Gráficas de precipitación (mm) para la época de los ensayos	99

S U M M A R Y

In the town of La Dorada, in the Magdalena Medio region in Caldas Department, during the second semester of 1992, it was done this work in two agricultural farms.

The goal of this work was to evaluate the best combination between two tillage system (chisel and conventional) and ten (10) different treatments of fertilization in sorgho growing in soils with compaction problems, and to study the best economic alternative.

It was used a desing of complete randomized blocks with three repetitions for each experiment or growing systems and ten (10) fertilizer treatments. It was done a combined analysis among growing systems for each farm or place and combined ANOVA Among locations, the statistically analyzed parameters were: flushing days, plants high, panicle

insertion, panicle length, panicle weight, plants quantity and yield.

In general, between the two tillage systems compared there were no significant statistical differences for the studied parameters in each locations and the combined ANOVA among locations because the rains were not obstacles and the found apparent density values were not relatively high to avoid the plants roots growing.

The economic analysis showed that within adecuated fertilization level, the chisel tillage was more rentable than the traditional tillage.

For a sustained production it is commendable to use chisel plough and fertilize with N, P and K according to the soil analysis for the found soil condition and the compaction degrees.

1. INTRODUCCION

El Sorgo es una especie originaria probablemente del Africa Tropical. Se comenzó a cultivar comercialmente en Colombia en el año 1957 y a través del tiempo se ha ido incrementando el área de siembra y el rendimiento promedio por hectárea.

Actualmente se cultivan en el país alrededor de 240.000 ha en Sorgo con una producción promedio de 3,0 t/ha. A nivel comercial algunos agricultores han superado las 8,0 t/ha. El grano de Sorgo se utiliza principalmente como materia prima en la industria de concentrados para animales.

En el área del CRECED Magdalena Medio Caldense se siembran semestralmente 3.000 ha de Sorgo. Estos cultivos se encuentran dispersos en los valles interandinos de los municipios de La Dorada, Puerto Salgar y Puerto Boyacá, en donde el área potencial es superior a las 50.000 ha. Por lo general las producciones son continuas sin rotación con

otros cultivos, y los rendimientos son bajos (inferiores a 3,0 t/ha), si se considera que las condiciones agroecológicas son aptas para el cultivo: 152 a 178 msnm, 24 °C temperatura promedio y 1.750 a 2.150 mm de precipitación. El área posee suelos profundos con pH ligeramente ácido.

En la región se utilizan para la labranza los implementos convencionales: arado de discos, rastras y rastrillos también de discos. Se hacen desde cuatro hasta seis o más pases con estos implementos para la preparación del suelo en cada ciclo de siembra, dependiendo de las características texturales del suelo y de las condiciones de humedad, y como consecuencia se han formado capas endurecidas a diferentes profundidades conocidas como "pisos de arado o de rastra".

Se considera que la compactación de los suelos, ocasionada por este tipo de labranza, es uno de los factores limitantes de la producción y de la degradación de los suelos.

En la zona predominan los suelos medianos a pesados acelerando los problemas causados por la formación de pisos

de arado y de rastra.

Por otra parte no es práctica común el análisis del suelo; en general se fertiliza únicamente con úrea en dosis de 100 a 150 kg por ha, a los 30 días de emergencia del Sorgo, obteniéndose como resultado el uso deficiente de los nutrientes y provocándose las consecuentes disminuciones en los rendimientos.

Estos factores hacen necesario realizar investigaciones para la región y cada área agroecológica en particular, con el fin de determinar los sistemas de mecanización y fertilización más adecuados para garantizar la mejora y sostenibilidad de la productividad agrícola.

Con el propósito de contribuir en parte a la solución de estos problemas se realizó este trabajo, en dos fincas ubicadas dentro del área, para estudiar la respuesta del sorgo a dos sistemas de labranza diferentes y a varios tratamientos de fertilizantes.

El objetivo general de este trabajo fue evaluar la mejor combinación de sistema de labranza y fertilización en el cultivo del Sorgo en el Magdalena Medio.

Los objetivos específicos fueron:

- Comparar entre labranza tradicional y labranza con arado de cincel.
- Determinar las dosis óptimas de fertilizantes en cada sistema de labranza.
- Estudiar económicamente la mejor alternativa de manejo de suelos en la producción del cultivo de Sorgo en el Magdalena Medio.

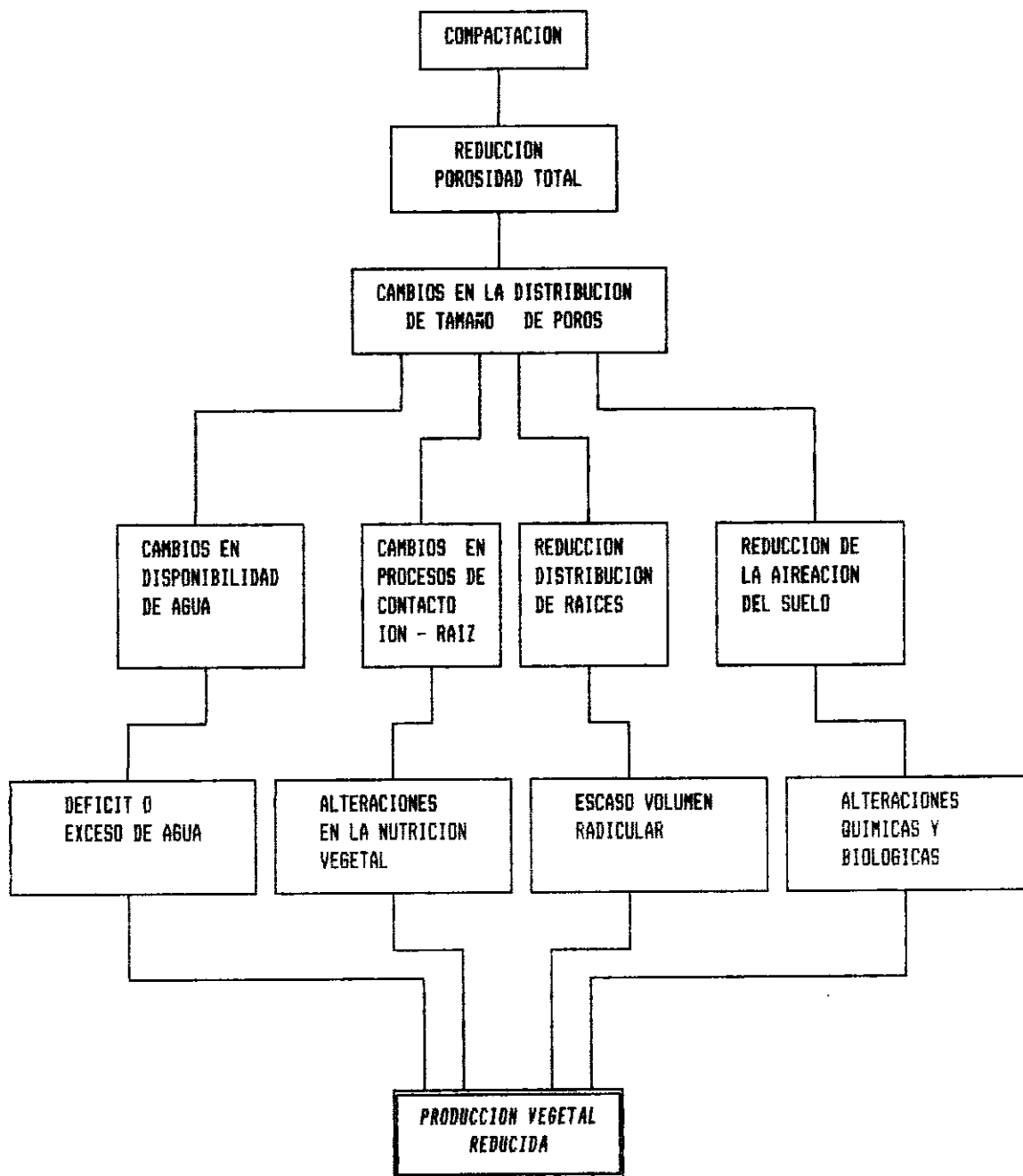
2. REVISION DE LITERATURA

2.1 COMPACTACION DE SUELOS

En agricultura, la compactación del suelo afecta el ambiente físico del suelo para la producción de cultivos. La compactación reduce la permeabilidad del suelo al agua causando escorrentia y erosión, y restringe el almacenamiento adecuado de agua en el suelo. La compactación reduce la aireación del suelo, de modo que afecta la actividad metabólica de las plantas. La compactación incrementa la resistencia mecánica del suelo, impidiendo el crecimiento de las raíces. Todos estos efectos pueden reducir la calidad y rendimiento de los cultivos (Gill y Vanden Berg, 1967).

La compactación del suelo causa efectos negativos en el comportamiento del agua, del aire, de los nutrientes del suelo, afectando las plantas, y en general todo el medio ambiente donde ésta se presenta (Amézquita, 1990).Figura 1

FIGURA 1. Efectos de la compactación del suelo en la nutrición vegetal*



* Tomado de Amézquita, 1990

La compactación es el aumento en la densidad aparente de un suelo como resultado de cargas aplicadas o de presión. Esto implica que el suelo tiene cierta densidad o estado de compactación antes de la aplicación de la fuerza (Baver et al, 1973).

La compactación es causada por interacción entre las propiedades del suelo y su manejo o por factores antropogénicos (Lal, 1989). La compactación del suelo, esté asociada con la presencia de capas de muy baja aireación y alta densidad aparente, puede ser ocasionada por fenómenos de endurecimiento y acumulación de arcilla; estos fenómenos responden quizás a procesos genético-evolutivos o son simplemente una resultante del manejo de los suelos (Malagón y Montenegro, 1990).

Las fuerzas que causan compactación son generalmente de dos orígenes. Fuerzas mecánicas aplicadas por maquinaria y animales; estas fuerzas son usualmente aplicadas por pequeños períodos y pueden ser medidas sin dificultad. La segunda causa de fuerzas son los fenómenos naturales, por ejemplo, secamiento y otros procesos genéticos que causan compactación del suelo; las fuerzas naturales generalmente operan por largos períodos de tiempo, son difíciles de

definir y pueden por rareza ser medidas. La compactación puede ocurrir por movimiento del mismo suelo y su activo funcionamiento (Gil y Vander Berg, 1967).

La compactación del suelo se refiere a la compresión de un suelo insaturado, durante la cual la densidad aparente del suelo aumenta y hay una reducción simultánea en la fracción volúmen de aire. En otras palabras, el efecto de la compactación en el suelo es la degradación de su estructura. La compactación del suelo es descrita frecuentemente por las medidas de densidad aparente, relación de vacíos o porosidad total. Otros parámetros usados para describir la compactación del suelo incluyen la aplicación de fuerzas o aplicación de tensiones. Los efectos de la compactación en la producción de cultivos son debidos a los cambios en los procesos físicos, químicos y biológicos que causa en el suelo; que a su turno dependen de la estructura del suelo (Gupta *et al*, 1989).

2.2 LABRANZA Y COMPACTACION DE SUELOS

El hombre ha usado y abusado del suelo a través de la historia de la agricultura. Con o sin conocimiento, ha contribuido a su destrucción, por no usar los métodos de

labranza más adecuados para cada circunstancia. Muchas de las áreas desérticas de la tierra fueron creadas por el hombre como consecuencia del uso indebido de los suelos y de los implementos utilizados en la labranza de los mismos (Viollic, 1989).

En el análisis de un sistema de labranza, se deben tomar en cuenta tanto los efectos de largo plazo como los de corto plazo. Los de corto plazo son los que afectarán el cultivo inmediato, mientras que los de largo plazo son los que afectarán las propiedades físicas y químicas a través del tiempo. El propósito fundamental de labrar la tierra es optimizar las condiciones para la germinación de la semilla y la emergencia y establecimiento de la plántula a la vez que se mantiene un nivel adecuado de materia orgánica en el suelo, se preserva y/o mejora la estructura del suelo y se mantiene y/o mejora la estabilidad de los agregados. Todas estas condiciones contribuyen a lograr las metas de corto y largo plazo (Barnett, 1989).

La presencia y estabilidad de poros en el suelo es una manifestación de una buena estructura. Los poros grandes o macroporos controlan la infiltración, drenaje, aireación y penetración de raíces. Los poros medios o mesoporos el

almacenamiento del agua aprovechable o disponible para las plantas y los poros pequeños o microporos son los responsables del movimiento de iones por difusión. La compactación en los suelos reduce la porosidad total, pero en especial, la cantidad de poros intermedios tiende a aumentar, ya que la compresión tiende a formar más poros intermedios a partir de los poros grandes. Los poros pequeños permanecen igual en ambos casos, ya que dependen de la textura (Amézquita, 1981).

Los poros grandes son los que contribuyen a la porosidad de aireación. Experimentalmente se ha comprobado que a mayor compactación, menor es la capacidad de aireación del suelo. Además la presencia de capas compactadas afectan la continuidad y estabilidad del espacio poroso en el suelo (Amézquita y Navas, 1989).

La reducción de la aireación se hace más crítica en suelos de texturas medias a finas que en suelos de texturas gruesas, los cuales tiene más macro y mesoporos que los suelos de texturas finas (Pla, 1988).

La labranza puede llegar a tener efectos adversos, debido a que expone los agregados y puede compactar el suelo

debajo de la profundidad de labranza, para formar un piso de arado. También acelera la descomposición de la materia orgánica y la disminución de su cantidad en el suelo (Malagón y Montenegro, 1990).

El uso de la labranza tiende a incrementar paulatinamente la densidad aparente y la compactación de los suelos. El suelo debajo de la capa de labranza tiende a tener mayor densidad aparente debido a la compactación por el tráfico de maquinaria pesada (Bolaños, 1989; Braide, 1991).

Es una experiencia común en la mayoría de suelos, especialmente en pesados, encontrar una capa compacta en el fondo de la zona de labranza. Esta capa ha sido llamada piso de arado o fondo de labor. Se supone formada por una combinación de arada y pases de rastra. Como la zona por encima de esta capa es arada y labrada con regularidad, la compactación sólo se observa debajo de la capa mullida. Además las operaciones posteriores a la arada tales como la siembra, labores con cultivadora, etc, producen pisos de tránsito, y las llantas del tractor causan considerable compactación superficial (Baver **et al**, 1973).

La roturación de la capa arable, cosecha tras cosecha con

arados (discos y vertederas) y con rastras y rastrillos de discos, casi siempre a las mismas profundidades, ocasiona con el tiempo la aparición de capas endurecidas, formadas por la presión que ejercen los implementos de trabajo sobre el fondo del surco, que son conocidas con el nombre de pisos de arado. La aparición tardía o temprana de ellas depende de los patrones de mecanización, del tipo de suelo, de la humedad en el momento de las labores y del tipo de implemento usado. Estas capas compactas limitan el intercambio gaseoso, la penetración de las raíces y el agua, contribuyen a la escorrentía y a la erosión superficial y restringen la zona de nutrición de las plantas afectando así la capacidad productiva de las especies sembradas. Los pisos de arado se forman generalmente entre los 10 y 30 cm de profundidad (Guerrero, 1990; Lal *et al*, 1988).

En suelos de textura arenosa, las raíces pueden penetrar más fácilmente a valores altos de densidad aparente, que en suelos pesados. Se ha comprobado que en suelos de textura arcillo-limosa, el límite superior que impide la penetración radicular varía entre 1,6 a 1,7 g/cm³, mientras que en suelos de textura arenosa pueden penetrar a densidades aparentes hasta de 1,9 g/cm³ (Gavande, 1972).

Los suelos de muchas regiones tropicales han sufrido degradación severa. Esto se ha manifestado en pérdida de porosidad o de continuidad porosa por compactación, en particular de macroporos, y en la formación de costras superficiales y una capa dura de alta compactación en el subsuelo (Bolaños, 1989).

Formación de costras superficiales en el suelo limita infiltración de agua, inhibe intercambio gaseoso y disminuye germinación de semillas y emergencia de plántulas (Lal, 1989).

La degradación de suelos debida a la pérdida de estructura y a la compactación, es especialmente impactante en las áreas de agricultura intensiva. Este tipo de degradación se presenta en los Valles Interandinos, región Caribe y altiplanos Cundiboyacense y Nariñense, cubriendo el área de mayor capacidad productiva de cultivos de ciclo corto y mecanizable, en donde radica el mayor porcentaje de productividad agropecuaria del país. Es notorio observar como a través del tiempo la capacidad de producción y de productividad de los suelos ha ido disminuyendo (Amézquita, 1992).

Los procesos de pérdida de estructura, compactación y encostramiento superficial, están íntimamente asociados con el uso indiscriminado y excesivo de implementos de labranza (Amézquita, 1992). Para reducir estos fenómenos conviene racionalizar las operaciones de preparación, cambiar la profundidad de roturación según el cultivo o usar otro tipo de arado como el de cincelas, acompañado del menor número posible de pases de rastra y rastrillo (Guerrero, 1990).

Según Pla (1988), la labranza con cincel aumenta la porosidad total, el almacenamiento y movimiento del agua en el suelo, factores que inciden en un mejor aprovechamiento de agua y nutrientes e intercambio gaseoso por las plantas.

En el país, la Federación de Algodoneros ha adelantado trabajos de investigación sobre roturación de suelos por problemas de compactación, en el cultivo del algodón, y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), actualmente está evaluando sistemas de labranza profunda en la producción de Sorgo.

2.3 EL SORGO DE GRANO (*Sorghum bicolor* L. Moench)

2.3.1 Requerimientos Ecológicos.

Este cultivo se adapta a una amplia gama de climas y suelos siendo mayores sus rendimientos en climas cálidos y lluvias moderadas bien distribuidas.

Altitud: Se cultiva desde el nivel del mar hasta los 1.500 m de altura, estando la óptima entre 0 y 1.200 msnm.

Temperatura: Se adapta a temperaturas entre 20 y 30 °C siendo la mejor de 26 a 27 °C.

Precipitación: El rango óptimo está entre 600 y 750 mm promedio año. Sin embargo se puede cultivar a mayores precipitaciones siempre y cuando se disponga de suelos con un drenaje rápido, pues esta planta es susceptible a inundaciones o encharcamiento.

