RESPUESTA FISIOLOGICA DE CINCO CULTIVARES DE SOYA *Glycine max* (L.) Merrl. A LA PROFUNDIDAD DE PREPARACION DEL SUELO.

GUSTAVO ADOLFO RAMIREZ CARVAJAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE PALMIRA

1998

RESPUESTA FISIOLOGICA DE CINCO CULTIVARES DE SOYA *Glycine max* (L.) Merril. A LA PROFUNDIDAD DE PREPARACION DEL SUELO.

GUSTAVO ADOLFO RAMIREZ CARVAJAL

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
U. NACIONAL DE COLOMBIA

Trabajo de grado para optar al título de

Ingeniero Agrónomo

Director

GUILLERMO RIVEROS R.

Ingeniero Agrónomo Ph. D.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE PALMIRA

1998

Este trabajo se realizo bajo los siguientes convenios :

- CORPOICA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE PALMIRA

Y la financiación de los siguientes convenios sin cuya ayuda financiera hubiese sido posible terminar este trabajo :

- CORPOICA - COAGRO
- CORPOICA - FOCC (Fondo de Oleaginosas de Ciclo Corto)

"La Facultad y los jurados, no son responsables de las ideas emitidas por él o los autores de la misma"

Artículo 24, Resolución 04 de 1974

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a :

Al Doctor Guillermo Riveros R. I.A. Ph. D.

A la Doctora Nubia Estela Rodríguez. Programa de Ecofisiología Vegetal.

A Edgar Marulanda. Profesor Universidad Nacional de Colombia.

Al personal del Programa de Soya por lo cultivares y la asistencia prestada

Al personal del laboratorio de suelos de CORPOICA .

Al personal de los laboratorios de física y química de suelos de la Universidad Nacional.

Al personal de la Biblioteca de la Universidad Nacional.

A mis amigos Isa, Adriana, Claudia, John, Liliana, Ana Maria y Moises.

A martica por soportarme en estos momentos y por su valiosa colaboración y comprensión.

CONTENIDO

pág.

1. RESUMEN 1

2. SUMARY 4

3. INTRODUCCION 6

4. .REVISION DE LITERATURA 9

4.1 EFECTOS DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE LAS PLANTAS 9

4.2 RESPUESTAS DE LAS PLANTAS AL ESTRÉS HÍDRICO 11

4.3 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LA SOYA 12

4.4 EFECTOS DE LA SEQUÍA EN SOYA 14

4.5 INTERCAMBIO GASEOSO Y FOTOSÍNTESIS 16

4.6 TEMPERATURA FOLIAR 18

4.7 CRECIMIENTO RADICAL Y SEQUÍA 19

4.8 EFECTO DE LA LABRANZA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y EL ALMACENAMIENTO DE AGUA. 23

5. MATERIALES Y MÉTODOS 26

5.1 Localización y duración 26

5.2 Suelos 27

5.3 Material genético 27

5.4 Tratamientos 30

5.5 Diseño experimental 31

5.6 Siembra 31

5.7 Labores culturales 33

5.8 Aplicación del riego 33

5.9 Mediciones realizadas 34

6. RESULTADOS Y DISCUSION 41

6.1 EFECTO DEL PREPARACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO 41

6.1.1 Caraterización físico-química del suelo 41

6.1.2 Densidad aparente 44

6.1.3 Resistencia a la penetración 46

6.2 EFECTO DE LA PREPARACIÓN DEL SUELO SOBRE EL CRECIMIENTO 49

6.2.1 Profundidad de la raíz principal. 49

6.2.2 Número de raíces secundarias por planta 51

6.2.3 Longitud de las raíces secundarias 53

6.2.4 Peso seco de las raíces 55

6.3 CRECIMIENTO DE LA PARTE AÉREA 52

6.3.1 Altura de plantas 57

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

6.3.2 Area foliar 59

6.3.3 Peso seco de las hojas 59

6.3.4 Peso seco total 62

6.4 COMPONENTES DE RENDIMIENTO 65

6.4.1 Plantas por metro cuadrado 65

6.4.2 Número de vainas por planta 67

6.4.3 Granos por planta 67

6.4.4 Indice de semilla 68

6.4.5 Rendimiento 69

6.5 OTROS PARAMETROS FISIOLOGICOS 70

6.5.1 Resistencia estomática 70

6.5.2 Transpiración 72

6.5.3 Temperatura foliar 73

7. CONCLUSIONES 75

8. BIBLIOGRAFIA 77

ANEXOS 82

INDICE DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Propiedades físicas del suelo después del preparación. 42

Tabla 2. Caracterización química del suelo del lote experimental 43

Tabla 3. Efecto de los tratamientos sobre la densidad aparente en tres épocas 45

Tabla 4 Resistencia a la penetración y contenido de humedad en los tratamientos 48.

Tabla 5. Efecto de los tratamientos sobre la profundidad de la raíz principal 50

Tabla 6. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre el número de raíces secundarias 52

Tabla 7. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre la longitud de las raíces secundarias. 54

Tabla 8. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre el peso seco de la raíz 56

Tabla 9. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre la altura. 58

Tabla 10.Efecto de los tratamientos y las variedades sobre el área foliar 60

Tabla 11. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre el peso seco de las hojas. 61

Tabla 12. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre el peso seco total 63

Tabla 13. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre el peso seco de las vainas 64

Tabla 14. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre los componentes de rendimiento 66

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Tabla 15. Efecto de los tratamientos y variedades sobre algunos parámetros fisilógicos 71

INDICE DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Distribución de las parcelas en el campo. 32

1. RESUMEN

Se efectuó una investigación en la estación experimental de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria "CORPOICA", localizado en el municipio de Palmira, departamento del Valle del Cauca, en el primer semestre de 1998 con el fin de evaluar la respuesta fisiológica de cinco cultivares de soya a la profundidad de labranza del suelo. Se utilizaron las variedades de soya Soyica P-33, Soyica P-34,ICA CORPOICA Obando 1, ICA CORPOICA Obando 2 y la línea experimental L-194. Se compararon tres tratamientos de preparación manual - mecánico del suelo hasta 20, 40 y 60 cm de profundidad y un testigo el cual solamente fue preparado mediante laboreo mecánico convencional.

El efecto de los tratamientos sobre el suelo se determinó en términos de las variaciones en densidad aparente, resistencia a la penetración y contenido de humedad. El efecto de los tratamientos sobre las plantas se determinó por las diferencias en crecimiento de raíces y parte aérea, en el rendimiento, la transpiración, la resistencia estomática y la temperatura foliar.

Se tomaron medidas de crecimiento cada 15 días a partir de la segunda semana de la emergencia del cultivo. Las mediciones de transpiración, resistencia estomática y temperatura foliar se realizaron a los 45 y 70 dde. La densidad aparente , la resistencia a la penetración y el contenido de humedad se determinaron en muestras tomadas antes de la siembra y a los 45 y 75 después de la emergencia del cultivo.

Los resultados indican que la preparación manual mecánica reduce la densidad aparente y la resistencia a la penetración y aumenta el contenido de humedad de las capas laboreadas. Estas variaciones causaron diferencias en el crecimiento en profundidad de la raíz principal el cual fue mayor a medida que el laboreo fue mas profundo. Todas las variedades estudiadas presentaron características similares de crecimiento de raíces.

El crecimiento de la parte aérea de las plantas fue similar bajo los distintos tratamientos en todas las variedades aunque a los 60 de edad las plantas del tratamiento de preparación hasta 60 cm presentaron mayor altura que las del testigo. También se produjeron diferencias en altura entre variedades a partir de los 45 días de edad y alcanzando mayor estatura la variedad P33 que Obando 2 y la Linea194.

Se observaron relaciones negativas entre componentes de rendimiento revelando efectos compensatorios para nivelar el rendimiento, así que a un mayor numero de plantas por unidad de área correspondió un numero bajo de vainas por planta. vainas por planta debidas a la variación en el numero de plantas por metro cuadrado. Solo hubo diferencias en peso de semillas entre las variedad. No hubo diferencias de rendimiento debidas a los tratamientos pero los rendimientos de las variedades fueron diferentes superando Obando 1 y L194 a P33 y a P34.

La resistencia estomática fue menor en el tratamiento de preparación hasta 60cm y el de 20 cm. La transpiración fue mayor el las variedades Obando 1 y L194. La temperatura foliar no vario ni entre tratamientos ni entre variedades. Los resultados permiten concluir que el laboreo de del suelo a diferentes profundidades reduce la densidad aparente y la resistencia mecánica a la penetración de las capas intervenidas. La preparación profunda del suelo para los genotipos estudiados no causa aumentos rendimiento debido a la incapacidad de producir raíces profundas y las diferencias en crecimiento radical causados por los tratamientos de preparación del suelo no necesariamente se traducen en diferencias en crecimiento de la parte aérea.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

2.SUMMARY

An experiment was conducted in the fields of the Palmira CORPOICA Research Center in the Cauca Valley, during the first semmester of 1998.The purpose of this piece of research was to determine the physiological responses of five Soybeans cultivars to soil preparation depths to 20, 40 and 60 cm compared to control plots under conventional tillage.

The effect of the treatments on soil properties was measured by : the differences in bulk density , penetrability and moisture content. The effect on the plants was determined by the variations in growth of roots and shoots , in yield and in transpiration rate, stomatal resistance and leaf temperature.

The results show that all of the soil preparation treatments reduce bulk density, and penetration resistance and also cause increase of water content after irrigation of the tilled layers . These differenses caused variations in depth of the main root .There were no differences in root growth among varieties.

Shoot growth was not different under any treatment untl 60 days of age of the plants when plants in the plots tilled to 60 cm were taller only than plants of the control plots. Height fifferences among varieties were evident starting at 45 days of age. Variety P33 was taller than Obando 2 and L 194.

Negative relations among yield components were evident due to compensatory effects to maintain equal yield under the different soil treatments. The production of a lower number of pods per plant when the number of plants per square meter was high was the more notorioius. Differences in one houndred seed weight were evident only among varieties. There were no yield differences due to treatments but yields of varieties Obando 1 and L 194 were higher than those of P33 and P34.

Stomatal resistance was lower in plants of the plots tilled to 60 cm than in plantas of the 20 cm plots. Transpiration was higher for varieties Obando 1 and L 194 . Leaf temperature differences due to treatments or varieties were not detected.

It is concluded that tillage improves soil physical conditions to favor root groth but the varieties studied do not have the capacity to respond accordingly.

RÈSPUESTA FISIOLOGICA DE CINCO CULTIVARES DE SOYA *Glycine max* (L.) Merrl. A LA PROFUNDIDAD DE PREPARACION DEL SUELO.*

Por :

GUSTAVO ADOLFO RAMÍREZ CARVAJAL

3. INTRODUCCION

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

Una gran proporción de las tierras agrícolas dependen de la lluvia para el suministro hídrico a los cultivos. En lugares y épocas en que las lluvias son escasas y mal distribuidas, se presentan periodos en que el suministro de agua es inferior a la demanda de los cultivos, limitando el crecimiento y la productividad de los mismos.

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha buscado la forma de minimizar o contrarrestar los efecto negativos de las deficiencias de agua sobre la producción de alimentos, para lo cual ha recurrido principalmente al desarrollo de los sistemas de riego.

---

* Trabajo de grado, presentado como requisito parcial para optar al título de INGENIERO AGRÓNOMO, bajo la dirección del doctor Guillermo Riveros Ph.D.

Las pérdidas causadas por la irregularidad de las lluvias son difíciles de cuantificar, pero generalmente varían entre reducciones ligeras de los rendimientos hasta pérdida total de los mismos.