Suelos: El Sorgo es una planta que se adapta bien a diferentes clases texturales de suelos (Romero, 1978).

2.3.2 Fertilización en Sorgo de Grano

El nitrógeno es el nutriente extraído en mayores proporciones por las gramíneas. En el caso de los Sorgos graníferos, la extracción de nutrientes está bastante relacionada con el rendimiento de grano. Para un rendimiento de 4.000 kg/ha, la extracción es la siguiente: 120 kg/ha de N, 40 kg/ha de P_2O_5 , 100 kg/ha de K_2O , 18 kg/ha de Mg y 19 kg/ha de S (Sánchez, 1986).

Wickman (1970), citado por Quintero (1978), reporta para la producción de cinco toneladas de grano y siete de tallos, hojas y raíces, una extracción de 160, 75 y 135 kg de N, P_2O_5 y K_2O por ha, respectivamente, de los cuales corresponden al grano 75, 45 y 20 kg de N, P_2O_5 y K_2O por ha en el mismo orden.

El Sorgo no es muy exigente en lo referente a la fertilidad; sin embargo, responde muy bien a ella principalmente la nitrogenada. En Colombia se cultiva en suelos con mediana fertilidad, con pH entre 5,5 y 6,5. Se adapta bien a suelos francos o franco-arcillosos (González y Brochero, 1984).

Observando la información del Diagnóstico CRECED (1991) aproximadamente el 70% de los suelos de la región, parte plana, presentan un pH entre 5,5 y 6,5. son suelos entre medianos y pesados, con un contenido de materia orgánica entre mediano y alto (mayor a 2%).

2.3.2.1 Respuesta del Sorgo de grano a la fertilización de nitrógeno.

Quintero (1978), mencionado por Díaz (1983), afirma que los suelos del país dedicados al cultivo de Sorgo, tienen una alta probabilidad de respuesta positiva a las aplicaciones de nitrógeno cuando el pH varía entre 5,6 y 7,3, el contenido de materia orgánica es menor del 5% y el contenido de fósforo y potasio son altos.

Ramírez (1987), indica que la respuesta al nitrógeno está condicionada a la presencia de agua. Sin limitaciones de humedad la respuesta al nitrógeno es mayor.

Los híbridos son más exigentes en nitrógeno que las variedades y se logran mayores rendimientos con requerimientos más altos. La máxima respuesta de la variedad (ICA Nataima) se obtiene con la aplicación de 100

kg/ha de N y el híbrido (NK 266) alcanza su máximo de producción con la aplicación de 125 kg/ha de N (Gutiérrez, 1987).

Sánchez (1986), encontró que fraccionando la dosis total en dos partes iguales y aplicando la primera a los cinco días y la segunda a los 36 días después de la germinación, se logran los mejores resultados. Gutiérrez (1987), observa que la aplicación de nitrógeno en la variedad ILA Nataima presenta como mejor época la aplicación de la dosis total a los 25 días después de la emergencia; esta época coincide con los 3 o 4 días antes de iniciarse la diferenciación del primordio floral y es en esta etapa del crecimiento en que ocurren los máximos requerimientos de nitrógeno por parte de la planta de Sorgo. Le sigue en producción la época de aplicación del N fraccionando las dosis de éste en 1/4 al momento de la siembra y los 3/4 restantes 25 días después de la emergencia. Para los híbridos es también necesario aplicar la mayor proporción posible del nitrógeno 25 días después de la emergencia. También puede aplicarse todo el nitrógeno entre 10 a 25 días después de la emergencia.

El fraccionamiento del N y la época de la aplicación tiene mucha relación con las lluvias, las cuales pueden causar

severas pérdidas de N por escorrentía y lixiviación. Los datos obtenidos también indican que el nitrógeno se debe suministrar en forma temprana, ya que dependiendo del genotipo de Sorgo utilizado, el primordio floral se forma entre los 20 y 30 días después de la siembra (Sánchez, 1986)

Las dosis óptimas de N recomendadas por los autores consultados oscila entre 50 - 100 kg/ha dependiendo de las condiciones de humedad y contenido de materia orgánica en el suelo.

2.3.2.2 Respuesta del Sorgo de grano a la fertilización de fósforo.

Gutiérrez (1987), encontró que con la aplicación de fósforo se obtienen incrementos en la producción de Sorgo, con dosis bajas del elemento (30 kg P_2O_5 /ha), dosis mayores aunque incrementan ligeramente la producción no son económicas para el agricultor.

Los suelos alcalinos (pH mayor a 7,4) responden favorablemente a las aplicaciones conjuntas de fósforo y boro, obteniéndose buenos resultados cuando se aplican

ambos elementos. Sin boro no hay respuesta al fósforo. Cuando se realizaron estos mismos ensayos en suelos con pH entre 5,6 y 7,4 no hubo respuesta a estos elementos (Ramírez, 1987).

Sánchez (1986), en suelos ácidos de fertilidad mediana-baja y con muy bajo contenido de fósforo: 3,5 ppm, determinó que hubo respuesta significativa a la aplicación con fósforo. Los mejores rendimientos para estos suelos se obtuvieron con aplicaciones hasta de 100 kg/ha de P_2O_5 .

Lockman (1982), referenciado por Sánchez (1986), encontró que la no aplicación de fósforo únicamente afectó el desarrollo relativo del Sorgo en 14%, lo cual indica que el Sorgo tiene bastante habilidad para extraer el fósforo que necesita aún tratándose de suelos bajos en este elemento.

Al aplicar diferentes dosis de P_2O_5 acompañadas con 100 y 60 kg de N y K_2O por ha, respectivamente, no hubo respuesta a este nutrimento en suelos con contenidos altos de fósforo y potasio. Para el caso de suelos con bajos contenidos de fósforo y potasio, la respuesta fue ascendente, sin embargo no se justifican aplicaciones mayores a 75 kg de P_2O_5 /ha (Quintero, 1978).

El ICA (1981), recomienda para los Valles Interandinos, aplicar de 0 - 90 kg de P_2O_5 /ha, para suelos con contenidos entre altos y medios de fósforo.

2.3.2.3 Respuesta del Sorgo de grano a la fertilización potásica.

Ramírez (1987), analizando los resultados de siete años de experimentos en suelos aluviales del Valle del Cauca, no encontró respuesta a la fertilización con potasio.

En nueve experimentos en suelos del Tolima y Huila, los incrementos que se obtuvieron con la aplicación de potasio, no alcanzaron a pagar el costo del potasio aplicado por hectárea (Gutiérrez, 1987).

En suelos de vega del piedemonte llanero, con buen contenido de potasio no hubo respuesta a su aplicación, y en suelos con un contenido medio de potasio (0,2 meq/100 g de K) hubo muy poca respuesta a su aplicación. En suelos con contenido medio de potasio, este elemento se debe suministrar solamente para balancear la fertilización con N y P, y para mantener la fertilidad del suelo (Sánchez, 1986).

En las diferentes dosis de K_2O acompañadas de 100 y 150 kg de N y P_2O_5 por ha, respectivamente, la respuesta fue muy poco notoria en suelos con contenidos altos de fósforo y potasio, lo mismo que en suelos con contenidos bajos de los mismos nutrimentos. En ambos casos sería antieconómico aplicar potasio. Sería importante hacer aplicaciones con el fin de no permitir descensos críticos del nivel de potasio en el suelo, dada la extracción efectuada por las continuas cosechas (Quintero, 1978).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 LOCALIZACION

El presente trabajo se llevó a cabo en el área de influencia del ICA CRECED Magdalena Medio Caldense: finca Casa de Palma, vereda Purnio y finca La Luisa, vereda Pontoná, municipio La Dorada. Altura sobre el nivel del mar de 170 m y precipitación promedio anual de 2.107 mm. Véase anexo 1.

3.2 CONDICIONES BIOFISICAS

3.2.1 Precipitación pluvial.

En el anexo 2, se muestra la precipitación pluvial en la región (promedio de registros de los años 1964 a 1985), caracterizada por dos períodos de lluvia durante el año. Estos períodos están separados por dos relativamente secos, en los cuales la evapotranspiración potencial promedio es

mayor que la precipitación.

Los datos de precipitación durante la época de los experimentos se muestran en el Anexo 3.

3.2.2 Formación Vegetal

Según la clasificación de Holdridge, la región está dentro de las formaciones vegetales bht-t-ST (bosque húmedo tropical, transición, Seco Tropical). Biotemperatura media mayor a 24 °C y promedio anual de lluvias de 1.800 - 2.500 mm.

3.2.3 Fisiografía.

Tipo de paisaje: Valle. Formado por depósitos aluviales transportados por el río Magdalena y acumulados en forma de terrazas y vegas. Los sitios donde se ubicaron los experimentos pertenecen a terrazas del río Magdalena .

3.2.4 Geología.

Los materiales que dieron origen a estos suelos corresponden a rocas sedimentarias. Durante el cuaternario,

con depósitos coluviales y aluviales recientes en los valles de los principales ríos.

3.2.5 Suelos

Los suelos corresponden a la asociación Guarinocito - Doña Juana. La asociación está compuesta por los suelos de los conjuntos Guarinocito (Subgrupo: Cumulic Haplustolls) en un 40% y Doña Juana (Ustic Dystropept) en un 40%. Se pueden encontrar inclusiones de suelos de texturas arcillosas del conjunto Vistabuena. Los suelos de la finca Casa de Palma corresponden al conjunto Guarinocito, el cual se clasifica en el orden Molisoles y la finca La Luisa pertenece al conjunto Doña Juana dentro del orden Inceptisoles.

3.2.6 Unidades Agroecológicas.

La Luisa: Unidad agroecológica Kb

Casa de Palma: Unidad agroecológica Cj

Kb: Tierras aptas para la agricultura comercial y ganadería intensiva con prácticas de manejo adecuado. Debe evitarse la mecanización indiscriminada, para prevenir la compactación y la destrucción rápida de la estructura del suelo.

Cj: Tierras aptas para cultivos comerciales y ganadería semi-intensiva.

3.3 MANEJO DEL CULTIVO

Para este trabajo se utilizó el Sorgo híbrido Pioneer 8171, material que ha mostrado buena adaptación a la región, especialmente donde las enfermedades de la panoja son problema limitante. El periodo de emergencia a cosecha fue de 103 días.

La siembra se realizó el 14 de septiembre/92 en La Luisa y el 21 del mismo mes en Casa de Palma, en suelos con buenas condiciones de humedad. La densidad de siembra fue de 20 kg/ha y distancia de siembra 50 cm entre surcos. El porcentaje de germinación observado en el campo fue superior al 80%. La emergencia ocurrió al cuarto día de la siembra.

El control de malezas se hizo con atrazina 500, en postemergencia. En Casa de Palma fue necesario hacer control manual de caminadora (*Rottboellia exaltata*), aproximadamente a los 30 días de la siembra.

La fertilización se efectuó de acuerdo al tratamiento para cada parcela. El fósforo y el potasio se aplicaron a la emergencia, en banda a 10 cm y a lo largo de los surcos y cubriendo el fertilizante para incorporarlo al suelo. El nitrógeno (Urea) se aplicó a los 22 días de la emergencia en La Luisa y a los 24 días de la emergencia en Casa de Palma. También se hizo una aplicación de boro a los 25 días, foliarmente.

Control y prevención de plagas y enfermedades se hizo oportunamente, con buenos resultados.

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los experimentos se realizaron bajo dos condiciones o sistemas de labranza y en dos fincas. Teniendo en cuenta que el trabajo con maquinaria agrícola tiene que hacerse en áreas relativamente grandes, se utilizó un diseño de B.C.A. (bloques completos al azar) con tres repeticiones, para cada sistema de labranza. El área física para cada sistema de labranza o experimento fue de media hectárea; el área de cada bloque fue de 30 m x 50 m = 1.500 m², separados entre sí en 2,5 m. Cada bloque constó de 10 parcelas, el área de cada parcela fue de 30 m x 4,50 m = 135 m², cada parcela se

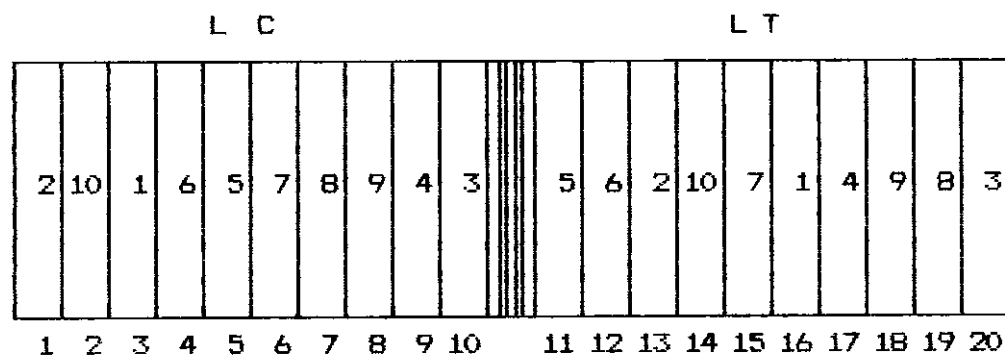
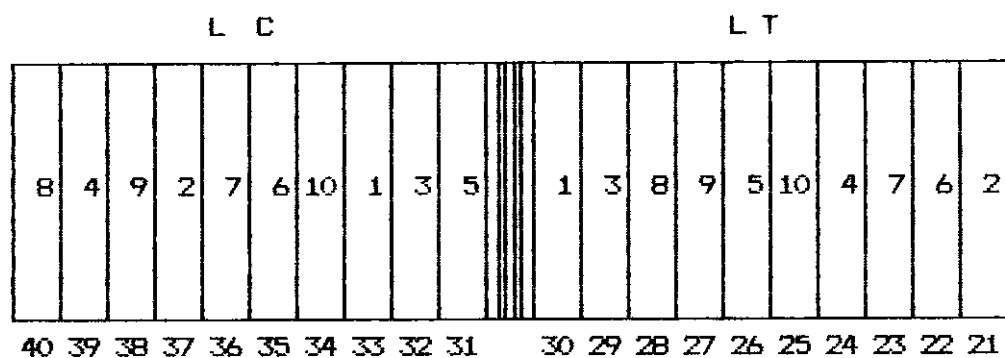
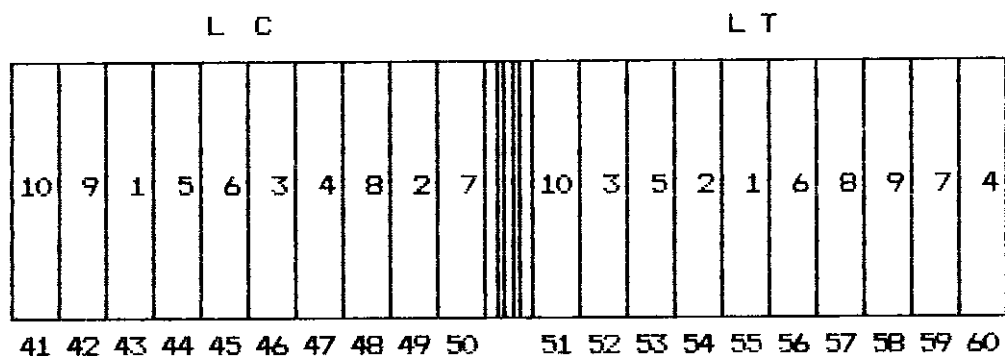
compuso de 9 surcos de 30 m de largo y distanciados 50 cm. La información se tomó en cada parcela de los surcos centrales, para evitar efecto de bordes. La distribución en el campo se muestra en la Figura 2.

Para el análisis estadístico, se hicieron análisis combinados entre sistemas de labranza para cada finca o localidad y análisis combinado de varianza entre localidades.

3.4.1 Descripción de tratamientos.

El trabajo se replicó en dos fincas o localidades. En cada localidad se ubicaron dos experimentos: Labranza con cincel y labranza tradicional o convencional. De acuerdo a los requerimientos del cultivo y al análisis de suelos se asignaron al azar para cada experimento 10 tratamientos de fertilizantes, incluido un testigo (sin fertilizante).

3.4.1.1 Labranza con cincel (LC). Para la preparación del suelo para la siembra, se hizo un pase de rastra, un pase de rastrillo, dos pases con arado de cincel y otro pase con rastrillo.



Parcelas: 1,2,3,...,60 T/mtos fert: 1,2,3,...,10.

LC : Labranza con cincel LT : Labranza tradicional

FIGURA 2. Distribución en el campo de los tratamientos.

Los implementos utilizados fueron:

- 1 rastra de 24 discos de 24 pulgadas de diámetro cada disco,
- 1 rastrillo de 56 discos de 21,5 pulgadas de diámetro cada disco y
- 1 arado de cincel de 5 cuerpos rígidos, con sistema de enganche de tres puntos.

La distancia con el arado de cincel fue de 45 cm entre cinzelas y una profundidad de 20 cm en el primer pase. El segundo pase se hizo en la misma dirección del primero y pasando por el centro, es decir, quedando la distancia de cincelada reducida a 22,5 cm; la profundidad de este segundo pase fue de aproximadamente 25 cm.

La rastrillada después de la cincelada fue necesaria por las condiciones en que queda el suelo para la siembra (con caballones y terrones demasiado grandes).

3.4.1.2 Labranza tradicional o convencional (LT). Se preparó el suelo en la forma como lo hace el agricultor en general: tres pases de rastra y dos pases de rastrillo. Es de anotar que en las fincas donde se ubicaron los experimentos no se está utilizando ningún tipo de arado. La

profundidad de labranza con rastra fue de 6,5 cm en La Luisa y 9,5 cm en Casa de Palma.

Para la labranza tradicional se utilizaron los mismos implementos descritos para la labranza con cincel a excepción del arado de cincel.

3.4.1.3 Fertilización. La época y forma de aplicación se mencionó en Manejo del cultivo (3,3). Los tratamientos de fertilización utilizados son los que se muestran en la Tabla 1.

3.5 METODOS DE ANALISIS

3.5.1 Determinaciones físicas.

El análisis de las diferentes características físicas estudiadas, se hizo a partir de muestras de suelo tomadas a tres profundidades: 0 - 7 cm, 7 - 15 cm y 15 - 25 cm.

3.5.1.1 Densidad aparente. La densidad aparente conocida también como densidad de volumen o densidad bulk, se determinó por el método del cilindro metálico de volumen conocido recomendado por Amézquita (1991). Se hicieron dos

TABLA 1. Descripción de tratamientos de fertilización.*

Tratamiento	N	P2O5	K2O
	En kg/ha.		
1 (testigo)	0	0	0
2	50	0	0
3	75	0	0
4	100	0	0
5	50	25	50
6	50	50	50
7	75	25	50
8	75	50	50
9	100	25	50
10	100	50	50

* Fuentes: Urea (46%), Superfosfato triple (44,5%) y Cloruro de potasio (60%)

determinaciones de la densidad aparente, una antes de la labranza y la otra 25 días después y cuando ya habían caído algunas lluvias.

3.5.1.2 Densidad real. La densidad real llamada también densidad de partículas o densidad específica, se halló por el método del picnómetro. Las muestras de suelo se tomaron antes de la preparación del suelo para la siembra.

3.5.1.3 Porosidad total. Esta característica se determinó con los valores obtenidos de la densidad aparente y real de los suelos, mediante la siguiente relación:

$$Pt (\%) = 100 (1 - \delta a / \delta r)$$

En donde:

Pt (%) : Es la porosidad total del suelo en porcentaje

δa : Es la densidad aparente en seco dada en g/cm³.

δr : Es la densidad real en g/cm³.

3.5.1.4 Textura. Fue determinada por el método de Bouyoucos, en el laboratorio de Suelos del ICA.

3.5.2 Determinaciones químicas.

Los análisis fueron efectuados por el laboratorio de suelos

del ICA .

Métodos de análisis utilizados:

pH : Potenciómetro, relación 1: 1

MO : Walkley-Black.

P (ppm) : Bray II

Bases intercambiables : Acetato de amonio normal y neutro.

3.5.3 Análisis estadístico.

Para las variables de respuesta (Días a floración, altura de planta, excursión de la panoja, longitud de la panoja, número de plantas, peso de panoja y rendimiento), se utilizó análisis combinado de varianza entre sistemas de labranza en cada localidad y análisis combinado de varianza entre localidades. Complementando se recurrió a los polinomios ortogonales para analizar tratamientos de fertilización.

La comparación entre resultados se hizo mediante la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5%.

3.5.4 Análisis económico.

Se hizo mediante el Análisis Incremental y la relación

Beneficio/Costo.

En este tipo de análisis no se considera la variación en mano de obra en la aplicación de fertilizantes entre tratamientos y variación en los costos de recolección de cosecha, que influyen en un porcentaje muy bajo.

3.6 VARIABLES DE RESPUESTA

3.6.1 Días a floración - Días a cosecha.

La variable "Días a floración", desde la emergencia, se analizó estadísticamente. La variable "Días a cosecha", a pesar de ser de tipo cuantitativo no se analizó estadísticamente, debido a que se cosecharon todas las parcelas simultáneamente en cada localidad.

3.6.2 Altura de la planta - Longitud excursión de la panoja - Longitud de la panoja.

Estas evaluaciones se hicieron a los 76 días de la emergencia del cultivo. En cada parcela experimental se tomaron al azar 10 plantas de los surcos centrales para estimar estas variables.

3.6.3 Número Plantas cosechadas - Peso por panoja - Rendimiento.

Para determinar estos parámetros, se tomaron dos surcos centrales de cada parcela experimental, cosechando 10 m lineales de la parte central de cada uno de estos surcos y haciendo el conteo de número de plantas cosechadas.

Para calcular el rendimiento se tomó en el laboratorio la humedad del grano para las muestras de cada parcela y se hizo la respectiva corrección al 14% de humedad.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 ANALISIS FISICO

4.1.1 Densidad Real.

La densidad real se refiere a la relación de peso por unidad de volúmen de los sólidos del suelo sin tener en cuenta el espacio poroso. Esta característica guarda relación con la composición mineralógica y el contenido de materia orgánica del suelo (Amézquita y Navas, 1989). En la Tabla 2 se muestran los valores de la densidad real en profundidad. La densidad real aumenta con la profundidad debido a la disminución del contenido de materia orgánica.

Según la Tabla 2 los valores de densidad real para estos suelos oscilan entre 2,39 y 2,50, más bajos que el promedio general de los suelos minerales que presentan valores cercanos a $2,65 \text{ g/cm}^3$, y acordes a los encontrados por

Lopez y Díaz (1988), para suelos cultivados en esta área del país.

4.1.2 Densidad Aparente.

Se refiere a la relación entre el peso y la unidad de volumen de una masa de suelo, incluyendo su espacio poroso. En la Tabla 3 se indican los valores de densidad aparente de los suelos estudiados.

Según la Tabla 3, la densidad aparente aumenta con la profundidad, siendo mayor a la profundidad de 15 - 25 cm, lo cual es indicativo de un mayor grado de compactación del suelo a esta profundidad. Los valores de densidad aparente a las profundidades de 7 - 15 y 15 - 25 cm son más altos en La Luisa que en Casa de Palma, lo que podría indicar un mayor grado de compactación en la primera.

La densidad aparente es menor en la zona de labranza. La profundidad de labranza con rastra fue de 6,5 cm en La Luisa y 9,5 cm en Casa de Palma. El suelo debajo de la capa de labranza tiene mayor densidad aparente debido a la compactación.

TABLA 2. Valores de Densidad Real (g/cm³).

Profundidad (cm)	Localidad	
	La Luisa	Casa de Palma
0 - 7	2,42	2,39
7 - 15	2,44	2,43
15 - 25	2,50	2,46

TABLA 3. Valores de Densidad Aparente (g/cm³).

Profundidad (cm)	La Luisa			Casa de Palma		
	AP*	LC	LT	AP	LC	LT
0 - 7	1,05	1,09	1,10	1,13	1,06	1,17
7 - 15	1,30	1,25	1,30	1,28	1,22	1,29
15 - 25	1,48	1,38	1,45	1,40	1,33	1,40

- * AP Antes de preparación de suelos
- LC Después de la siembra, en suelo con labranza cincel
- LT Después de la siembra, en suelo con labranza tradicional.

En la determinación de la densidad aparente después de la labranza (25 días) y cuando ya habían caído algunas lluvias (las lluvias reorganizan y reagrupan las partículas del suelo) se observó en labranza tradicional a las profundidades de 7 -15 y 15 -25 cm valores similares a los determinados antes de labranza. En labranza con cincel los valores de densidad aparente a estas mismas profundidades fueron más bajos a los encontrados antes de preparación, lo que indica que con la roturación del suelo a una mayor profundidad se mejora esta propiedad física del suelo y las propiedades asociadas a ella. Sin embargo, la persistencia del efecto del cincelado en un suelo es difícil de predecir mientras no se hagan investigaciones específicas sobre este aspecto. En suelos de la serie Tibaitatá, Amézquita (1990)¹ encontró que el efecto no duraba sino entre 75 y 90 días, debido al carácter de baja estabilidad estructural y de uniformidad de microagregados que presenta esa serie.

4.1.3 Porosidad Total.

Es indicativa del volumen relativo de los poros del suelo. En la Tabla 4, se presentan los valores obtenidos. Se observa una disminución progresiva de la porosidad total

¹ / Informe personal

TABLA 4. Valores de Porosidad Total (%).

Profundidad (cm)	L o c a l i d a d	
	La Luisa	Casa de Palma
0 - 7	56,6	53,0
7 - 15	46,7	47,6
15 - 25	40,8	43,0

con la profundidad, lo cual a la vez indica que no hay buena continuidad en el espacio poroso y confirma la necesidad de muestrear el suelo por espesores y no como una capa uniforme.

Por este comportamiento se puede deducir que hay compactación subsuperficial. La compactación reduce la porosidad total afectando mayormente a los macroporos, los cuales reducen su tamaño y tienden a formar poros intermedios. Los macroporos son más susceptibles a deformarse por compactación, por ser poco estables.

4.1.4 Textura.

La Luisa : Arcilloso

Casa de Palma : Franco arcilloso

La textura de estos suelos hace que los efectos de la compactación sean más severos, que en suelos arenosos u orgánicos; en el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas. La reducción de la aireación se hace más crítica y la penetración radicular más difícil.

4.2 ANALISIS QUIMICO

La información e interpretación de los análisis realizados por el laboratorio de suelos del ICA, se detallan en las Tablas 5 y 6.

Se observa en las Tablas 5 y 6 que el suelo de la finca Casa de Palma es de mejor fertilidad comparado con La Luisa. Los contenidos de Calcio y Potasio son más altos en la primera.

4.3 VARIABLES DE RESPUESTA

Los datos se presentan de acuerdo al análisis estadístico para cada lugar o localidad y haciendo un análisis combinado de varianza para las dos localidades.

4.3.1 Finca La Luisa.

En la Tabla 7 se presenta un resumen del ANAVA para las variables agronómicas.

La labranza no presentó diferencias significativas para ninguna de las variables analizadas, es decir, que los

TABLA 5. Resultados e interpretación del Análisis Químico del suelo de la finca La Luisa.

	Profundidad (cm)			Interpretación
	0-7	7-15	15-25	
pH	5,5	5,5	5,8	Moderadamente ácidos
% MO	3,3	2,9	2,2	Alto, medio y medio
P (ppm)	28	29	20	Medio
Ca (meq/100g)	9,71	11,30	12,26	Alto
Mg (meq/100g)	5,45	5,74	7,20	Alto
K (meq/100g)	0,43	0,47	0,33	Alto, alto y medio
Na (meq/100g)	0,34	0,79	0,69	No hay exceso
C.E. (mmhos/cm)	0,86	0,76	0,40	No salino
Fe (ppm)	320	345	100	
B (ppm)	0,13	0,18	0,16	
Cu (ppm)	3,8	3,8	4,6	
Mn (ppm)	32,5	28,8	8,9	
Zn (ppm)	7,4	6,8	4,5	

En relación con los elementos menores se observa bajo contenido de Boro.

TABLA 6. Resultados e interpretación del Análisis Químico del suelo de la finca Casa de Palma.

	Profundidad (cm)			Interpretación
	0-7	7-15	15-25	
pH	5,6	5,8	5,9	Moderadamente ácidos
% MO	3,3	3,5	2,2	Alto, alto y medio
P (ppm)	32	22	22	Medio
Ca (meq/100g)	15,91	17,0	22,01	Alto
Mg (meq/100g)	5,22	5,46	8,44	Alto
K (meq/100g)	1,05	0,60	0,75	Alto
Na (meq/100g)	0,07	0,15	0,30	No hay exceso
C.E. (mmhos/cm)	0,91	0,68	0,48	No salino
Fe (ppm)	30	42	22	
B (ppm)	0,18	0,13	0,13	
Cu (ppm)	2,3	2,2	2,3	
Mn (ppm)	62,2	42,5	13,6	
Zn (ppm)	6,0	4,1	3,1	

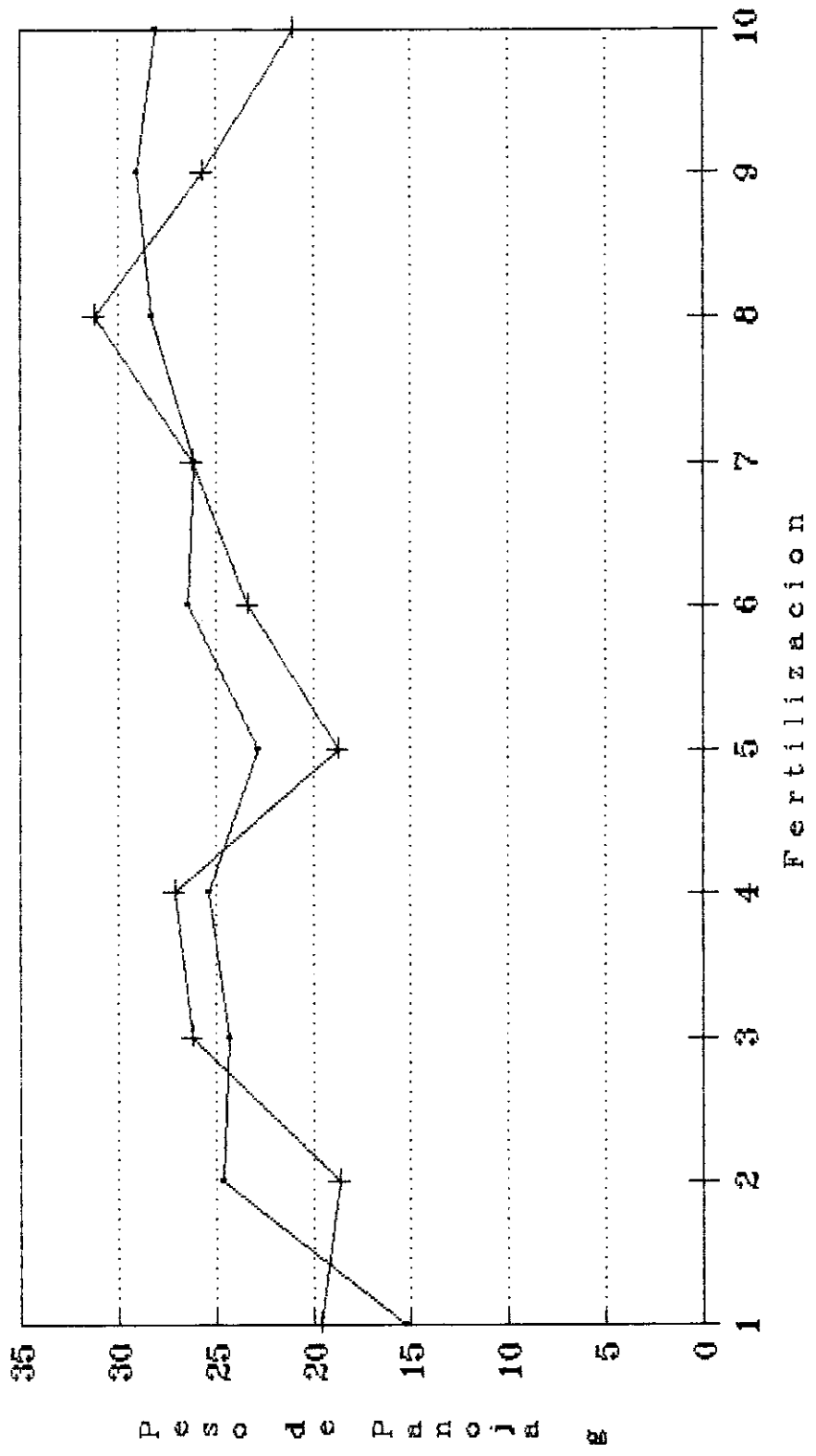
En relación con los elementos menores, el contenido de boro es bajo, el contenido de hierro bajo entre 0 - 7 y 15 - 25 cm de profundidad

sistemas de labranza utilizados no influyeron en ninguna de las variables agronómicas que se tomaron.

Entre tratamientos de fertilizantes hubo diferencias altamente significativas para las variables días a floración, altura de planta, excursión de la panoja, longitud de panoja, peso panoja y rendimiento, y diferencias no significativas en número de plantas.

La interacción Labr x Fert. no fue significativa para ninguna de las variables excepto para la variable peso de panoja, para la que hay diferencias significativas, teniendo la fertilización un comportamiento diferente para los dos sistemas de labranza. El efecto de la fertilización se observa en la Figura 3. Cuando se aplicaron dosis bajas de nitrógeno (50 kg/ha), tratamientos 2, 5 y 6, el peso de la panoja en la labranza con cincel fue superior comparado con la labranza tradicional, lo que nos indica que a bajos niveles de fertilización nitrogenada, en el experimento, hubo mejor aprovechamiento de nutrientes por la planta, en la labranza con cincel, que se refleja en un mayor peso de la panoja.

La Tabla 8 contiene los valores promedios y prueba de



—+— Labranza cincel —x— Labranza tradicional
 Figura 3. Efecto de la interaccion Labr x Fert en el peso de la panoja. Finca La Luisa.

TABLA 8. Valores promedios y prueba de comparación de Tukey (0,05) para las variables agronómicas del cultivo de sorgo. Finca la Luisa

No.	TRATAMIENTO			Días a floración	Altura de planta (cm)	Excursión panoja (cm)	Longitud panoja (cm)	Peso panoja (g)	Rendimiento (kg/ha)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O						
1	0	0	0	53,17a†	150,4b	19,5a	22,0c	17,4c	2560,5c
2	50	0	0	51,66ab	162,3a	18,9ab	23,8bc	21,6bc	3940,5ab
3	75	0	0	50,5b	164,7a	17,4ab	25,1ab	25,2ab	4510,2ab
4	100	0	0	51,0b	169,3a	18,3ab	25,2ab	26,2ab	4424,7ab
5	50	25	50	51,5b	159,3ab	17,1ab	23,7bc	20,8bc	3606,5bc
6	50	50	50	50,83b	161,9a	18,2ab	24,3ab	24,9ab	4643,3ab
7	75	25	50	50,33b	166,2a	18,4ab	24,3ab	26,1ab	4425,2ab
8	75	50	50	50,5b	166,8a	17,3ab	25,2ab	29,6a	5105,8a
9	100	25	50	51,0b	164,7a	15,5b	25,8a	27,3a	4609,3ab
10	100	50	50	51,17b	161,6a	15,7b	24,1ab	24,5ab	43334,5ab

† Valores en las columnas con letras iguales no difieren entre sí significativamente.

Tukey. Los resultados encontrados para cada variable son los siguientes:

Días a floración. Cuando no se fertilizó la floración se retardó, siendo la diferencia significativa comparada con los tratamientos que recibieron fertilización.

Altura de Planta. La menor altura de planta correspondió al testigo, con diferencias significativas frente a los otros tratamientos.

Excursión panoja. Hubo diferencias significativas, los tratamientos que recibieron fertilización tuvieron menor excursión de la panoja que el testigo.