En el cultivo de la soya, son múltiples los estudios que sobre el tema se han realizado, llegando en la mayoría de ellos a la conclusión que uno de los mayores obstáculos para la obtención de altos rendimientos son los déficits hídricos, principalmente cuando estos se presentan durante el llenado de las vainas.

Una de las alternativas para disminuir los riesgos ocasionados por la agricultura de secano, consiste en desarrollar estrategias que permitan una mejor captación y utilización del agua por los cultivos. Lo cual se puede lograr seleccionando cultivares que tengan la capacidad genética de explorar un mayor volumen de suelo, y así captar más agua, siempre y cuando las condiciones físicas y químicas del suelo permitan este desarrollo.

Las características físicas de los suelos afectan la capacidad de almacenamiento de agua y el crecimiento de las raíces de los cultivos, condiciones que favorecen la absorción de agua y reducen los riesgos de las deficiencias de humedad.

El presente trabajo se planteó los siguientes objetivos :

- Establecer el efecto del laboreo mecánico y manual del suelo sobre la densidad aparente y la resistencia a la penetración del suelo.

- Determinar el efecto de diferentes profundidades de preparación del suelo sobre el crecimiento, desarrollo, y componentes de rendimiento de cinco cultivares de soya.

- Determinar la resistencia estomática, transpiración y temperatura foliar de los cultivares de soya.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 EFECTOS DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE LAS PLANTAS

Los problemas de escasez de agua y de mantenimiento de la turgencia son universales a las plantas terrestres, y por lo general estas crecen en ambientes donde experimentan deficiencias de agua en algún estado del ciclo de vida. Para crecer y reproducirse exitosamente en cualquier ambiente incluyendo los húmedos, las plantas deben ser capaces de sobrellevar o soportar periodos de deficiencia de agua de duración muy variable. La evolución en diferentes regímenes hídricos ha dado lugar a que las plantas adquieran características morfológicas, fisiológicas y de los ciclos de vida para acomodarse a diferentes periodos de déficits hídricos (Fitter y Hay, 1987).

La asimilación de CO_2 está inevitablemente asociada con la pérdida de agua a la atmósfera a través de los estomas abiertos, pero a medida que el potencial hídrico disminuye, la disponibilidad de agua se reduce, y los estomas se cierran. Es por esto que las plantas se enfrentan al dilema ya que si los estomas están completamente abiertos para dificultar lo menos posible la incorporación de CO_2 para la

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

fotosíntesis, entonces aumenta indefectiblemente la transpiración y con ella el peligro de desecación de la planta. Si esta cierra los estomas para evitar este peligro, entonces bloquea la incorporación de CO_2 y con ello la fotosíntesis (Lütge et al, 1993).

El efecto más importante de, incluso, un estrés suave, es la reducción del crecimiento, siendo la expansión celular especialmente sensible a los déficits hídricos (Devlin, 1982; Azcon-Bieto y Talon, 1993 ; Salisbury y Ross, 1993; Andrade y Gargiol, 1994; FAO, 1995). Sin embargo también se presenta una disminución en la tasa transpiratoria, acompañado de una disminución en la absorción de CO_2 y, por lo tanto, de la fotosíntesis.

Entre los cambios característicos ocasionados por el escaso suministro de agua se destaca el incremento de las reacciones degradativas, disminución en la síntesis de proteínas, aumento en la concentración de aminoácidos libres, principalmente prolina, disminución de grupos -SH en los tejidos, incremento en la actividad peroxidasa e incremento en los niveles de ácido abscísico (Azcon-Bieto y Talon, 1993; Salisbury y Ross, 1993).

4.2 RESPUESTAS DE LAS PLANTAS AL ESTRÉS HÍDRICO

Ante condiciones de deficiencia de agua las plantas exhiben dos mecanismos de resistencia: evitarla o tolerarla. Los mecanismos que evitan la sequía tienen mayor importancia práctica que los de tolerancia. Una de las formas de evitar la sequía es reducir la transpiración o hacer disponible una mayor cantidad del agua almacenada en el suelo mediante la producción de sistemas de raíces profundos y profusos. Este último mecanismo puede ser explotado en la producción agrícola mediante prácticas de manejo del suelo que faciliten el almacenamiento de agua y el crecimiento de las raíces.

Las plantas que padecen sequía pueden presentar dos respuestas básicas para mejorar el balance hídrico : un cambio en el patrón de distribución de los metabolitos para favorecer un mayor crecimiento de la raíz y explorar mayormente los suministros de agua del suelo, limitando la expansión foliar y la transpiración; y un ajuste en la apertura de los estomas para reducir las pérdidas de agua debidas a la transpiración (FAO, 1995).

La conservación del agua está asociada con una disminución de la tasa transpiratoria y se acompaña siempre de la disminución de la absorción de CO_2, y por lo tanto de la fotosíntesis. Razón por la cual se afirma que la capacidad de sobrevivir a déficits

hídricos mediante mecanismos de conservación de agua y tolerancia a la sequía del protoplasma, suelen estar negativamente relacionados con la productividad.

Otras plantas también pueden escapar a la sequía manteniendo la absorción de agua, mediante el desarrollo de sistemas radicales profundos y extensos que pueden obtener agua de un volumen muy grande de suelo o de una capa freática profunda. Frecuentemente estas plantas no poseen adaptaciones especiales que reduzcan la pérdida de agua, por lo que han sido denominadas derrochadoras de agua (Salisbury y Ross, 1993).

A medida que el suelo pierde humedad, el potencial hídrico se hace más negativo, las plantas disminuyen su potencial hídrico con el fin de mantener el gradiente de potencial necesario para la absorción de agua. Teoricamente esto puede ocurrir de dos maneras: disminuyendo el potencial osmótico (por acumulación de solutos) o disminuyendo la turgencia mediante simple deshidratación (Devlin, 1982).

4.3 REQUERIMIENOS HÍDRICOS DE LA SOYA

Investigaciones en el centro de investigaciones ICA Palmira, se encontró que los requerimientos hídricos para una buena cosecha son de 470 mm y que el

agotamiento del agua aprovechable del suelo no debe ser mayor al 50% (Agudelo, 1982).

Se estima que una tercera parte del agua requerida por la soya es usado para el crecimiento vegetativo y por lo tanto el 70% restante sería usado en los estados posteriores, correspondiendo un gasto de aproximadamente 43% al periodo de llenado de vainas (Dharmasena, 1983; FAO, 1995).

En experimentos realizados sobre la evapotranspiración y los requerimientos hídricos en soya (variedad Valluna-5), se encontró que el mayor rendimiento se obtuvo para el 30% de agotamiento de agua aprovechable (AAA) del suelo, con 3518 kg/ha, y el menor para el 70% de AAA del suelo con 3054 kg/ha. Un criterio de riego del 70% de AAA es recomendable siempre y cuando la cantidad de agua total a aplicar (Riego+Lluvia) sea por lo menos 340 mm para los primeros 100 días del ciclo de desarrollo del cultivo. Cuando la soya es sembrada en un suelo sin restricciones edáficas, al aumentar el porcentaje de agotamiento del agua aprovechable disminuye la evapotranspiración real, variando entre 375, 359 y 336 mm para porcentajes de agotamiento de agua aprovechable de 30, 50 y 70% respectivamente (Montealegre, 1994).

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

4.4 EFECTOS DE LA SEQUÍA EN SOYA

El agua es el principal factor que afecta la productividad de la soya en el tiempo y en el espacio. El uso del agua por esta planta varia con las condiciones climáticas, prácticas de manejo y con el ciclo de vida del cultivar.

Para este cultivo generalmente se acepta que los déficits hídricos que se presentan durante el periodo de llenado de las vainas son los que más afectan la producción ya que en esta etapa al igual que durante la germinación, es cuando se presenta el máximo requerimiento de agua por el cultivo (Hinson y Hartwing, 1978 ; Laohasiriwong, 1983 ; Dharmasena, 1983 ; Kadhem y Specht, 1985).

Por lo general las deficiencias hídricas que se presentan al inicio de las etapas reproductivas en el cultivo de la soya ocasionan disminución en la altura, rendimiento, producción de materia seca, en el área foliar y en la eficiencia de conversión de la radiación fotosintéticamente activa, aceleración en la sennescencia de hojas (Cortés, 1986) ; se incrementa el aborto de estructuras reproductivas. Este último efecto es al menos parcialmente compensado por la producción de más semillas por vainas y más pesadas, una vez aliviado el estrés (Andrade y Gargiol, 1994). Por lo que el número de granos por vaina y el peso de 100 semillas son los componentes menos afectados por la frecuencia de riego (Forero, 1993). Sin

embargo para Heatherly (1996) el estrés hídrico que se presenta en la etapa del desarrollo seminal reduce significativamente la producción de semilla, lo que está relacionado a una disminución en el número de semillas producidas y a una reducción del peso por semilla.

El estrés hídrico en la soya se manifiesta inicialmente por el marchitamiento de las hojas durante el día, adicionalmente hay detención del crecimiento y la expansión celular debido a disminuciones en el potencial hídrico, cierre estomático y reducción de la fotosíntesis (Hinson y Hartwing, 1978).

En cuanto a los efectos del estrés hídrico a escala celular en soya, se tiene que hay una disminución rápida en los contenidos de azúcares insolubles, y un aumento de los azúcares solubles a medida que el potencial hídrico de las hojas disminuye, se presenta un cese del crecimiento, leves incrementos del nitrógeno total principalmente en tallos y raíces, hay pérdidas de algunas proteínas, disminuye la absorción de nitratos, cesa el flujo de nitrógeno hacia dentro de las hojas, se incrementan los contenidos de prolina ocasionado por una disminución en la tasa de su degradación y por una superproducción del aminoácido (Yamada y Fukutoku, 1983).

Las tasas de fijación simbiótica de N_2 son extremadamente sensibles a la deshidratación del suelo en plantas de soya creciendo en condiciones de campo. En efecto tales tasas son más sensibles a la deshidratación del suelo que otros parámetros fisiológicos como fotosíntesis, intercambio gaseoso, o asimilación de NO3 (Serraj y Sinclair, 1996).

4.5 INTERCAMBIO GASEOSO Y FOTOSÍNTESIS

En estudios realizados sobre respuestas fisiológicas de los cultivares de soya "Ruse" y "Bragg" se encontró que a medida que disminuye el contenido de agua del suelo no se observa ningún efecto sobre los procesos fisiológicos, hasta que la combinación de la demanda atmosférica y la reducción del agua del suelo disminuyeron el potencial hídrico de las hojas por debajo de −1.5 MPa. A estos valores la conductancia estomática disminuyó inhibiendo el intercambio gaseoso, la fotosíntesis y la acumulación de almidones, lo que sugiere que en soya, la inhibición inicial de la fotosíntesis por el desarrollo de déficits hídricos se deriva del cierre estomático y no de una resistencia interna al intercambio de CO_2 (Turner et al., 1978).

De otro lado, los cultivares de soya "Wilkin" y "SRF 150", mostraron una disminución comparativa en la tasa de intercambio de carbono a medida que el

estrés hídrico progresaba. Sin embargo este estrés en soya ocasionó el cierre parcial y no completo de los estomas, y a pesar que las hojas estaban visiblemente marchitas, estas seguían presentando una tasa positiva de intercambio de carbono. Adicionalmente a la reducción diaria en la tasa de intercambio de carbono, por el estrés hídrico durante el llenado de grano también se redujo el periodo fotosintético de cinco a diez días (Cortés y Sinclair, 1986)

Entre los efectos fisiológicos de la deficiencia de humedad en este cultivo, se ha encontrado que la tasa fotosintética, la tasa de transpiración y la conductancia estomática, no presentan diferencias entre plantas sin estrés y con estrés hídrico. Este comportamiento puede estar relacionado con el hecho que la soya no sea una especie adaptada a soportar la sequía continuando con su metabolismo normalmente sin hacer un uso eficiente del agua; así que su tasa de fotosíntesis se mantiene constante y se inhibe mucho más tarde que en otras especies bajo estrés hídrico. Por lo que finalmente se concluye que la soya no posee mecanismos eficientes de defensa que le permitan soportar un déficit hídrico prolongado (Cayón, 1996).