Longitud panoja y peso panoja. Los tratamientos difieren significativamente notándose menor longitud y peso panoja en el testigo.

Rendimiento. Se observaron diferencias significativas entre tratamientos de fertilizantes, siendo mejor el rendimiento con el tratamiento B (75-50-50) y el de menor rendimiento el testigo. Tratamientos (4, 9, 10) con 100 kg/ha de nitrógeno tuvieron rendimientos más bajos en promedio, lo

que no justifica aplicar dosis por encima de 75 kg/ha de N para estas condiciones. El fósforo y el potasio también influyeron favorablemente en los rendimientos.

Resumiendo, para las condiciones de La Luisa, las variables agronómicas Días a floración, Altura de planta, Longitud de la panoja, Peso de la panoja y Rendimiento, cuando no se fertilizó se vieron afectadas significativamente. Cuando se fertilizó, estas variables respondieron positivamente.

4.3.2 Finca Casa de Palma.

En la Tabla 9 se resume el ANAVA para las diferentes variables.

El factor fertilización presentó diferencias altamente significativas en longitud de la panoja, diferencias significativas en días a floración, altura de planta y rendimiento. En las variables excursión de la panoja, peso de la panoja y Nº de plantas las diferencias no fueron significativas.

La interacción Labr x Fert. fue significativa para la variable longitud de la panoja. El efecto de la interacción

TABLA 9. Resumen del Análisis de Varianza para las variables agronómicas en el cultivo de Sorgo. Finca Casa de Palma.

F de V	GL	C U A D R A D O S M E D I D S						
		Días a floración	Altura de Planta (cm)	Excursión Panoja (cm)	Longitud Panoja (cm)	Peso Panoja (g)	No. Plantas (ha.)	Rdto (kg/ha.)
LABRANZA	1	1,67 ns	0,24 ns	2,06 ns	1,54 ns	48,42 ns	4166,66†	287041,67ns
ERROR (a)	4	2,78	59,39	2,39	1,69	39,52	338,12	1123347,9
FERTILIZACION	9	0,64†	49,51†	2,63 ns	3,73††	25,14 ns	1086,96 ns	897869,25†
LABRxFERT.	9	0,48 ns	16,96 ns	1,02 ns	1,88†	28,36 ns	2778,96 ns	643296,59ns
ERROR (b)	36	0,26	18,05	1,57	0,71	20,36	1423,4	442338,2
T O T A L	59	--	--	--	--	--	--	--
PRONEDIO		50,4	162,7	15,4	25,7	24,9	298966,7	6205,8
C.V. (%)		1,02	2,61	8,16	3,3	18,08	12,62	10,71

†† Altamente significativa.

† Significativa.

ns No significativa.

para ésta variable se relaciona en la Figura 4. El comportamiento de los tratamientos de fertilización es diferente en cada sistema de labranza para esta variable, respondiendo la labranza con cincel a mayor longitud de panoja en general.

El factor labranza fue significativo únicamente en la variable número de plantas. La Figura 5 muestra como con labranza tradicional se logró obtener un mayor número de plantas comparado con la labranza con cincel. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en rendimiento entre sistemas de labranza.

Los valores promedios y pruebas de Tukey para las variables estudiadas se indican en la Tabla 10. Las comparaciones son las siguientes:

Días a floración. La floración se retardó significativamente en el testigo frente al tratamiento 3, que fue el más precoz.

Altura de Planta. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, siendo el de menor altura el tratamiento que no recibió fertilización.

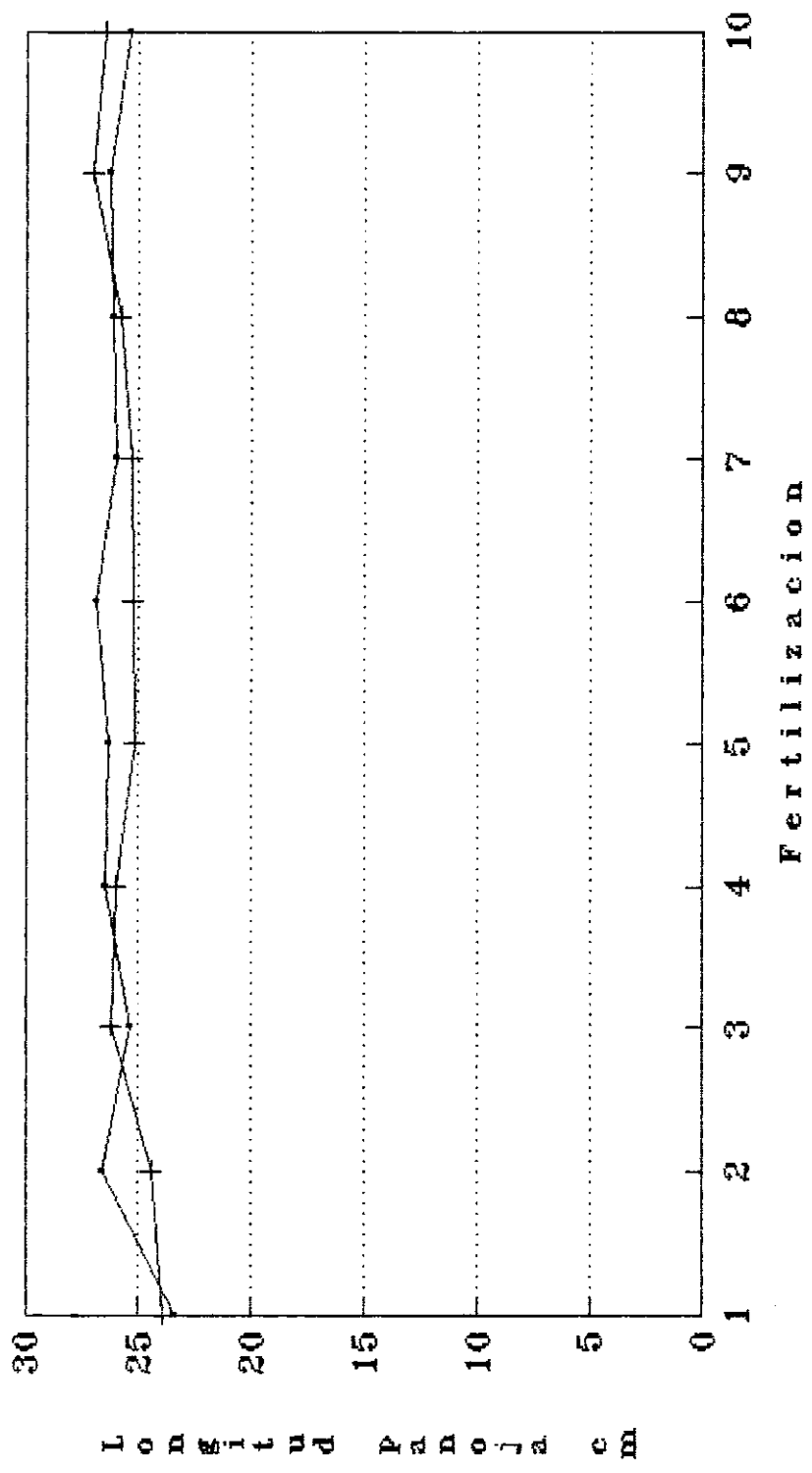
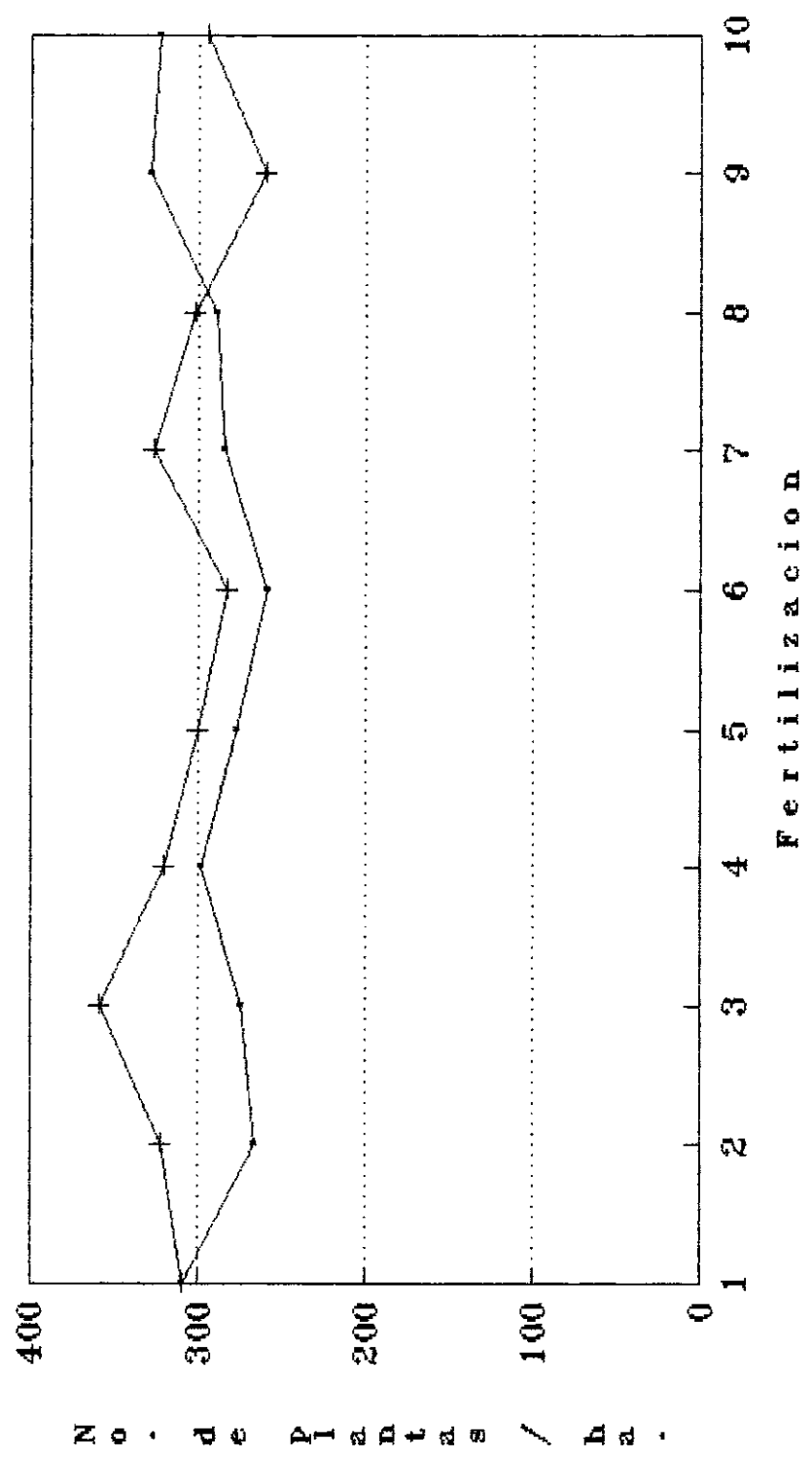


Figura 4. Efecto de la interaccion LabrxFert en longitud de la panoja. Finca Casa de Palma.



—+— Labranza cincel —x— Labranza tradicional
 Figura 5. Efecto de la Labranza en el No de plantas
 Finca Casa de Palma.

TABLA 10. Valores promedios y prueba de comparación de Tukey (0,05) para las variables agronómicas del cultivo de sorgo. Finca Casa de Palma.

No.	TRATAMIENTO			Días a floración	Altura de planta (cm)	Longitud panoja (cm)	Rendimiento (kg/ha) (cm)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O				
1	0	0	0	51,17ab	155,3b	23,7b	5250,0b
2	50	0	0	50,50ab	162,1ab	25,5a	6348,8ab
3	75	0	0	50,0b	162,3ab	25,8a	6418,0ab
4	100	0	0	50,50ab	164,5a	26,2a	6353,5ab
5	50	25	50	50,17ab	163,2ab	25,7a	5846,8ab
6	50	50	50	50,33ab	163,6a	26,1a	6263,8ab
7	75	25	50	50,5ab	161,8ab	25,7a	6327,8ab
8	75	50	50	50,17ab	165,2a	25,9a	6225,7ab
9	100	25	50	50,17ab	165,5a	26,6a	6436,8ab
10	100	50	50	50,5ab	163,2ab	25,9a	6586,7a

† Valores en las columnas con letras iguales no difieren entre si significativamente.

Longitud panoja . Hubo diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos que recibieron fertilización, siendo el testigo el de menor longitud de panoja.

Rendimiento. Se observan diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento 10, que fue el de mayor rendimiento.

Para estos parámetros la respuesta a la fertilización, en general, fue muy similar a la encontrada en La Luisa, confirmándose que estas variables agronómicas responden positivamente a la fertilización.

4.3.3 Finca La Luisa - Casa de Palma. ANAVA combinado.

En la Tabla 11 se indica el resumen del ANAVA combinado para todas las variables incluidas.

Según la Tabla 11 la localización de los experimentos influyó en forma altamente significativa en las variables longitud panoja, NO de plantas y rendimiento, y significativamente en excursión de la panoja. Las mejores condiciones ambientales y edáficas de Casa de Palma tuvieron una mejor influencia en la respuesta de estas

TABLA 11. Resumen del Análisis de Varianza combinado, para las variables agronómicas en el cultivo de Sorgo. Finca La Luisa y Casa de Palma.

		C U A D R A D O S M E D I O S						
F de V	GL	Días a floración	Altura de Planta (cm)	Excursión Panoja (cm)	Longitud Panoja (cm)	Peso Panoja (g)	No.Plantas (ha.)	Rdto (kg/ha.)
LOCALIDAD	1	17,63 ns	0,033ns	159,16†	56,44††	9,69 ns	277537††	118773152††
LABRANZA	1	0,13 ns	24,66 ns	0,05 ns	0,004ns	68,86 ns	44,408ns	5045050ns
LOCxLABRANZA	1	4,80 ns	18,25 ns	4,72 ns	3,30 ns	2,38 ns	9594,4 ns	2215442ns
ERROR (a)	8	3,675	191,77	20,72	3,50	37,02	2532,72	2888802
FERTILIZACION	9	3,61††	180,74††	6,83††	9,89††	70,49††	558,59 ns	3323265††
LOCxFERT.	9	1,09†	32,48 ns	6,10†	0,70 ns	29,84†	1459,6 ns	577982ns
LABRxFERT.	9	0,56 ns	42,68 ns	1,70 ns	1,80†	20,46 ns	1909,4 ns	452983ns
LOCxLABRxFERT.	9	0,63 ns	9,58 ns	3,21 ns	0,94 ns	31,57 ns	1510,2 ns	500893ns
ERROR (b)	72	0,434	22,50	2,39	0,79	14,26	1028,5	405805
T O T A L	119	--	--	--	--	--	--	--
PROMEDIO		50,78	162,7	16,5	25,0	24,6	250875,0	5210,9
C.V. (2)		1,30	2,91	9,37	3,56	15,31	12,78	12,22

†† Altamente significativa.

† Significativa.

ns No significativa.

variables, comparadas con La Luisa. Las diferencias en las variables días a floración, altura de planta y peso de panoja no fueron significativas entre localidades, se supone para estas variables poco o ningún efecto de las diferentes condiciones dadas en las dos localidades.

Entre sistemas de labranza no se presentaron diferencias significativas para ninguna de las variables. Recordando, la variable rendimiento no mostró diferencias significativas por localidad. El análisis combinado de experimentos entre localidades, permite muestrear con mayor eficiencia el material experimental, de lo cual se pueden derivar conclusiones más definitivas.

La interacción Loc x Labr. tampoco fue significativa para ninguna de las variables consideradas, lo cual indica que las labranzas tienen un comportamiento similar en cada localidad, para todas las variables.

En cuanto a tratamientos de fertilización las diferencias fueron altamente significativas en días a floración, altura de planta, excursión de la panoja, longitud de panoja, peso panoja y rendimiento. Para la variable N^o de plantas no hay diferencias estadísticas entre tratamientos.

La interacción Loc x Fert. fue significativa para las variables días a floración, excersión panoja y peso de panoja. El efecto de la fertilización es diferente en cada localidad para estas variables. Ver Figuras 6, 7 y 8 respectivamente. Observando la Figura 7 a mayor rendimiento (Casa de Palma) corresponde menor excersión de la panoja.

La interacción Labr x Fert. fue significativa para longitud de la panoja, o sea que para cada sistema de labranza la fertilización tiene una respuesta diferente para ésta variable, ver Figura 9. Para las otras variables las diferencias fueron no significativas.

Para la interacción Loc x Labr x Fert. no se encontraron diferencias significativas para ninguna de las variables. Los valores promedios y prueba de Tukey para el ANAVA combinado por localidades se analizan en la Tabla 12.

Días a floración, altura de planta. Entre los tratamientos que recibieron fertilización no hubo diferencias significativas, pero difieren significativamente del testigo que tardó más en florecer y fue el de menor altura.