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Plantas de soya en ambientes con elevada concentración de CO_2 tanto en condiciones de buen suministro de agua como en aquellas con suministro deficiente presentaron mayores tasas fotosintéticas y menores tasas transpiratorias que los testigos que crecieron a niveles corrientes de CO_2 . De lo que se concluye que la

conductancia de las hojas está gobernada por las tasas de asimilación de CO_2 tanto en condiciones de estrés hídrico, como en las de buen suministro de agua (Allen,1994).

4.6 TEMPERATURA FOLIAR

La transpiración es un proceso, que le permite a la hoja regular su temperatura mediante el uso de la energía en la evaporación del agua o sea en la adquisición de una velocidad elevada para abandonar la masa del líquido. La transpiración de un kilogramo de agua consume entre 2.4 a 2.5 MJ de la energía del ambiente y de las hojas (Salisbury y Ross, 1993).

Mediciones de la temperatura de la parte aérea de plantas de soya revelan que esta se incrementa de 25 a 39.5° C, entre el amanecer y el medio día en lotes no-regados y entre 25 y 32.8°C en lotes regados, o sea 6.7°C menos que en lo lotes no-regados. El incremento de la temperatura en los lotes no regados fue resultado del estrés hídrico de la planta que ocasionó un cierre estomático parcial, limitando de esta forma la transpiración, lo que finalmente ocasionó un incremento en el calor sensible (Reicosky y Deaton, 1979; Allen, 1994).

4.7 CRECIMIENTO RADICAL Y SEQUÍA

La raíz principal en plantas de soya puede alcanzar una profundidad de hasta dos metros, sin embargo esta por lo general no se extiende más abajo de la capa arada, esto se debe a que las plantas de soya se han caracterizado por tener raíces principales relativamente débiles que dificilmente superan resistencias del suelo . Aunque las raíces secundarias como sus ramificaciones pueden crecer a tanta o mayor profundidad que la raíz principal, por lo general la mayoría de las raíces en este cultivo solo ocupan los primeros 15 a 20 cm del suelo (Agudelo y Riveros, 1994; FAO, 1995). De esta manera solo pueden utilizar efectivamente el agua presente en esta capa la cual es agotada rápidamente y debe ser reemplazada frecuentemente para evitar deficiencias. Si las raíces son más profundas mayor volumen de suelo y de agua permite tolerar lluvias más espaciadas o periodos secos más largos.

Los suelos pueden presentar restricciones que disminuyen la disponibilidad de humedad del suelo y el crecimiento de la raíz, como lo son suelos muy superficiales y horizontes compactados. En el caso de suelos compactados, se ha encontrado que es más crítico para el crecimiento radical la resistencia a la penetración que el abastecimiento de oxígeno (Gavande, 1972; White y Castillo, 1989; Santamaría, 1993).

En estudios realizados con la variedad de soya Valluna-5, se ha encontrado que la compactación actúa como una barrera que impide el normal desarrollo y extensión de los sistemas radicales, igualmente se restringe el paso del agua ocasionando condiciones de exceso de humedad y pérdida de agua por escorrentía (Santamaría, 1993; Montealegre, 1994). Sin embargo en algunos casos aunque el desarrollo radical disminuya y se concentre arriba de la capa compactada, la producción puede seguir siendo normal ya que no se presentan limitaciones por agua o nutrientes (Nogueira y Manfredini, 1983).

Cuando la raíz presenta un desarrollo libre, se duplica la longitud radical, la planta puede absorber agua y nutrientes de un espacio 8 veces más grande del que consigue con la mitad de la misma. Consecuentemente, recibe 8 veces más agua y nutrientes. Por lo tanto, cualquier barrera que impida el libre desarrollo radical representa un impedimento a todo el desarrollo vegetal (Primavesi, 1984).

El crecimiento radical en soya es muy influenciado por el tipo de preparación del suelo, razón por la cual este debe ser manejado para superar las restricciones de la profundidad efectiva causada por la baja porosidad y permeabilidad y la cantidad limitada de agua disponible almacenada. En estudios realizados sobre efectos de la profundidad de labranza sobre el crecimiento de las raíces, se ha encontrado que a medida que se tiene una preparación más profunda se obtiene una mayor longitud

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

de raíz y por consiguiente una buena penetración de raíces (González, 1985 y González y Terreros, 1986). En condiciones de no-labranza las raíces tienden e extenderse lateralmente y a concentrarse en los primeros 10 cm, debido posiblemente a que a esta profundidad hay mayor contenido de humedad en el tratamiento de no-labranza (González, 1985).

El agua del subsuelo parece más importante para la planta que la superficial, razón por la cual el crecimiento de la raíz en profundidad es más significativo que el crecimiento lateral, que es el que predomina cuando el suelo es laboreado superficialmente. La selección de genotipos con capacidad de desarrollar sistemas de raíces profundos, por proporcionar un mecanismo para evitar sequía son de interés por mejorar el uso del agua y la tolerancia a bajas precipitaciones (Agudelo, 1982).

La exploración del perfil del suelo por las raíces permite posponer los efectos de la sequía sobre el crecimiento de los cultivos, ya que a medida que se incrementan la profundidad, el grosor y la ramificación del sistema radical disminuye la tensión hídrica, ya que la planta puede obtener agua de un volumen muy grande de suelo. En cultivos de soya y maíz sometidos a déficits hídricos se ha observado una mayor velocidad de exploración de estratos en profundidad, en comparación con testigos regados (Quizemberry, 1987; Andrade y Gargiol, 1994).

Se han encontrado marcadas diferencias en las tasas de extensión radical en profundidad entre 29 cultivares de soya, además se ha demostrado que especialmente durante los años secos hay un sustancial crecimiento radical en profundidad, el cual ocurre durante el llenado de vainas. Algunas veces, pero no siempre el mayor crecimiento radical resulta en la mayo extracción de agua a mayor profundidad (Taylor, 1980).

Pequeñas diferencias en la producción entre plantas de soya regadas y no regadas aparentemente se deben a que estas últimas extraen agua del subsuelo hasta 153 cm de profundidad. La extracción de agua a esta profundidad permite a las plantas suplir parcialmente la demanda transpiratoria (Reicosky y Deaton, 1979).

El primer mecanismo de escape a la sequía en algunas variedades de soya es el desarrollo de un sistema radical fibroso y abundante el cual es capaz de extraer más eficientemente la humedad del suelo, prolongando el suministro de agua a la planta en condiciones estresantes. Sin embargo esta es una buena estrategia para una sequía intermitente o de corta duración, y tal estrategia no es efectiva bajo una sequía de larga duración, en la cual la humedad del suelo podría ser completamente reducida resultando en la muerte temprana de la planta (Sloane et al., 1990)

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Otras investigaciones sobre tolerancia a sequía en soya y fríjol encontraron que los aplazamientos en la deshidratación se deben a un mayor crecimiento de las raíces lo cual aumenta la capacidad de extraer humedad del suelo. Sin embargo su utilidad se limita a situaciones a que las condiciones del suelo puedan restringir el crecimiento de las raíces (Cortés y Sinclair, 1985 ; Sponchiado, 1988 ; White y Castillo, 1989).

Aunque la evidencia de un ajuste osmótico ha sido encontrada en varias especies, las observaciones de los contenidos de carbohidratos solubles y potasio cambian muy poco con la disminución del agua en el suelo, lo que sugiere que en la soya no hay un ajuste osmótico (Turner et al., 1978).

4.8 EFECTO DE LA LABRANZA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y EL ALMACENAMIENTO DE AGUA.

La labranza definida como la manipulación mecánica del suelo para mejorar las condiciones que afectan la productividad de los cultivos, al cambiar la distribución de tamaño de los poros, puede causar efectos benéficos o perjudiciales, dependiendo del tipo de implemento utilizado y de su intensidad de uso (Amézquita, 1991).

González y Terreros (1986) y Meneses (1988) en suelos arcillosos de Palmira comparando la labranza convencional, mínima y cero, encontraron que el sistema de

labranza más profundo presentó la menor densidad aparente, logrando de esta forma una mejor aireación, infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. El porcentaje de agua aprovechable no se vio modificado sustancialmente por el efecto de los sistemas de labranza.

Los mismos autores en cuanto al contenido de humedad en el suelo encontraron que la capa más superficial (0-20cm) de no labranza presentó los mayores valores, debido a la cobertura vegetal permanente y la labranza convencional los menores ; en la capa de 20 a 40cm, sucedió todo lo contrario, pues la labranza convencional permitió una mejor infiltración del agua.

La labranza profunda separa los terrones interconetados en forma natural y les da un nuevo arreglo aumentándose el porcentaje de poros y la superficie específica del suelo, de esta manera se puede aprovechar mas la precipitación y se aumenta el agua aprovechable en el suelo.

Herrera et al (1991) en suelos arcillosos del Centro Agropecuario de Buga, evaluando el efecto de la labranza somera (20cm) y profunda (30cm) encontró una tendencia general al incremento de la capacidad de campo en todos los tratamientos después de su aplicación, en comparación con la condición inicial del suelo antes de tratamientos, experimentando una ligera reducción hacia el final del cultivo, como

resultado de la compactación natural del suelo. La densidad aparente, porosidad total, infiltración y conductividad hidráulica no presentaron ninguna tendencia clara.

Las labores de labranza del suelo resultan en un gran incremento de la porosidad y de la capacidad de almacenamiento de agua. Por ejemplo una capa de suelo de 17.78 cm de grosor antes de la arada puede almacenar una lámina de tan solo 8.38 cm, mientras que después de la arada esta misma capa puede almacenar temporalmente 15.5 cm de agua y la porosidad total se incrementó de 47 a 62% (Pierre et al., 1965).

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
ICA COLOMBIA

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización y duración

El presente trabajo se realizó entre Marzo y Julio de 1998, en el lote número 12 del centro de investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria "CORPOICA", localizado en el municipio de Palmira, departamento del Valle del Cauca, a una latitud norte de 3° 31'' y una longitud oeste de 76° 19''.

Las principales características climáticas* del sitio donde se realizó el experimento son:

Temperatura promedio : 24° C.

Brillo solar: 5.8 horas/día.

Precipitación promedio anual: 1014 mm/año.

Humedad relativa : 75%.

Clasificación climática según Holdrige: Bosque tropical seco.

---

* Datos tomados de la estación meteorológica de CORPOICA, Palmira. 1998

La zona presenta un clima que corresponde a una distribución bimodal, la cual se caracteriza por dos periodos secos (junio-julio-agosto y diciembre-enero-febrero) y dos periodos lluviosos (marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre).

5.2 Suelos

Los suelos del sitio experimental pertenecen al orden vertisol, al subgrupo Typic Pelluster y a la serie Galpón de texturas franco-arcillosas, que son de buena fertilidad (Rivillas e Ibarra, 1975).

5.3 Material genético

Se evaluaron las variedades comerciales: Soyica P-33, P34, ICA CORPOICA Obando 1, ICA CORPOICA Obando 2 y la línea experimental L-194. Las principales características de estas variedades son :

P33

Rango de adaptación : 800-1200 msnm.

Rendimiento comercial : 2900 kg ha^{-1}.

Periodo vegetativo : 108 $\pm$ 5 días.

Peso de 100 semillas : 17.5 $\pm$ 1.5 g.