Excersión panoja. Corresponde al testigo una mayor

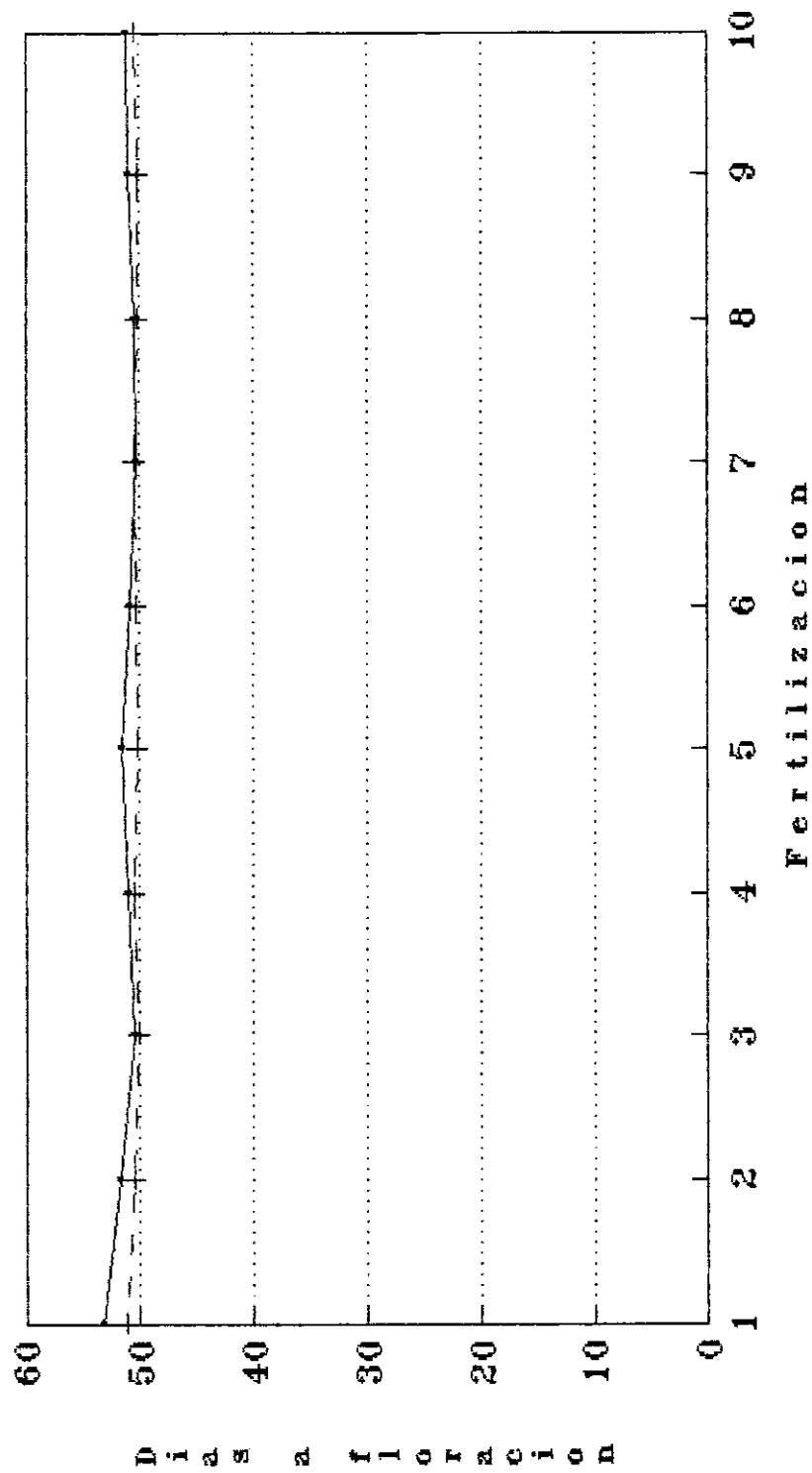


Figura 6. Efecto de la interaccion LocxFert en dias a floracion

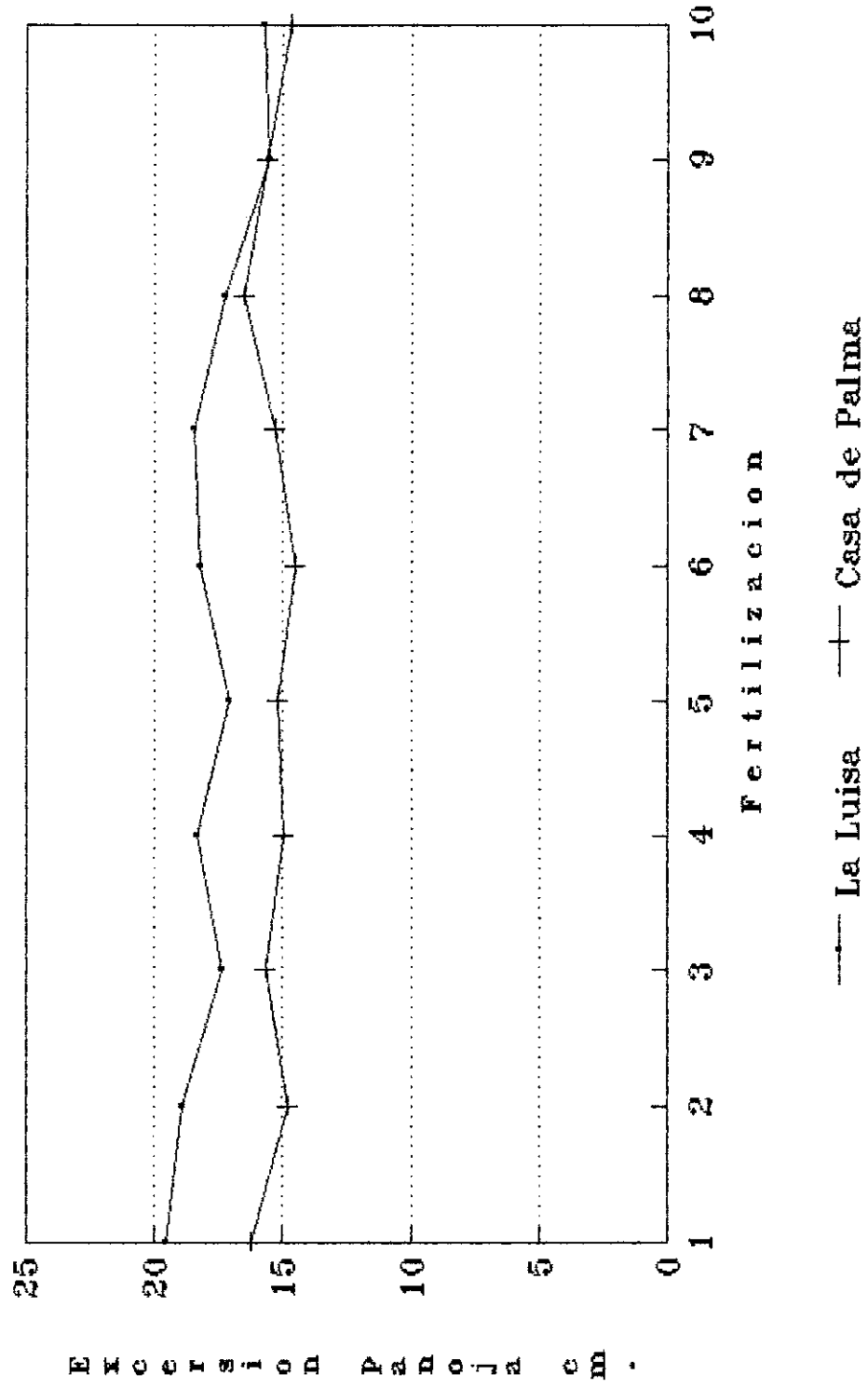


Figura 7. Efecto de la interacción LocxFert en excesión de la panoja.

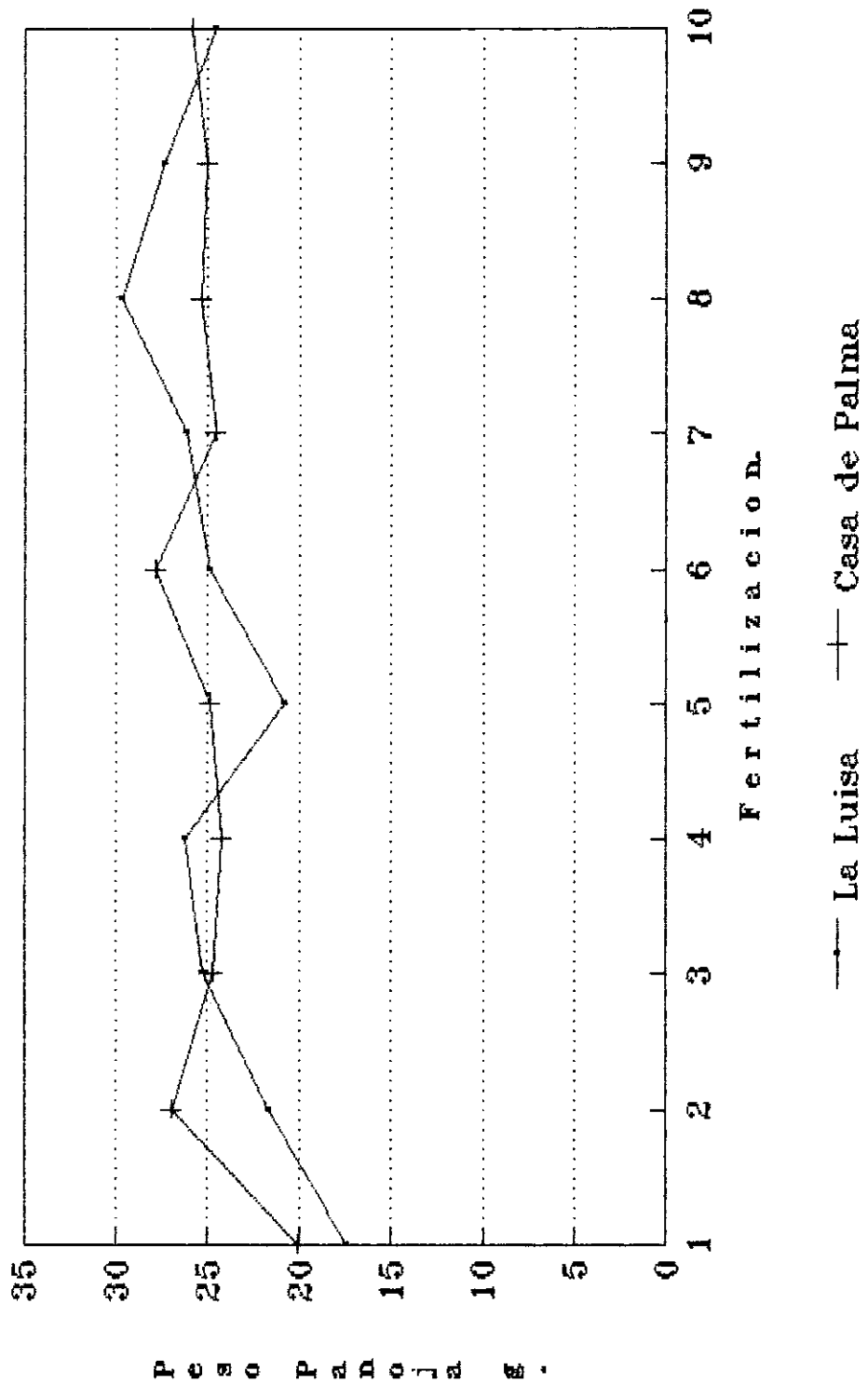
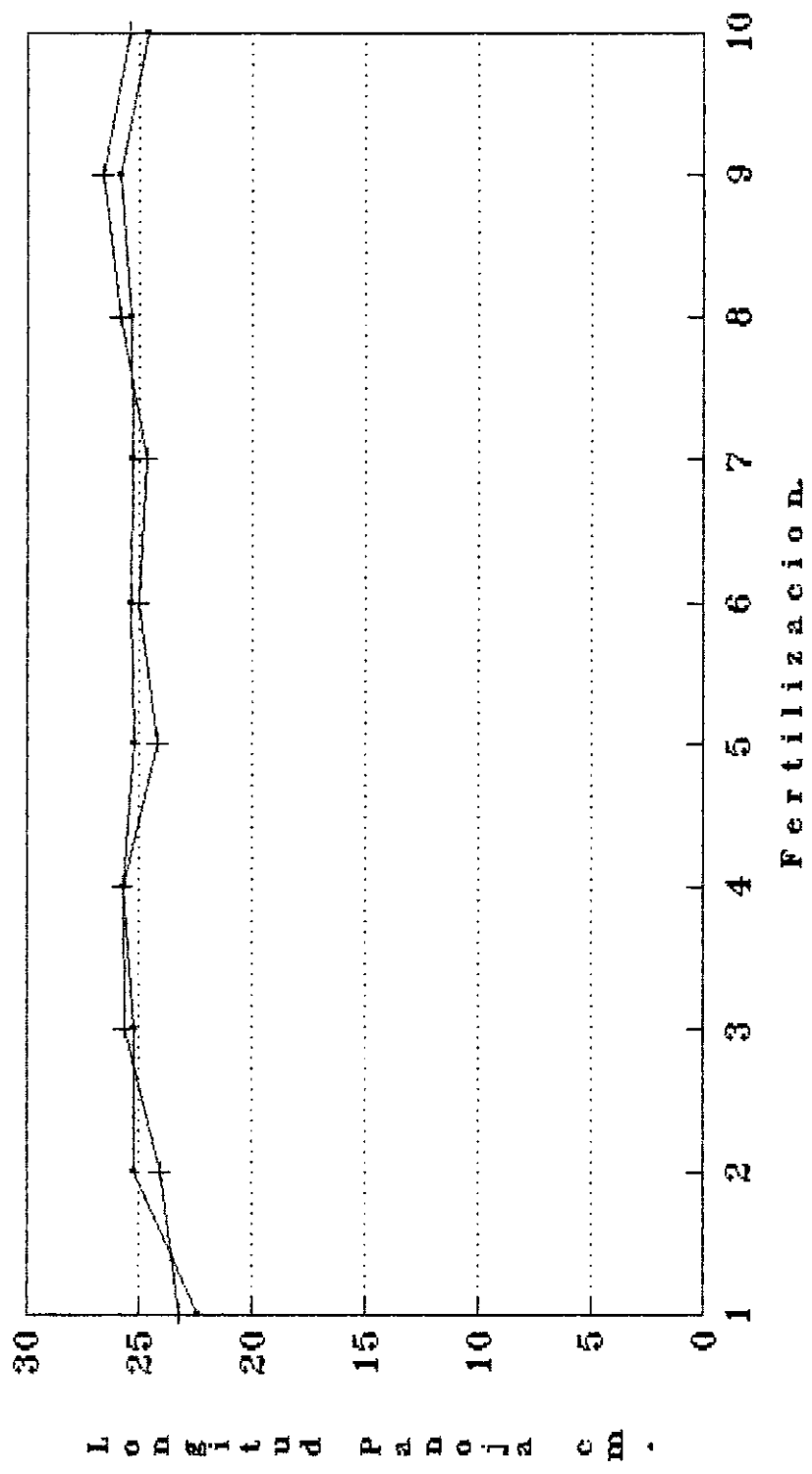


Figura 8. Efecto de la interaccion LocxFert en peso de la panoja.



—+— Labranza cincel - - - Labranza tradicional

Figura 9. Efecto de la interaccion LabrxFert en longitud de la panoja. ANAVA combinado.

TABLA 12. Valores promedios y prueba de comparación de Tukey (0,05) para las variables agronómicas del cultivo de sorgo. Análisis combinado fincas La Luisa - Casa de Palma.

No.	TRATAMIENTO			Días a floración	Altura de planta (cm)	Excursión panoja (cm)	Longitud panoja (cm)	Peso panoja (g)	Rendimiento (kg/ha)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O						
1	0	0	0	52,17a†	152,9b	17,9a	22,8c	18,8b	3905,3c
2	50	0	0	51,08b	162,2a	16,8ab	24,6b	24,3a	5144,7ab
3	75	0	0	50,25b	163,5a	16,5ab	25,4ab	25,0a	5464,1ab
4	100	0	0	50,75b	166,9a	16,6ab	25,7ab	25,2a	5389,1ab
5	50	25	50	50,83b	161,3a	16,1ab	24,7b	22,8ab	4726,7bc
6	50	50	50	50,58b	162,7a	16,4ab	25,2ab	26,4a	5453,6ab
7	75	25	50	50,42b	164,0a	16,9ab	25,0b	25,4a	5376,5ab
8	75	50	50	50,33b	166,0a	16,9ab	25,6ab	27,5a	5665,8a
9	100	25	50	50,58b	165,1a	15,6b	26,2a	26,2a	5523,1ab
10	100	50	50	50,83b	162,4a	15,2b	25,0b	25,2a	5460,6ab

† Valores en las columnas con letras iguales no difieren entre sí significativamente.

excursión de panoja comparado con los tratamientos que recibieron fertilización.

En las variables **longitud panoja** y **peso panoja** se presentaron diferencias significativas entre tratamientos correspondiendo al testigo los valores más bajos.

Rendimiento. Se notaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo el de rendimiento más alto el tratamiento ocho (75-50-50) y el de rendimiento más bajo el testigo. Con dosis de 100 kg/ha de N, tratamientos 4, 9 y 10, se obtuvieron rendimientos más bajos lo cual no justifica su aplicación.

En la Tabla 13 se relacionan los valores promedios y pruebas de comparación de Tukey para las variables con diferencias significativas en las diferentes localidades.

La longitud de la panoja, el número de plantas y el rendimiento por hectárea fueron más altos en Casa de Palma que en La Luisa, se considera que las mejores condiciones físicas y químicas de los suelos de Casa de Palma influyeron en los resultados.

TABLA 13. Valores promedios y pruebas de comparación de Tukey (0,05) para las variables agronómicas en las diferentes localidades.

Localidad	Excursión panoja (cm)	Longitud panoja (cm)	Plantas (ha)	Rto (kg/ha)
La Luisa	17,6a	24,3b	202783b	4216b
Casa de Palma	15,3b	25,7a	298967a	6206a

* Valores en las columnas con letras iguales no difieren entre si significativamente.

4.4 PRODUCCION

Sin lugar a duda, de las variables estudiadas la de mayor expectativa y más relevante fue la de rendimiento de grano de Sorgo, por su importancia económica y por que con base en ella se plantearon las hipótesis y se propusieron los objetivos de este trabajo de investigación.

4.4.1 Sistema de labranza y rendimiento.

La influencia se observa en la Tabla 14. No hubo diferencias significativas entre sistemas de labranza. Según experiencias de algunos investigadores no siempre se obtienen diferencias significativas en rendimiento, cuando se reduce la compactación mediante la labranza.

Bruhn (1959), mencionado por Malagón y Montenegro (1990), reporta que no hay relación clara entre el factor "compactación" y sus efectos sobre los rendimientos.

También Low (1973), consultado por Malagón y Montenegro (1990), concluye diciendo que las discrepancias en la estructura del suelo necesitan ser muy marcadas para que se detecten diferencias en la producción, pero estas pueden no obstante afectar las producciones bajo condiciones

TABLA 14. Rendimiento promedio de Sorgo en kg/ha para cada sistema de labranza.

Sistema de Labranza	finca La Luisa	finca Casa de Palma	Combinado
Labranza cincel	4.557a*	6.275a	5.416a
Labranza tradicional	3.875a	6.137a	5.006a
Diferencia	682	138	410

* Valores promedios en las columnas con letras iguales no difieren entre sí significativamente. Tukey (0.05)

estacionales adversas de exceso o déficit de lluvias.

Para las condiciones de los experimentos llevados a cabo, las lluvias estuvieron bien distribuidas y el cultivo de Sorgo no se vió afectado por condiciones climáticas adversas durante su ciclo, ver Anexo 3. Además, los valores de densidad aparente de los suelos donde se realizaron los experimentos no son tan altos como para que limiten la penetración de las raíces de las plantas.

4.4.2 Fertilización y Rendimiento.

Entre tratamientos de fertilización las diferencias fueron altamente significativas en rendimiento en La Luisa y el ANAVA combinado entre localidades y significativas en Casa de Palma. En la Tabla 15 y Figuras 10, 11 y 12 se observa el efecto de la aplicación de fertilizantes en rendimiento de grano de Sorgo en cada sistema de labranza.

En general la respuesta del Sorgo a la aplicación de fertilizantes fue notoria en los dos sistemas de labranza y en las dos localidades, siendo el rendimiento más bajo cuando no se fertilizó.

TABLA 15. Rendimiento promedio de Sorgo en kg/ha para cada localidad y sistema de labranza. 1992 B

No.	TRATAMIENTO			LA LUISA		CASA DE PALMA		COMBINADO						
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	L	C*	L	T	L	C	L	T			
1	0	0	0	2523		2598		4796		5704		3659		4151
2	50	0	0	4482		3399		6204		6494		5343		4947
5	50	25	50	3832		3381		5974		5714		4903		4547
6	50	50	50	5013		4274		6422		6105		5717		5190
3	75	0	0	4699		4321		6441		6395		5570		5358
7	75	25	50	4848		4002		6255		6401		5551		5202
8	75	50	50	5318		4894		6581		5870		5949		5382
4	100	0	0	4632		4218		6890		5817		5761		5017
9	100	25	50	5138		4081		6910		5964		6023		5022
10	100	50	50	5086		3583		6271		6902		5678		5242

* LC y LT Labranza con cincel y Labranza tradicional respectivamente.

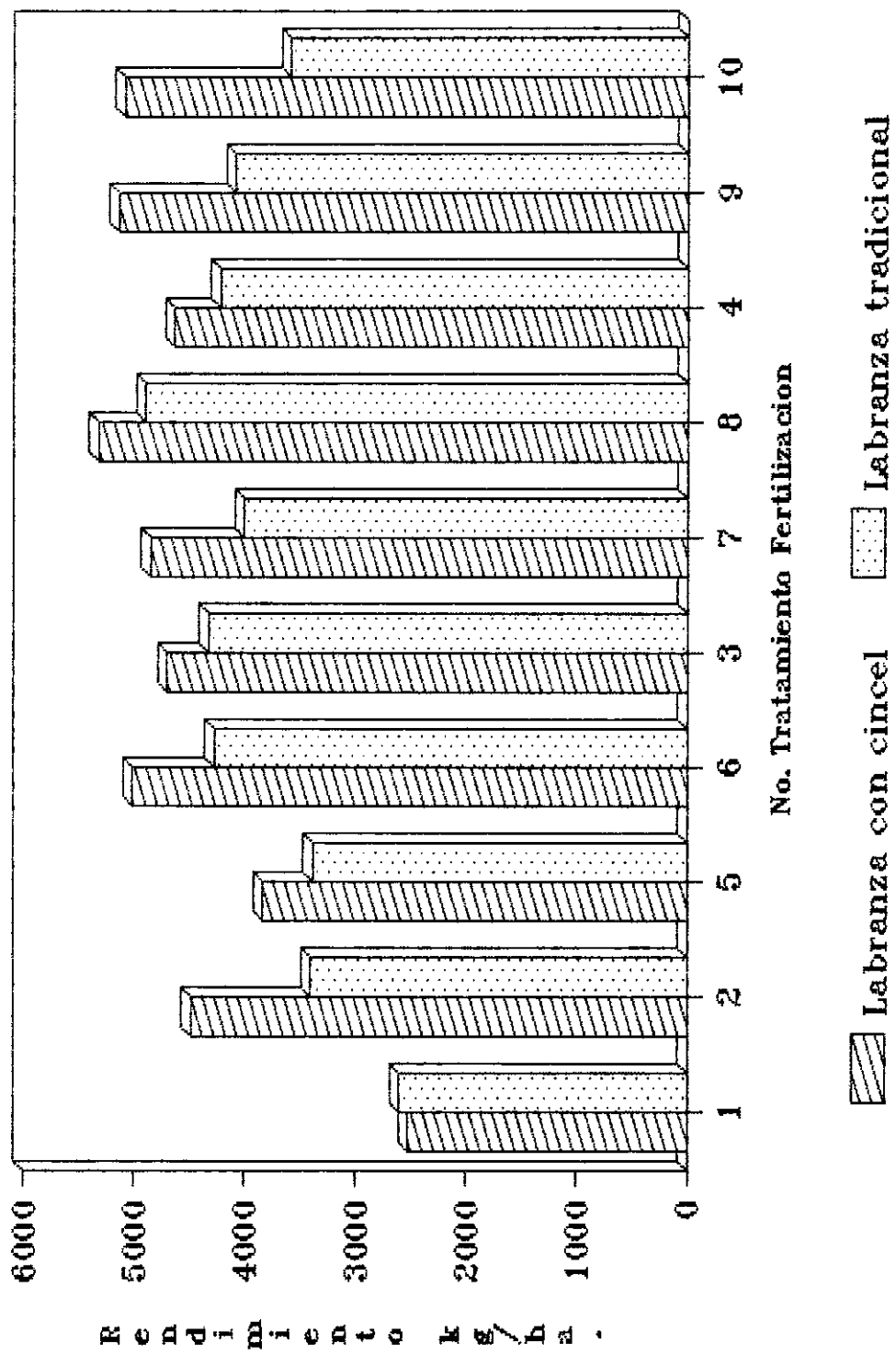


Figura 10. Efecto de la fertilización en rendimiento de sorgo en cada sistema de labranza. Finca La Luisa.

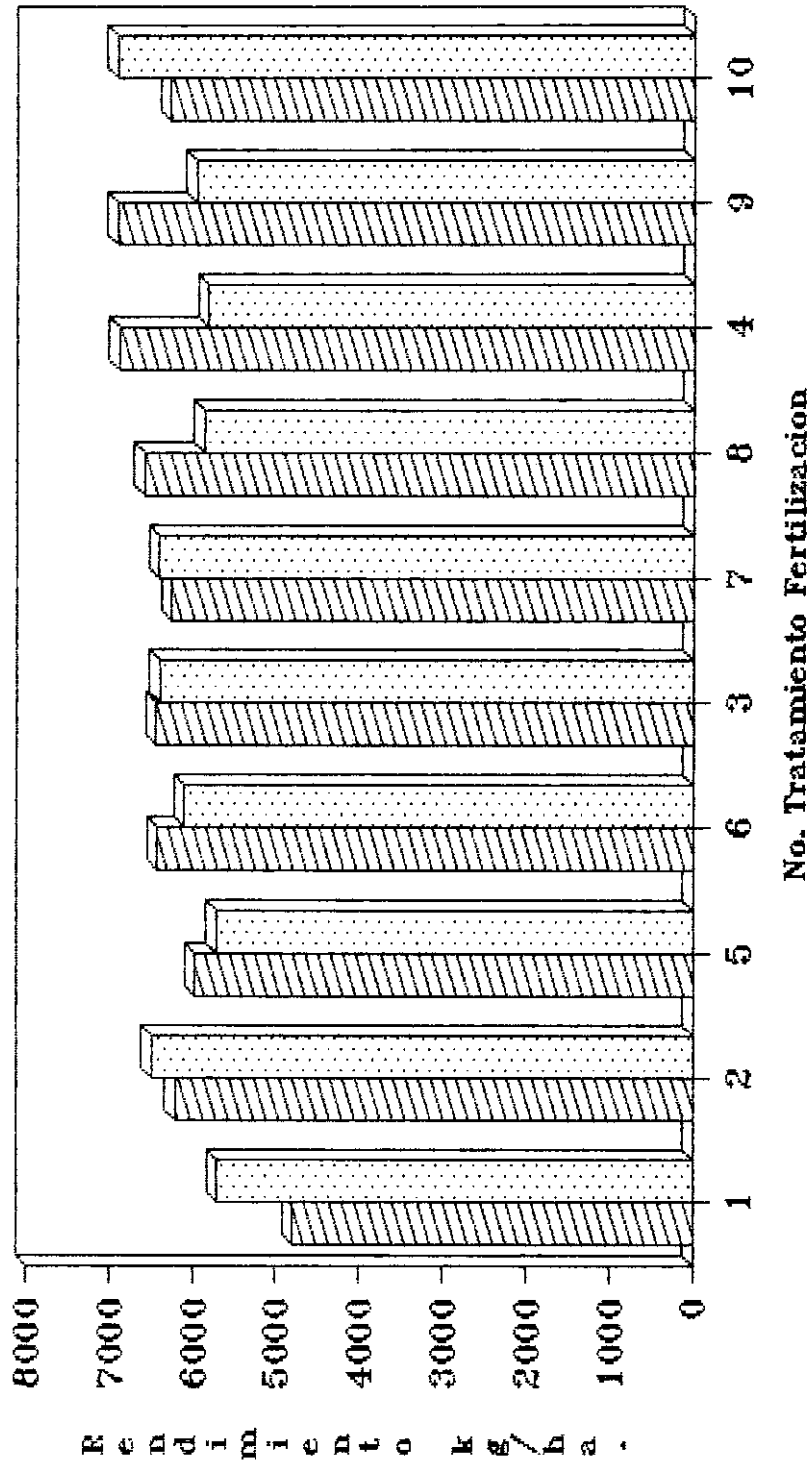


Figura 11. Efecto de la fertilización en R/to de Sorgo en cada sistema de labranza. Finca Casa de Palma.

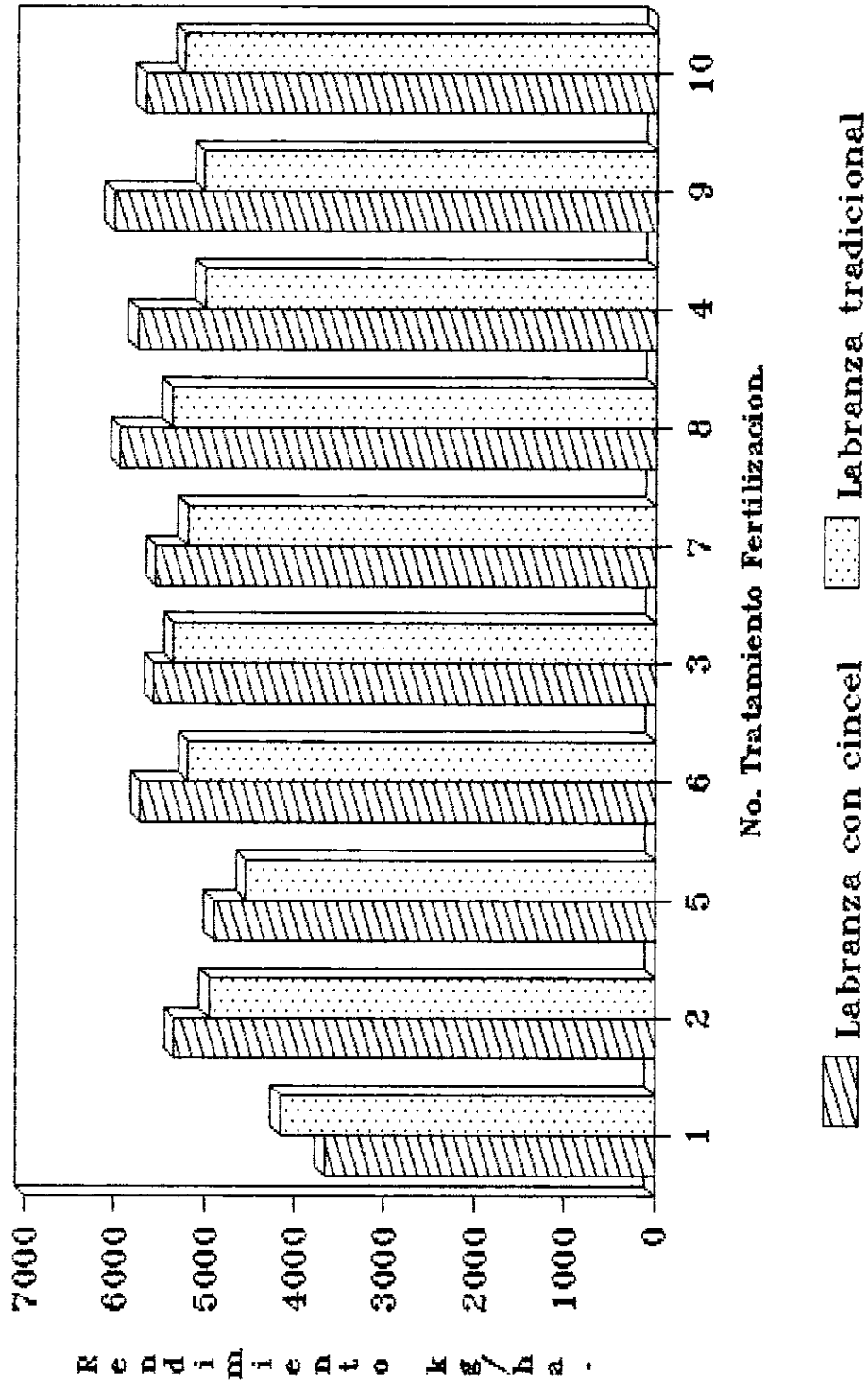


Figura 12. Efecto de la fertilización en R/to de Sorgo en cada sistema de labranza. ANAVA combinado.

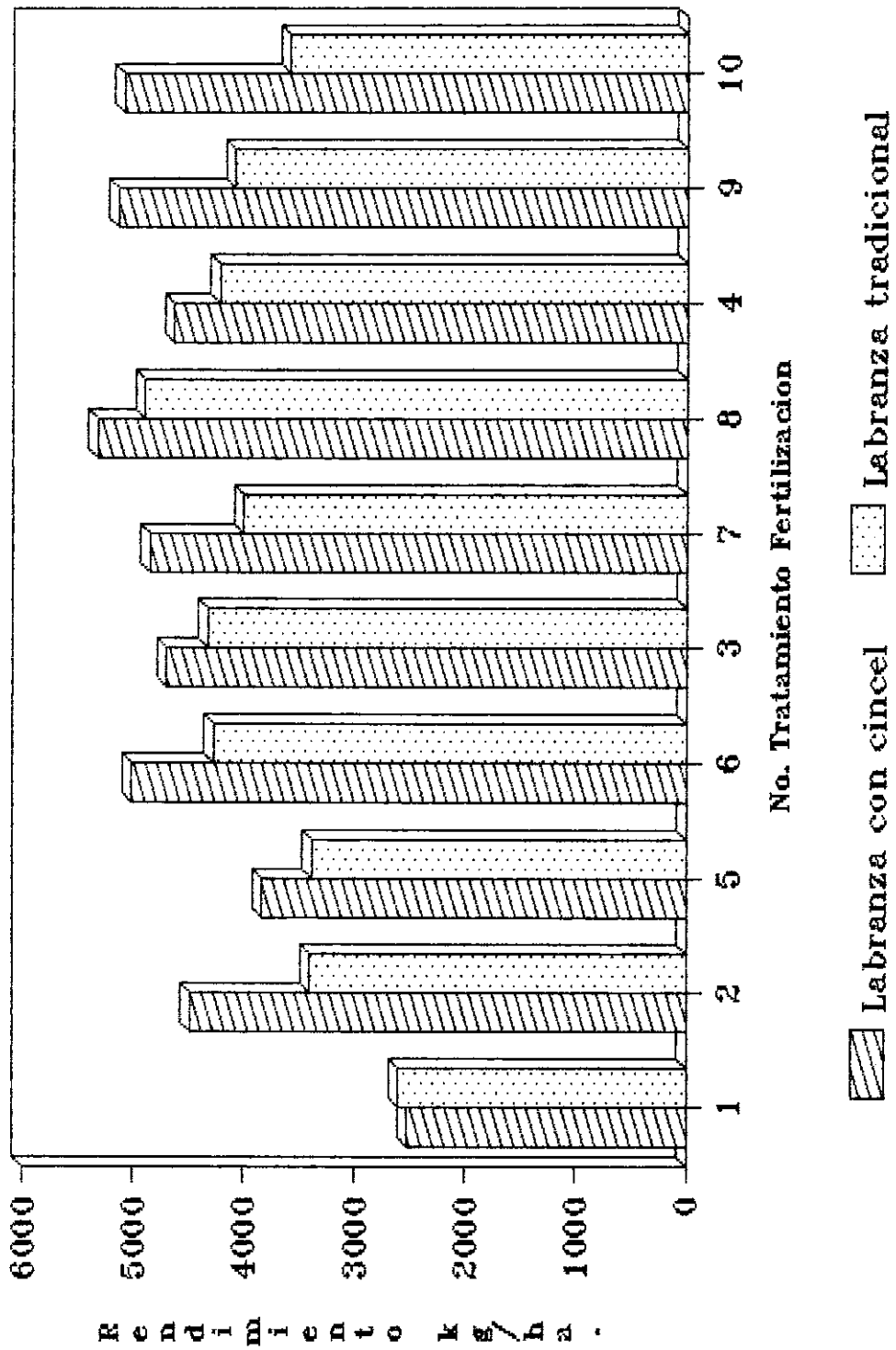


Figura 10. Efecto de la fertilización en rendimiento de sorgo en cada sistema de labranza. Finca La Luisa.