Posee crecimiento indeterminado, y un promedio de cuatro ramas por planta, altura de planta en el momento de la cosecha 70 $\pm$ 15 cm, pubescencia de color blanco, flores blancas, hojas verde oscuro y alargadas y un tamaño promedio de vainas de 4.5 cm.

P34

Rango de adaptación : 800-1200 msnm.

Rendimiento comercial : 2600 kg ha^{-1}.

Periodo vegetativo : 100 $\pm$ 10 días.

Peso de 100 semillas : 19 g.

Posee crecimiento indeterminado, altura de la planta en el momento de la cosecha 80-110 cm ; pubescencia de color café y flores de color blanco, las hojas son de color verde y alargadas, el tamaño promedio de las vainas es de 4.5 cm, con 2 ó 3 semillas por vaina.

Obando 1

Rango de adaptación : 800-1200 msnm.

Rendimiento comercial : 2983 kg ha^{-1}.

Periodo vegetativo : 110 días.

Peso de 100 semillas : 17.5 $\pm$ 1 g.

Presenta un hábito de crecimiento indeterminado, con una altura de planta a cosecha de 90 $\pm$ 10 cm la hoja de forma oblonga es de color verde claro. Las flores de color blanco y la pubescencia de color café. El número promedio de vainas por planta es de 56.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Obando 2

Rango de adaptación : 800-1200 msnm.

Rendimiento comercial : 2922 kg ha^{-1}.

Periodo vegetativo : 110 días.

Peso de 100 semillas : 15.5 $\pm$ 1 g.

Presenta un hábito de crecimiento determinado, con una altura de planta a cosecha de 75 $\pm$ 10 cm. La hoja de forma oblonga es de color verde oscuro. Las flores de

color morado y la pubescencia de color café. El número promedio de vainas por planta es de 64.

5.4 Tratamientos

Los tratamientos consistieron en tres profundidades 20, 40 y 60 cm de preparación del suelo manual mecánico y un testigo acondicionado solo mecánicamente. Inicialmente se realizó un preparación mecánico de todo el lote consistente en un pase de arado de discos, una rastrillada y una pulida. En el preparación manual se procedió a excavar separadamente capas de 20 cm de grosor las cuales fueron volteadas y desmenuzadas con pico y pala y posteriormente colocadas en el mismo orden original.

Testigo : Suelo preparado convencionalmente, o sea una arada con arado de discos, una rastrillada y una pulida.

Tratamiento 1 : Suelo preparado manualmente hasta una profundidad de 20cm.

Tratamiento 2 : Suelo preparado manualmente hasta una profundidad de 40cm.

Tratamiento 3 : Suelo preparado manualmente hasta una profundidad de 60cm.

5.5 Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental de parcelas divididas con tres replicaciones, donde las parcelas principales corresponden a tres profundidades de preparación del suelo manual mecánico 20, 40 y 60 cm y al testigo. Las subparcelas corresponden a las variedades y a la línea experimental. El área de las parcelas principales fue de 40 m^2 (10m x 4m) y la de las subparcelas de 8 m^2 (2m x 4m).

La separación entre las parcelas principales de una misma replicación fue de 2 m, y de 3 m entre replicaciones. Figura 1.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

5.6.Siembra

Después de efectuado la preparación del suelo se realizó la siembra manualmente, con una distancia de 0.05m entre plantas y 0.5m entre surcos, para obtener una población de 400.000 plantas por hectárea. Las semillas fueron depositadas en el fondo de los surcos a una profundidad aproximada de 3 cm.

BLOQUE I

0-60cm				
P34	P33	Ob 1	L 194	Ob 2
0-40cm				
L 194	Ob 2	Ob 1	P33	P34
Testigo				
Ob2	L 194	Ob 1	P34	P33
0-20 cm				
Ob 1	L 194	P34	Ob 2	P33

BLOQUE II

Testigo				
Ob 1	P34	L194	P33	Ob 2
0-20 cm				
L 194	Ob 2	P33	P34	Ob 1
0-60 cm				
P34	Ob 1	L 194	Ob 2	P33
0-40 cm				
P34	L 194	P33	Ob 1	Ob 2

BLOQUE III

0-40 cm				
Ob 2	Ob 1	P33	L 194	P34
Testigo				
P34	L194	**Ob 2**	P33	Ob 1
0-20 cm				
Ob 2	Ob 1	P33	P34	L 194
0-60 cm				
L 194	Ob 2	Ob 1	P34	P33

Figura 1. Distribución de las parcelas en el campo

5.7 Labores culturales

Inicialmente se realizó una aplicación del herbicida Sencor (Metribuzina) a razón de 0.5 kg de ingrediente activo por hectárea, después de la siembra y antes de la emergencia. Posteriormente se realizaron dos desyerbas manuales, la primera al mes y medio y otra a los dos meses y medio después de la germinación.

5.8 Aplicación del riego

El riego se hizo por aspersión, con un sistema fijo de tres laterales con una separación entre si de 20 metros y de 10 metros entre aspersores, buscando que el riego fuera uniforme.

En el riego de germinación el suelo se llevó hasta capacidad de campo. Se planeó regar cuando se alcanzara un nivel de agotamiento del 70% del agua aprovechable en el suelo a una profundidad entre 20 y 40 cm, en los tratamientos donde se preparó el suelo hasta los 60 cm. Sin embargo por la cantidad de lluvias presentadas durante el ensayo no fue necesario el suministro del riego (Anexo 1).

El equipo de riego por aspersión está, conformado por una bomba centrífuga Hidromac No. 862830 Tipo HC20, accionada por un motor diesel Lister modelo

HRN2 2.75 de cuatro tiempos, tubería principal de PVC de 75 mm de diámetro, y aspersores Rain-bird serie 30 con boquillas 3/16''*1/8'' a una presión de 413.7 KPa, elevadores de 60cm de altura y 2.5 cm de diámetro en tubería de PVC.

5. 9 Mediciones realizadas

5.9.1 Caracterización físico-química del suelo

Para la caracterización física del suelo a las diferentes profundidades se determinó : la densidad aparente por el método del núcleo ; la densidad real, por el método del picnómetro ; la porosidad, estimada indirectamente a partir de los valores de la densidad real y la aparente ; la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente utilizando las ollas y platos de presión y la textura por el método de Bouyoucos, siguiendo la metodología propuesta por Madriñan, (1997).

5.9.1.1 Densidad aparente

Se realizaron tres determinaciones de la densidad aparente en el transcurso del ensayo, antes de la siembra,y a los 45 y 75 días después de la emergencia. Al igual que las otras determinaciones físicas de suelos, se tomaron las muestras a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60cm, para cada tratamiento y el testigo, siendo

el sitio de muestro un punto seleccionado aleatoriamente. Para la toma de las muestras se uso un barreno de núcleo, con cilindros de 3cm de altura por 5.6cm de diámetro.

5.9.1.2 Penetrabilidad

Se usó un penetrómetro de cono marca LAR, el cual consta de un cilindro hidráulico en acero CR SAE 1025, diámetro interior de 25.4 mm y espesor de la pared del 1.4 mm, cono de 12.83 mm, 30 grados según norma ASAE S313.1construido en acero plata y con tratamiento térmico.

Las mediciones se efectuaron al igual que para la densidad aparente antes de la siembra y a los 45 y 75 días después de la emergencia, a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm para cada tratamiento, siendo el sitio de muestreo un punto seleccionado aleatoriamente. Paralelamente a las determinaciones de la penetrabilidad se determinó el contenido de humedad del suelo al momento del muestreo, dado el marcado efecto de la humedad del suelo sobre la resistencia a la penetración.

5.9.2 Caracterización químicas del suelo

Se tomaron muestras de aproximadamente 1 kg en todas las parcelas principales, a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm , posteriormente se mezclaron todas las muestras de las diferentes parcelas principales correspondientes a una misma profundidad , y se tomó una muestra de aproximadamente 1 kg a la cual se le realizó la caracterización química, obteniéndose en total tres análisis para todo el lote, uno para cada profundidad.

5.9.3 Crecimiento de la parte aérea y radical

Se realizaron seis muestreos a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días después de la emergencia, midiendo: altura de la planta, profundidad de la raíz principal, número y longitud de raíces secundarias, área foliar, peso seco de las hojas, peso seco del tallo, peso seco de la raíz, peso seco de las vainas, peso seco total. En cada subparcela fueron muestreadas dos plantas, a las cuales se les midió cada uno de los anteriores parámetros y los datos consignados fueron resultado de promediar los datos de ambas plantas.

5.9.3.1 Longitud de la raíz principal

La raíz fue sacada del suelo usando un barretón, tratando al máximo de obtener toda su longitud, luego fue lavada cuidadosamente a fin de evitar pérdidas de las raicillas. La profundidad se midió en centímetros, desde el cuello hasta el extremo de la raíz principal.

5.9.3.2 Longitud y número de raíces secundarias

Esta medición se realizó desprendiendo todas las raíces secundarias, o sea aquellas que se derivan de la raíz principal. Posteriormente estas fueron contadas y se determinó la suma de las longitudes en centímetros de todas las raíces secundarias.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

5.9.3.3 Altura de plantas

Los datos se obtuvieron midiendo la altura de las plantas desde la superficie del suelo hasta la yema apical.

5.9.3.4 Área foliar

Se utilizó un medidor de área LI-3050A marca LI-COR, en el cual las hojas frescas son ubicadas en una banda transparente giratoria, permitiendo que pasen a través del dispositivo sensor. El área acumulada es mostrada en el aparato a medida que las muestras pasan a través de la cabeza registradora.

5.9.3.5 Peso seco

Se determinó el peso seco de las hojas, del tallo, de las raíces y de las vainas, el peso seco total se obtuvo de la suma de todos los pesos anteriores. Las muestras frescas fueron llevadas a la estufa a 70°C durante tres días. Una vez secas las muestras se determinó su peso en gramos.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

5.9.3.6 Componentes de rendimiento

Al terminar el ensayo cuando las plantas alcanzaron la madurez de cosecha se cosecharon dos surcos de cada subparcela, y se determinó el contenido de humedad del grano, número de granos y de vainas por planta, el peso de 100 semillas y el número de plantas por metro cuadrado. El rendimiento expresado en kg ha^{-1}, se

corrigió por humedad y se estandarizó a un valor del 12% utilizando la siguiente fórmula :

$$\text{Rend (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Rend (kg)} \times \frac{(100 - \text{C.H.M})}{(100 - \text{C.H.R})} \times \frac{10.000\ \text{m}^2}{\text{ha}} \times \frac{1}{\text{A.C}}.$$

C.H.M: Contenido de humedad de la muestra.

C.H.R : Contenido de humedad requerido.

A.C : Área cosechada.

5.9.3.7 Otras determinaciones fisiológicas

En el presente estudio se realizaron determinaciones de transpiración, resistencia estomática y temperatura foliar bajo condiciones de campo, en etapas avanzadas de desarrollo cuando las plantas presentaban valores altos de área foliar.

Las mediciones se realizaron en el momento en que las plantas empezaran a mostrar síntomas de estrés, como consecuencia del agotamiento del agua disponible en el suelo, y con el objetivo de determinar diferencias en estos parámetros entre variedades y entre tratamientos. Como las precipitaciones fueron abundantes, solo hubo dos momentos durante el ciclo de cultivo donde el contenido de humedad del

suelo fue bajo, a los 45 y a los 60 días después de la emergencia, razón por la cual solo se hicieron las determinaciones del intercambio gaseoso de las plantas, en esos estados.

Para las mediciones de transpiración y conductancia estomática se utilizó un Steady state porometer modelo LI-1600 marca LI-COR, el cual consta de una consola que controla las lecturas ; y de una cabeza sensora, la cual encierra la cubeta de muestreo. Las unidades utilizadas para la transpiración fueron μg de vapor de agua cm^{-2} s^{-1} y para la resistencia estomática fue s cm^{-1}. Simultáneamente se determinó la temperatura foliar en grados centígrados, con un termómetro infrarrojo Raynger IPJ marca Raytek.