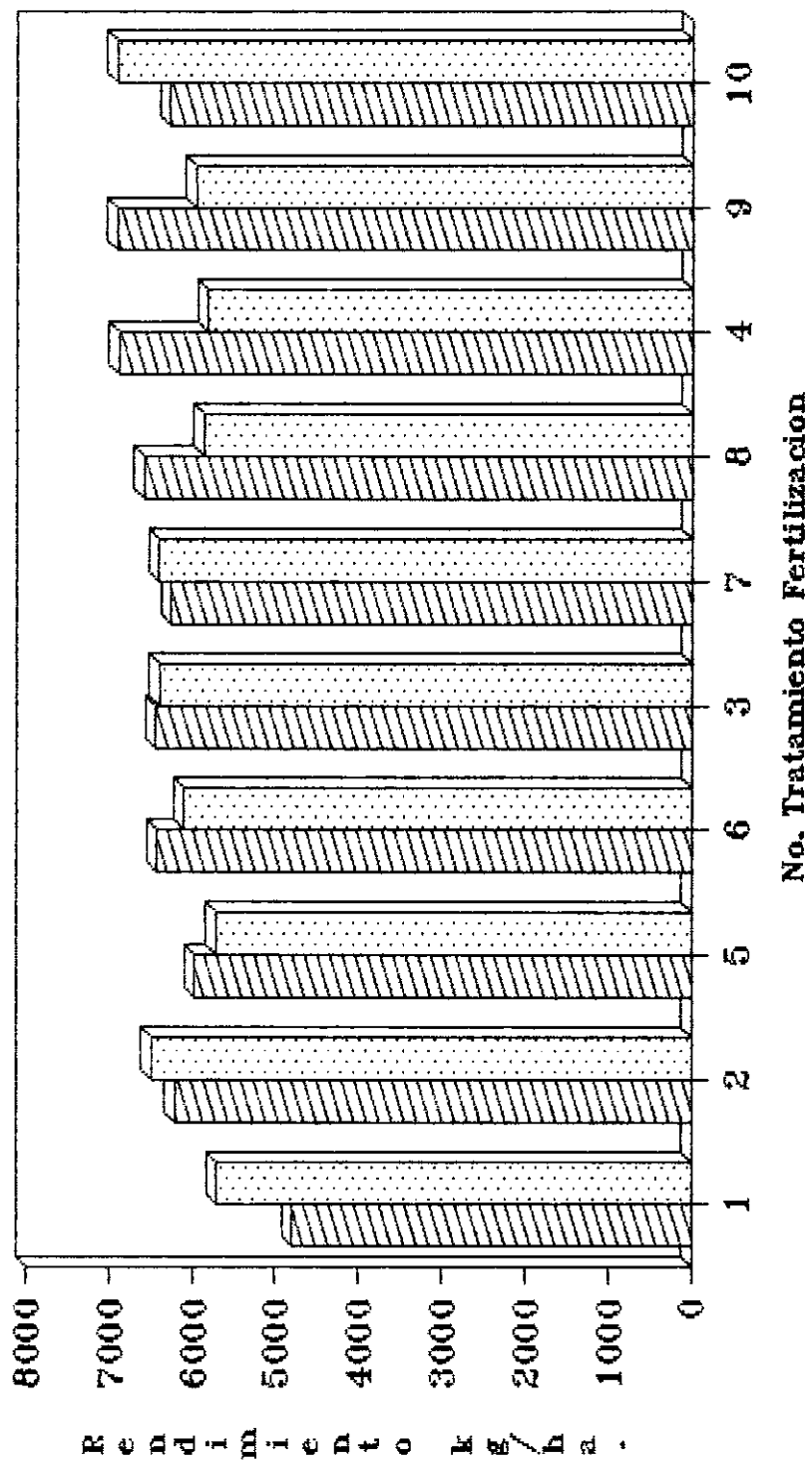


Figura 11. Efecto de la fertilización en R/to de Sorgo en cada sistema de labranza. Finca Casa de Palma.

En la Tabla 16, se observa que para los tratamientos de fertilización con nitrógeno (tratamientos 2, 3 y 4) no hubo diferencias significativas y el comportamiento no corresponde a la forma lineal ni cuadrática.

Para los tratamientos de fertilización 5, 6, 7, 8, 9 y 10 se encontraron diferencias altamente significativas.

Los valores promedios y pruebas de Tukey se indican en la Tabla 17.

En esta tabla se muestra que dosis de nitrógeno de 75 y 100 kg/ha difieren significativamente en rendimiento comparado con dosis de 50 kg/ha. Tratamientos con 75 kg/ha fueron los mejores.

Para fertilización con P_2O_5 , se encontró también en la Tabla 17 que hubo diferencias significativas entre tratamientos de 50 y 25 kg/ha respectivamente. Los rendimientos más altos corresponden a dosis de 50 kg/ha.

4.5 ANALISIS ECONOMICO

Aunque muchas veces los análisis estadísticos en la

TABLA 16. Resumen del ANAVA combinado entre localidades. Polinomios ortogonales y factores N, P y N*P.

F de V	GL	CUADRADOS MEDIOS	
		Rendimiento (kg/ha)	
LOCALIDAD	1	39000025,0	**
LABRANZA	1	1826101,8	ns
LOC*LABR	1	273180,4	ns
ERROR (a)	8	1713002,8	
FERTILIZACION (t: 2,3,4)	2	334783,0	ns
N (Lineal)	1	358437,0	ns
N (Cuadrática)	1	311129,0	ns
LOC*FERT	2	240430,8	ns
LABR*FERT	2	218671,5	ns
LOC*LABR*FERT	2	774096,4	ns
ERROR (b)	16	7640760,0	
T O T A L	35		
C.V (%)		12,96	
LOCALIDAD	1	60093684,5	**
LABRANZA	1	5252040,5	**
LOC*LABR	1	1582420,5	**
ERROR (a)	8	1747784,2	
FERTILIZACION (t:5,6,7,8,9,10)	5	1295957,3	**
N	2	1391954,3	**
P	1	1818960,2	**
N*P	2	938458,8	**
LOC*FERT	5	540038,2	*
LABR*FERT	5	176338,4	ns
LOC*LABR*FERT	5	560185,8	*
ERROR (b)	35	5676169,0	
T O T A L	71		
C.V (%)		7,50	

TABLA 16. Resumen del ANAVA combinado entre localidades. Polinomios ortogonales y factores N, P y N*P.

F de V	GL	CUADRADOS MEDIOS	
		Rendimiento (kg/ha)	
LOCALIDAD	1	39000025,0	**
LABRANZA	1	1826101,8	ns
LOC*LABR	1	273180,4	ns
ERROR (a)	8	1713002,8	
FERTILIZACION (t: 2,3,4)	2	334783,0	ns
N (Lineal)	1	358437,0	ns
N (Cuadrática)	1	311129,0	ns
LOC*FERT	2	240430,8	ns
LABR*FERT	2	218671,5	ns
LOC*LABR*FERT	2	774096,4	ns
ERROR (b)	16	7640760,0	
T O T A L	35		
C.V (%)		12,96	
LOCALIDAD	1	60093684,5	**
LABRANZA	1	5252040,5	**
LOC*LABR	1	1582420,5	**
ERROR (a)	8	1747784,2	
FERTILIZACION (t:5,6,7,8,9,10)	5	1295957,3	**
N	2	1391954,3	**
P	1	1818960,2	**
N*P	2	938458,8	**
LOC*FERT	5	540038,2	*
LABR*FERT	5	176338,4	ns
LOC*LABR*FERT	5	560185,8	*
ERROR (b)	35	5676169,0	
T O T A L	71		
C.V (%)		7,50	

TABLA 17. Valores promedio y pruebas de comparación de Tukey (0,05) para la variable rendimiento.

Tratamiento Nº	N	Rendimiento (kg/ha)	Tratamiento Nº	P ₂ O ₅	Rendimiento (kg/ha)
7 y 8	75	5521,1 a	6,8,10	50	5526,6 a
9 y 10	100	5491,8 a	5,7,9	25	5208,7 b
5 y 6	50	5090,1 b			

* Valores en las columnas con letras iguales no difieren entre si significativamente.

investigación agrícola no presentan diferencias significativas, las ventajas económicas en producción son generalmente las que el agricultor tiene en cuenta al tomar decisiones.

La compactación del suelo trae como consecuencia efectos de corto y largo plazo, los efectos de largo plazo son los que degradan el suelo a través del tiempo. En la roturación del suelo, con arado de cincel se mejoran las propiedades físicas del suelo, evitando la degradación paulatina y la restricción con el tiempo en el uso de los suelos para los cultivos y manteniéndolos aptos dentro del contexto de la agricultura sostenible. Desde este punto de vista, los métodos de labranza que tiendan a la conservación de los suelos y sostenibilidad de la agricultura son indiscutiblemente de gran importancia.

Los efectos de corto plazo son los que pueden afectar los rendimientos del cultivo a sembrar. Teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas y culturales de los agricultores, los sistemas y formas de producción (tierras arrendadas, donde los efectos de largo plazo no son de importancia para el arrendatario), se deben buscar alternativas que sean económicamente viables a corto plazo

y que estimulen a los productores a utilizar las metodologías propuestas.

4.5.1 Análisis económico de la fertilización.

La selección de la mejor alternativa en fertilización se hizo mediante el Análisis Incremental que es una estimación de los costos e ingresos adicionales por hectárea derivados del uso de los fertilizantes, y la relación Beneficio/Costo, es decir la relación entre el valor de la producción adicional proveniente de la fertilización y el costo incurrido para lograr dicho incremento. Tablas 18 y 19.

Para la finca La Luisa (Tabla 18) cuando se utilizó una dosis de 75 kg/ha de nitrógeno, 50 kg/ha de P_2O_5 y 50 kg/ha de K_2O , para los dos sistemas de labranza, se produjeron los mayores incrementos en el ingreso. La relación Beneficio/Costo es alta, 6,50 en LC y 5,34 con LT, lo cual indica que por cada peso invertido en fertilizantes se obtiene una ganancia de \$5,50 y \$4,34 en LC y LT respectivamente, y se obtiene el ingreso adicional más alto (\$331.094 en LC y \$261.234 con LT). También se observa en labranza con cincel, que los tratamientos 2 y 3 tienen una

TABLA 18. Determinación de los costos e ingresos adicionales por ha., en la producción de Sorgo proveniente de la fertilización. Finca la Luisa.

LABR	No.	TRATAMIENTOS FERTILIZANTES			COSTO TOTAL* de N,P,K (\$/ha)	INCREMENTO PRODUCCION (kg/ha)	INCREMENTO** INGRESO TOTAL (\$/ha)	INGRESO ADICIONAL	RELACION B/C
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O					
LC	1	0	0	0	-	-	-	-	
LC	2	50	0	0	18153	1959	274260	256107	15,10
LC	3	75	0	0	27228	2176	304640	277412	11,19
LC	4	100	0	0	36304	2109	295260	258956	8,13
LC	5	50	25	50	40884	1309	183260	142376	4,48
LC	6	50	50	50	51131	2490	348600	297469	6,82
LC	7	75	25	50	49959	2325	325500	275541	6,52
LC	8	75	50	50	60206	2795	391300	331094	6,50
LC	9	100	25	50	59035	2615	366100	307065	6,20
LC	10	100	50	50	69282	2563	358820	289538	5,18
LT	1	0	0	0	0	-	-	-	-
LT	2	50	0	0	18153	801	112140	93987	6,18
LT	3	75	0	0	27228	1723	241220	213992	8,86
LT	4	100	0	0	36304	1620	226800	190496	5,25
LT	5	50	25	50	40884	783	109620	68736	2,68
LT	6	50	50	50	51131	1676	234640	183509	4,59
LT	7	75	25	50	49959	1404	196560	146601	3,93
LT	8	75	50	50	60206	2296	321440	261234	5,34
LT	9	100	25	50	59035	1483	207620	148585	3,52
LT	10	100	50	50	69282	985	137900	68618	1,99

* Precios 1992 B en la finca: Urea (46%): \$167/kg, Superfosfato triple (44,5%): \$182,4/kg y Cloruro de potasio (60%): \$149,8/kg.

** Precio venta Sorgo en la finca: \$140/kg.

TABLA 19. Determinación de los costos e ingresos adicionales por ha., en la producción de Sorgo proveniente de la fertilización. Finca Casa de Palma.

LABR	No.	TRATAMIENTOS FERTILIZANTES			COSTO TOTAL [§] de N,P,K (\$/ha)	INCREMENTO PRODUCCION (kg/ha)	INCREMENTO ^{§§} INGRESO TOTAL (\$/ha)	INGRESO ADICIONAL	RELACION B/C
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O					
LC	1	0	0	0	-	-	-	-	
LC	2	50	0	0	18153	1408	197120	178967	10,86
LC	3	75	0	0	27228	1645	230300	203072	8,46
LC	4	100	0	0	36304	2094	293106	256802	8,07
LC	5	50	25	50	40884	1183	165620	124736	4,05
LC	6	50	50	50	51131	1626	227640	176509	4,45
LC	7	75	25	50	49959	1459	204260	154301	4,09
LC	8	75	50	50	60206	1785	249900	189694	4,15
LC	9	100	25	50	59035	2114	295960	236925	5,01
LC	10	100	50	50	69282	1475	206500	137218	2,98
LT	1	0	0	0	-	-	-	-	-
LT	2	50	0	0	18153	790	110600	92447	6,09
LT	3	75	0	0	27228	691	967400	69512	3,55
LT	4	100	0	0	36304	113	15820	-20484	0,44
LT	5	50	25	50	40884	10	1400	-39484	0,03
LT	6	50	50	50	51131	401	56140	5009	1,08
LT	7	75	25	50	49959	697	97580	47621	1,95
LT	8	75	50	50	60206	166	23240	-36966	0,39
LT	9	100	25	50	59035	260	36400	-22635	0,62
LT	10	100	50	50	69282	1198	167720	98438	2,42

[§] Precios 1992 B en la finca: Urea (46Z): \$167/kg, Superfosfato triple (44,5Z): \$182,4/kg y Cloruro de potasio (60Z): \$149,8/kg.

^{§§} Precio venta Sorgo en la finca: \$140/kg.

relación B/C y un ingreso adicional favorables, lo mismo sucede con el tratamiento 3 en labranza tradicional. Alternativas que pueden ser útiles para agricultores de escasos recursos, con buenos resultados económicos.

En la finca Casa de Palma (Tabla 19) para la labranza con cincel, el tratamiento de fertilización con mayor incremento en el ingreso fue cuando se aplicaron 100 kg/ha de N (\$256.802 de ingreso adicional) y una relación B/C de 8,07. Para la labranza tradicional se seleccionó el tratamiento con 50 kg/ha de N, aunque no fue el de ingreso adicional más alto (\$92.447) tuvo una relación B/C alta: 6,09, además disminuye el riesgo del productor en la inversión en fertilizantes. Se muestra además, que en labranza con cincel, el tratamiento 3 tiene una relación B/C y un ingreso adicional aceptables, alternativa también recomendable.

4.5.2 Análisis económico de la labranza

En la región las diferentes labores de cultivo cuando se realizan con maquinaria alquilada, se contrata por hectárea, dependiendo de la potencia requerida y del tiempo utilizado.

TABLA 20. Costos de preparación de suelos. La Luisa y Casa de Palma. 1992 B.

Labor	№ Fases	Costo Unitario \$/ha.	Costo Total \$/ha.
<u>L C</u>			
Rastra	1	14.000	14.000
Rastrillo	2	10.000	20.000
Cinzel	2	23.000	46.000
TOTAL			80.000
<u>L T</u>			
Rastra	3	14.000	42.000
Rastrillo	2	10.000	20.000
TOTAL			62.000

TABLA 21. Determinación de los costos e ingresos adicionales por ha. en la producción promedio de sorgo, provenientes de la labranza. 1992 B.

Sistema de Labranza	Costo Total \$	Incremento Producción kg/ha.	Incremento Ingreso Total/ha.	Incremento Ingreso adicional
<u>LA LUISA</u>				
L T	62.000	—	—	—
L C	80.000	682	95.480	77.480*
<u>CASA DE PALMA</u>				
L T	62.000	—	—	—
L C	80.000	138	19.320	1.320

* Incremento ingreso total - \$18.000 diferencia costo total.

TABLA 22. Determinación de los ingresos adicionales por ha. en la producción de Sorgo, provenientes de la labranza y mejor tratamiento de fertilización. 1992 B.*

Sistema de Labranza	Producción kg/ha.	Incremento Producción kg/ha.	Incremento Ingreso Total/ha.	Incremento Ingreso adicional
<u>LA LUISA</u>				
L C	5.318	424	59.360	41.360
L T	4.894	—	—	—
<u>CASA DE PALMA</u>				
L C	6.890	396	55.440	19.289**
L T	6.494	—	—	—

* La Luisa : LC Tratamiento 8 y LT tratamiento 8
 Casa de Palma : LC tratamiento 4 y LT tratamiento 2

** Incremento ingreso total(\$55.440) - diferencia costo labranza(\$18.000) - diferencia costo fertilizante(\$18.151) = \$19.289

TABLA 22. Determinación de los ingresos adicionales por ha. en la producción de Sorgo, provenientes de la labranza y mejor tratamiento de fertilización. 1992 B.*

Sistema de Labranza	Producción kg/ha.	Incremento Producción kg/ha.	Incremento Ingreso Total/ha.	Incremento Ingreso adicional
<u>LA LUISA</u>				
L C	5.318	424	59.360	41.360
L T	4.894	—	—	—
<u>CASA DE PALMA</u>				
L C	6.890	396	55.440	19.289**
L T	6.494	—	—	—

* La Luisa : LC Tratamiento 8 y LT tratamiento 8
 Casa de Palma : LC tratamiento 4 y LT tratamiento 2

** Incremento ingreso total(\$55.440) - diferencia costo labranza(\$18.000) - diferencia costo fertilizante(\$18.151) = \$19.289

Por último se puede decir que aunque las diferencias entre sistemas de labranza no fueron significativas estadísticamente en rendimiento, económicamente ofrece una alternativa a los agricultores para obtener mayores ingresos. Además, como consecuencia se mejoran las condiciones físicas del suelo las cuales influyen en un mejor comportamiento de las propiedades químicas y biológicas.