Se seleccionaron dos hojas sanas en cada una de las dos repeticiones por subparcela, situadas en el tercio superior del tallo, plenamente expandidas y unidas a la planta.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 EFECTO DE LA PREPARACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

6.1.1 Caracterización fisico-química del suelo

Como se observa en la Tabla 1, el suelo del lote experimental presenta texturas franco arcillosas y franco limosas. Entre los 40 y 60 cm la capacidad de campo tiende a ser mayor y el punto de marchitez permanente a ser menor que en las capas superiores. Los análisis indican que el suelo tiene alta capacidad de retención de humedad y es susceptible a la compactación.

En cuanto a propiedades químicas, el análisis muestra que el suelo tiene un contenido alto de la mayor parte de los elementos esenciales para el crecimiento con excepción del boro en las capas inferiores a 20 cm (Tabla 2).

Tabla 1. Propiedades físicas del suelo después de la preparación.

Tratamiento	Profundidad cm	Textura	Densidad real Mg m^{-3}	Porosidad %	C. C. %	P. M. P. %
Testigo	0-20	FA	2.52	32.06	22.6	13.82
Testigo	20-40	FA	2.57	35.9	22.7	14.22
Testigo	40-60	FAL	2.57	35.7	24.6	13.45
0-20	0-20	FA	2.78	47.05	25	15.74
0-20	20-40	FA	2.58	31.98	22.4	14.15
0-20	40-60	FAL	2.63	34.08	25.1	15.46
0-40	0-20	FA	2.62	37.43	23.8	15.47
0-40	20-40	FA	2.53	38.23	24.9	14.97
0-40	40-60	FAL	2.59	34.94	21.7	14.69
0-60	0-20	FAL	2.55	37.9	22.6	16.53
0-60	20-40	FAL	2.59	42.58	23	14.48
0-60	40-60	FAL	2.57	39.82	25	15.21

PMP: Punto de marchitez permanente con base en peso.

Tabla 2. Caracterización química del suelo del lote experimental

	Profundidad cm		
	0-20	**20-40**	**40-60**
pH	6.5	6.6	6.7
M.O.%	3.4	2.5	2.5
Magnesio intercambiable (meq/100g)	5.8	5.9	6.6
Calcio intercambiable(meq/100g)	10.3	9.7	10.1
Sodio intercambiable(meq/100g)	0.38	0.44	0.43
Potasio intercambiable(meq/100g)	0.49	0.28	0.24
Capacidad de intercambio (meq/100g)	18.4	19.2	20.2
Fósforo asimilable(ppm)	104	64	56
Elementos menores			
Cobre (ppm)	9.1	9.7	10.5
Hierro (ppm)	21.6	28.5	25.7
Zinc (ppm)	5	2.3	1.8
Boro (ppm)	0.37	0.04	0.04
Manganeso (ppm)	25.6	19.1	15.6

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

6.1.2 Densidad aparente

La resistencia mecánica y la disponibilidad de O_2 en el suelo son condiciones directamente relacionadas con el crecimiento radical. Es por esto que la preparación del suelo, al modificar la densidad aparente, influye sobre el crecimiento y la actividad de las raíces. Aunque de acuerdo con Nogueira y Manfredini (1983), se presentan valores críticos de la densidad aparente asociados con daños a la raíz , los cuales han sido definidos bajo condiciones controladas, estos no son fácilmente definibles en condiciones de campo.

En términos generales se observó que la preparación manual de las diferentes capas causó disminución de la densidad aparente (Tabla 3), aumentando la porosidad. Debido a que las capas de suelo que además de la preparación con implementos mecánicos fueron desmenuzadas manualmente, presentaron densidades aparentes más bajas que las preparadas solo mecánicamente se puede decir que la combinación de las dos prácticas es más efectiva para aumentar la porosidad.

Los resultados del análisis físico de las muestras tomadas después de ejecutados los tratamientos, pero antes de la siembra (Tabla 3), muestran que el suelo de las parcelas testigo, el cual fue preparado mediante laboreo mecánico convencional únicamente, presenta mayor densidad aparente en la capa 0-20 cm, que la misma

Tabla 3. Efecto de los tratamientos sobre la densidad aparente, en tres épocas diferentes (Mg m^{-3})

	Antes de la siembra			45 días después de emergencia			75 días después de emergencia		
Profundidad	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm
Tratamiento									
Testigo	1.73	1.64	1.66	1.64	1.67	1.66	1.68	1.63	1.58
0-20cm	1.47	1.76	1.73	1.65	1.71	1.6	1.48	1.65	1.61
0-40cm	1.64	1.57	1.68	1.54	1.64	1.61	1.54	1.57	1.6
0-60cm	1.59	1.49	1.54	1.52	1.5	1.55	1.42	1.51	1.51

capa de las parcelas que adicionalmente fueron desmenuzadas manualmente. La capa 20-40 cm, de las parcelas en que fue desmenuzada, presentó valores mas bajos de densidad aparente que las de las parcelas en que no se practicó aflojamiento manual. Diferencias similares se registraron en la capa de 40-60 cm entre las parcelas en que fue y no fue preparada manualmente.

En el testigo la mayor densidad aparente se presenta en la capa de 0-20 cm, lo cual puede deberse a la formación de capas superficiales endurecidas, característica muy común en suelos arcillosos donde se emplea maquinaria pesada para las labores de cultivo. El laboreo mecánico no fue lo suficientemente efectivo para reducir la densidad aparente en comparación con el laboreo manual.

Las determinaciones de la densidad aparente, de muestras tomadas 50 y 80 días después de efectuado el aflojamiento manual correspondiente, indican que el efecto de los tratamientos sobre la reducción de la compactación del suelo se mantiene por lo menos durante estos periodos.

6.1.3 Resistencia a la penetración

Las diferencias en el tipo y profundidad de la labranza causaron distintos grados de resistencia a la penetración entre las parcelas, observándose en términos generales

que la resistencia tiende a ser menor en aquellas capas removidas debido a la disminución en la densidad aparente, lo cual posiblemente incrementa la proporción del espacio poroso.

Los valores de la resistencia a la penetración obtenidos en el transcurso del experimento se encuentran en la Tabla 4. Al observar los registros correspondientes a las mediciones efectuadas después de la preparación pero antes de la siembra se tiene que la capa de suelo entre la superficie y 20 cm de profundidad, en las parcelas que fueron laboreadas manualmente, presentó menor resistencia a la penetración en comparación con la de las preparadas mecánicamente. De forma similar en la capa 20-40 cm , las capas desmenuzadas presentaron menor resistencia a la penetración que aquellas no removidas. En la capa 40-60 se presentaron las mismas diferencias entre las capas desmenuzadas y las no desmenuzadas. El resultado contradictorio de las parcelas de tratamiento de preparación hasta 40 cm de profundidad puede deberse a defectos del muestreo o a deficiencias en la preparación del suelo.

La tendencia general es a que las capas preparadas manualmente presenten menor resistencia a la penetración que las capas preparadas mecánicamente.

Tabla 4. Resistencia a la penetración (MPa) y contenido de humedad para los diferentes tratamientos, en tres épocas diferentes.

	Antes de la siembra					
	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm	
Tratamiento	R. penetración	%Humedad	R. penetración	%Humedad	R. penetración	%Humedad
Testigo	0.65	6.99	1.58	9.86	5.5	9.86
0-20cm	0.2	5.39	0.55	9.67	1.24	10.73
0-40cm	0.65	6.32	1.4	8.11	3.74	8.12
0-60cm	0.25	6.38	0.27	9.79	0.69	8.47

	45 días después de emergencia					
	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm	
Tratamiento	R. penetración	%Humedad	R. penetración	%Humedad	R. penetración	%Humedad
Testigo	2.43	16.71	6.01	17.85	6.01	19.11
0-20cm	1.26	18.52	4.36	19.1	4.48	20.26
0-40cm	0.53	19.46	3.03	20.12	3.11	21.73
0-60cm	0.17	18.78	0.82	22.3	1.17	25.98

	75 días después de emergencia					
	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm	
Tratamiento	R. penetración	%Humedad	R. penetración	%Humedad	R. penetración	%Humedad
Testigo	3.82	13.98	7.65	17.49	7.65	17.49
0-20cm	2.75	13.34	7.49	15.01	8.16	14.28
0-40cm	2.14	11.66	4.64	16.45	4.23	18.52
0-60cm	1.05	15.69	2.19	17.78	4.84	18.5

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Aunque los contenidos de humedad entre los muestreos fueron diferentes se mantiene la tendencia general a que aquellas capas presenten menor resistencia a la penetración.

En este suelo se observó un aumento de la densidad aparente a medida que aumentaba la profundidad y así mismo un incremento en la resistencia a la penetración en las capas más profundas.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

6.2 EFECTO DE LA PREPARACIÓN DEL SUELO SOBRE EL CRECIMIENTO

6.2.1 Profundidad de la raíz principal.

En la Tabla 5 se muestran los resultados de las mediciones de la profundidad de la raíz principal en las diferentes edades de las plantas. Se puede apreciar que solamente se registraron diferencias, entre las plantas de los distintos tratamientos, a los 60 dde ; en esta época, las plantas de las parcelas preparadas hasta 40 y 60 cm, presentaron valores significativamente mayores que las de las preparadas hasta 20 cm, sin embargo estos valores no fueron diferentes a los de las plantas de las parcelas del tratamiento testigo. Estos resultados sugieren que hay un efecto ligero

Tabla 5 . Efecto de los tratamientos sobre la profundidad de la raíz principal (cm).

Tratamiento	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
Testigo	12.18 a	14.24 a	19.21 a	22.5 a b	21.51 a	20.95 a
0-20	14.44 a	16.98 a	20.52 a	21.09 b	21.10 a	21.68 a
0-40	12.37 a	16.45 a	21.18 a	24.30 a	22.27 a	22.22 a
0-60	14.65 a	17.19 a	21.89 a	24.27 a	25.45 a	22.51 a

Variedad	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
P33	14.12 a	14.77 a	22.40 a	23.36 a	27.69 a	23.21 a
P34	13.71 a	15.60 a	20.16 a	20.69 a	21.42 a	20.33 a
Ob1	11.89 a	16.69 a	20.96 a	23.44 a	22.36 a	20.78 a
Ob2	13.78 a	16.12 a	19.32 a	24.81 a	20.45 a	22.31 a
L194	13.54 a	17.89 a	20.65 a	22.89 a	20.99 a	22.56 a

Valores con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencia significativa.

de la preparación profunda favoreciendo una mayor penetración de la raíz principal, al disminuir la densidad aparente y la resistencia a la penetración del suelo.

No se observaron diferencias en la profundidad de la raíz principal entre las variedades evaluadas las cuales mostraron valores similares de esta característica en todas las edades en que fueron muestreadas, sugiriendo que las variedades evaluadas en este ensayo son genéticamente similares en esta característica.

6.2.2 Número de raíces secundarias por planta

Como se observa en la Tabla 6 la formación de gran parte de las raíces secundarias ocurre en los primeros 15 dde, presentándose solo un pequeño incremento en las edades posteriores. Lo anterior sugiere que para estudios del efecto de diferentes tratamientos sobre el numero de raíces secundarias seria suficiente efectuar conteos

solamente en las etapas iniciales. Los tratamientos de profundidad de preparación que redujeron la densidad aparente y la resistencia a la penetración en las diferentes capas no tuvieron efecto sobre el número de raíces secundarias totales, sugiriendo que el mayor número de raíces secundarias se forma en las capas superficiales y que las diferencias en los tratamientos no fueron suficientes para causar variaciones en el número de raíces secundarias diferenciadas. Posiblemente el número de raíces

Tabla 6 . Efecto de los tratamientos y de las variedades sobre el número de raíces secundarias.