5. CONCLUSIONES

1. En los suelos donde se realizaron los experimentos, la porosidad total disminuye con la profundidad, indicando una continuidad defectuosa en el espacio poroso, lo cual es síntoma de compactación.
2. En labranza con arado de cincel los valores de densidad aparente, medidos 25 días después de la labranza, fueron más bajos que los encontrados antes de la labranza, mientras que en labranza tradicional estos valores de densidad aparente fueron similares, lo cual muestra que hay un efecto diferencial entre los dos sistemas de labranza.
3. No hubo diferencias estadísticas significativas entre los sistemas de labranza para las variables, días a floración, altura de planta, excursión de la panoja, longitud de la panoja y rendimiento, porque las lluvias se distribuyeron con gran regularidad durante los

experimentos.

4. Cuando no se fertilizó la floración del sorgo se retardó, las plantas fueron más bajas y la longitud de la panoja y los rendimientos se redujeron significativamente, lo cual demuestra la gran importancia de la fertilización en este cultivo.
5. La fertilización con nitrógeno influyó en los rendimientos del cultivo, las mejores dosis se presentaron entre 75 y 100 kg/ha. el fósforo también respondió en forma significativa en los rendimientos, siendo mas altos cuando se aplicaron 50 kg/ha de P_2O_5 .
6. La localización de los experimentos influyó en forma altamente significativa en los rendimientos. Las condiciones agroecológicas de Casa de Palma (Cj) fueron mas óptimas para el cultivo del sorgo que La Luisa (Kb).
7. Aunque no hubo diferencias estadísticas en rendimiento entre sistemas de labranza, la labranza con cincel combinada con un nivel adecuado de fertilización fue más rentable.

6. RECOMENDACIONES

En la región del Magdalena Medio, en las áreas dedicadas a la agricultura mecanizada, donde se presenta degradación de suelos debido a la compactación causada por el mal manejo de los suelos, se recomienda hacer nuevas investigaciones y a más largo plazo, en diferentes tipos de suelos, para asegurar la sostenibilidad integral de la cuenca del río Magdalena.

En una primera aproximación y como resultado de este trabajo de investigación, se recomienda utilizar el arado de cincel en la preparación de suelos para la siembra y fertilizar según el análisis de suelos. Antes de decidir sobre la labranza de un suelo, es necesario evaluar en el campo mediante el examen técnico y juicioso de una cajuela, los requerimientos de labranza que éste tenga, de acuerdo a sus limitaciones para el crecimiento de las raíces de las plantas.

R E S U M E N

En el municipio de La Dorada, Magdalena Medio Caldense, se llevó a cabo este trabajo en dos fincas de agricultores, durante el segundo semestre de 1992.

El objetivo del trabajo fue evaluar la mejor combinación entre dos sistemas de labranza (cincel y convencional) y 10 tratamientos de fertilización en el cultivo de Sorgo, en suelos con problemas de compactación y estudiar económicamente la mejor alternativa.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones para cada experimento o sistema de labranza y diez tratamientos de fertilizantes. Se hizo análisis combinado entre sistemas de labranza para cada finca o localidad y ANAVA combinado entre localidades. Los parámetros analizados estadísticamente fueron: Días a floración, altura de la planta, excursión de la panoja,

longitud de la panoja, peso de la panoja, número de plantas y rendimiento.

En general entre los dos sistemas de labranza comparados, no se presentaron diferencias estadísticas significativas para las variables estudiadas en cada localidad y en el ANAVA combinado entre localidades, porque las lluvias no fueron limitantes y los valores de densidad aparente encontrados no fueron relativamente altos, como para que restringiera el crecimiento de las raíces de las plantas.

El análisis económico demostró que con un nivel adecuado de fertilización, la labranza con cincel fue más rentable que la labranza tradicional o convencional.

Para las condiciones de los suelos y grados de compactación encontrados, es recomendable utilizar el arado de cincel y fertilizar con N, P y K según el análisis de suelos, para una producción sostenible.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- AMEZQUITA, C. E. 1981. A study of the water regime of a soil during approach to field capacity and permanent wilting point. University of Reading. England. Ph. D. Thesis.
- _____. 1992. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. Sección de Recursos Naturales, ICA. Bogotá.
- _____. 1990. Memorias del Seminario Internacional Manejo de los Recursos Naturales en Ecosistemas tropicales para una agricultura sostenible.
- AMEZQUITA, C. E. y NAVAS, J. 1989. Métodos para determinación de algunas propiedades físicas de los suelos. p 124 - 153. En: Manual de Asistencia Técnica Nº 47. ICA, Bogotá.
- BARNETT, J. 1989. Tendencias de adopción en sistemas de labranza de Conservación, p 13 - 18. En: CIMMYT -PROCIANDINO. Labranza de Conservación en Maíz. El Batán, México, 195 p.
- BAVER, L. D. et al. 1973. Física de suelos. Primera edición en español. México: U.T.E.H.A. 529 p.
- BOLAROS, J. 1989. Suelos en relación a labranza de conservación. Aspectos físicos, p 19 - 42. En: CIMMYT -PROCIANDINO. Labranza de Conservación en Maíz. El Batán, México, 195 p.
- § BRAIDE, F. G. 1991. The Influence Machine Traffic on Growth Maize. p 229 - 237. En: Soil Tillage and Agricultural Sustainability. 12 th International Conference. Istro.

Ibadan, Nigeria.

CRECED MAGDALENA MEDIO CALDENSE. 1991. Diagnóstico Agropecuario. ICA, La Dorada, 133 p.

DIAZ, J. A. L. 1983. Análisis agroeconómico de la respuesta del Sorgo a la aplicación de fertilizantes N y P₂O₅ en el valle del Alto Magdalena. Bogotá, TESIS M. Sc. Programa de Estudios para Graduados. U. Nal - ICA.

GAVANDE, S. 1972. Física de suelos, principios y aplicaciones. Limusa-Wiley. México DF., 315 P

GILL, K. S. and LUNGU, D. I. 1988. Evaluation of Tillage Systems for Zea mays. Grow on a compacted oxic Paleustalf. En: Challenges in Dryland Agriculture International Conference on Dryland Farming, Texas, U.S.A.

GILL, R. W. and VANDEN BERG, E. G. 1967. Soil compaction. En: Soil dynamics in tillage and traction. Agriculture Handbook Nº.316; p 430 - 447. Washington D.C. 511 P.

GONZALEZ, H. y BROCHERO, M. 1984. Estudio básico sobre el cultivo de Sorgo en Colombia. Boletín Técnico Nº 140. ICA, Bogotá, 120 p.

GUERRERO J., L. 1985. Alternativas en la preparación de suelos. En: Foro Tecnológico Algodonero (Valledupar). Bogotá, ICA, p 117 - 124.

———. 1975. Comparación de tres sistemas de labranza en el cultivo de Maíz. En: Primer Seminario Nacional de Ingeniería Agrícola. Bogotá, ICA, p 14 - 33.

———. 1990. Las propiedades físicas de los suelos colombianos y su relación con labores de labranza, p 697 -728. En: MALAGON, D. y MONTENEGRO, H. Propiedades Físicas de los Suelos. IGAC, Bogotá, 813 p.

BUPTA, S. et al. 1989. Compaction effects on soil structure. En: Advances in Agronomy vol 42: p 85 - 135.

¹⁰ GUTIERREZ, P., D. 1987. Fertilización del cultivo de Sorgo, p 53 - 71. En: ICA - FENALCE. Producción Moderna del Sorgo, Ibagué, 122 p.

- _____. 1982. Respuesta del Sorgo de grano a dosis y época de aplicación de nitrógeno. En: Suelos Ecuatoriales Vol 12. Junio de 1982. Bogotá, p 273 - 288.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1981. Fertilización en diversos cultivos. Manual de Asistencia Técnica Nº 25, Bogotá.
- LAL, R. 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. En: Advances in Agronomy Vol 42; p 85 - 135.
- _____. 1985. Surface soil degradation and management strategies for sustained productivity in the tropics. En: IBSRAM Nº 2. Ed. M LATHAN.
- _____. 1991. Tillage effects on soil properties and yield of corn and soybean on a compacted soil in Western Ohio. p 44 - 50. En: Soil Tillage and Agricultural Sustainability. 12 th International Conference. Istro. Ibadan, Nigeria.
- LAL, R. et al. 1988. Enviromentally Sustainable Dryland Farming Systems. p 661 - 667. En: Challenges in Dryland Agriculture International Conference on Dryland Farming, Texas, U.S.A.
- LOPEZ, A. y DIAZ, P. A. 1988. Suelos Departamento de Caldas. Tomo I y II, IGAC, Bogotá.
- MALAGON, D. y MONTENEGRO, H. 1990. Propiedades Físicas de los Suelos. IGAC, Bogotá, 813 p.
- PLA, I. 1977. Dinámica de las propiedades físicas y su relación con problemas de manejo y conservación de suelos agrícolas de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela.
- _____. 1988. Soil water constrainsts for Dryland corn and Sorghum Production in Venezuela. En: Challenges in Dryland Agriculture International Conference on Dryland Farming, Texas, U.S.A.
- QUINTERO D., R. 1978. Fertilización en sorgo. p 40 - 62. En: ICA. El cultivo del Sorgo. Bogotá, 489 p.
- 3/ RAMIREZ, V., A. 1987. Fertilización de Sorgo en suelos aluviales del Valle del Cauca. p 27 - 40. En: ICA - FENALCE. El cultivo de Sorgo en el Valle del Cauca.

Palmira, 108 p.

ROMERO M., V. 1978. Ecología del cultivo de Sorgo. p 1-23.
En: ICA. El cultivo del Sorgo. Bogotá, 489 p.

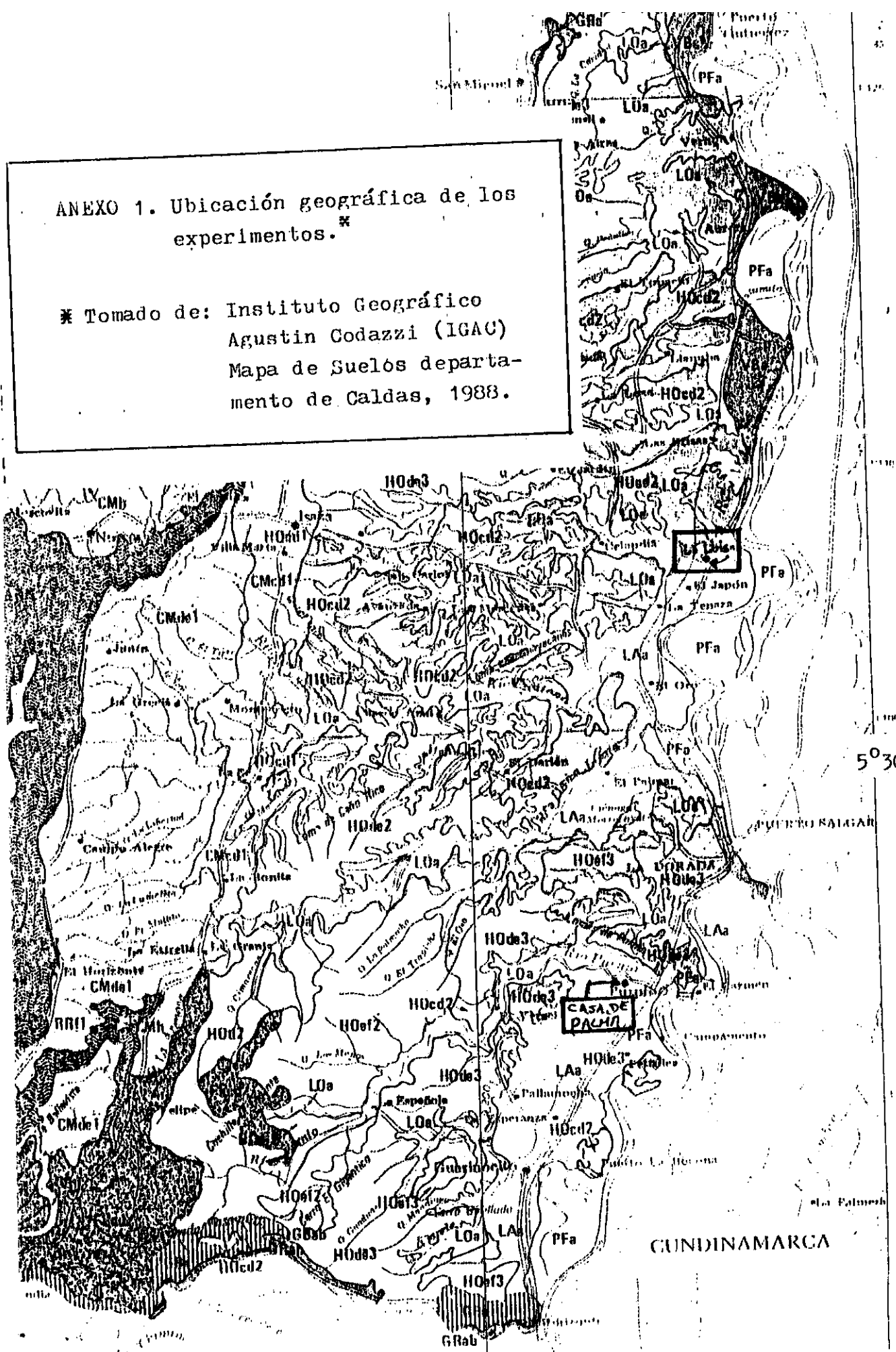
SANCHEZ S., L. F. 1986. Resultados sobre fertilización de
Sorgo de grano en suelos de vega del piedemonte
llanero. En: Revista ICA Vol 21, enero - marzo 1986
Nº1 p 28 - 38. ICA, Bogotá.

34 VIOLIC, A. D. 1989. Labranza convencional y labranza de
conservación: Definición de conceptos. p 5 - 11 En:
CIMMYT-PROCIANDINO. Labranza de Conservación en Maíz.
El Batán, México, 195 p.

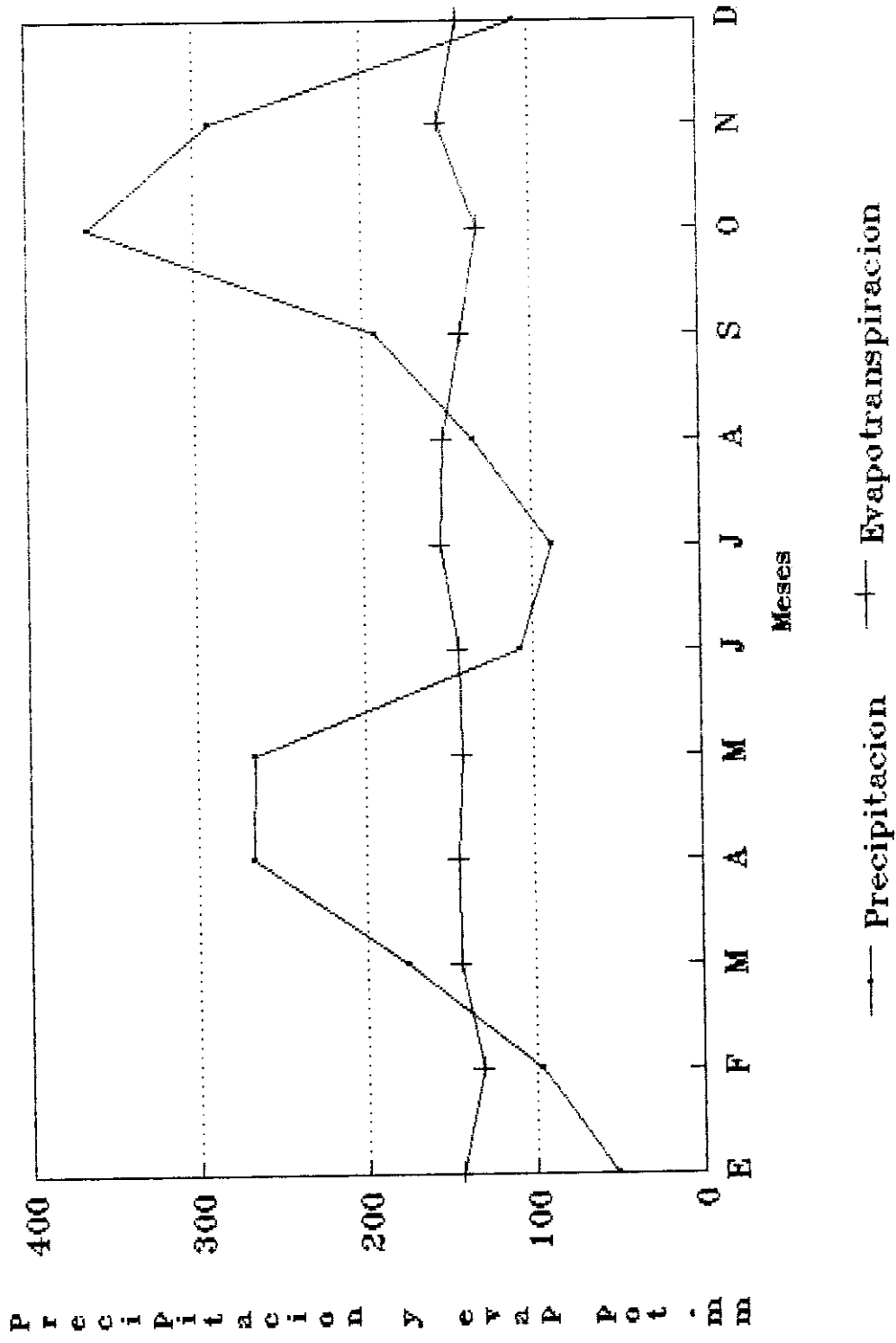
A N E X O S

ANEXO 1. Ubicación geográfica de los experimentos.*

* Tomado de: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
Mapa de Suelos departamento de Caldas, 1988.



Anexo 2. Balance hidrico.*



*Fuente: Lopez y Diaz, 1988