Tratamientos	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
Testigo	12.16 a	12.86 a	12.43 a	14.76 a	14.63 a	12.26 a
0-20	13.83 a	13.66 a	15.6 a	15.93 a	13.8 a	11.5 a
0-40	10.33 a	15.63 a	13.71 a	18.9 a	14.53 a	13 a
0-60	13.43 a	11.83 a	15.23 a	15.36 a	14.26 a	12.8 a

Variedad	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
P33	11.25 b	11.25 a	13.41 a	13.12 b	13.45 a	10.33 a
P34	10.12 b	14.54 a	13.75 a	15.37 a b	14.87 a	12.12 a
Ob1	13.0a b	13.54 a	13.83 a	19.29 a	15.33 a	13.66 a
Ob2	12.12 a b	14.91 a	14.47 a	15.0 a b	12.83 a	12.04 a
L194	15.70 a	13.25 a	15.75 a	18.41 a b	15.04 a	13.79 a

Valores con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencia significativa.

secundarias es una característica poco influenciada por la profundidad de preparación del suelo, sin embargo, para precisar esta relación sería necesario discriminar el número de raíces secundarias de las diferentes capas del suelo.

Se detectaron diferencias en el número de raíces secundarias producidas por las plantas de las diferentes variedades en los muestreos efectuados a los 15 y 60 dde. A los 15 dde la L194 presentó un número de raíces secundarias significativamente mayor que P33 y P34, para los 60 dde la superioridad fue solamente de Obando 1 sobre P33. Genotipos como la L194 y Obando 1 tendrían ventajas en suelos superficiales por el mayor número de raíces secundarias que les permite incrementar la tasa de toma del agua y de elementos nutritivos.

6.2.3 Longitud de las raíces secundarias

Aunque hubo diferencias en el número de raíces secundarias no se presentaron diferencias en la longitud de estas raíces ni entre tratamientos ni entre variedades. Al parecer las técnicas empleadas para determinar la longitud total de raíces secundarias por planta no son lo suficientemente sensibles para detectar diferencias. En los muestreos de raíces es más exacto determinar el número que la longitud porque las huellas de las raíces que quedan en el suelo se cuentan como una raíz cuya longitud no puede ser medida.

Tabla 7. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre la longitud de las raíces secundarias (cm).

Tratamiento	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
Testigo	63.34 a	85.25 a	132.48 a	190.79 a	143.25 a	120.82 a
0-20	67.57 a	124.31 a	141.34 a	175.59 a	127.19 a	112.55 a
0-40	58.97 a	115.61 a	160.42 a	220.49 a	140.07 a	116.77 a
0-60	72.48 a	92.73 a	157.35 a	186.31 a	163.07 a	137.63 a

Variedad	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
P33	54.44 a	96.39 a	151.16 a	173.74 a	132.56 a	120.6 a
P34	55.33 a	99.24 a	132.7 a	191.86 a	118.94 a	113.07 a
Ob1	67.22 a	114.8 a	167.99 a	224.28 a	151.4 a	124.46 a
Ob2	72.05 a	97.26 a	133.16 a	178.97 a	175.55 a	122.38 a
L194	78.89 a	114.68 a	154.49 a	197.63 a	138.53 a	129.19 a

Valores con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencia significativa.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

El número de raíces (Tabla 6) se estabiliza muy temprano sin embargo la longitud (Tabla 7) aumenta hasta los 60 dde. Esto quiere decir que el aumento en la longitud total del sistema radical se debe inicialmente a un aumento en el número y después de los 15 dde al aumento de la longitud de las raíces individuales.

Los datos de la Tabla 7 muestran que no se presentaron diferencias en la longitud total del sistema de raíces secundarias entre las variedades a pesar de las diferencias en número, posiblemente debido a las deficiencias de los métodos utilizados como se explicó anteriormente.

6.2.4 Peso seco de las raíces

El incremento en materia seca es lento hasta los 30 dde, haciéndose más rápido después de los 45 dde, alcanzando la máxima acumulación a los 75 dde. Como se observa en la Tabla 8 no se presentaron diferencias en la acumulación de materia seca en las raíces ni por efecto de los tratamientos ni entre variedades .

Tabla 8. Efecto de los tratamientos y ls variedades sobre el peso seco de las raíces (g).

Tratamiento	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
Testigo	0.09 a	0.49 a	1.29 a	2.56 a	3.05 a	2.39 a
0-20 cm	0.15 a	0.68 a	1.76 a	3.01 a	3.15 a	2.61 a
0-40 cm	0.11 a	0.55 a	1.51 a	2.88 a	2.75 a	2.59 a
0-60 cm	0.16 a	0.63 a	1.5 a	2.97 a	2.98 a	2.8 a

Variedad	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
P33	0.17 a	0.51 a	1.64 a	2.68 a	3.3 a	2.82 a
P34	0.09 a	0.50 a	1.40 a	2.86 a	3.14 a	2.55 a
Ob1	0.13 a	0.70 a	1.42 a	2.94 a	3.16 a	2.64 a
Ob2	0.13 a	0.62 a	1.53 a	3.22 a	2.61 a	2.68 a
L194	0.13 a	0.61 a	1.58 a	2.57 a	2.72 a	2.3 a

Valores con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencia significativa.

6.3 CRECIMIENTO DE LA PARTE AEREA

6.3.1 Altura de plantas

Como se puede observar en la Tabla 9 los tratamientos de preparación del suelo no causaron diferencias en las tasas de aumento de altura de las plantas hasta los 60 días después de la emergencia. Entre los 60 y los 75 dde, las plantas de las parcelas preparadas hasta 60cm de profundidad crecieron mas rápidamente que las de los demás tratamientos dando lugar a diferencias en la altura de plantas las cuales solo fueron estadísticamente significativas entre las del tratamiento 0-60 y el testigo de labranza mecánica.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Las variedades no presentan diferencias en altura en los dos primeros muestreos indicando que poseen tasas de crecimiento iniciales similares. A los 45 días la variedad Soyica P33 superó en altura a Obando 2 y a los 60 días la misma variedad supero además a L194 y a los 75 días también a P34. La altura máxima, la cual fue alcanzada a los 90 días, de P33, P34 y Obando 1 fue superior a la de Obando 2 y L194.

Tabla 9. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre la altura (cm).

Tratamiento	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
Testigo	11.63 a	22.58 a	42.42 a	62.36 a	65.06 b	70.2 a
0-20 cm	12.89 a	28.48 a	48.1 a	71.33 a	74.6 ab	75.9 a
0-40 cm	12.29 a	21.85 a	43.0 a	66.9 a	72.0 ab	83.0 a
0-60 cm	13.51 a	26.91 a	48.3 a	73.1 a	81.50 a	82.0 a

Variedad	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
P33	12.67 a	22.87 a	51.08 a	78.91 a	88.5 a	93.75 a
P34	11.74 a	25.25 a	45.64 ab	72.29 ab	71.2 bc	82.45 a
Ob1	12.68 a	26.23 a	45.32 ab	71.41 ab	79.79 ab	81.7 a
Ob2	13.62 a	25.51 a	41.68 b	59.16 b	62.91 c	64.5 b
L194	12.18 a	24.90 a	43.6 ab	60.33 b	64.29 c	66.54 b

Valores con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencia significativa.

6.3.2 Area foliar

En la Tabla 10 se puede observar que no se presentaron diferencias en la magnitud del área foliar por planta, ni entre variedades ni entre tratamientos a lo largo del ciclo de vida de las plantas. Bajo las condiciones del experimento los tratamientos de profundidad de preparación no dieron lugar a diferencias en el en numero y tamaño de las hojas que causaran variación en el área foliar de las plantas de soya.

Tampoco se presentaron diferencias en el área foliar entre variedades aunque se observa la tendencia de las variedades Obando 1 y 2 y de la Línea 194 a presentar mayor área foliar que P33 y P34 a los 60 días. Entre los 60 y 75 días todas las variedades, exceptuando a Obando 2, continúan aumentando el área foliar, después

de los 75 días disminuye el área foliar de todas las variedades debido a la caída de hojas.

6.3.3 Peso seco de las hojas

Como se observa en la tabla 11 la tasa de incremento de peso seco de las hojas es alta entre los 15 y 60 dde, entre los 60 y 75 dde se estabiliza y finalmente desciende entre los 60 y 75 dde. La acumulación de peso seco de las hojas se hace máxima

Tabla10. Efecto de los tratamientos y de las variedades sobre el área foliar (cm^2).

Tratamiento	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
Testigo	85.76 a	403.80 a	1045.60 a	1650.70 a	2053.90 a	1480.10 a
0-20	110.18 a	633.40 a	1392.30 a	1604.60 a	2011.30 a	1590.20 a
0-40	102.04 a	410.60 a	1141.10 a	1717.70 a	1928.40 a	1331.30 a
0-60	116.40 a	512.90 a	1275.20 a	1958.30 a	2034.10 a	1541.80 a

Variedad	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
P33	90.39 a	410.62 a	1253.6 a	1646.3 a	2220.8 a	1531.2 a
P34	85.53 a	408.68 a	1100.5 a	1650.4 a	2060.6 a	1565.2 a
Ob1	108.57 a	597.01 a	1165.2 a	1712.9 a	2082.9 a	1506.5 a
Ob2	101.18 a	428.28 a	1117.8 a	1890.8 a	1746.2 a	1463.5 a
L194	132.31 a	606.31 a	1430.7 a	1763.7 a	1924.1 a	1362.8 a

Valores con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencia significativa.

Tabla 11. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre el peso seco de las hojas (g).

Tratamiento	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
Testigo	0.33 a	1.55 a	4.8 a	8.94 a	9.73 a	6.00 a
0-20 cm	0.45 a	2.33 a	6.05 a	10.20 a	10.64 a	6.83 a
0-40 cm	0.36 a	1.52 a	5.30 a	9.76 a	8.74 a	5.36 a
0-60 cm	0.45 a	1.95 a	5.85 a	11.18 a	9.29 a	7.14 a

Variedad	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
P33	0.36 a	1.49 a	6.28 a	10.56 a	10.57 a	7.09 a
P34	0.34 a	1.7 a	5.32 a	10.31 a	10.38 a	6.62 a
Ob1	0.37 a	2.12 a	4.87 a	9.43 a	9.86 a	5.81 a
Ob2	0.42 a	1.65 a	5.18 a	10.54 a	8.75 a	6.37 a
L194	0.49 a	2.24 a	5.86 a	9.26 a	8.45 a	5.79 a

Valores con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencia significativa.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

entre los 75 y 90 dde, para descender entre los 75 y 90 dde por efecto de caída de hojas. No se presentaron diferencias en la acumulación de peso seco de las hojas entre tratamientos como tampoco entre variedades

6.3.4 Peso seco total

Los datos de la Tabla 12 señalan que la acumulación de materia seca por parte de las plantas de soya es lenta durante los 30 primeros días de crecimiento, se incrementa entre los 30 y 45 días, alcanzando la tasa máxima entre los 45 y 60 días y disminuye posteriormente. De acuerdo con estos datos, la mayor demanda de recursos del suelo debe ocurrir entre los 45 y 60 días y es en este lapso en que sería más evidente un efecto benéfico de la preparación profunda del suelo sobre la toma de agua y minerales.

Bajo las condiciones en que se realizó el experimento, los tratamientos de profundidad de preparación del suelo no causaron diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de materia seca acumulada por las plantas de soya, en ninguna de las etapas de crecimiento ni en la magnitud final, indicando que la adquisición de los recursos necesarios para la acumulación de materia seca, provenientes del suelo fue similar bajo los diferentes tratamientos .

Tabla 12. Efecto de los tratamientos y las variedades sobre el peso seco total (g).

Tratamiento	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
Testigo	0.61 a	3.36 a	10.72 a	26.64 a	38.45 a	39.94 a
0-20 cm	0.88 a	5.25 a	14.44 a	32.34 a	45.98 a	46.66 a
0-40 cm	0.70 a	3.43 a	12.29 a	29.26 a	37.44 a	45.98 a
0-60 cm	0.88 a	4.30 a	13.98 a	33.17 a	35.69 a	44.3 a

Variedad	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
P33	0.77 a	3.37 a	14.31 a	30.93 a	41.87 a	48.29 a
P34	0.64 a	3.74 a	12.60 a	32.88 a	46.44 a	48.53 a
Ob1	0.72 a	4.80 a	11.54 a	30.38 a	42.26 a	43.05 a
Ob2	0.82 a	3.78 a	12.70 a	30.53 a	33.10 a	42.47 a
L194	0.89 a	4.74 a	13.14 a	27.04 a	33.3 a	38.72 a

Valores con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencia significativa.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

Como tampoco se presentaron diferencias en la cantidad de materia seca acumulada por los distintos genotipos se asume que las variedades tienen capacidad similar para acumular materia seca y que son genéticamente similares en cuanto a sus respuestas a la profundidad de preparación del suelo.

En el peso seco de vainas por planta no se presentaron diferencias entre tratamientos, pero si entre variedades a los 60 y 75 dde, sin embargo estas diferencias desaparecen a los 90 dde donde el peso seco de las vainas se iguala. A los 60 dde la variedad P34 presentó mayor peso seco de las vainas que Obando 2, mientras que las demás variedades no presentaron diferencia significativas entre si, como tampoco con P34 y Obando 2. A los 75 dde P34 presentó mayor peso seco de vainas que Obando 2 y L194, estas últimas no presentaron diferencias entre si. P33 y Obando 1 no presentaron diferencias entre si, como tampoco con las demás variedades (Tabla 13).

6.4 COMPONENTES DE RENDIMIENTO

6.4.1 Plantas por metro cuadrado

No se presentaron diferencias en el número de plantas por metro cuadrado ni entre tratamientos ni entre variedades (Tabla 14). Lo que significa que la siembra fue homogénea en todas las parcelas, que los tratamientos no afectaron los germinación,

Tabla 13. Efecto de los tratamientos y de las variedades sobre el peso seco de las vainas

Tratamiento	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
Testigo	.	.	.	3.28 a	11.69 a	20.75 a
0-20 cm	.	.	.	5.08 a	15.72 a	24.23 a
0-40 cm	.	.	.	3.61 a	12.52 a	25.49 a
0-60 cm	.	.	.	3.80 a	8.58 a	19.91 a

Variedad	15dde	30dde	45dde	60dde	75dde	90dde
P33	.	.	.	4.01 ab	12.67 ab	24.18 a
P34	.	.	.	5.36 a	16.12 a	25.52 a
Ob1	.	.	.	4.78 ab	13.19 ab	21.89 a
Ob2	.	.	.	2.12 b	8.91 b	21.03 a
L194	.	.	.	3.45 ab	9.74 b	20.36 a

Valores con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencia significativa.

que las variedades presentaron porcentajes de germinación similares y que no hubo pérdida de población por efectos de competencia.

6.4.2 Número de vainas por planta

El número de vainas por planta es una de las características más plásticas en la soya, si la competencia entre plantas es baja (bajo número de plantas por metro cuadrado) el número de vainas por planta aumenta y viceversa. No se presentaron diferencias en número de vainas por planta entre tratamientos (Tabla 14). Se observaron diferencias en el número de vainas por planta entre variedades siendo superior el número de la variedad P34 y más bajo el de la línea 194. Además de la influencia varietal se puede presentar un efecto compensatorio con el número de plantas por metro cuadrado ya que, aunque las diferencias no fueron significativas, el mayor número de vainas por plantas de P34 correspondió al menor número de plantas por metro cuadrado (13.52) y el menor número de vainas por planta de la línea 194 correspondió al mayor numero de plantas por metro cuadrado (20.89).

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

6.4.3 Granos por planta

Se registraron diferencias entre el tratamiento de profundidad de preparación hasta 0-20 cm con el de preparación hasta 0-60 cm (Tabla 14). El mayor número de

Tabla 14 . Efecto de los tratamientos y las variedades sobre los componentes de rendimiento.

Tratamiento	Plantas m^{-2}	Vainas $planta^{-1}$	Granos $planta^{-1}$	IS (g)	Rend.Kg ha^{-1}
Testigo	16.75 a	63.07 a	94.9 ab	16.66 a	2709 a
0-20	13.88 a	62.33 a	110.4 a	17.77 a	2793.3 a
0-40	17.73 a	65.5 a	81.34 ab	17.42 a	2580.9 a
0-60	17.73 a	65.73 a	75.37 b	17.01 a	2308.6 a

Variedad	Plantas m^{-2}	Vainas $planta^{-1}$	Granos $planta^{-1}$	IS (g)	Rend.Kg ha^{-1}
P33	14.79 a	60.87 ab	80.57 b	17.5 ab	2133.1 c
P34	13.52 a	78.75 a	98.36 a	16.58 b	2244.7 bc
Ob1	17.43 a	67.16 ab	89.94 ab	17.49 ab	2803.2 a
Ob2	15.98 a	59.58 ab	100.85 a	16.3 b	2660.1ab
L194	20.89 a	54.41 b	80.11 b	18.2 a	3148.7 a

Valores con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencia significativa.
IS: Indice de semilla.

granos por planta se presentó en el tratamiento 0-20 y el menor en el tratamiento de 0-60 cm. Aparentemente, el mayor número de granos por planta del tratamiento 0-20 se debió a un efecto compensatorio a un menor número de plantas por metro cuadrado y de vainas por planta en comparación con el tratamiento 0-60 cm.

Entre variedades se registró mayor número de granos por planta en las variedades Obando 2 y P34 que la variedad P33 y la línea 194. Estas diferencias parecen ser en parte genéticas y en parte compensatorias.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

6.4.4 Indice de semilla

Como se observa en la Tabla 14 el peso de 100 semillas no fue influenciado por los tratamientos de preparación del suelo. Se registraron diferencias significativas entre variedades siendo mayor el índice de semilla de la línea 194 que el de las variedades P34 y Obando 2. Esto significa que la línea 194 es de semilla grande ; la Obando 2 y P34 de semilla pequeña y Obando 1 y P33 de tamaño medio. Estas diferencias varietales confirman el concepto de que el tamaño de semilla es una característica controlada principalmente por la genética de la planta.

6.4.5 Rendimiento

Los rendimientos de las plantas en los diferentes tratamientos se encuentran dentro de los promedios comerciales oscilando entre 2.3 ton ha^{-1} del tratamiento de preparación hasta 60 cm y de 2.79 ton ha^{-1} del tratamiento de preparación hasta 20 cm, sin embargo estos valores no difieren estadísticamente. Las diferencias en rendimiento no fueron significativas a pesar que el número de granos por planta fue significativamente mayor en el tratamiento de preparación hasta 20 cm que en el de 0-60cm.

Como se observa en la tabla 14 las influencias varietales sobre el rendimiento fueron mucho mas evidentes siendo superior el la línea 194 y la variedad Obando 1 a los.de las variedades P34 y P33. El mayor rendimiento de línea 194 estuvo relacionado con un alto número de plantas por metro cuadrado y con un alto índice de semilla. El bajo rendimiento de P33 estuvo relacionado con un número bajo de plantas por metro cuadrado y de granos por planta.

Las variedades incluidas en el ensayo parecen adaptarse a condiciones de suelo relativamente superficiales y no responden en rendimiento al aumento de la profundidad efectiva proporcionado por el laboreo profundo.

6.5 OTROS PARAMETROS FISIOLOGICOS

6.5.1 Resistencia estomática

Como se observa en la Tabla 15 , a los 45 dde no se presentaron diferencias en la resistencia estomática ni entre tratamientos ni entre variedades ; estos resultados son explicables si se considera que en este momento la planta aun no había desarrollado el área foliar máxima y posiblemente la demanda transpiratoria era relativamente baja y satisfecha igualmente por sistemas radicales de extensión similar en todos los tratamientos y las variedades, como se anotó anteriormente. Al no presentarse déficit hídrico es de esperarse que no operen los mecanismos que conducen al cierre estomático y al aumento de la resistencia.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

A los 60 dde, las plantas presentaban mayor área foliar y por lo tanto mayor demanda transpiratoria que a los 45 dde, por esta razón se espera que aquellas plantas que presenten sistemas radicales más profundos tengan capacidad de absorber mayor cantidad de agua por unidad de tiempo y por lo tanto de resistir mayores tasas de transpiración sin presentar déficit hídrico que aquellas de raíces principales más superficiales las cuales sufrirían déficit hídrico lo cual ocasionaría aumento de la resistencia estomática. Lo anterior explica la tendencia observada de la resistencia estomática a ser mayor en las plantas de las parcelas preparadas mas

Tabla 15. Efecto de los tratamientos y de las variedades sobre la transpiración, resistencia estomática y temperatura foliar.

	Resistencia estomática s cm-1		Transpiración ug cm^{-2} s^{-1}		Temperarura foliar °C	
Tratamiento	**45 dde**	**60dde**	**45 dde**	**60dde**	**45 dde**	**60dde**
Testigo	0.72 a	1.08 a	17.72 a	16.90 a	31.58 a	35.05 a
0-20	0.64 a	0.91 ab	17.22 a	17.14 a	30.60 a	33.86 a
0-40	0.55 a	0.94 ab	22.22 a	17.12 a	32.56 a	34.13 a
0-60	0.65 a	0.88 b	18.86 a	18.39 a	31.85 a	33.56 a

Testigo	**45 dde**	**60dde**	**45 dde**	**60dde**	**45 dde**	**60dde**
P33	0.71 a	1.05 a	18.12 a	16.96 ab	31.43 a	34.70 a
P34	0.65 a	1.09 a	18.61 a	15.37 b	31.78 a	34.81 a
Ob1	0.57 a	0.88 a	20.42 a	18.60 a	32.04 a	33.66 b
Ob2	0.63 a	0.91 a	18.87 a	17.54 ab	31.46 a	33.46 b
L194	0.63 a	0.85 a	19.05 a	18.48 a	31.54 a	34.10 ab

Valores con la misma letra en sentido vertical no presentan diferencia significativa.

superficialmente las cuales presentaron raíces principales significativamente mas cortas .

No se registraron diferencias en resistencia estomática entre variedades ; esto se explica porque, como se vio anteriormente, tampoco presentaron diferencias en la profundidad de raíces.

6.5.2 Transpiración

En general se observó de que la transpiración tiende a ser mayor mientras menor es la resistencia estomática y viceversa. A los 45 dde cuando la demanda de agua para transpiración era baja porque el área foliar era reducida, no se registraron diferencias ni entre tratamientos ni entre variedades (Tabla 15). A los 60 dde aunque se el área foliar fue mas extensa, no se registraron diferencias en tasas de transpiración entre tratamientos a pesar de las diferencias significativas en resistencia estomática, esto quiere decir que aparentemente la resistencia estomática es mas sensible a las deficiencias de agua que las tasas transpiratorias.

El comportamiento de las variedades con respecto a las tasas de transpiración es contrario al observado en los tratamientos de profundidad de preparación del suelo ; estas presentaron diferencias en tasas de transpiración sin las diferencias

correspondientes en resistencia estomática lo cual parece indicar que un componente genético no asociado con la resistencia estomática participa en la regulación de las tasas de transpiración.

Las variedades que presentaron las mayores tasas de transpiración fueron Obando 1 y la Línea 194, las cuales presentaron también los mayores rendimientos.

6.5.3 Temperatura foliar

Como se observa en la tabla 15, la temperatura foliar no presentó diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los muestreos lo cual esta de acuerdo con los resultados de las tasas de transpiración, pues al no ocurrir diferencias en las tasas de esta no se espera variación de su efecto refrigerante de las hojas.

Tampoco se presentaron diferencias significativas entre variedades en el primer muestreo realizado a los 45 dde; por el contrario si hubo diferencias en el segundo muestreo realizado a los 60 dde. Obando 1, Obando 2 y L194 presentaron menores temperaturas foliares que P33 y P34. La temperatura foliar, se encuentra muy afectada por la transpiración, por ser este último un importante mecanismo refrigerante de las hojas. Entre ellos existe una estrecha relación ya que al haber una mayor transpiración se espera que haya una menor temperatura foliar. En este

ensayo aquellas variedades que presentaron menores temperaturas foliares coinciden con mayores transpiraciones corroborando en parte la anterior aseveración.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

7. CONCLUSIONES

- No existen diferencias entre las variedades estudiadas en cuanto a profundidad del sistema radical por lo cual no se pudo comprobar si la preparación profunda otorga ventajas para tolerar deficiencias de recursos del suelo.

- Las diferencias en crecimiento radical causados por los tratamientos de preparación del suelo no necesariamente se traducen en diferencias en crecimiento de la parte aérea.

- La preparación profunda del suelo para los genotipos estudiados no causa aumentos en rendimiento debido a la incapacidad de producir raíces profundas, y por lo tanto no se justifica.

- La resistencia estomática es mejor indicador de las necesidades de riego en soya que la transpiración y la temperatura foliar.

- El uso de los termómetros infrarrojos para estimar el estado hídrico de las plantas de soya no es lo suficientemente sensible para ser utilizado como guía del suministro de agua al cultivo de la soya.

- Para poder llegar a conclusiones mas acertadas sobre el estado hídrico de las plantas seria adecuado relacionar la transpiración, temperatura y la resistencia estomática con determinaciones de los potencias hídricos en las hojas de las plantas.

- Para estudios posteriores del efecto del laboreo sobre el crecimiento y relaciones hídricas en soya se deben emplear genotipos contrastantes en profundidad de raíces.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

8. BIBLIOGRAFÍA

Amézquita, E. Efecto de la labranza en las propiedades físicas de los suelos. Instituto Colombiano agropecuario, ICA. Centro de investigaciones Tibaitatá. 1991.p.121-130.

Allen, L.H. Soybean gas exchange response to carbon dioxide and water stress. En : Agronomy journal. Vol 86. 1994.p.625-637.

Andrade, F., y J. Gargiol. Sequía y producción de cultivos de maíz, girasol y soya. Estación experimental agropecuaria. Balcarse. INTA. Argentina. 1994 Boletín técnico no. 132.

Agudelo, O. Manejo del cultivo de la soya. III Curso Internacional de soya. CNI. Palmira. 1982 p. 1-15.

Agudelo, O. y G. Riveros. Fisiología de la soya. En : El cultivo de la soya. ICA. Manual de asistencia técnica No 60. 1994.p.35-52.

Azcon- Bieto, y M. Talon. Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana McGraw-Hill. España. 1993.

Cayón, M.G. Efectos fisiológicos del estrés hídrico sobre varias especies vegetales. 1996. Trabajo de gardo (Ingeniero Agrónomo) Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira.

Chinchilla, G., y P. Carrillo. Evaluación de variedades de soya con diferente hábito de crecimiento bajo diferentes niveles de riego. 1987.Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo) Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira.

Cortés, P.M., y T.M. Sinclair. Water relations of field-grown soybean under drought. Crop Sci.Vol 26. 1985.p.993-998.

Cortés, P.M. Gas exchange of field-grown soybean under drought. En :Agronomy journal. Vol 78.1986.p.454-458.

Devlin, R.M. Fisiología vegetal. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 1982. p. 61-83.

Dharmasena, T. Agronomic requieriments for wet and dry season soybean. En : Soybean in tropical and subtropical cropping systems. Japan. 1983.p 203-207.

FAO. El cultivo de la soya en los trópicos: mejoramiento y producción. Roma. 1995.p. 153-157.

Fitter, A., y R. Hay. Envairomental physiology of plants. Second edition. 1987. p 57-74.

Forero, H. y N. Velez. Efecto del déficit hídrico a partir de floración sobre la producción de dos variedades comerciales de soya *Glycine max* (L.) Merrl. 1993. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira.

Forero, J.A. Adecuación de tierras. Estado del arte y necesidades de investigación. Subgerencia de políticas de investigación y transferencia. ICA. 1995.

Gavande, S.A. Física de suelos: principios y aplicaciones. Centro regional de ayuda técnica. Editorial Limusa. Mexico. 1972..p 115-127.

Gonzalez, A. Alteración de la variables fisiológicas de la soya *Glycine max* (L.) Merr. bajo diferentes sistemas de labranza. 1985. 100p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo) Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira.

González, W y G. Terreros. Producción de soya *Glycine max* (L.) Merrl. bajo tres sistemas de labranza.1986 97 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. Sede Pamira.

Heatherly, L.G. Yield and Germinability of seed from irrigated and non irrigated early and late-planted M6 IV and V soybean. En : Crop Science. Vol 36. 1996.p.1000-1006.

Herrera, O., H. Tafur y J. Peña. Efecto de tres métodos de labranza sobre las propiedades físicas de un suelo arcilloso compactado y sobre la producción de soya. Convenio Universidad Nacional de Colombia- Servicio Nacional de Aprendizaje "SENA". Palmira. 1991. 71p.

Hinson, K., y E.E. Hartwing. La producción de soya en los trópicos. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 1978. p31-35.

DE COLOMBIA

Kadhem, F.A., y J.E. Specht. Soybean irrigation serially timed during stages R1 to R6. Agronomic responses. Agron. J. 1985.77:291-298.

Laohasiriwong, S. Yield response of selected soybean cultivars to water stress during different reproductive growth periods. En: Soybean in tropical and subtropical cropping systems. Japan. 1983. p 383-386.

Larcher, W. Physiological plant ecology. Third edition. Springer. Germany. 1995.p 215-264.

Lütge, U., M. Kluge., y G. Bauer. Botánica. Interamericana McGraw-Hill. España. 1993.p. 397-438.

Madriñan, R. Manual de prácticas de laboratorio de física de suelos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. 1997. 44 p.

Martín De Santa, F. Agronomía del riego. Universidad de Castilla- La Mancha. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 1993. P 10-41.

Medersky, H.J., y D.L. Jeffers. Yield response of soybean varieties grown at two soil moisture stress levels. Agron. J. 1973.65:410-412.

Meneses, O. Efecto de cuatro sistemas de labranza e incorporación de abano verde sobre las propiedades físicas de un suelo de CNI-Palmira. 1988.108p. Tesis Magister Science en suelos y aguas. Universidad Nacional de Colombia. Sede palmira

Montealegre, F.A. Determinación de la evapotranspiración real en soya y evaluación de fórmulas empíricas de evapotranspiración de referencia en Palmira. 1994. 112p. Tesis Magister Science en suelos y aguas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira.

Nogueira, S. y S.Manfredini. Influencia da compactaçao do solo no desenvolvimento da soja. En : Pesquisas agropecuarias. Vol 18. 1983.p.973-976.

Pierre, W.H., D. Kirkham, J.Pesek and R. Shaw. Plant Enviroment and Efficient Water Use. American Society of Agronomy. Madinson. 1965.p.207-230.

Primavesi, A. Manejo ecológico del suelo. Editorial el Ateneo. Argentina. 1984 p. 34-73.

Quizemberry, J. Mejoramiento de la planta para la resistencia a la sequía y el aprovechamiento del agua. En: Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. Editorial Limusa. México.1987. p 233-253.

Reicosky, D.C. and D.E. Deaton. Soybean Water extraction, laef water potencial, and evapotranspiration during drought. En : Agronomy Journal. Vol 71. 1979.p45-50.

Rivillas, J.V., y C.A. Ibarra. Estudio detallado de suelos y clasificación para riego y drenaje del C.N. de Investigaciones Agropecuarias de Palmira. Instituto GeoFigura Agustín Codazzi. Bogotá. 1975. 103 p.

Salisbury, F.B., y C.W. Ross. Fisiología Vegetal. Grupo editorial Iberoamerica. México. 1993. p. 639-667.

Serraj, R., and T.R. Sinclair. Process contributing to N2 fixation intensivity to drought in the soybean cultivar Jackson. En : Crop Science. Vol 36.1996.p.961-965.

Santamaría, H.J. Efecto del riego y profundidad de campactación en la producción de soya variedad valluna-5. 1993. Tesis Magister Science en suelos y aguas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira.

Sloane, R.J., R.P. Patterson and T.E. Carter, Jr. Field drought tolerance of a soybean plant introduction. En : Crop Science. Vol 30. 1990.p.118-123.

Sponchiado, B.N. Root growth of four common bean cultivars in relation to drought tolerance in enviroments with contrasting soils types. CIAT. 1988.

Taylor, H. Postponement of severe water stress in soybean by rooting modifications: a progress report. En: Procedings of the world soybean research. Conference II. Boulder, Colorado. 1980. p. 161-178.

Turner, N.C, J.E Begg, H .M., H.M. Rawson, S.D. Englis andA.B. Hearn. Agronomic and Physiological responses of soybean and sorghum crops to water deficits III. Components of leaf water potencial, leaf conductance, ^{14} CO2 photosyntesis, and adaptation to water deficits. En : Australian Journal Plant Physiologi. Vol 5. 1978.p.179-194.

White, J.W., y J.A. Castillo. Effect root and shoot genotypes on yield of common bean under stress drought. Crop Sci. 1989. 29:360-362.

Yamada, Y., y Y. Fukutoku. Effect of water stress on soybean metabolism. En: Soybean in tropical and subtropical cropping systems. Japan. 1983.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

ANEXOS

Anexo 1 . Precipitación (mm) durante el experimento.

Día	Marzo	Abril	Mayo	Junio	julio
1	9.3	1.1	7.7	19.98	.
2	.	3.6	27.7	.	.
3	.	19.6	9.5	.	0.5
4	.	.	4.8	.	1.1
5	.	.	0.2	.	3.4
6	0.5	3.7	.	.	0.2
7	6.8	0.2	12.7	.	
8	.	.	.	14.7	1.5
9	0.4	.	.	4	.
10	.	0.4	1.1	.	.
11	5.7	23.3	.	0.5	.
12	.	.	.	.	.
13	.	38.7	.	.	.
14	.	.	.	3.1	.
15	.	.	.	6.5	.
16	.	.	.	.	17.8
17	.	4.9	.	.	3.5
18	.	.	2.4	.	1.2
19	.	46.1	.	.	0.3
20	.	.	.	.	.
21	.	1.8	.	.	1.1
22	.	5.8	.	3.6	0.5
23	1.5	1.7	.	.	.
24	.	12.3	0.5	.	.
25	0.1	0.4	9.3	.	.
26	5.7	.	1.8	0.6	.
27	19.4	.	16.7	.	0.5
28	1.2	4.2	45	0.3	.
29	20.9	1	.	.	1.5
30	16.3	4.4	.	.	.
31	.	.	3.9	.	.
Total	87.8	173.2	143.3	53.28	33.1

Fuente: Estación meteorológica Corpoica Palmira,1998

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA