

18699

BIBLIOTECA AGROPECUARIA  
DE COLOMBIA

✓  
ESTUDIO DEL CRECIMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE LECHUGA  
(*Lactuca sativa* L.) CON DIFERENTES LAMINAS DE AGUA, BAJO UN SISTEMA  
DE RIEGO POR GRADIENTE.

✓  
OSCAR ALEJANDRO BOHORQUEZ DIAZ  
GIOVANI OSWALDO GOMEZ LEON

ANALIZADO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al Título de  
INGENIERO AGROMONO bajo la dirección de

Dr. Armando Campos. I. Ag. M. Sc.

Dr. Henry Corredor. Biol. M. Sc.

Codirector:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE AGRONOMIA

SANTAFE DE BOGOTA

1997

JURADO CALIFICADOR

Presidente.

---

Jurado.

---

Jurado.

---

Vertical line

"Este trabajo hace parte de las investigaciones realizadas por la Facultad de Agronomía, Santafe de Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Sin embargo, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente opiniones de la universidad" (Artículo 14 de la Resolución No. 00047 de 1981).

A Dios y a ellas por  
hacer que cada día  
encontrara el camino  
de la inspiración y la  
paciencia.

Por todo el tiempo,  
gracias batigol.

Giovanni.

A Dios por darme la luz.

A mis padres por su apoyo y comprensión.

A la abuela por su amor.

A Juana por su impulso.

Y por supuesto al rey león y a mi hermana Camila.

Oscar.

## AGRADECIMIENTOS.

Al Ingeniero Agrónomo HECTOR VILLAMIL por su valiosa ayuda.

Al Profesor de la Facultad de Agronomía Dr. ORLANDO MARTINEZ, por su colaboración en el análisis estadístico de este trabajo.

Al Sr. RAFAEL CRUZ, Jefe de los laboratorios de Fisiología vegetal, por haberlos facilitado.

A los Sres. Directores ARMANDO CAMPOS Y HENRY CORREDOR.

A los Sres. JAVIER Y CONSUELO por su valioso aporte para el desarrollo de este trabajo.

A nosotros mismos y a todas las personas que colaboraron de alguna forma a la realización de este trabajo.

## INDICE DE TABLAS.

1. Número de hojas promedio, en función de la lámina total de agua de riego.
2. Lámina para lograr un número de hojas máximo.
3. Promedios finales de altura en relación con la lámina total de agua aplicada.
4. Promedios de diámetro foliar al final del ensayo, en función de la lámina aplicada en cada tratamiento.
5. Lámina para obtener un máximo diámetro foliar.
6. Promedios de área foliar, en función de la lámina de agua aplicada en cada tratamiento.
7. Lámina de agua calculada para obtener un máximo de área foliar.
8. Promedios finales del ensayo de peso fresco de las hojas en función de la lámina de agua aplicada.
9. Lámina calculada para obtener el máximo de peso fresco de las hojas.
10. Promedios para el final del ensayo para peso seco de las hojas en función de la lámina total aplicada en cada tratamiento.
11. Lámina necesaria para lograr el máximo de ganancia de peso seco en hojas.
12. Promedios finales para profundidad de raíz en función de la lámina de agua total aplicada a los tratamientos.

13. Lámina de agua calculada para lograr el máximo desarrollo en profundidad de raíz.
14. Promedios finales de longitud de raíz en relación a la lámina de agua aplicada.
15. Promedios finales en función de la lámina aplicada total para diámetro radical.
16. Lámina de agua propuesta para maximizar el diámetro radical.
17. Promedios finales para peso fresco de raíz en relación con la lámina total aplicada.
18. Promedios de peso seco de raíz para el final del ensayo en función de la totalidad de la lámina aplicada en los tratamientos.
19. Lámina de agua que maximiza la ganancia de peso seco.

## INDICE DE GRAFICAS

1. Número de hojas para todas las variedades.
2. Modelos de tendencia para la variable número de hojas.
3. Tendencia de ajuste entre lámina total y número de hojas.
4. Altura para todas las variedades.
5. Tendencia de ajuste para la variable altura.
6. Diámetro foliar para todas las variedades.
7. Modelos de tendencia para la variable diámetro de raíz.
8. Tendencia de ajuste entre lámina total y diámetro foliar.
9. Area foliar para todas las variedades.
10. Modelos de tendencia para la variable área foliar.
11. Tendencia de ajuste entre lámina total y área foliar.
12. Peso fresco de las hojas para todas las variedades.
13. Modelos de tendencia para la variable peso fresco de las hojas.
14. Tendencia de ajuste entre lámina total y peso fresco de las hojas.
15. Peso seco de las hojas para todas las variedades.
16. Modelos de tendencia para la variable peso seco de las hojas.
17. Tendencia de ajuste entre lámina total y peso seco de las hojas.
18. Profundidad para todas las variedades.

19. Modelos de tendencia para la variable profundidad de raíz.
20. Tendencia de ajuste entre profundidad y lámina total.
21. Longitud de raíz para todas las variedades.
22. Ajuste para la variable longitud.
23. Diámetro de raíz para todas las variedades.
24. Modelos de tendencia para la variable diámetro de raíz.
25. Tendencia de ajuste entre y lámina total y diámetro de raíz.
26. Peso fresco de raíz para todas las variedades.
27. Ajuste de la variable peso fresco de raíz.
28. Peso seco de raíz para todas las variedades.
29. Modelos de tendencia para la variable peso seco de raíz.
30. Tendencia de ajuste entre la lámina y peso seco radical.
31. TAN para la variedad 1.
32. TAN para la variedad 2.
33. TAN para la variedad 3.
34. TAN para la variedad 4.
35. Modelos de ajuste para TAN en todas las variedades.
36. TCR para las variedades 1 y 2.
37. TCR para las variedades 3 y 4.
38. Modelos de ajuste de TCR para todas las variedades.
39. RAF para las variedades 1 y 2.
40. RAF para las variedades 3 y 4.
41. Modelos de ajuste para la RAF en todas las variedades.

42. IAF para las variedades 1 y 2.
- 43 IAF para las variedades 3 y 4.
- 44 Modelos de ajuste de IAF para todas las variedades.
- 45 Tendencia de las relaciones entre variables para la variedad 2. (psr / Af).
- 46 Tendencia de las relaciones entre variables para la variedad 4. (psr / psh)
- 47 Tendencia de las relaciones entre variables para la variedad 2. (psr / psh)
- 48 Correlación entre altura y profundidad para todas las variedades.
- 49 Correlación entre diámetro foliar y diámetro radical para todas las variedades.

## TABLA DE CONTENIDO

### INTRODUCCION

### OBJETIVOS

3.	REVISION DE LITERATURA.	4
3.1	Generalidades.	4
3.2	Origen.	4
3.3	Botánica.	5
3.3.1	Taxonomía.	5
3.3.2	Morfología	5
3.3.2.1	Raíz.	5
3.3.2.2	Hojas.	6
3.3.2.3	Tallo.	6
3.3.2.4	Flor.	6
3.3.2.5	Semilla.	6
3.4	Ecología.	7
3.4.1	Clima.	7
3.4.2	Suelos.	8
3.5	Tipos y variedades.	8
3.5.1	Tipos de cabeza.	8

3.5.1.1	Cabeza firme.	9
	Variedad Vanmax.	9
3.5.1.2	Cabeza suave.	9
	Variedad White Boston.	9
3.5.1.2.2	Variedad Batavia.	9
3.5.2	Tipo de hoja suelta.	10
3.5.2.1	Hoja suave.	10
	Variedad Simpson.	10
3.5.3	Tipo cos o romana.	10
3.6	Sistema raíz.	11
3.6.1	Profundidad del sistema radical.	12
3.7	Agua	12
3.7.1	El agua en el suelo.	13
3.7.2	Absorción del agua.	14
3.7.3	Zona de absorción.	14
3.8	Riego.	15
3.8.1	Microaspersión.	16
3.8.1.1	Ventajas.	17
3.8.1.2	Desventajas	17
3.8.2	Riego en gradiente.	17
3.9	Análisis de crecimiento.	19
3.9.1	Tasa de crecimiento relativa. TCR	19
3.9.2	Tasa de asimilación neta. TAN	20

3.9.3	Índice de área foliar. IAF	21
3.9.4	Relación área foliar. RAF	21
4.	MATERIALES Y METODOS.	22
4.1	Localización y época de experimentación.	22
4.2	Características de clima.	22
4.3	Características físico-químicas del lote experimental.	22
4.4	Aspectos importantes del experimento.	23
4.4.1	Variedades.	23
4.4.2	Diseño de campo.	23
4.4.2.1	Diseño experimental.	23
4.4.2.2	Área total y tamaño de la unidad experimental.	24
4.4.2.3	Tratamientos.	24
4.4.3	Toma de datos.	24
4.5	Prácticas culturales	25
4.5.1	Semillero.	25
4.5.2	Transplante.	25
4.5.3	Control de malezas.	25
4.5.4	Fertilización.	26
4.6	Sistema de riego y disposición.	26
4.6.1	Medida de la lámina de riego.	26
4.7	Técnicas de muestreo y medidas.	27
4.7.1	Número de hojas.	27
4.7.2	Altura de la planta.	27

4.7.3	Diámetro foliar.	27
4.7.4	Area foliar.	27
4.7.5	Peso fresco hojas y raíz.	27
4.7.6	Peso seco hojas y raíz	27
4.7.7	Profundidad radical.	27
4.7.8	Longitud de la raíz.	28
4.7.9	Diámetro radical.	28
4.8	Cuantificación de parámetros para análisis de crecimiento.	28
4.9	Análisis realizados.	28
4.9.1	Análisis de varianza.	28
4.9.2	Regresiones.	29
4.9.3	Correlaciones.	29
5.	RESULTADOS Y DISCUSION	31
5.1	Parámetros medidos.	31
5.1.1	Número de hojas	31
5.1.2	Altura.	33
5.1.3	Diámetro foliar.	34
5.1.4	Area foliar.	36
5.1.5	Peso fresco hojas.	38
5.1.6	Peso seco hojas.	40
5.1.7	Profundidad.	43
5.1.8	Longitud.	45
5.1.9	Diámetro de raíz.	46

5.1.10	Peso fresco raíz.	48
5.1.11	Peso seco raíz.	49
5.2	Análisis de crecimiento.	51
5.2.1	TAN	52
5.2.2	TCR	54
5.2.3	RAF	56
5.2.4	IAF	58
5.3	Correlaciones entre variables de respuesta.	59
5.3.1	Peso seco de raíz v/s Area foliar.	59
5.3.2	Peso seco de raíz v/s Peso seco de hojas.	60
5.3.3	Peso seco de raíz v/s Diámetro foliar.	60
5.3.4	Altura v/s Profundidad radical.	61
5.3.5	Diámetro foliar v/s Diámetro radical.	61

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

## BIBLIOGRAFIA.

## ANEXOS

## INTRODUCCION

La producción de hortalizas mundialmente ha experimentado cambios notorios a lo largo del siglo XX. De la producción de huertos en policultivo para atender la demanda en mercados locales próximos se ha pasado a sistemas altamente especializados e intensivos que proporcionan cosechas para consumo en mercados nacionales.

La olericultura puede producir ingresos monetarios a corto plazo al proporcionar productos para el mercado local o distante y materia prima para la agroindustria; además, esta íntimamente ligada al desarrollo agrícola y rural ya que por su carácter intensivo es fuente de ocupación de mano de obra, contribuye a la alimentación de familias de bajos recursos y ayuda a mantener buenos niveles nutricionales.

La lechuga se destaca entre los cultivos hortícolas por sus características nutricionales, como alimento esencial en la dieta de cualquier hogar; aunque ha sido estudiada ampliamente en su fenología, fisiología y relación con el medio, aún presenta aspectos desconocidos en su manejo agronómico, tal como el de manejo de agua y riegos.

Las prácticas de riego en la olericultura se efectúan de varias formas. Algunos utilizan riego por gravedad en forma de inundación, por surcos y por aspersión en sus

diferentes aplicaciones; en nuestro medio esta práctica casi siempre se implanta de manera rústica y sin ningún tipo de consideración técnica .

La producción de hortalizas hace un uso intenso del agua, razón por la cual se hace necesario aumentar la eficiencia de riego, con base en el conocimiento de variables fisiológicas, entre las cuales se destaca el crecimiento de raíz, la cual depende en gran parte de el agua que es necesario aplicar.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Estudiar el efecto de diferentes láminas de riego en la producción de lechuga.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar la relación parte aérea, parte radical en respuesta a la lámina de riego aplicada.
- Obtener láminas de riego óptimas para el desarrollo del cultivo
- Formular modelos para las diferentes variables en función de la láminas óptimas obtenidas.

### 3. REVISION DE LITERATURA.

#### 3.1 Generalidades

La lechuga es la más importante de las hortalizas de hoja que se consumen en todo el mundo. Su producción es fácil, su calidad se puede mejorar, en los periodos de disponibilidad de los mejores tipos, mediante sencillas practicas y selección de cultivares apropiados (Casseres, 1984).

Es un cultivo fácil de manejar y por consumirse en crudo es de simple preparación y no pierde su valor nutritivo (ICA, 1983).

#### 3.2 Origen

Los griegos y los Romanos de la prehistoria conocieron la lechuga. Heródoto hace constar que ya para el siglo IV al siglo V a. C. , los persas la cultivaban (ICA, 1983).

Existen pinturas de una forma de lechuga que datan del año 4500 a.C. y proceden probablemente de Asia Menor (Casseres, 1984 y Valadéz, 1994).

### 3.3 Botánica

#### 3.3.1 Taxonomía

La lechuga se clasifica de la siguiente manera:

Clase:	Dicotiledoneae
Familia:	Compositae
Genero:	Lactuca
Tribu:	Cichorieae
Especie:	<i>Lactuca sativa</i> L.

En lechuga, el tipo de hoja suelta corresponde a la variedad botánica "crispa" y el tipo de cabeza a la variedad "capitata" (ICA, 1983; Casseres, 1984; Palacios, citado por Archila, 1992).

#### 3.3.2 Morfología

##### 3.3.2.1 Raíz

El sistema radical de la lechuga está conformado por una raíz principal que crece en sentido vertical, y un sistema de raíces laterales que se ramifican intensamente. La raíz es pivotante y presenta un eje principal carnoso, con abundante látex, pudiendo llegar hasta 1.30 m de profundidad (Gaviola, 1990; Casseres, 1984).

Se reporta que las principales raíces de absorción se encuentran a una profundidad de 5 a 30 cm (Guenco, citado por Valadez, 1994).

### 3.3.2.2 Hojas

Las hojas son lisas, sin peciolo, con extremo que puede ser redondeado o rizado. Su color va del verde amarillo hasta el morado claro, dependiendo del tipo. Dependiendo de la variedad las hojas nacen alrededor del tallo formando un manojo o cabeza. Por su consistencia, pueden ser rígidas y suaves (Maroto, 1993; Gaviola, citado por Arévalo, 1993; Valadez, 1994).

### 3.3.2.3 Tallo

Es corto, crece lentamente y no ramifica en las primeras etapas. Cuando culmina la etapa vegetativa, comienza el desarrollo del tallo floral, consistente en un alargamiento del mismo hasta alturas de 60 a 120 cm, dando origen a la etapa reproductiva. Este tallo está provisto de hojas que lo abrazan, cada vez mas pequeñas a medida que estén situadas más arriba (Gaviola, 1990; García, 1967; López, 1988).

### 3.3.2.4 Flor

En lo referente a la inflorescencia, las flores se agrupan en capítulos de 15 a 25 flores, las cuales están ramificadas y son de color amarillo (Valadéz, 1994).

### 3.3.2.5 Semilla

Las semillas son alargadas y generalmente de color blanco crema, aunque también existen pardas y castañas. Llegan a tener de 4 a 5 mm de longitud (Valadéz, 1994).

Se debe tener en cuenta que las semillas de lechuga son sensibles a la temperatura de germinación, por lo cual se recomienda una luminosidad y temperatura adecuadas (García, 1967).

### 3.4 Ecología

#### 3.4.1 Clima

La semilla germina mejor en suelos con temperaturas entre 20 y 26 °C, con óptimas de 24 °C, en cuyo caso aparecen plántulas de 2 a 3 días después de la siembra (Casseres, 1984).

La temperatura media óptima para el desarrollo normal de la parte aérea aprovechable es de 15 a 18 °C con máximas de 21 °C y mínimas de 7 °C. Si se presentan temperaturas bajas durante 10 a 30 días, hay emisión prematura de tallos florales (ICA, 1983).

Las heladas dañan con frecuencia las plantas, provocando lesiones en los extremos superiores de las hojas, con lo cual la planta pierde mucho de su valor comercial (Turchi, 1987).

La lechuga requiere de 500 a 700 mm de agua durante todo su ciclo; la alta humedad trae problemas pudrición basal causada por el hongo *Sclerotinia sp* (ICA, 1983).

### 3.4.2 Suelos

En general todos los suelos son apropiados para el cultivo de la lechuga, pero deben llenar requisitos básicos: contenido alto de materia orgánica, no ser ácido y estar húmedo durante todo el ciclo del cultivo (ICA, 1983; Heysson, 1985). Las mejores texturas son las franco arcillosas y franco arenosas (ICA, 1983; Valadéz, 1990).

El pH mas apropiado para el cultivo es de 5.2 a 5.8 en suelos orgánicos y de 5.5 a 6.7 en suelos de origen mineral. El suelo rico en materia orgánica beneficia a la lechuga, ya que por su alta retención de humedad responden favorablemente a la alta demanda de agua por parte del cultivo (Casseres, 1984; ICA, 1983; Valadéz, 1994).

### 3.5 Tipos y variedades

Según Whitaker citado por ICA (1983), la forma como crece la lechuga determina su clasificación en tres tipos principales: las que forman cabeza que son conocidas en varios países como - lechugas arrepolladas-; lechugas de hojas sueltas que no forman cabeza y las lechugas con manojos de hojas semiabierto y de forma alargada, denominadas cos o romana.

#### 3.5.1 Tipo de cabeza

En el tipo de lechugas de cabeza hay dos clases: de cabeza firme y de cabeza suave.

3.5.1.1 Cabeza firme. Color verde intenso, con hojas grandes totalmente envolventes, de superficies un tanto toscas que se asemejan mas a un repollo; son las de mayor aceptación comercial. Se encuentran variedades como Great lakes, Vanmax, imperial e.t.c (Casseres, 1984).

Variedad Vanmax. Variedad rizada arrepollada, presenta una cabeza fieme solida, hojas de textura fragil. Las cabezas pueden medir 15 o más cm de diámetro y son resistentes al manipuleo en el transplante.

3.5.1.2 Cabeza suave. Variedades de cabeza suavemente apretadas o tipo mantequilla. Las hojas son de consistencia suave, sabor a mantequilla; la cabeza es menos firme y mas pequeña que las de cabeza firme. Se magullan facilmente, lo que exige un manejo cuidadoso. Variedades típicas de estas son la Grifon, Big Boston, White Boston, Batavia lisa etc (Casseres, 1984; ICA, 1983).

Variedad White Boston. Medianamente grande, la planta tierna es de hojas erectas y escalonadas; la planta madura es compacta de cabeza semifirme bien definida, amplia y ligeramente ahusada; de hojas lisas, anchas, tersas de consistencia suave y apariencia grasienta, ligeramente escalonadas, algo torcidas, rígidas, de color verde claro (Whitaker, citado por Pinzón, 1990).

3.5.1.2.2 Variedad Batavia. Muy popular, su maduración es rápida y generalmente toleran condiciones mas pobres que otras variedades. Las hojas

son blandas y sus bordes lisos. De tamaño medio y de color verde muy amarillento. Tiene maduración rápida y delicado sabor (García, 1967).

### 3.5.2 Tipos de hoja suelta

Estas variedades no producen cogollo o cabeza. El hábito de crecimiento de las hojas es erecto y son de color verde amarillento. Se pueden distinguir dos clases de hoja crespada y de hoja suave.

3.5.2.1 Hoja crespada. Las hojas son de color verde oscuro, bastante rígidas y fuertes, representada por el cultivar Grand Rapids. Esta clase se usa para producción forzada bajo condiciones de clima artificial en invernaderos.

3.5.2.2 Hoja suave. Las hojas son de color verde claro, amarillento, muy lisas al tacto; es típica la variedad Simpson.

Variedad Simpson. Plantas grandes, compactas y de hábito erecto, sus hojas son suaves al tacto, de color verde claro tornando hacia verde amarillento en las hojas tiernas, de excelente calidad pero muy frágil al manipuleo (Casseres, 1984; García, 1967).

### 3.5.3 Tipo cos o romana.

Forman una cabeza semiabierta, ovalada y alargada, que consiste de un manojo de hojas suavemente apretadas una contra otra. El centro de estas cabezas adquiere un color verde claro amarillento y atrayente, cuyas hojas tiernas son de

alta calidad. Las variedades representativas son White París y Dark Green Cos (Heysson, 1985).

### 3.6 Sistema raíz

Dentro de la anatomía de la raíz se pueden diferenciar dos tipos de tejidos, los encargados de la función de acumulación y crecimiento y los encargados de la función de transporte de agua y sustancias minerales.

En general se caracteriza por presentar una cobertura externa para protección (epidermis y exodermis), una porción encargada de la función de acumulación o almacenamiento de sustancias orgánicas (cortex) y una estructura interna cuya función principal es la conducción (sistema vascular) (Corredor, 1994).

Las raíces laterales se originan ordinariamente en el periciclo de la raíz principal y subsiguientemente crecen a través del cortex (Corredor y Khalil, 1988). En muchas plantas la endodermis de la raíz principal toma parte en el crecimiento inicial de la raíz lateral (Corredor y Valencia, 1991).

Las raíces presentan una amplia variación morfológica y presentan diferencias estructurales y de desarrollo en relación con sus especialidades fisiológicas; además la forma y la profundidad de su penetración en el suelo varían de una

especie a otra y en gran parte dependen de los diversos factores del suelo (Corredor, 1994).

### 3.6.1 Profundidad del sistema radical.

Además de la especie vegetal, la penetración de las raíces depende del tipo y conformación de suelo y subsuelo, de la profundidad, del nivel freático y del riego o lluvia al comienzo del crecimiento (Malaver y Hernández, 1994).

Hay plantas como las hortalizas, que no superan los 60 cm de sistema radical, aun bajo condiciones favorables de humedad de suelo. Es común que las raíces sufran limitaciones en su penetración, ocasionadas por horizontes duros, o por una deficiencia de riego, lo que incide en una baja penetración en el suelo (Denisen, 1987).

### 3.7 Agua

El agua radica su importancia en el aspecto fisiológico. Todos los procesos vegetales están directa o indirectamente afectados por el abastecimiento de agua. La actividad metabólica de células y plantas se encuentran estrechamente ligadas a su contenido hídrico (Kramer, 1983).

El agua es un constituyente fundamental de la estructura del protoplasma y en la mayoría de las células representa el 95% del peso fresco. De tal manera que si se

deshidrata el protoplasma, su actividad biológica cesa y si el contenido de agua se hace muy bajo la célula muere (Malaver y Hernández, 1994; Kramer, 1983).

Entre otras de sus funciones se encuentran, el ser disolvente de gases, minerales, y demás solutos que penetran en las células vegetales y pasan de un lado a otro debido a la permeabilidad al agua de la mayoría de las paredes celulares; es reactivo en fotosíntesis y procesos hidrológicos y además mantiene la turgencia en las células que es tan importante para el ensanchamiento y crecimiento de estas (Kramer, 1983).

### 3.7.1 El agua en el suelo

El agua que contiene el suelo está retenida por diferentes fuerzas que constituyen el potencial hídrico del suelo. Las raíces solamente pueden absorber el agua del suelo si son capaces de aplicar una succión lo suficientemente grande para desplazarla del suelo (Malaver, 1994).

La actividad metabólica se encuentra directamente relacionada con el contenido de agua en el suelo. Este contenido puede afectar el crecimiento vegetal alterando los procesos fisiológicos y condiciones internas de las plantas (Barceló, 1980; Black, 1975).

### 3.7.2. Absorción del agua

La capacidad de la raíz para absorber agua y minerales no aumenta en proporción directa con la longitud o área de las raíces, ya que mientras son formadas nuevas raíces, las más viejas maduran y son menos permeables (Kramer, citado por Corredor, 1994).

La eficiencia de la raíz en la absorción depende de la extensión de los sistemas radicales y de la eficiencia de las raíces individuales. Estas características dependen tanto de sus potencialidades hereditarias como del ámbito en que se desarrollan (Kramer, 1983). Por otra parte, debe tenerse en cuenta la distribución del sistema radical en el perfil del suelo, pues un mayor porcentaje de agua es absorbido por la raíz de las capas superficiales (Denisen, 1987).

### 3.7.3 Zona de absorción

El agua tiende a penetrar en las raíces más rápidamente por las regiones que ofrecen menor resistencia a su movimiento. La localización de la región de más rápida absorción varía según las especies, la edad, y el coeficiente de crecimiento, y también con la magnitud de la tensión producida en el sistema de conducción del agua (Kramer, 1983).

En las plantas jóvenes las raíces absorben el agua por las zonas meristemáticas pero en las plantas de mayor edad éstas no cumplen una función de absorción (Denisen, 1987).

### 3.8 Riego

El riego se define como la aplicación artificial del agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo. En sentido más amplio, la irrigación puede definirse como la aplicación de agua al terreno con los siguientes objetivos: proporcionar la humedad necesaria para el desarrollo de los cultivos, asegurar cosechas contra sequías de corta duración, refrigeración del suelo y disolución de sales (Israelsen, 1985).

El consumo de agua por la planta debe estimarse con el máximo de precisión, de ahí la necesidad de conocer con exactitud la evapotranspiración; una vez conocido el consumo se podrán determinar las necesidades de agua de riego (Saint Foulc, 1975).

No es conveniente determinar el momento para iniciar el riego por el aspecto que presenta el suelo porque o bien la zona de raíces aun puede disponer de humedad suficiente, o porque la humedad se acerca al punto de marchitez permanente (PMP) con la posibilidad que se produzcan daños fisiológicos irreversibles (Buriticá, 1994).

#### 3.8.1 Microaspersión

El riego por aspersión se define como la aplicación de una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre el lote con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae. Lo que se busca con este método de riego es conseguir

un reparto uniforme sobre la superficie del terreno entre varios aspersores (Tarjuelo y Benito, 1995).

La microaspersión surge como solución al problema que se presenta en suelos muy permeables en los que el bulbo húmedo se desarrolla mucho en profundidad y poco en anchura (Pizarro, 1990).

El riego por microaspersión es un sistema de aplicación de agua asperjada a la zona radical del cultivo, mediante emisores (microaspersores, microjets, etc. ), que guarda grandes similitudes con el goteo. Los microaspersores son pequeños, modulares, montados sobre una base y conectados a los laterales mediante insertadores (fijos y desarmables) y tubería de P.V.C (Armoní, 1986).

La diferencia fundamental con los demás emisores de riego localizado es que en los microaspersores, el agua pulverizada, se distribuye por el aire hasta distancias variables y alcanza el suelo mojando una superficie considerable, mientras que en los demás emisores el agua cae en forma de gota o chorro sobre una superficie pequeñísima y la distribución de humedad se hace a través del suelo (Pizarro, 1990).

#### 3.8.1.1 Ventajas de la microaspersión.

Economía del agua.

El bulbo cubre una mayor superficie en cuanto a extensión y no es tan profundo.

Hay un mejor control visual de funcionamiento, comparado con goteros, menor número de emisores y mejor visión a distancia.

Control de microclima para proteger contra heladas y contra altas temperaturas.

La mayor extensión del bulbo hace que las zonas de concentración de sales estén más alejadas de las plantas; además para hacer lavados es más fácil desplazar los microaspersores de su emplazamiento.

#### 3.8.1.2 Desventajas

Debe tener una posición vertical de trabajo para garantizar el buen funcionamiento.

Mayor costo.

Perdidas por evaporación del agua pulverizada.

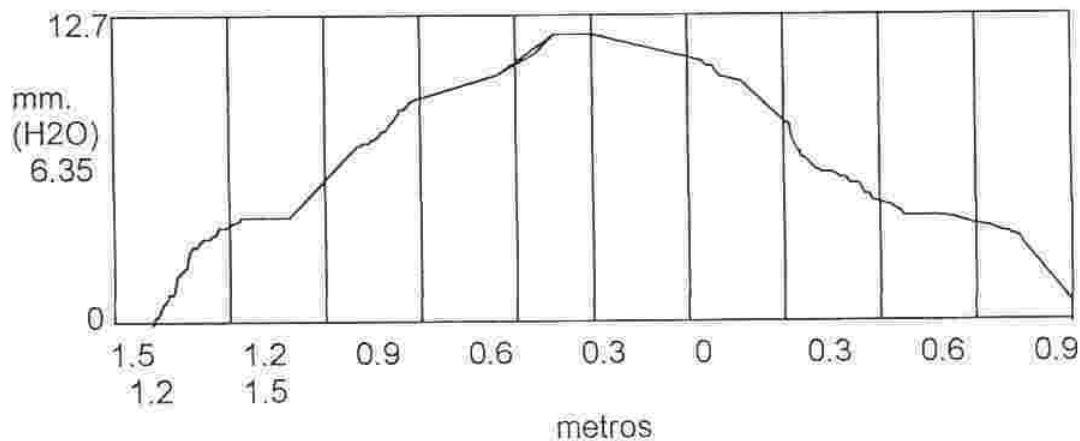
Interferencia del viento especialmente en áreas abiertas y huertos jóvenes (Pizarro, 1990; Armoni, citado por Pava, 1994; Savaldi, 1991).

#### 3.8.2 Riego en gradiente

Hanks citado por Pava (1994), describe el sistema como una línea de aspersión compuesta por un lateral con aspersores espaciados muy cerca. La lámina de agua aplicada es esencialmente constante a lo largo de la línea, pero decreciente en la dirección perpendicular, resultando un gradiente de la lámina, el cual tiene su máximo cerca a la línea de los aspersores y decrece hasta llegar a cero (0), a una distancia igual al radio húmedo del aspersor.

Watts citado por Pizarro (1990), reporta una modificación al sistema de la línea de aspersión consistente en la utilización de dos líneas de aspersores, una de las cuales dará el tratamiento de gradiente cuando este sea deseado. Señala además que aunque estos arreglos son contradictorios a los procedimientos de diseño de riego por aspersión, resultan adecuados para investigaciones de este tipo.

A continuación se presenta el patrón de distribución de un aspersor individual obtenido para una presión determinada, operando bajo condiciones favorables es decir, presión adecuada y sin viento.



### 3.9 Análisis de crecimiento

La aproximación cuantitativa, mediante el empleo de índices, al análisis de los factores que afectan el crecimiento y desarrollo vegetal en términos de

acumulación de materia seca a través del tiempo, es conocido como análisis de crecimiento.

Si se desea medir la bioproductividad de un ecosistema natural o de un cultivo, el componente de interés inmediato es la producción primaria neta o el rendimiento total. Por lo general es suficiente restringir el interés a las partes aéreas (Beadle, 1988).

Para el análisis del crecimiento solamente se necesitan dos tipos de mediciones: El peso de la planta, y el tamaño del sistema asimilatorio. En cuanto al peso, generalmente este es el peso seco a la estufa (kg, g) pero puede ser la materia orgánica o el contenido de energía. En cuanto al tamaño del sistema asimilatorio, de ordinario es el área foliar (m, cm), pero puede ser el contenido de proteína o de clorofila de la hojas (Beadle, 1988; Radford, 1967).

Los índices empleados para este análisis son:

3.9.1 Tasa de crecimiento relativo. (TCR): Es el único componente del análisis de crecimiento que no requiere del conocimiento del tamaño del sistema asimilatorio. (Beadle, 1988); es un índice de eficiencia por cuanto expresa el crecimiento en

términos de una tasa de incremento en peso por unidad de tamaño y tiempo (Hunt, citado por Pedroza, 1996). Definida con la siguiente fórmula

TCR:  $(LN W2 - LN W1) / ((T2 - T1))$ ; donde:

W= Peso seco a la estufa.

T= tiempo (semanas de muestreo).

3.9.2 Tasa de asimilación neta. (TAN): El término de tasa de asimilación neta con frecuencia se usa de manera intercambiable con la tasa foliar unitaria pero se prefiere esta última. Esta mide el aumento neto en el peso seco de la planta por área foliar unitaria y diferente de la tasa fotosintética que mide la ganancia neta de carbono solo durante el periodo de luz. Se da por la siguiente fórmula:

TAN =  $( (W2-W1)/(AF2-AF1)) * ((LN AF2 - LN AF1)/(T2-T1))$ . donde,

W= Peso seco de las hojas en la estufa.

AF= Area foliar de la planta.

LN= Logaritmo Natural

T= Tiempo.

3.9.3 Índice de área foliar. (IAF): Si se desea específicamente considerar la productividad de los cultivos o de los ecosistemas naturales, es conveniente

expresar su comportamiento por unidad de área de terreno. Este es el área foliar por área unitaria de terreno, o índice de área foliar. Se puede expresar como:

$$IAF = (AF2 - AF1) / AS, \text{ donde:}$$

AF = Área foliar.

AS = Área de suelo.

3.9.4 Relación de área foliar. (RAF): La relación de área foliar de una planta o un cultivo en cualquier instante de tiempo es la razón de material asimilatorio por unidad de material vegetal presente. Se expresa como:

$$RAF = ((AF1 / W1) + (AF2 / W2)) / 2 \text{ donde:}$$

AF = Área foliar.

W = peso seco en la estufa (Radford, 1967; Beadle, 1988).

## 4. MATERIALES Y METODOS

### 4.1 Localización y época de experimentación.

El experimento se realizó en los invernaderos de la Facultad de Agronomía en la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá), durante el primer y parte del segundo semestres de 1997. Los análisis de laboratorio se efectuaron en los Laboratorios de Fisiología Vegetal de la misma facultad.

### 4.2 Características climáticas.

Los invernaderos de la Facultad de Agronomía, se encuentran a una altura de 2556 m.s.n.m, temperatura promedio anual de 14.7°C, con precipitación media anual de 972 mm / año, brillo solar promedio de 4,05 horas diarias ( Rodríguez 1994 ).

### 4.3 Características físico - químicas del lote experimental.

En general, el lote donde se llevó a cabo el ensayo, se encontraba en buenas condiciones físico-químicas.

El análisis de suelos (anexo 1) mostró un cierto grado de acidez con un pH de 4.6, por lo cual se recomendó una aplicación de 100 Kg. / Ha de cal dolomita antes de

la siembra. El contenido de materia orgánica fue normal, con algunas deficiencias de elementos menores. El análisis de suelo presenta una textura franco-arcillosa que el ICA ( 1983) considera la mejor para el cultivar, en general, el suelo no presenta limitantes físicas ni químicas para la producción de lechuga.

#### 4.4 Aspectos importantes del experimento.

##### 4.4.1 Variedades.

En el ensayo, realizado bajo cubierta, se utilizó semilla de cuatro variedades diferentes. Las variedades utilizadas fueron: Vanmax, Simpson, Batavia, Boston. Siendo Vanmax una variedad nueva en el mercado.

##### 4.4.2 Diseño de campo

###### 4.4.2.1 Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado en el ensayo fue el de franjas divididas con muestreo. Este diseño se realizó con cuatro bloques ,cuatro variedades ,cinco tratamientos (4 x 4 x 4) (figura 1). Dicho diseño es el más apropiado para analizar el sistema de riego por gradiente planeado en el ensayo.

La siembra del semillero con todas las variedades se llevó a cabo el mismo día, el transplante del material se realizó a los 30 días; en este tiempo las plántulas tenían de 4 a 6 hojas.

#### 4.4.2.2 Área total y tamaño de la unidad experimental.

El área total del ensayo fue de 305 m<sup>2</sup>, divididos en 64 unidades experimentales, de 3.58 m<sup>2</sup> cada una. Cada una estuvo compuesta por 42 plantas, con distancias de siembra de 0.25 x 0.25 m, ubicadas en las camas.

#### 4.4.2.3 Tratamientos.

El largo de las camas, 3.10 m, se dividió en 4 tratamientos, creando el efecto de gradiente dado por los aspersores. Cada uno de los tratamientos tuvo una lámina de agua diferente, con los siguientes valores:

Tratamientos	Lámina(cm)
1	1.10*
2	0.8*
3	0.615*
4	0.468*
testigo*	0.962**

\* Aplicado diariamente durante 1 hr.

\*\* Regado cada tres días, durante 1 hr.

Los testigos se separaron para evitar caída de agua no controlada sobre ellos.

#### 4.4.3 Toma de datos.

Se realizaron muestréos semanales destructivos, tomando 2 plantas por unidad experimental, dando un total de 160 plantas por muestréo. Estos muestréos se realizaron desde el día del transplante hasta la 8<sup>a</sup> semana después del transplante (s.d.t.), la cual fue considerada como punto de cosecha ya que el 50 % de las cabezas de cada variedad se encontraban en el punto de madurez comercial; para

las variedades de cabeza y un crecimiento óptimo total, para las variedades de hoja suelta y cabeza suave.

#### 4.5 Prácticas culturales.

##### 4.5.1 Semillero.

La siembra se realizó el 3 de febrero de 1997, en las inmediaciones de los municipios de Tabío y Tenjo bajo condiciones de invernadero. La semilla fue sembrada en bandejas plásticas de 200 unidades, y cada unidad con un área de 9 cm<sup>2</sup>. Compartimientos especiales para la producción de hortalizas.

##### 4.5.2 Transplante.

El transplante se efectuó el 5 de marzo, en un área de 20 m x 12.4 m, en camas de 3.10 m de largo por 0.5 m de ancho. En cada cama se ubicaron 28 plantas sembradas en cuadro a distancias de 0.25 x 0.25 m, dando un total de 672 plantas por bloque. El número de camas por bloque fue de 24 y se ubicaron 4 bloques en el área del ensayo. El testigo se ubicó en un área de 35 m<sup>2</sup>, separando cada variedad.

##### 4.5.3 Control de malezas.

Se realizó antes del transplante con herbicida no selectivo Glifosato, en una dosis de 10 ml de producto comercial por bomba de 10 lt. y durante el cultivo de forma manual, una labor a los 25 días después del transplante (d.d.t) y otra a los 50 d.d.t

##### 4.5.4 Fertilización.

La fertilización del ensayo se realizó a los 30 d.d.t, con una aplicación foliar de Nitrogeno, en una dosis de 25 ml de producyto comercial por bomba de 10 lt.

#### 4.6 Sistema de riego y disposición.

Se utilizó un sistema de riego por microaspersión, adaptándolo al método de riego por gradiente.

Al tubo principal de 2" se le adaptó un lateral de 20 m con manguera de 16 mm. Los microaspersores, 5 por cada lateral, con un diámetro de alcance de 6.20 m, y caudal de 35 lt/hr, se ubicaron cada 4 m sobre la longitud del lateral, teniendo en cuenta de mojar el largo de las camas totalmente. Se regó diariamente durante una hora en todas las etapas de crecimiento del cultivo, aumentando en 15 minutos los 3 primeros d.d.t, para lograr una mejor adaptación del material al sitio definitivo y evitando la mortalidad de las plantas por falta de agua.

##### 4.6.1 Medición de la lámina de riego.

Se utilizaron vasos desechables de tinto con diámetro de la boca de 6.3 cm y probetas de 100 ml para medir la cantidad de agua caída en las zonas formadas, por el sistema de riego por gradiente. Estas mediciones se realizaron semanalmente.

#### 4.7 Técnicas de muestreo y medidas.

4.7.1 Numero de hojas. Es el numero de hojas por planta., en el momento del muestreo.

4.7.2 Altura. Definida como la altura de la planta desde el nivel del suelo a su parte mas alta medida en cm.

4.7.3 Cobertura foliar. Diámetro que ocupa la planta medida en centímetros.  
Diámetro (cm.)

4.7.4 Área foliar. Para la determinación del área foliar se utilizo un planímetro electrónico marca Li-Cor con indicador digital. Medida en  $\text{cm}^2$ .

4.7.5 Peso fresco de las hojas y la raíz. Medido con balanzas de precisión en gramos (g.)

4.7.6 Peso seco de las hojas y la raíz. Obtenido al secar las muestras en durante 72 horas a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (g.)

4.7.7 Profundidad de raíz. Tomada como la profundidad que alcanza la raíz en el campo. Medida en cm.

4.7.8 Longitud de raíz. Largo de la raíz medida en el laboratorio una vez lavada esta. Medida en cm.

4.7.9 Cobertura de la raíz. Diámetro que ocupa la raíz a lo ancho en el momento del muestreo. Medida en cm.

#### 4.8 Cuantificación de parámetros para el análisis de crecimiento.

Para la cuantificación de estos parámetros se utilizaron los valores de área foliar, peso seco de hojas y de raíz y tiempo, medidos durante la realización del experimento. Se utilizaron las siguientes fórmulas.

T.C.R.	$LN W2 - LN WP1 / T2 - T1$
T.A.N.	$(W2 - W1 / AF2 - AF1) (LN AF2 - LN AF1 / T2 - T1)$
I.A.F.	$(AF2 - AF1 / LN AF2 - LN AF1) / As$
R.A.F.	$(AF2 - AF1 / W2 - W1)(LN W2 - LN W1 / LN AF2 - LN AF1)$

donde

W	Peso seco (g)
AF	Área foliar ( cm <sup>2</sup> )
LN	Logaritmo natural
T	Tiempo (semanas)

#### 4.9 Análisis realizados.

##### 4.9.1 Análisis de varianza.

Se realizó un análisis de varianza simple , para las fuentes de variación bloques, variedades, láminas tiempo y sus diferentes interacciones para medir las significancias estadísticas del experimento, ajustado al modelo estadístico de franjas divididas con muestreo. Este análisis se basa fundamentalmente en los parámetros medidos en campo.

##### 4.9.2 Regresión.

Los datos obtenidos se ajustaron a modelos de regresión, para obtener la tendencia de estos y poder llegar a diferentes modelos de crecimiento.

#### 4.9.3 Correlaciones.

Se calcularon coeficientes de correlación, para medir el grado de interacción existente entre las variables medidas durante la realización del experimento.

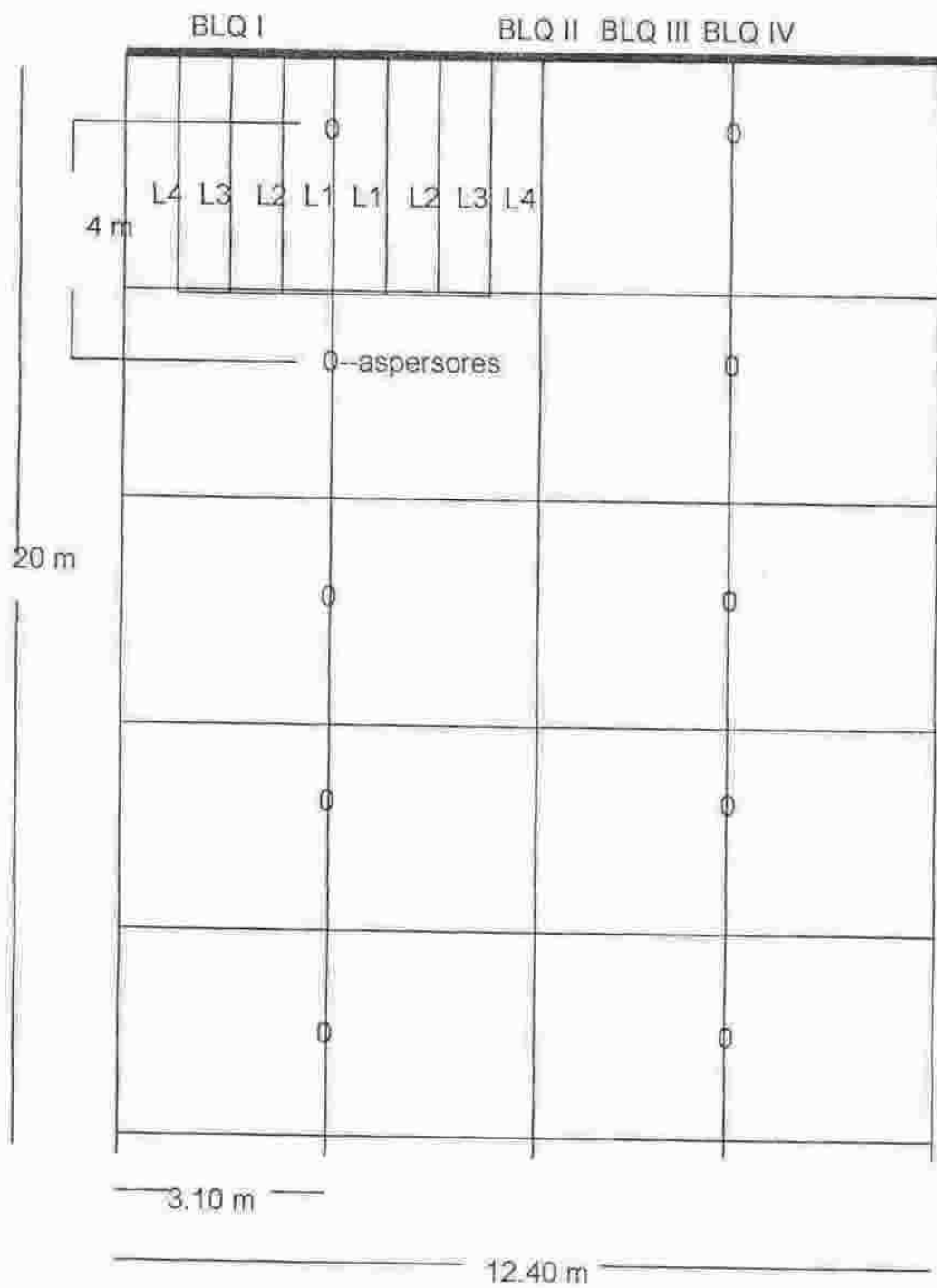


Figura 1. Sistema de riego y disposición del experimento.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1 Parámetros medidos.

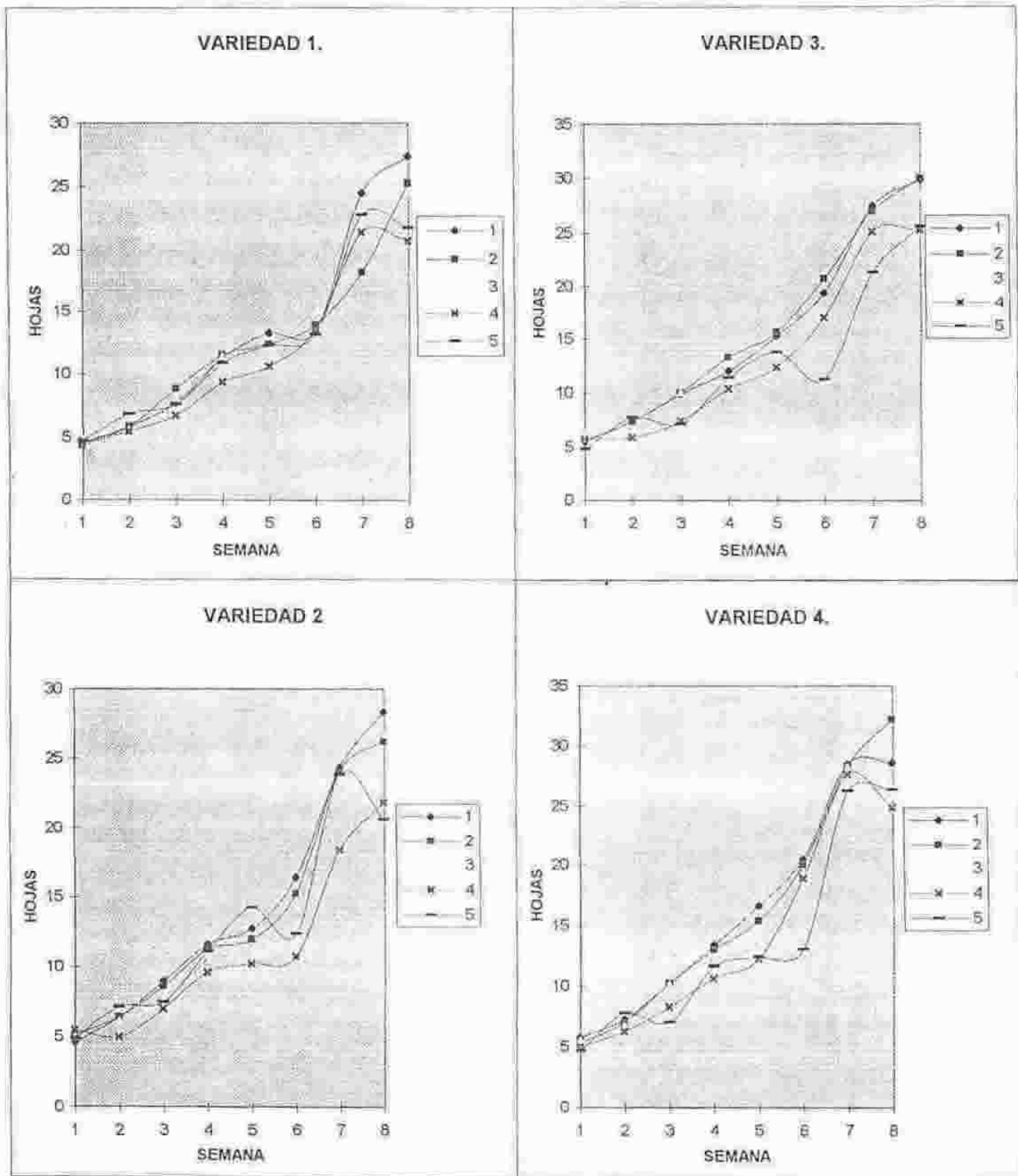
#### 5.1.1 Número de hojas

Todas las variedades en las primeras semanas presentan de 4 a 6 hojas; en la semana quinta se presentan aumentos considerables en el número de hojas debido, posiblemente a que en estas semanas la lechuga se encuentra próxima a la cosecha (todo lo asimilado por la planta se utiliza en ganancia de peso). La semana octava presenta a la variedad 4, en el tratamiento 1, con el mayor número de hojas con 32.25 hojas. (gráfica 1)

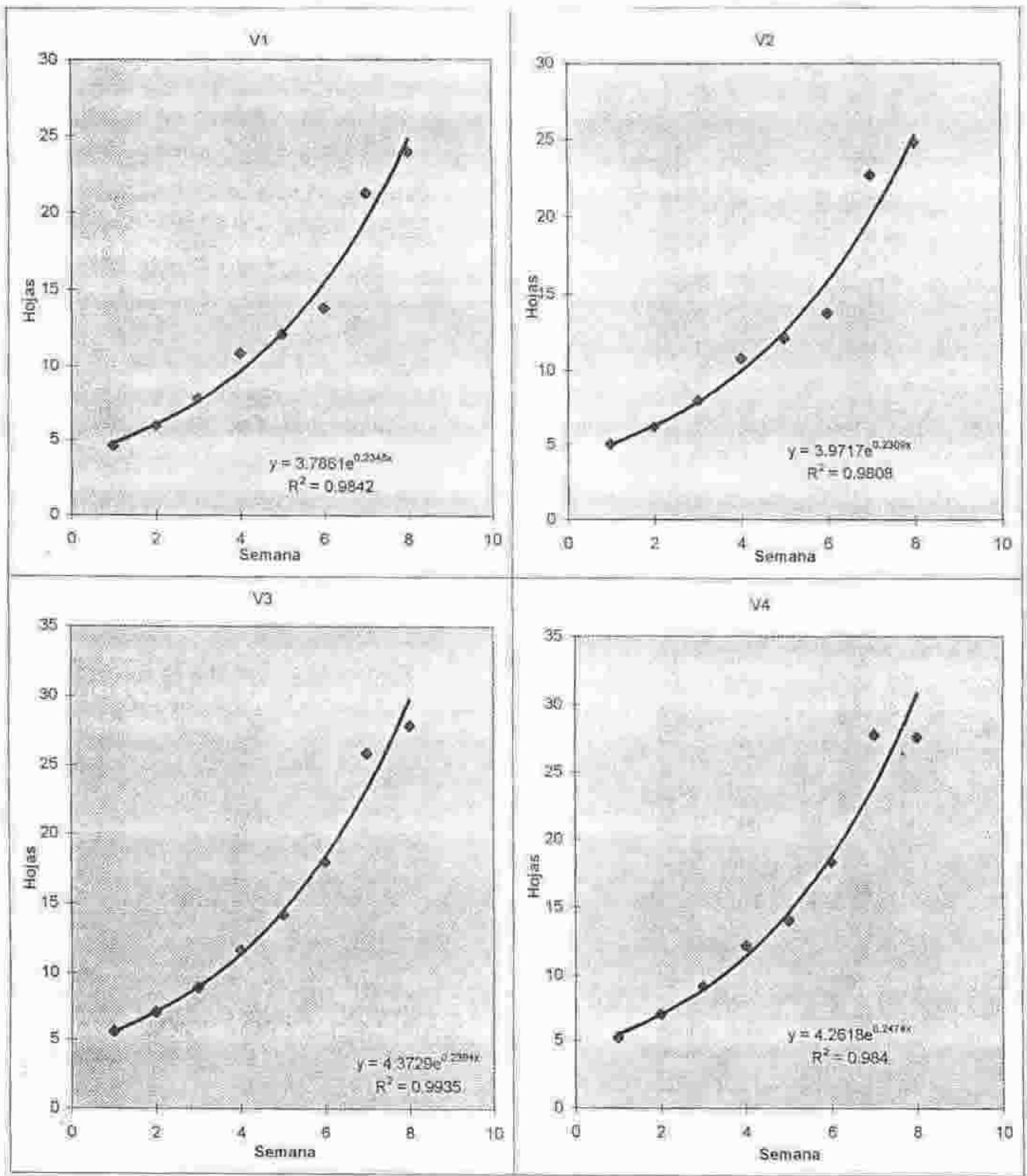
La gráfica 2 muestra la tendencia de ajuste de los datos a un modelo, mediante el uso de regresión.

El análisis de varianza (anexo 1) para esta variable, presenta diferencias altamente significativas entre variedades y láminas.

Los datos de la tabla 1, muestran los promedios para número de hojas, en cada tratamiento para el final del ensayo.



Gráfica 1. Número hojas para las variedades Vanmax (Var1), Simpson(Var 2), Batavia(Var 3), Boston(Var 4)



Gráfica 2. Modelos de tendencia para la variable Número de hojas para las variedades Vanamax (V1), Simpson (V2), Batavia (V3) y Boston (V4)

Tabla 1 Número de hojas promedio, en función de la lámina total de agua de riego.

Tratamiento	Lámina total. (cm)	Variedad 1	Variedad 2	Variedad 3	Variedad 4
1	61.6	23.75	28.375	29.875	28.625
2	44.8	25.25	26.275	30.00	32.25
3	34.4	24.625	26.75	28.5	25.87
4	26.208	20.75	21.875	25.25	24.875
5	23.088	21.75	20.625	25.625	26.375

La gráfica 3 indica la tendencia de ajuste de las curvas, por medio de regresión.

Las ecuaciones de regresión para las diferentes variedades, en cuanto al número de hojas son:

$$\text{Var. 1} \quad y = -0.2813x^3 + 2.7455x^2 - 6.3482x + 25.45$$

$$\text{Var. 2} \quad y = -0.0875x^3 + 0.5268x^2 + 1.4893x + 18.455$$

$$\text{Var. 3} \quad y = -0.4375x^3 + 3.8482x^2 - 8.4643x + 30.6$$

$$\text{Var. 4} \quad y = -1.0417x^3 + 9.4561x^2 - 23.882x + 42.104$$

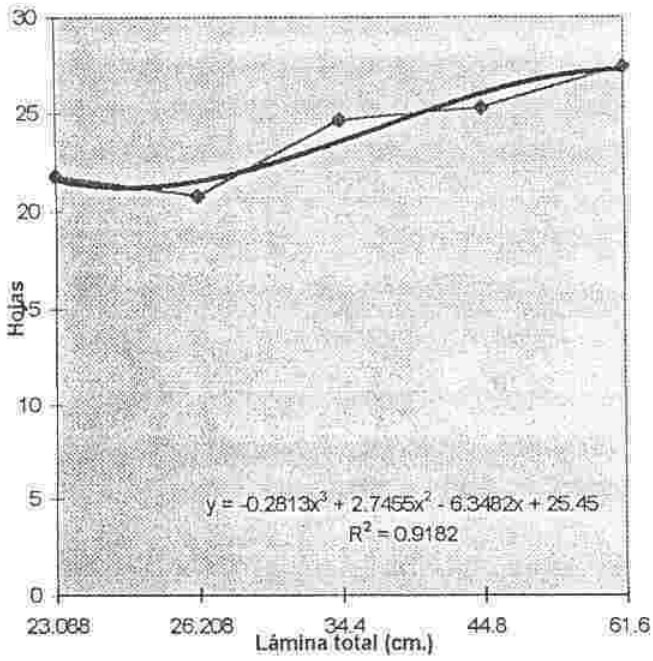
Estas ecuaciones relacionan los volúmenes aplicados ( x ), con el aumento del número de hojas ( y ), y a partir de estas se puede obtener una lámina de riego, para lograr un número de hojas máximo, como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2. Lámina para lograr un número de hojas máximo.

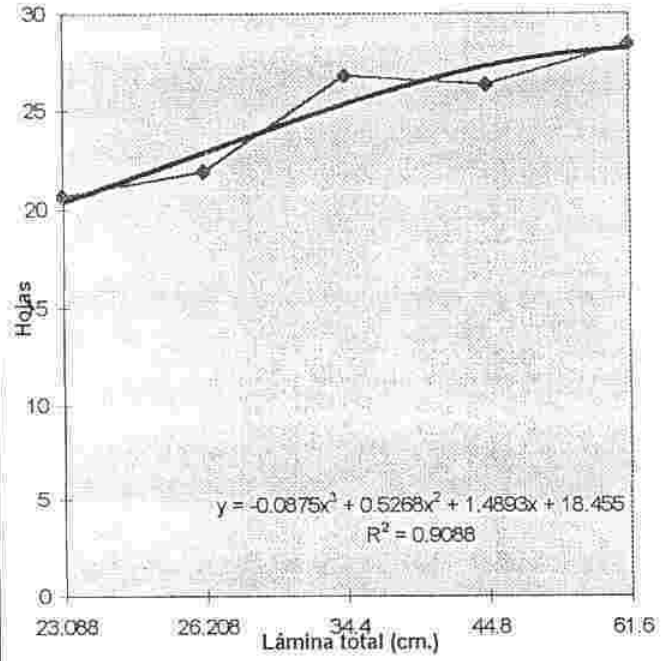
Variedad	dy / dx = 0	Lámina (cm.)
Var. 1	$y = -0.8439x^2 + 5.491x - 6.3482$	61.6
Var. 2	$y = -0.2625x^2 + 1.0536x - 1.4893$	63.1
Var. 3	$y = -1.3125x^2 + 7.6964x - 8.4643$	54.2
Var. 4	$y = -3.1251x^2 + 18.9122x - 23.852$	52.4

La ecuación de regresión que relaciona el número de hojas promedio general final con los diferentes volúmenes de agua, sin importar la variedad de lechuga es:

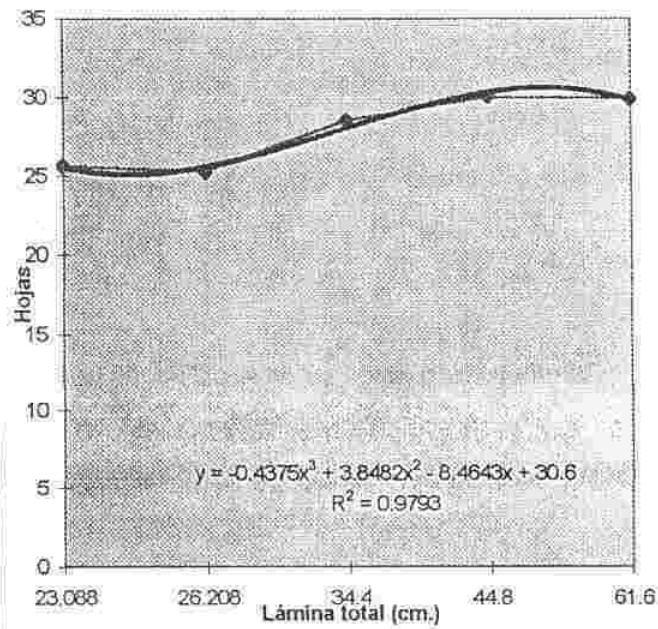
Var. 1



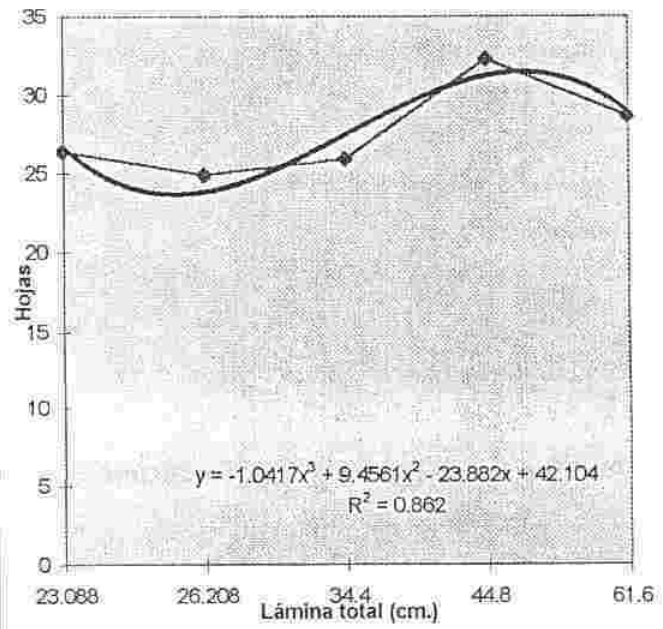
Var. 2



Var. 3



Var. 4



Gráfica 3. Tendencia de ajuste entre lámina total y número de hojas para las variedades Vanmax (Var 1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3) y Boston (Var 4).

$$y = -0.462x^3 + 4.1442x^2 - 9.3014x + 29.152 \quad R^2 = 0.9952$$

y con la derivada de esta ecuación se puede obtener la lámina de agua para lograr un número de hojas máximo.

$$dY / dX = 0 = -1.382x^2 + 8.2884x - 9.3014$$

$$x = 55.4 \text{ cm.}$$

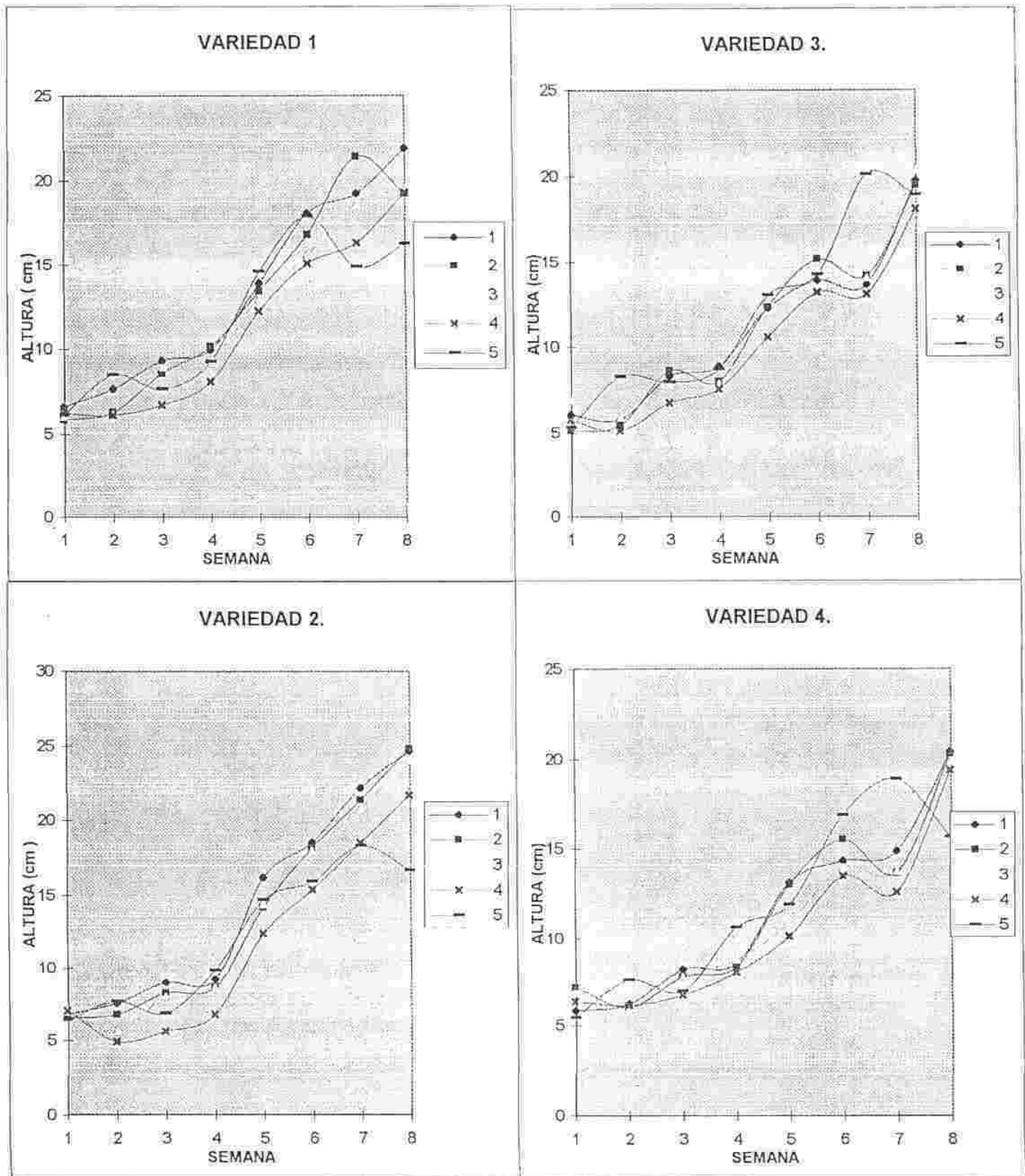
El anexo 5, indica el ajuste a un modelo de tendencia, para los promedios de las cuatro variedades estudiadas.

#### 5.1.2. Altura de la planta.

La variable altura de la planta presenta aumentos notorios de la semana cuarta en adelante; el tratamiento 5 o testigo presenta caídas de la semana séptima a la octava en las variedades 2,3 y 4; posiblemente la planta no utiliza agua en dichas semanas para el crecimiento en altura. El tratamiento con mayor altura al final del ciclo fue el 2 para la variedad 2 con 24.8 cm.(gráfica 4).

El análisis de varianza para la variable altura de la planta muestra diferencias no significativas para láminas. (anexo 1)

La tabla 3, muestra los valores promedios de altura alcanzados al finalizar el ensayo.



Gráfica 4. Altura para las variables Vanmax (Var1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3), Boston (Var 4)

Tabla 3. Promedios finales de altura en relación con la lámina total de agua aplicada.

Tratamiento	Lámina total (cm.)	Variedad 1	Variedad 2	Variedad 3	Variedad 4
1	61.6	21.912	24.662	19.737	20.425
2	44.8	19.25	24.8	19.5	20.3
3	34.4	19.6	24	20.412	19.85
4	26.208	19.325	21.687	18.112	19.4
5	23.088	16.325	16.625	18.937	15.637

A partir de estos promedios, se formula la ecuación de relación, representada en la gráfica 5. El modelo general que representa la tendencia es:

$$y = 0.1783x^3 - 1.9903x^2 + 7.6143x + 11.05$$

A partir de esta ecuación se logra obtener la lámina óptima para lograr una altura máxima

$$dy/dx = 0 = 0.5349x^2 - 3.9806x + 7.6143$$

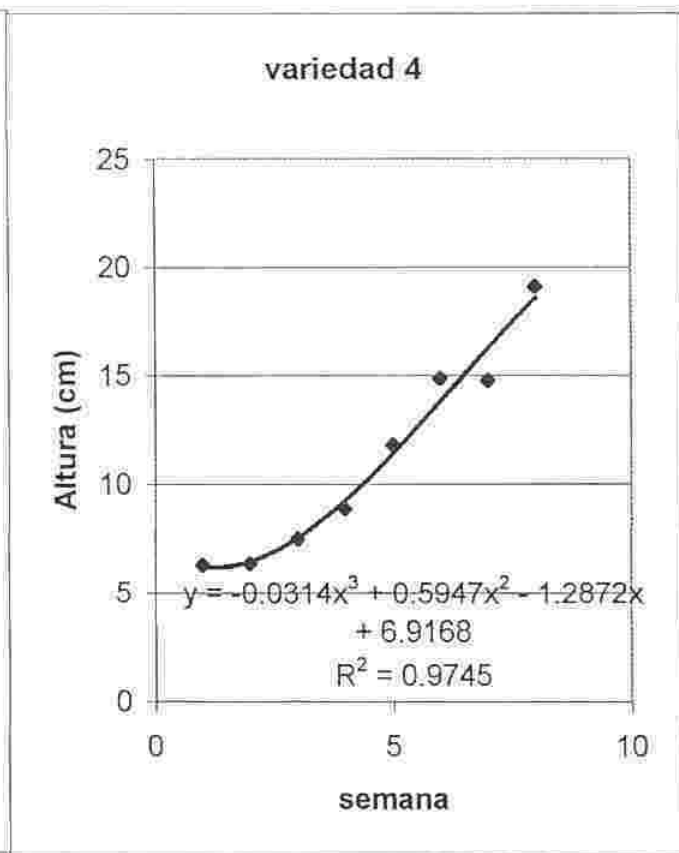
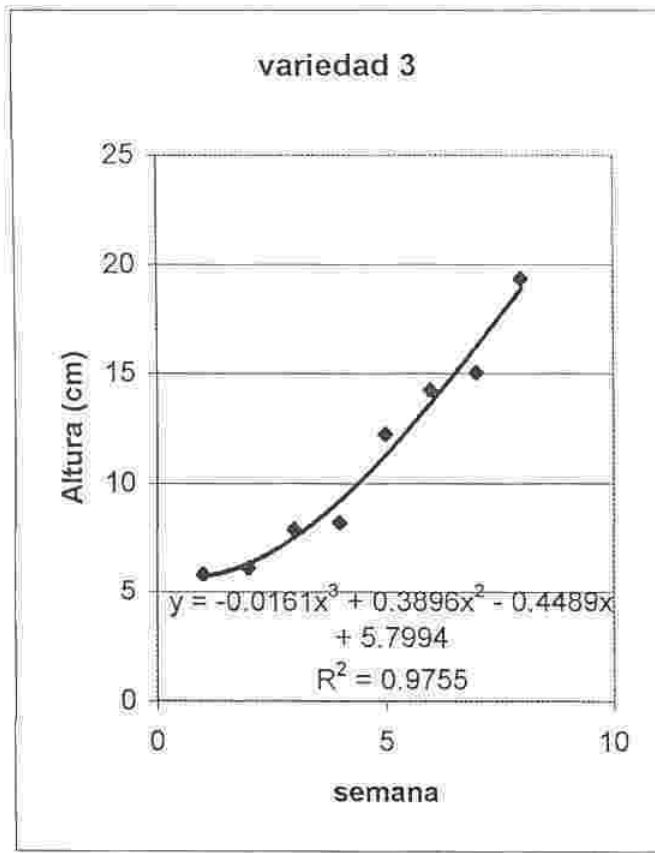
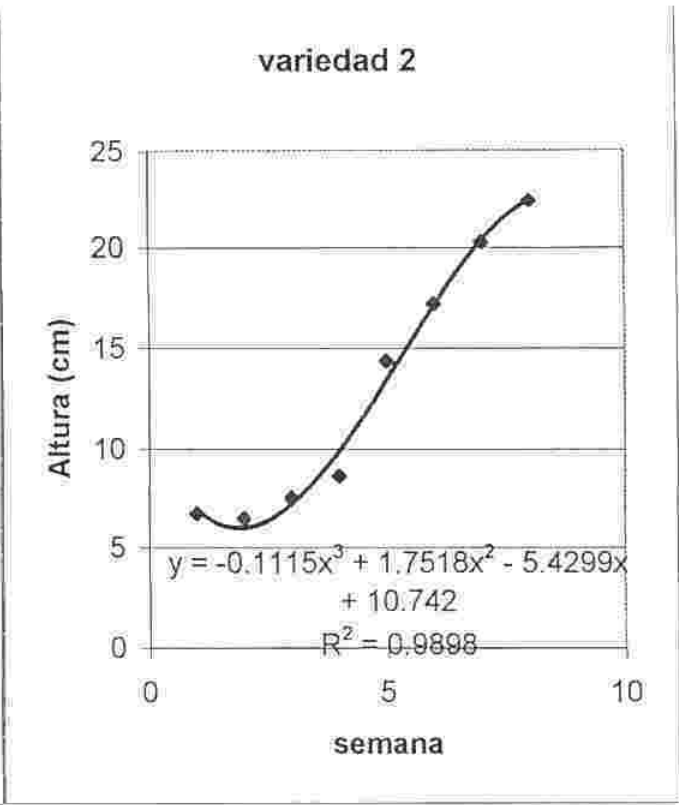
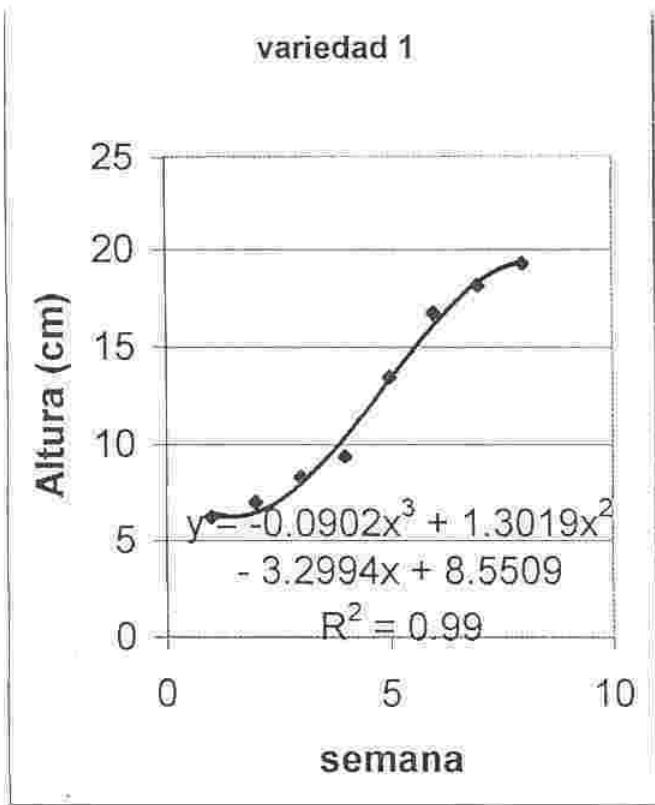
$$x = \bar{x}$$

El ajuste de los promedios de las cuatro variedades para llegar a un modelo general, por medio de regresión, está indicado en el anexo 5.

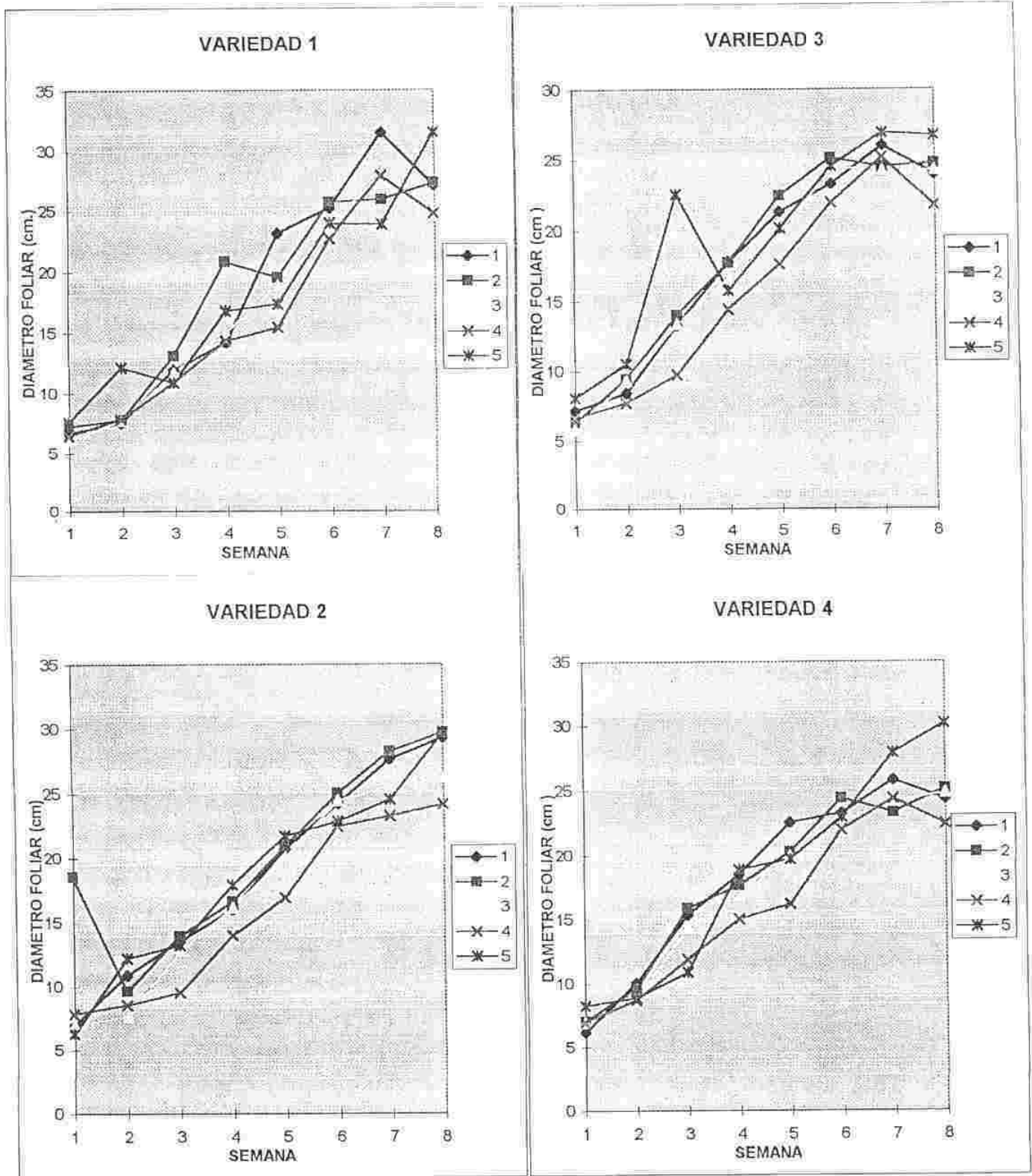
### 1.3. Diámetro foliar

El diámetro foliar presenta, en las primeras semanas, valores entre 5 y 10 cm en todas las variedades. En algunos tratamientos el diámetro baja de la séptima a la octava semana. El testigo en todas las variedades se comporta de forma similar a los demás tratamientos en estudio. (gráfica 6)

El ajuste de los datos a un modelo general, está indicado en la gráfica 7.



Gráfica 5. Modelos de tendencia para la variable altura de la planta para las variedades Vanmax (v1), Simpson Batavia v3), y Boston (v4).



Gráfica 6. Diametro foliar para las variables Vanmax (Var1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3), Boston (Var 4)

El análisis de varianza para el diámetro foliar presenta diferencias no significativas entre variedades y diferencias significativas entre láminas (anexo 1)

Los datos que se relacionan en la tabla 4, son el promedio de este parámetro al final del ensayo para cada tratamiento.

Tabla 4. Promedios de cobertura foliar (cm.) al final del ensayo, en función de la lámina aplicada en cada tratamiento.

Tratamiento	Lámina total (cm).	Var 1.	Var 2.	Var 3.	Var 4.
1	61.6	27.122	29.352	29.975	24.325
2	44.8	27.312	29.675	24.737	25.15
3	34.40	24.5	26.15	24.225	24.8
4	26.208	24.762	24.15	21.737	22.425
5	23.088	31.487	29.687	26.71	30.212

La gráfica 8, representa los datos de la tabla 4, y muestra el ajuste de los a una función cúbica.

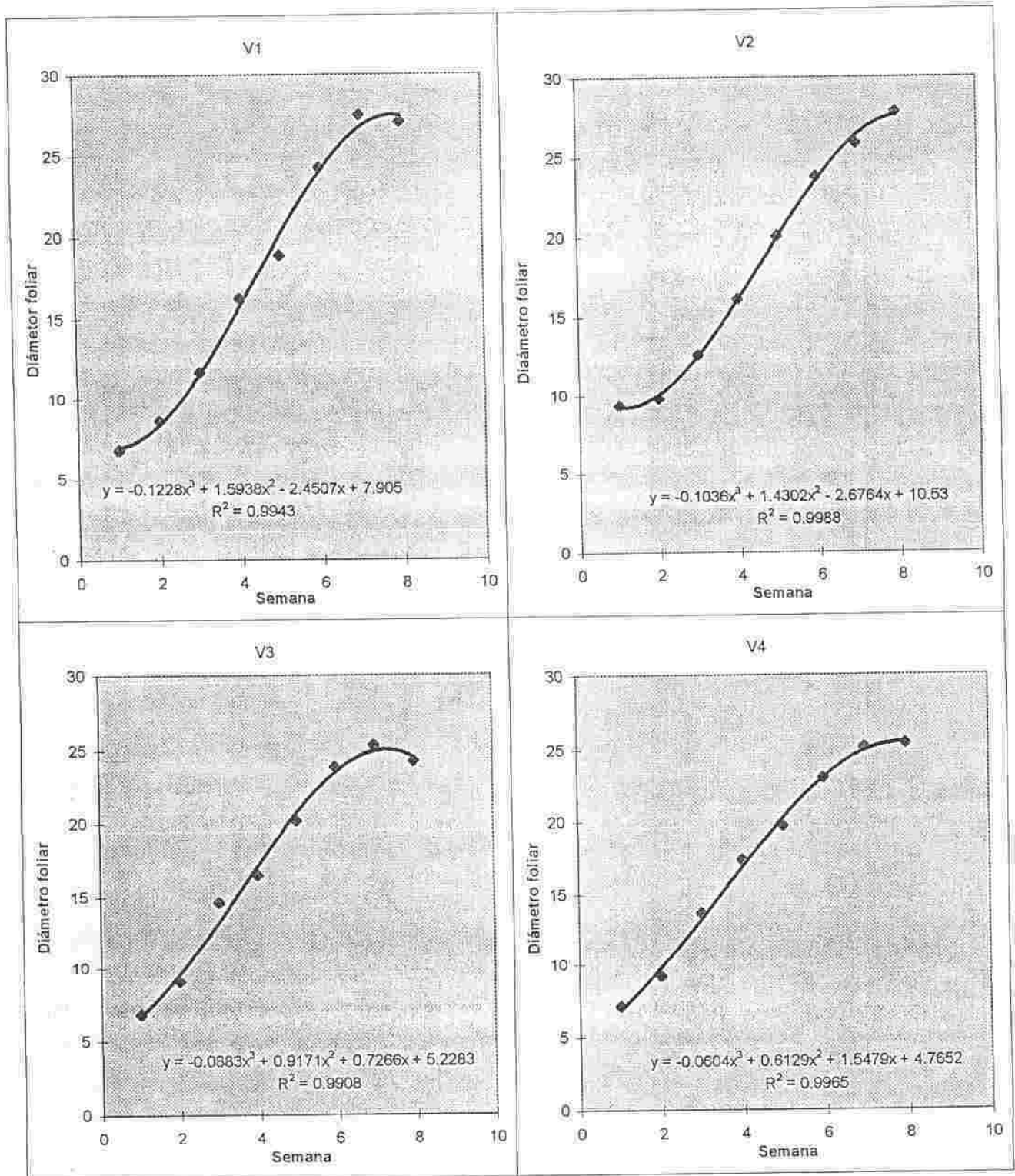
$$\text{Var 1} \quad y = -0.7885x^3 + 8.2501x^2 - 26.147x + 50.211$$

$$\text{Var 2.} \quad Y = -0.951x^3 + 9.4089x^2 - 27.063x + 48.283$$

$$\text{Var 3} \quad y = -0.7885x^3 + 7.0117x^2 - 20.188x + 40.47$$

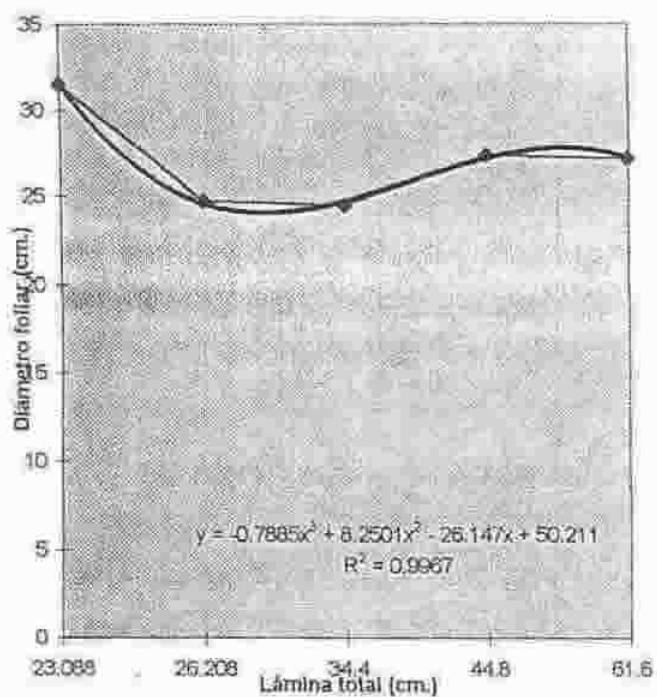
$$\text{Var 4} \quad y = -0.9447x^3 + 9.3527x^2 - 28.301x + 49.918$$

A partir de éstas se pueden obtener las láminas de riego para lograr una cobertura foliar máxima, como lo muestra la tabla 5.

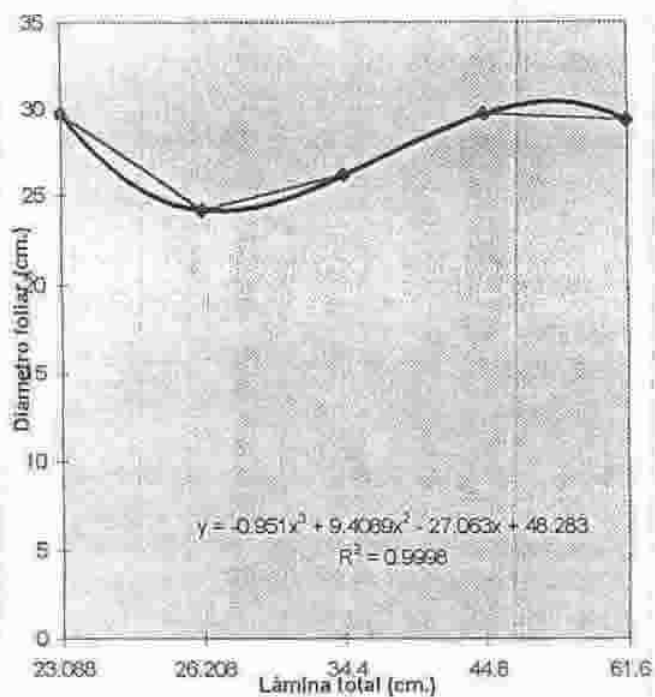


Gráfica 7. Modelos de tendencia para la variable Diámetro de raíz para las variedades Vanamax (V1), Simpson (V2), Batavia (V3) y Boston (V4)

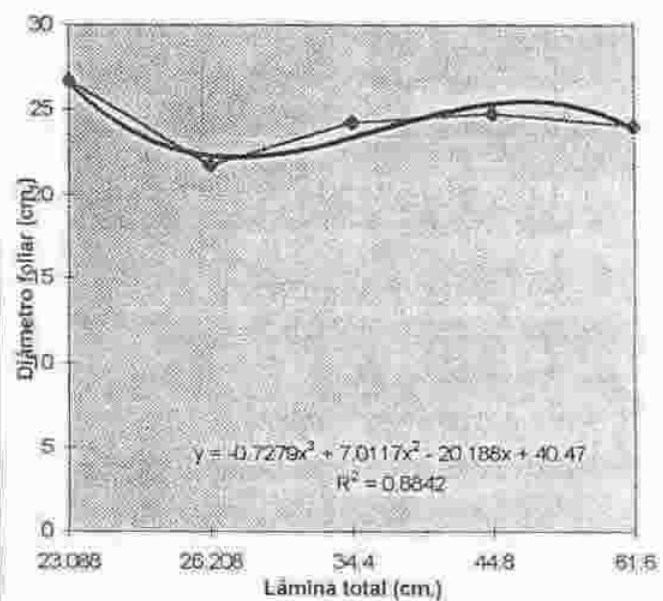
Var. 1



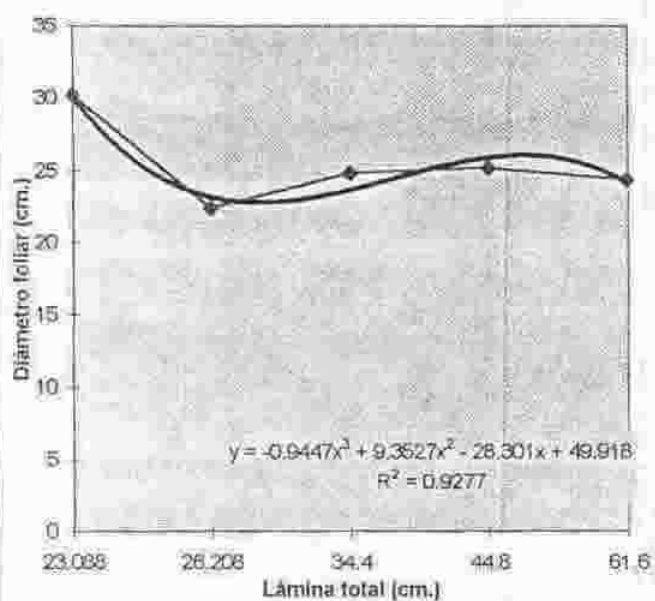
Var. 2



Var. 3



Var. 4



Gráfica B. Tendencia de ajuste entre lámina total y diámetro foliar para las variedades Vanmax (Var 1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3) y Boston (Var 4).

Tabla 5. Lámina para obtener una máxima cobertura foliar.

Variedad	$dY / dx = 0$	Lámina (cm.)
Var 1.	$y = -2.3655x^3 + 16.5x - 26.147$	55.9
Var 2.	$y = -2.853x^2 + 18.8178x - 27.063$	96.2
Var 3.	$y = -2.1837x^2 + 14.0234x - 20.188$	52.2
Var 4.	$y = 2.8341x^2 + 18.7054x - 28.301$	52.2

La ecuación que relaciona la lámina de agua con la cobertura foliar para todas las variedades, está representada en el anexo 5, y es:

$$y = -0.853x^3 + 8.5058x^2 - 25.425x + 47.221 \quad R^2 = 0.9815$$

A partir de esta ecuación, se puede obtener la lámina de agua ( cm ), para obtener una cobertura foliar máxima.

$$dY / dX = 0 = -2.559x^2 + 17.0116x - 25.425$$

$$x = 53.8 \text{ cm.}$$

#### 5.1.4. Área foliar

El parámetro área foliar resulta bastante importante en la producción de lechuga por ser la hoja su parte comestible. Los aumentos en área son notables de la semana tercera en adelante; la semana séptima presenta los mayores valores de área foliar, con bajas en los valores para la semana octava. La semana cuarta y quinta dejan ver un pequeño ciclo de descanso para las variedades 1 y 4 preparándose posiblemente para un aumento en área foliar. La variedad 2 muestra en la séptima semana un máximo de 2740.8 cm<sup>2</sup> con el tratamiento 1. El

testigo presenta algunos descensos y aumentos de una semana a la otra, probablemente la aplicación no diaria del riego afecta directamente a la planta en su crecimiento de área foliar. (gráfica 9)

El análisis de varianza (anexo 1) presenta diferencias no significativas entre variedades, y diferencias altamente significativas entre láminas para esta variable.

La gráfica 10, presenta el ajuste de los datos a un modelo general por medio de regresión.

Los datos de la tabla 6 indican los valores finales promedios del área foliar para las diferentes variedades.

Tabla 6. Promedios finales de área foliar (cm<sup>2</sup>), en función de la lámina de agua aplicada en cada tratamiento

Tratamiento	Lámina total ( cm )	Var 1.	Var 2.	Var 3.	Var 4.
1	53.9	2384.356	2740.753	1936.941	1881.645
2	39.2	2347.2	2600.957	2177.338	2429.65
3	30.135	2298.862	2243.806	1842.765	1804.501
4	22.932	1795.27	1580.725	1777.46	1599.142
5	20.202	1644.71	2231.22	1680.012	1782.613

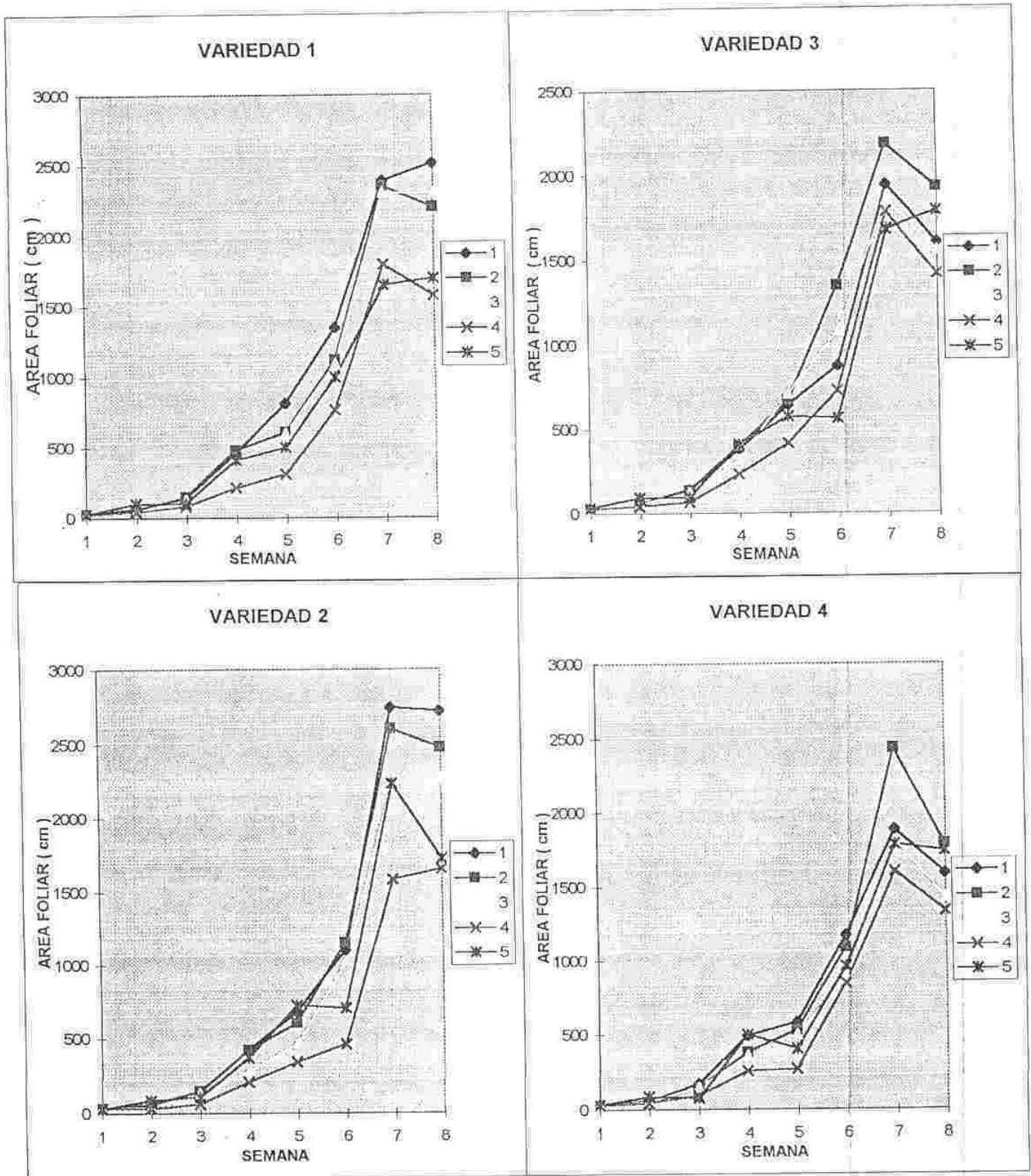
La gráfica 11, indica como se ajustan estos datos a ecuaciones. A continuación se muestran las diferentes ecuaciones resultantes:

$$\text{Var 1. } y = -36.265x^3 + 330.02x^2 - 652.71x + 2014.5$$

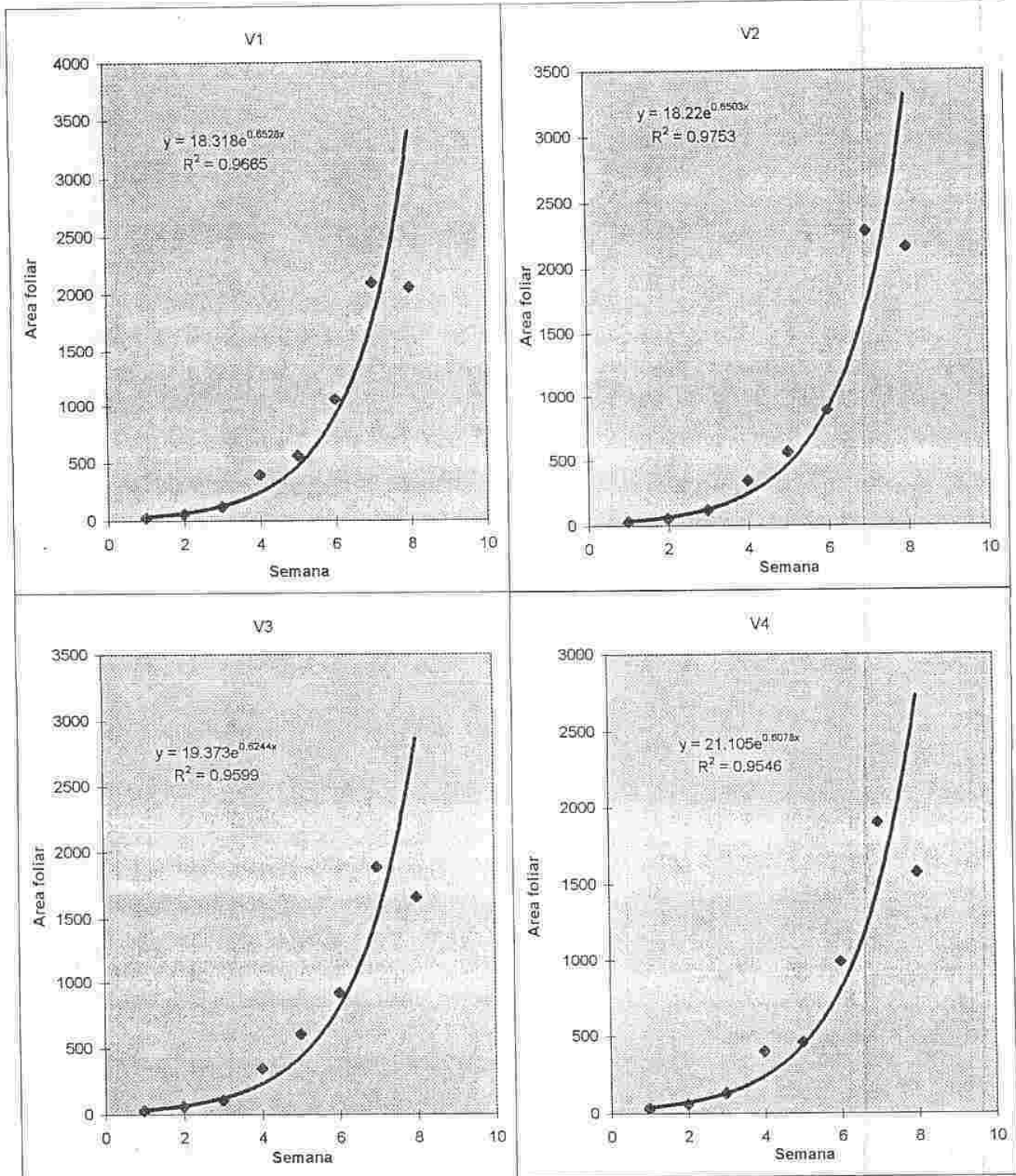
$$\text{Var 2. } y = -54.397x^3 + 506.15x^2 - 1101.9x + 2348.9$$

$$\text{Var 3. } y = -99.149x^3 + 915.58x^2 - 2464.1x + 3438.8$$

$$\text{Var 4. } y = -87.566x^3 + 836.66x^2 - 2343.2x + 3339.1$$

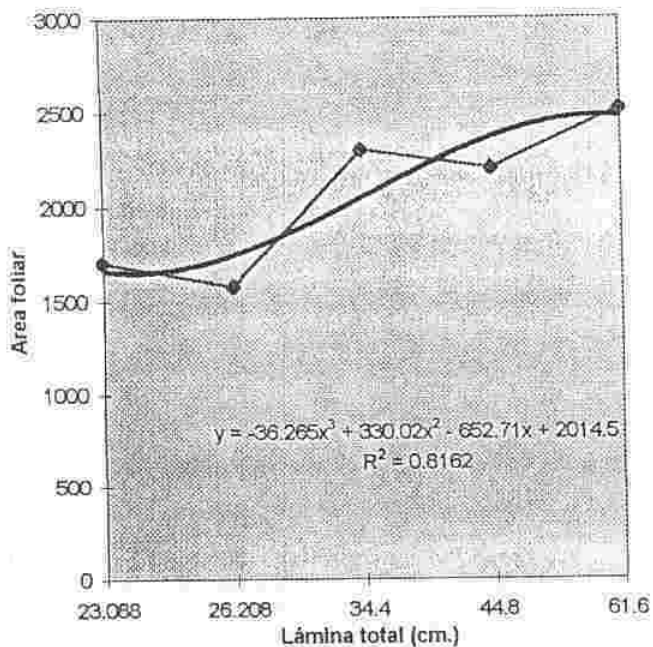


Gráfica 9. Area foliar para las variables Vanmax (Var1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3), Boston (Var 4)

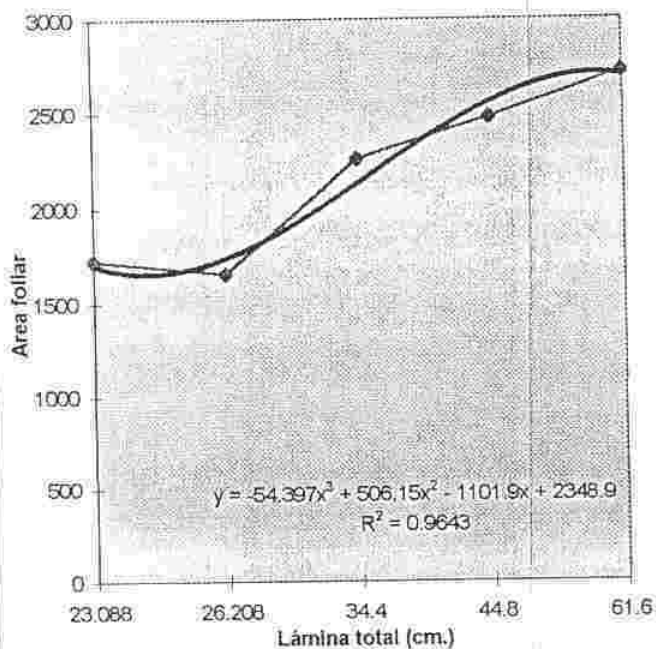


Gráfica 10. Modelos de tendencia para la variable Area foliar para las variedades Vanamax (V1), Simpson (V2), Batavia (V3) y Boston (V4)

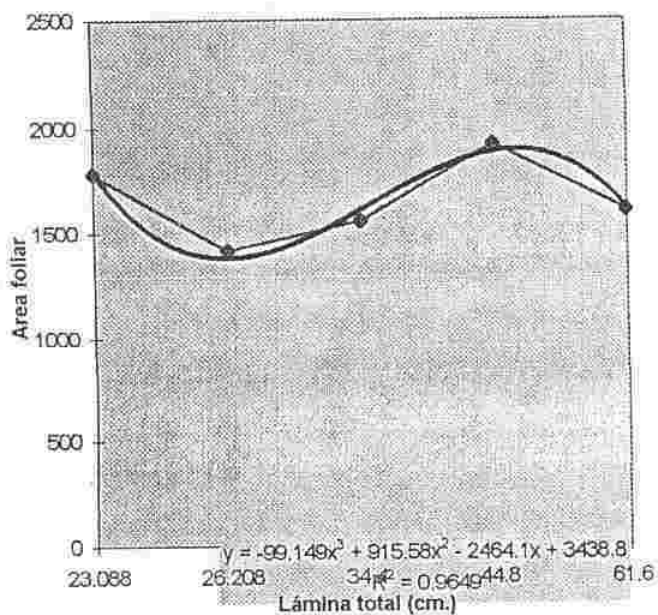
Var. 1



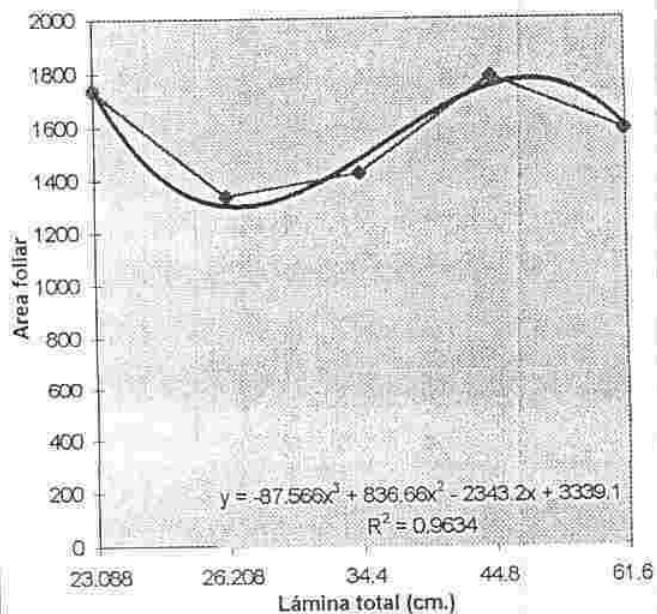
Var. 2



Var. 3



Var. 4



Gráfica 11. Tendencia de ajuste entre lámina total y área foliar para las variedades Vanmax (Var 1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3) y Boston (Var 4).

Se obtienen las láminas de agua, para alcanzar un máximo desarrollo de área foliar, como lo muestra la tabla 7.

Tabla 7. Lámina de agua calculada para obtener un máximo de área foliar.

Variedad.	Dy / dx = 0	Lámina (cm.)
Var 1.	$Y = -108.795x^2 + 660.04x - 652.71$	59.4
Var 2.	$Y = -163.191x^2 + 1012.3x - 1101.9$	59.7
Var 3.	$Y = -249.447x^2 + 4746.74x - 2464.1$	53.3
Var 4.	$Y = -262.698x^2 + 1673.32x - 2343.2$	51.6

La ecuación general para todas las variedades es:

$$y = -69.341x^3 + 647.07x^2 - 1640.3x + 2785.2 \quad R^2 = 0.9675$$

$$dY / dX = 0 = -208.023x^2 + 1294.14x - 1640.3$$

$$x = 54.7 \text{ cm.}$$

Estos datos están representados y ajustados por medio de regresión, a un modelo en el anexo 5.

#### 5.1.5. Peso fresco de las hojas.

En las primeras semanas, el peso fresco de las hojas en todos los tratamientos y variedades se comportan de manera similar. En la semana sexta el peso fresco aumenta de manera significativa; en esta semana probablemente se presenta un cambio fisiológico en cuanto al aumento del área foliar y por ende un aumento directo en el peso fresco; económicamente este parámetro es el más importante en la producción de lechuga.

Únicamente el testigo se mantiene estable y no aumenta de la semana séptima a la octava para las variedades 2 y 4, afectadas probablemente por la disposición

del tiempo de riego. El tratamiento que presentó menor peso fue el tratamiento 4 con 108.4 g. para la variedad 3 en la semana ocho. (gráfica 12).

La gráfica 13, indica el ajuste de los datos a un modelo general para cada una de las variedades estudiadas.

El análisis de varianza (anexo 2) mostró diferencias no significativas entre variedades y altamente significativas entre láminas.

Los datos promedios del peso fresco de las hojas, al final del ensayo, están indicados en la tabla 8 y representados en la gráfica 14, la cual también muestra la tendencia a una función cúbica de estos datos.

Tabla 8. Promedios finales del ensayo de peso fresco (g.) de las hojas en función de la lámina de agua aplicada.

Tratamiento	Lámina total ( cm )	Var. 1	Var. 2.	Var 3.	Var 4.
1	61.6	291.293	238.109	216.416	178.095
2	44.8	282.384	209.981	250.49	211.479
3	34.4	235.937	201.243	169.094	172.334
4	26.208	171.312	152.729	108.409	129.867
5	23.088	208.725	195.429	173.819	172.429

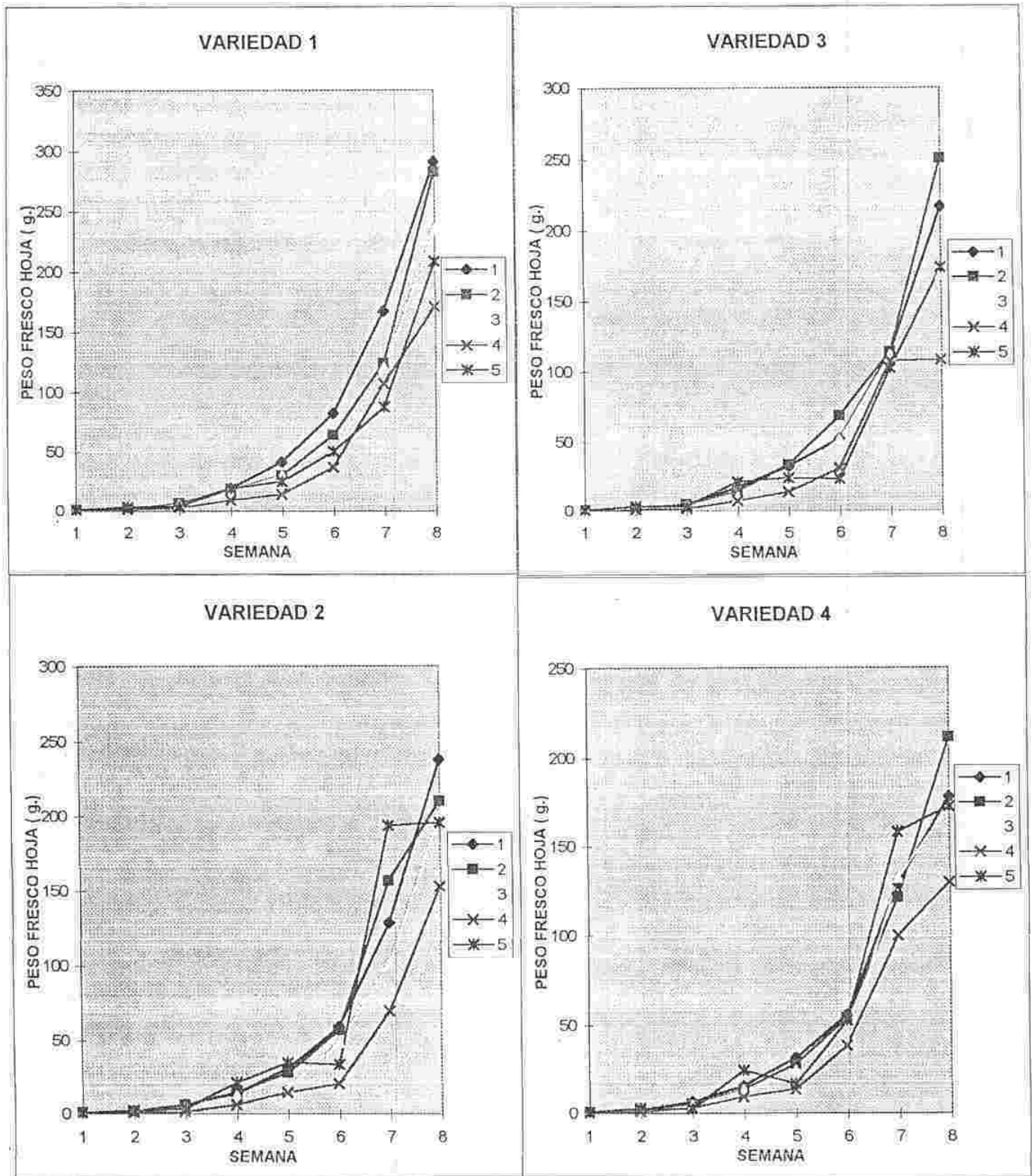
Las ecuaciones que relacionan la lámina de agua aplicada, con el peso fresco de la parte aérea, para las diferentes variedades son:

Var 1.  $Y = -11.631x^3 + 110x^2 - 278.79x + 387.71$

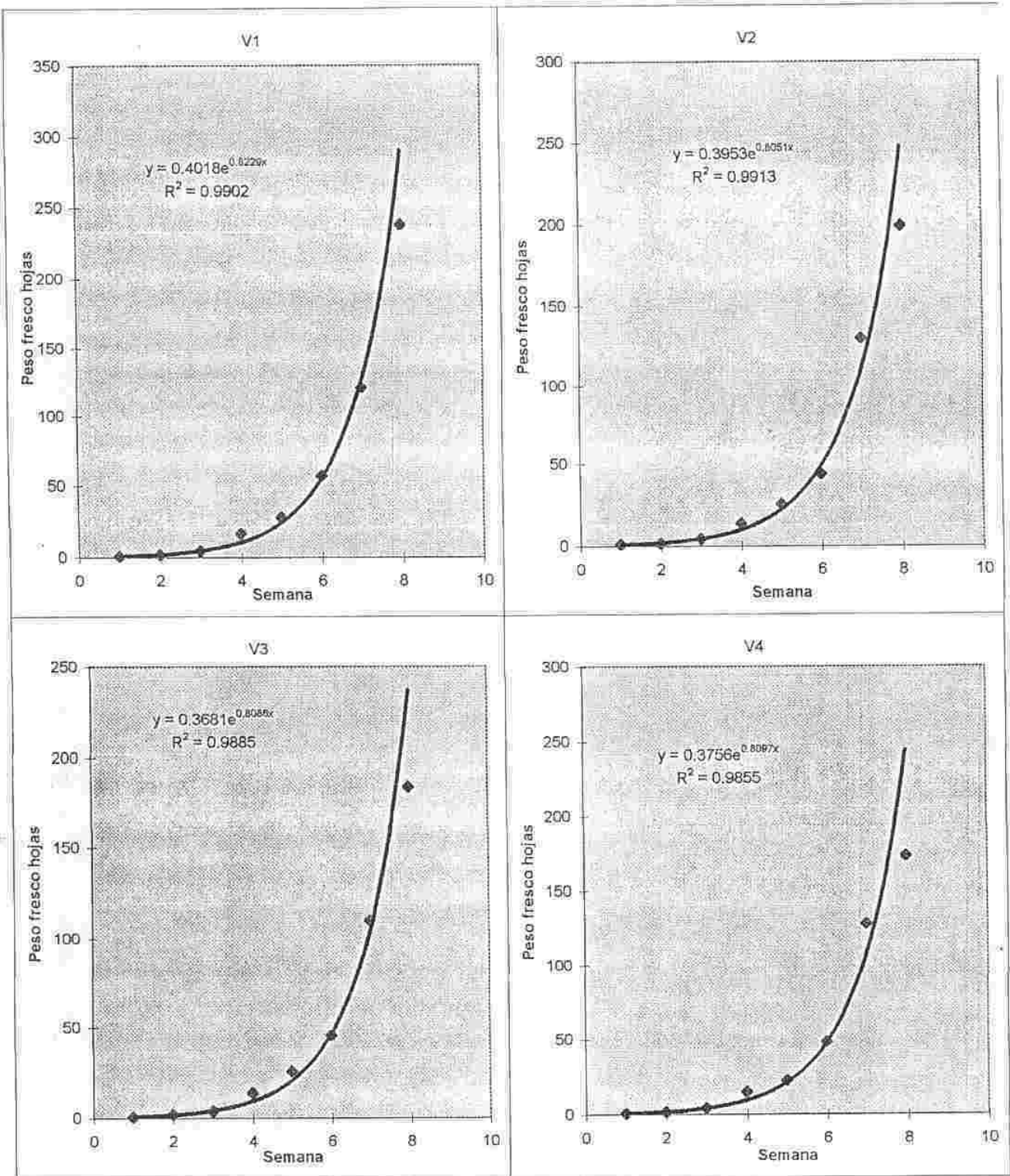
Var 2.  $Y = -5.9853x^3 + 61.145x^2 - 170.66x + 308.21$

Var 3.  $Y = -20.13x^3 + 187.13x^2 - 488.09x + 495.35$

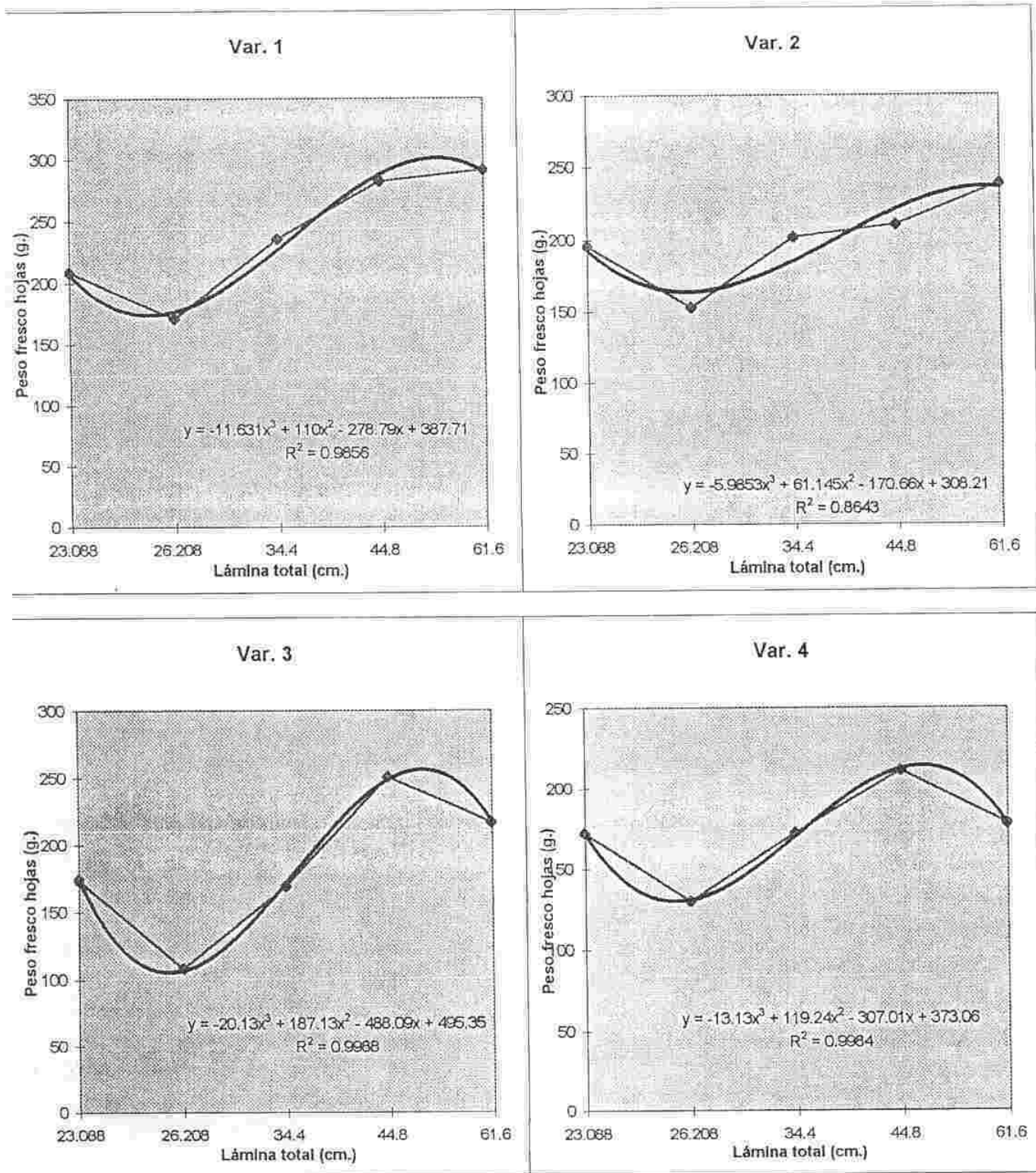
Var 4.  $Y = -13.13x^3 + 119.24x^2 - 307.01x + 373.06$



Gráfica 12. Peso fresco hoja para las variedades Vanmax (Var1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3), Boston (Var 4)



Gráfica 13. Modelos de tendencia para la variable Peso fresco de las hojas para las variedades Vanamax (V1), Simpson (V2), Batavia (V3) y Boston (V4)



Gráfica 14. Tendencia de ajuste entre lámina total y peso fresco hojas para las variedades Vanmax (Var 1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3) y Boston (Var 4).

En la tabla 9 se indican las láminas calculadas a partir de las ecuaciones obtenidas.

Tabla 9. Lámina calculada para obtener el máximo de peso fresco de las hojas.

Variedad	$dX / dY = 0$	Lámina (cm.)
Var 1.	$y = 34.893x^2 + 220x - 278.79$	55.9
Var 2.	$y = -17.9559x^2 + 122.29x - 170.66$	59.7
Var 3.	$y = -60.39x^2 + 374.26x - 488.09$	53.3
Var 4.	$y = -39.39x^2 + 238.48x - 307.01$	51.6

La ecuación que relaciona la lámina de agua, con el peso fresco de las hojas es presentada en el anexo 5.

$$y = 12.719x^3 + 119.387x^2 - 311.14x + 391.08 \quad R^2 = 0.9887$$

$$dY / dX = 0 = 38.157x^2 + 238.76x - 311.14$$

$$x = 13.55 \text{ cm.}$$

Este valor se puede aplicar para obtener un peso fresco de las hojas, favorable para la comercialización de la especie.

#### 5.1.6. Peso seco de las hojas.

Igual que en las anteriores variables, la semana sexta después del transplante se presenta como aquella donde se nota de manera más marcada el aumento en peso; el testigo presenta aumentos y disminuciones en peso de una semana a la otra, que probablemente no lo dejan alcanzar valores máximos de peso al final del ciclo. Los valores máximos de peso seco en la octava semana lo obtienen los tratamientos 1 y 2 en las diferentes variedades. Los valores mínimos de peso

seco lo presentan el tratamiento 4 y el testigo, la gráfica muestra cómo los pesos en la tercera semana son similares 0.28 a 0.4 g. para todos los tratamientos en todas las variedades.

El testigo tiene un valor máximo en la cuarta semana de 1.974 g. y termina el ciclo con 9.401 g. para la variedad 4 (gráfica 15).

Por medio de regresión se realizó el ajuste de los datos para cada variedad y es presentada en la gráfica 16.

El análisis de varianza presenta diferencias no significativas entre variedades, diferencias altamente significativas entre láminas. (anexo 2).

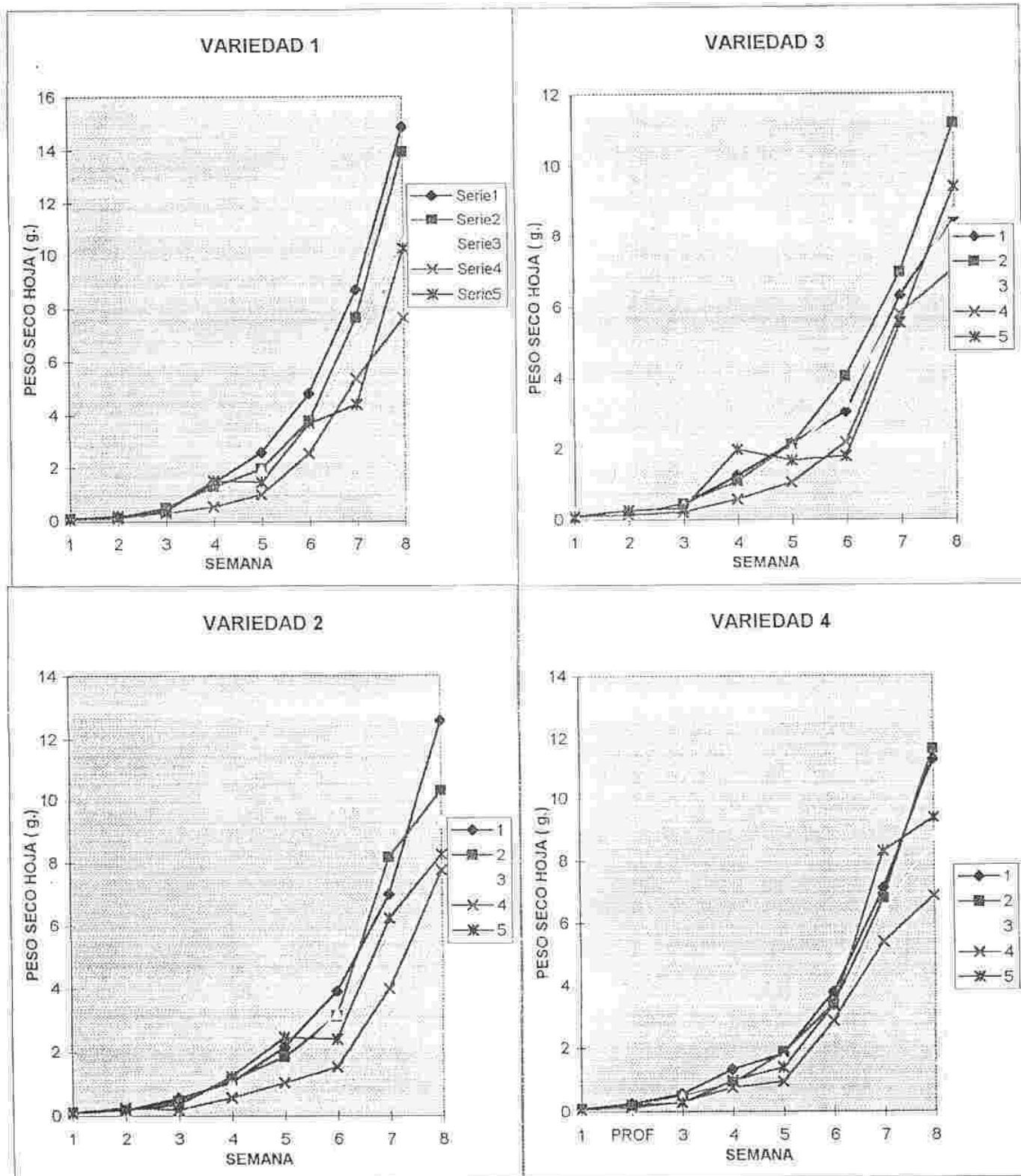
La cantidad de biomasa formada por las diferentes variedades, en los diferentes tratamientos al final del ensayo están en la tabla 10.

La gráfica 17, muestra el comportamiento de estos valores, y como se ajustan por medio de regresión a ecuaciones de tendencia cúbica.

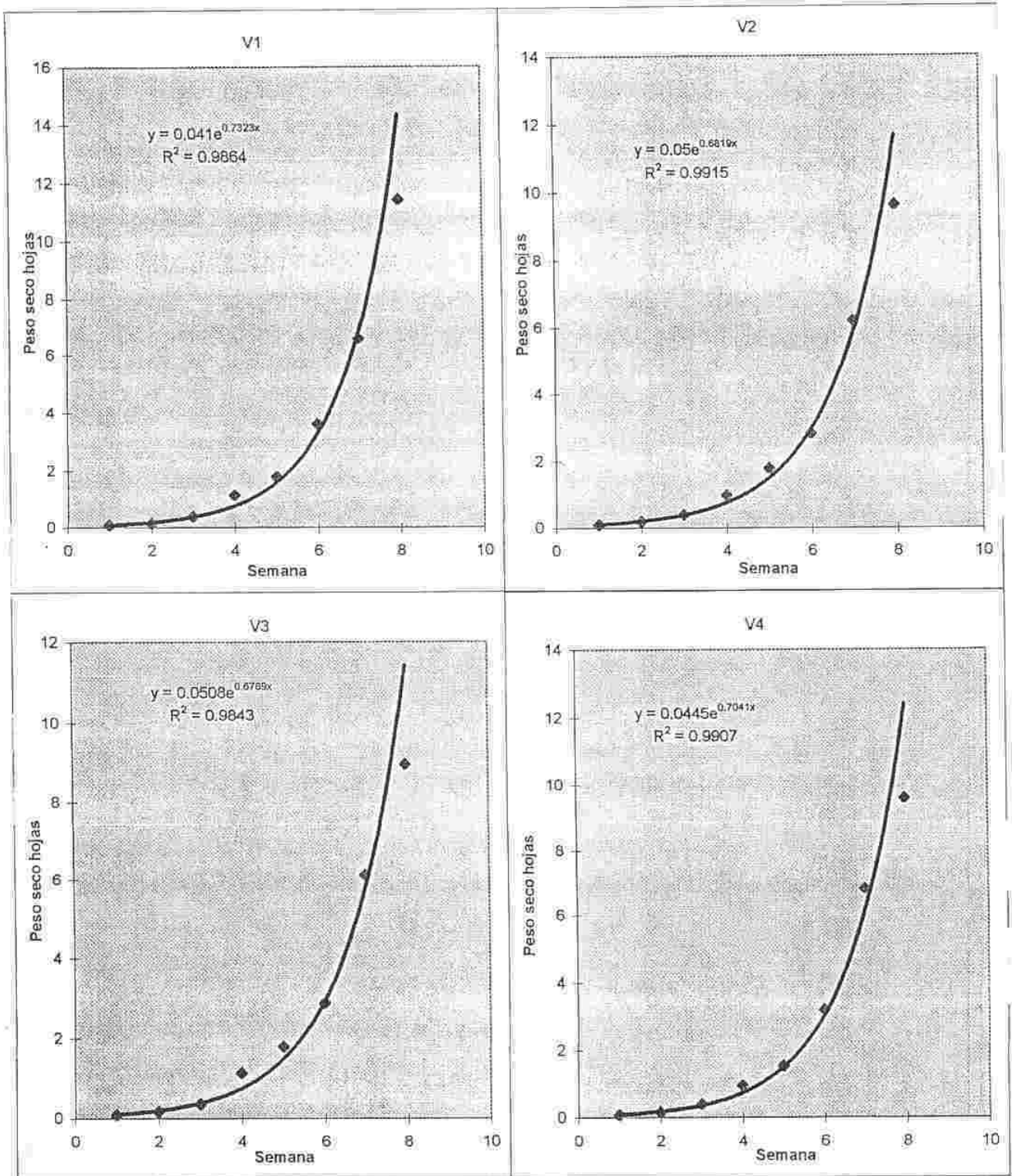
Tabla 10. Promedios para el final del ensayo para peso seco de las hojas (g.) en función de la lámina total aplicada en cada tratamiento.

Tratamiento	Lámina total ( cm )	Var 1.	Var 2.	Var 3.	Var 4.
1	61.6	14.852	12.585	8.51	11.314
2	44.8	13.92	10.284	11.155	11.656
3	34.4	10.479	9.307	8.66	8.754
4	26.208	7.649	7.756	7.043	6.874
5	23.088	10.254	8.266	9.401	9.364

Estos datos se ajustan a ecuaciones cúbicas que relacionan la lámina total aplicada con, el peso seco de las hojas.

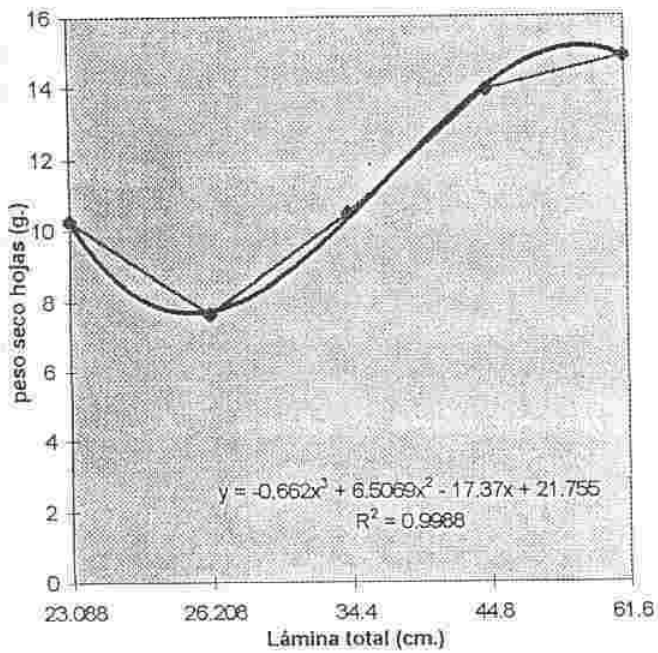


Gráfica 15. Peso seco hojas para las variables Vanmax(Var1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3), Boston (Var 4)

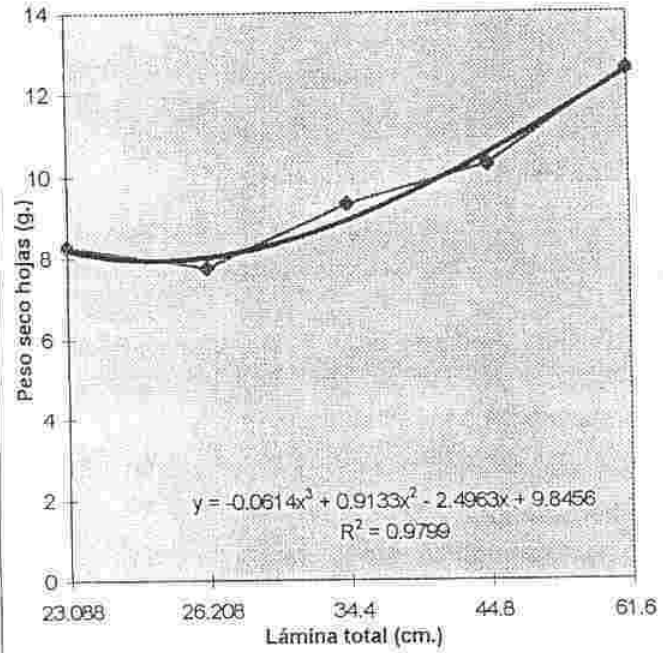


Gráfica 16. Modelos de tendencia para la variable Peso seco de las hojas para las variedades Vanamax (V1), Simpson (V2), Batavia (V3) y Boston (V4)

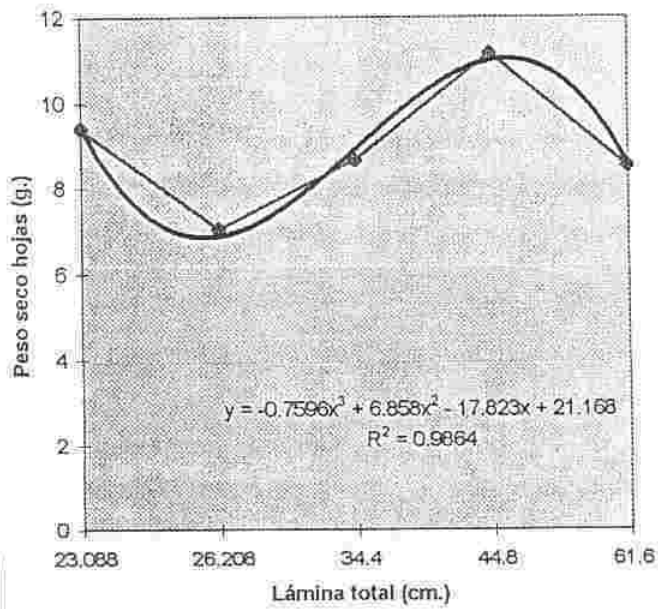
Var. 1



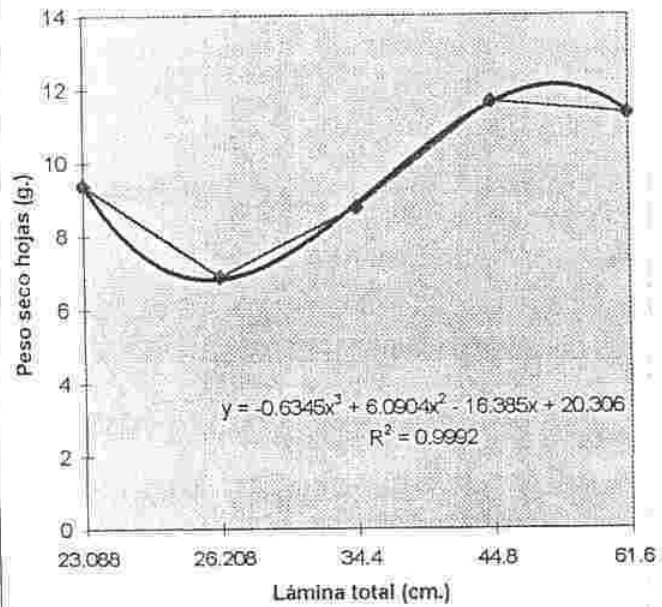
Var. 2



Var. 3



Var. 4



Gráfica 17. Tendencia de ajuste entre lámina total y peso seco hojas para las variedades Vanmax (Var 1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3) y Boston (Var 4).

- Var 1.  $Y = -0.662x^3 + 6.5069x^2 - 17.37x + 21.755$   
 Var 2.  $Y = -0.0614x^3 + 0.9133x^2 - 2.4963x + 9.8456$   
 Var 3.  $Y = -0.7596x^3 + 6.858x^2 - 17.823x + 21.168$   
 Var 4.  $Y = -0.6345x^3 + 6.0904x^2 - 16.385x + 20.306$

La tabla 11, presenta los datos de lámina de agua que se debe aplicar para obtener un máximo desarrollo, en cuanto al peso seco o cantidad de biomasa formada para las variedades estudiadas.

Tabla 11. Lámina necesaria para lograr el máximo de ganancia de peso seco en hojas.

Variedad	$dY / dX = 0$	Lámina (cm.)
Var 1.	$y = -1.986x^2 + 13.0138x - 17.37$	57.7
Var 2.	$y = -0.1842x^2 + 1.8266x - 2.4963$	101.9
Var 3.	$y = -2.2788x^2 + 13.716x - 17.823$	50.7
Var 4.	$y = -1.9035x^2 + 12.1808x - 16.385$	55.1

A continuación se relaciona el peso seco de las hojas, con la lámina de agua a aplicar para obtener un máximo rendimiento, sin tener en cuenta las variedades estudiadas:

$$y = -0.5294x^3 + 5.0921x^2 - 8.2845x + 18.289$$

$$R^2 = 0.9996$$

$$dY / dX = 0 = -1.5882x^2 + 10.1842x - 13.519$$

$$x = 55.8 \text{ cm.}$$

El anexo 5 muestra el ajuste al modelo descrito.

### 5.1.7. Profundidad de raíz.

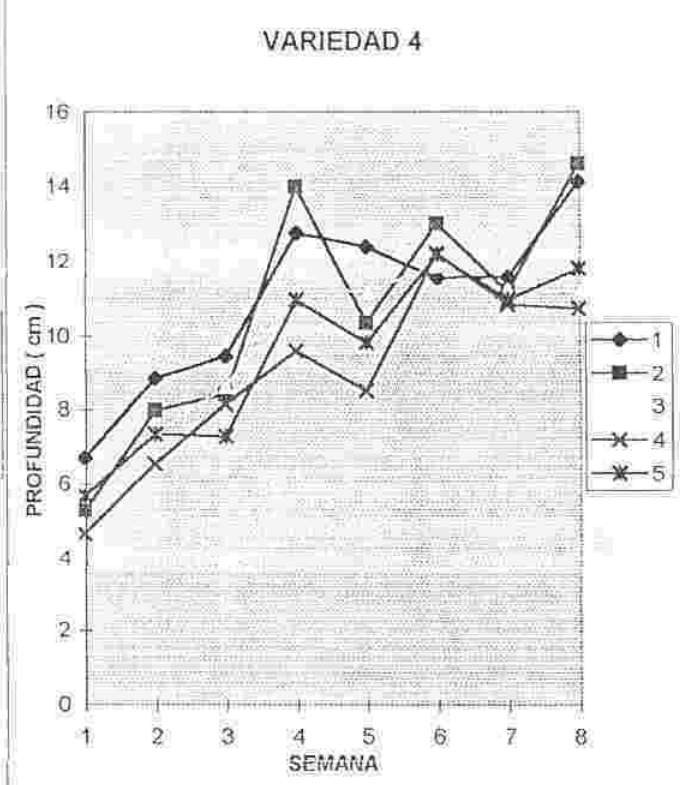
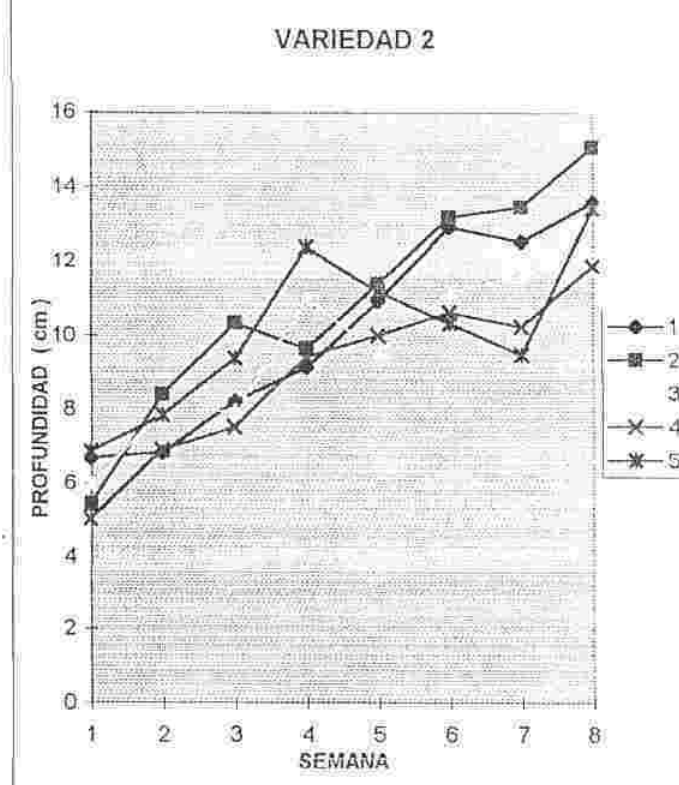
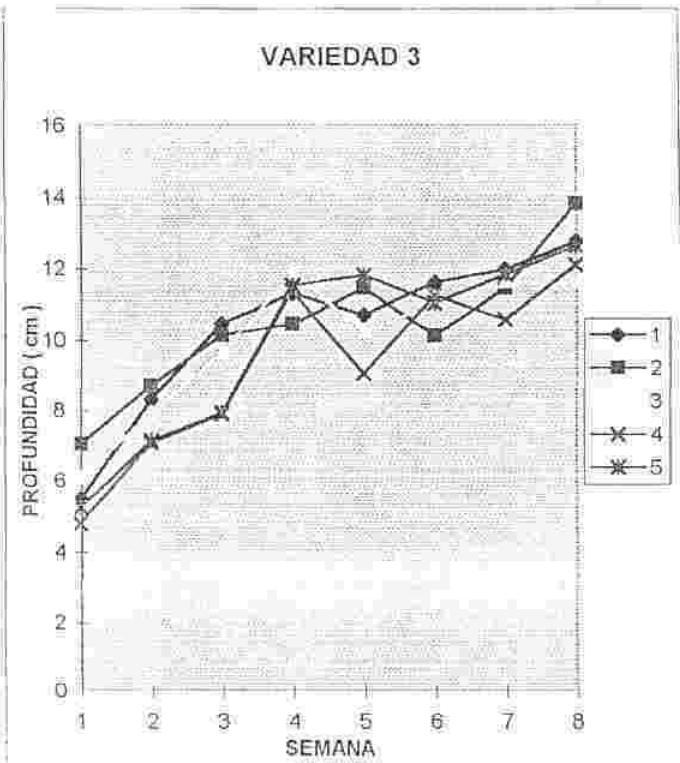
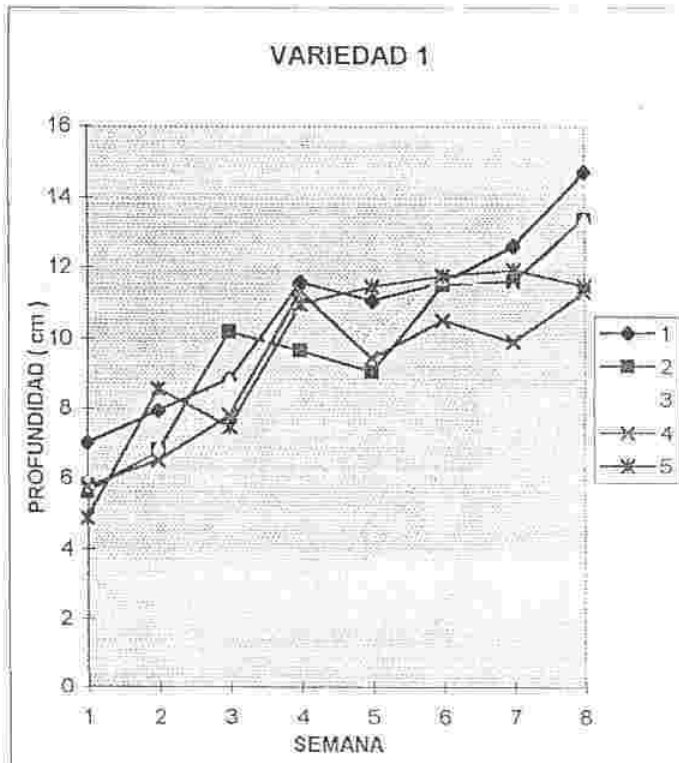
Los mayores valores de profundidad de raíz se obtienen en los tratamientos 1 y 2 al final del ciclo del cultivo; nuevamente se presentan variaciones en el testigo para todas las variedades. Las primeras semanas muestran a todas las variedades con valores entre 4 y 8 cm. De la semana sexta a la séptima se ven descensos en este parámetro probablemente debidos a que la planta esta gastando mayor cantidad de energía en procesos de incremento de área foliar y peso fresco como se analizó anteriormente.

De la semana séptima a la octava se muestran pequeños aumentos en la profundidad, en esta semana los procesos de ganancia en peso y área foliar son mínimos, tal vez por este fenómeno la planta pueda utilizar energía en aumentar la profundidad de la raíz. (gráfica 18).

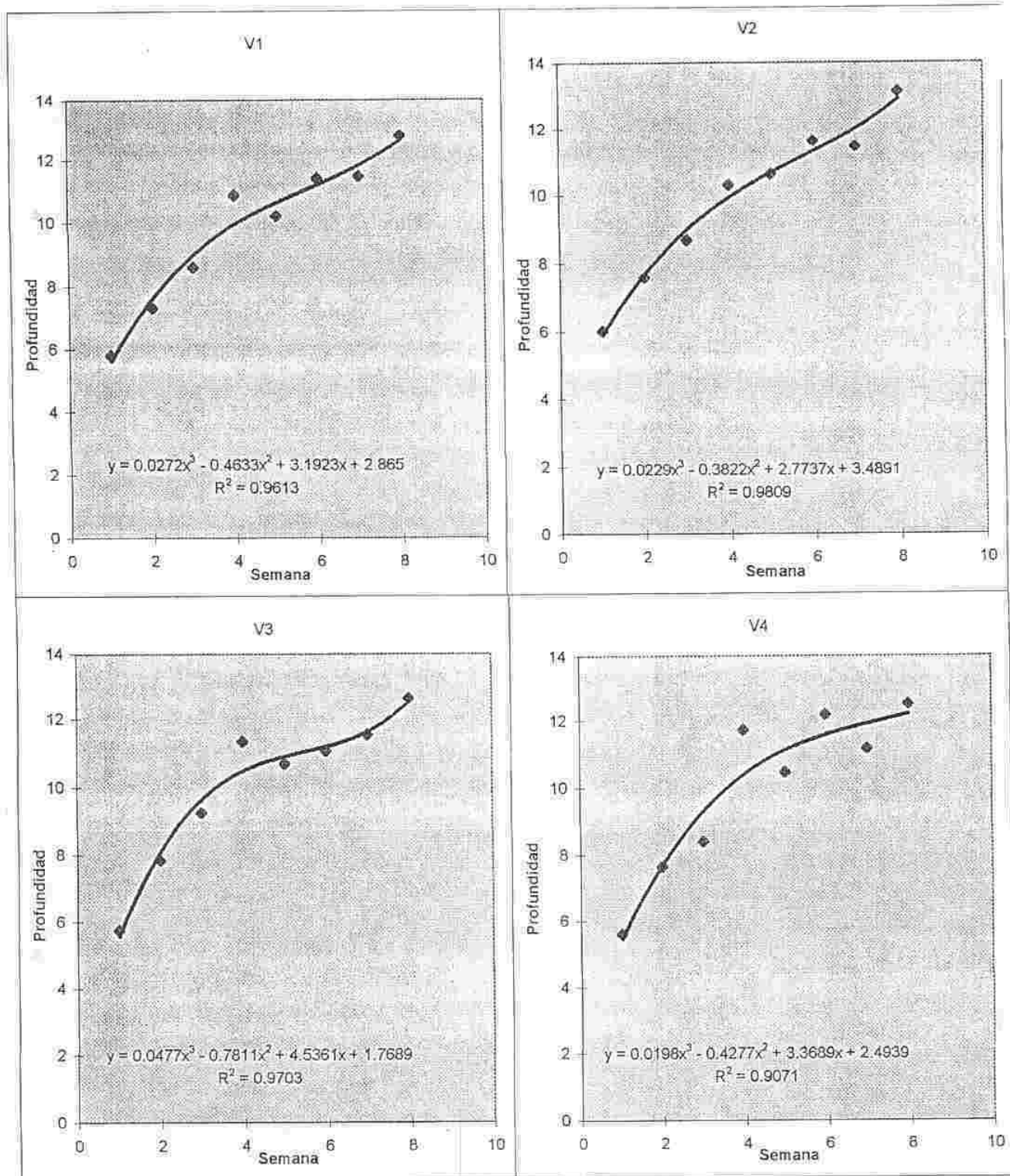
Para la variable profundidad de raíz el análisis de varianza mostró diferencias no significativas entre variedades y diferencias altamente significativas entre láminas. (anexo 3)

La gráfica 19, muestra los modelos de ajuste de estos datos.

La tabla 12 corresponde a los valores promedios de profundidad de la raíz, para cada variedad y tratamiento. Su representación corresponde a la gráfica 20, la cual también indica el ajuste de estos promedios a una función.

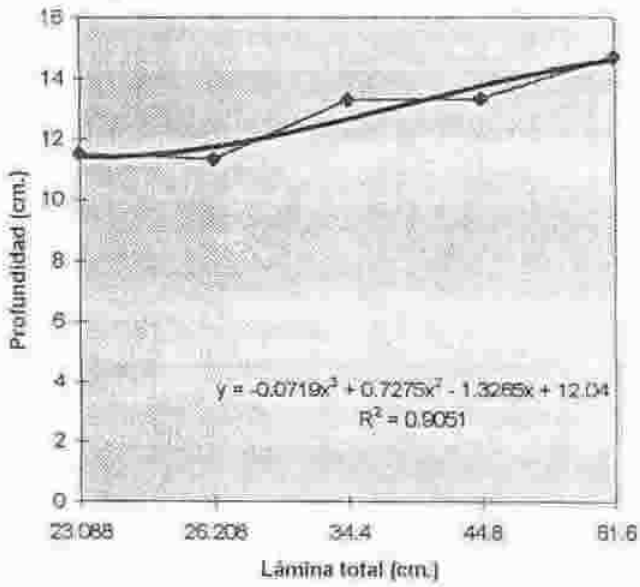


Gráfica 18. Profundidad para las variables Vanmax (Var1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3), Boston (Var 4)

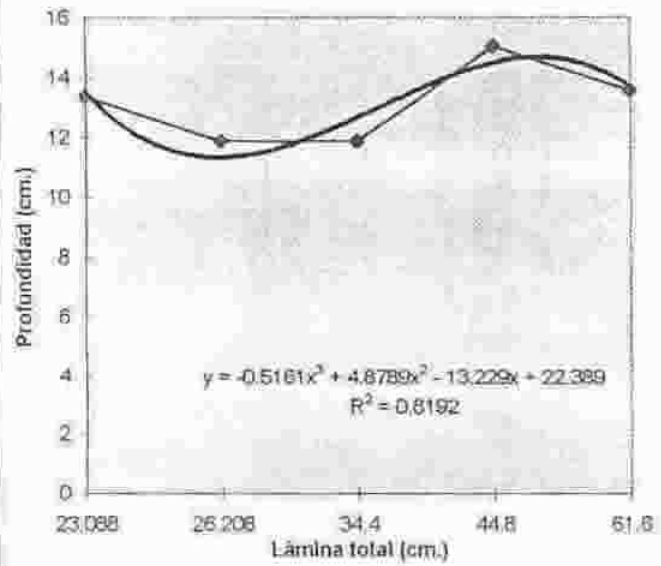


Gráfica 19. Modelos de tendencia para la variable profundidad de raíz para las variedades Vanamax (V1), Simpson (V2), Batavia (V3) y Boston (V4)

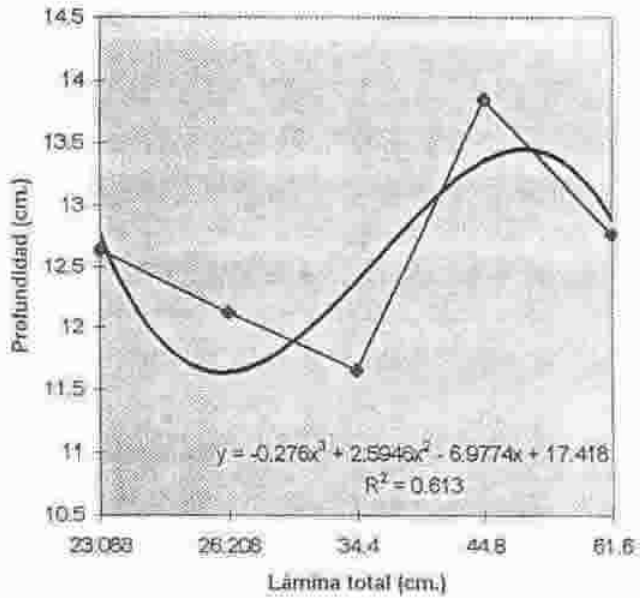
Var. 1



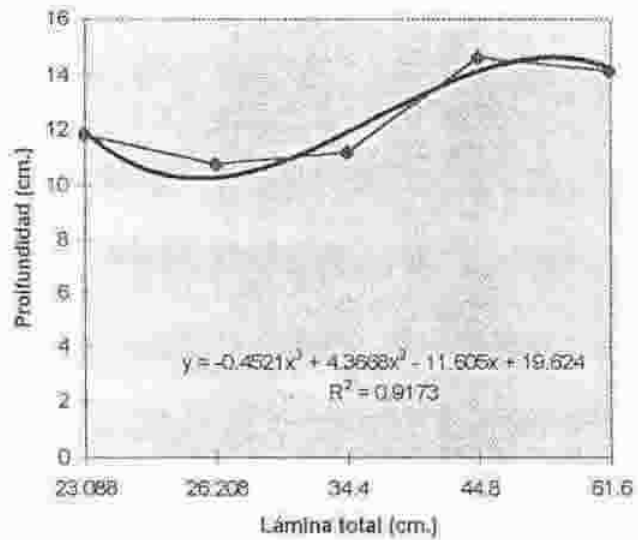
Var. 2



Var. 3



Var. 4



Gráfica 20. Tendencia de ajuste entre lámina total y profundidad de raíz para las variedades Vanmax (Var 1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3) y Boston (Var 4).

Tabla 12. Promedios finales para profundidad de raíz (cm.) en función de la lámina de agua total aplicada a los tratamientos.

Tratamiento	Lámina total (cm)	Var 1.	Var 2.	Var 3.	Var 4.
1	61.6	14.712	13.57	12.575	14.137
2	44.8	13.35	15.05	13.88	14.625
3	34.4	13.3	11.862	11.65	11.175
4	26.208	11.3	11.862	12.125	10.75
5	23.088	11.475	13.387	12.637	11.812

Los modelos cúbicos que relacionan la lámina de agua con la profundidad alcanzada por la raíz son:

Var 1.  $y = -0.0719x^3 + 0.7275x^2 - 1.3265x + 12.04$

Var 2.  $y = -0.5161x^3 + 4.8789x^2 - 13.229x + 22.389$

Var 3.  $y = -0.276x^3 + 2.5946x^2 - 6.9774x + 17.418$

Var 4.  $y = -0.4521x^3 + 4.3668x^2 - 11.605x + 19.624$

A partir de estas ecuaciones se puede obtener la lámina de agua necesaria para lograr un máximo desarrollo, como lo muestra la tabla 13.

Tabla 13. Lámina de agua calculada para lograr el máximo desarrollo de la profundidad de la raíz.

Variedad	dY / dX = 0	Lámina (cm.)
Var 1.	$y = -0.2157x^2 + 1.455x - 1.3265$	69.7
Var 2.	$y = -1.5483x^2 + 9.7578x - 13.229$	53.3
Var 3.	$y = -0.828x^2 + 5.1892x - 6.9774$	53.1
Var 4.	$y = -1.3563x^2 + 8.7336x - 11.605$	53.2

Promediando los valores finales de las cuatro variedades se logra obtener la siguiente ecuación:

$$y = -0.329x^3 + 3.142x^2 - 8.2845x + 17.868$$

$$R^2 = 0.9405$$

El anexo 6 muestra los modelos ajustados de los promedios.

$$dY / dX = 0 = -0.987x^2 + 6.284x - 8.2845$$

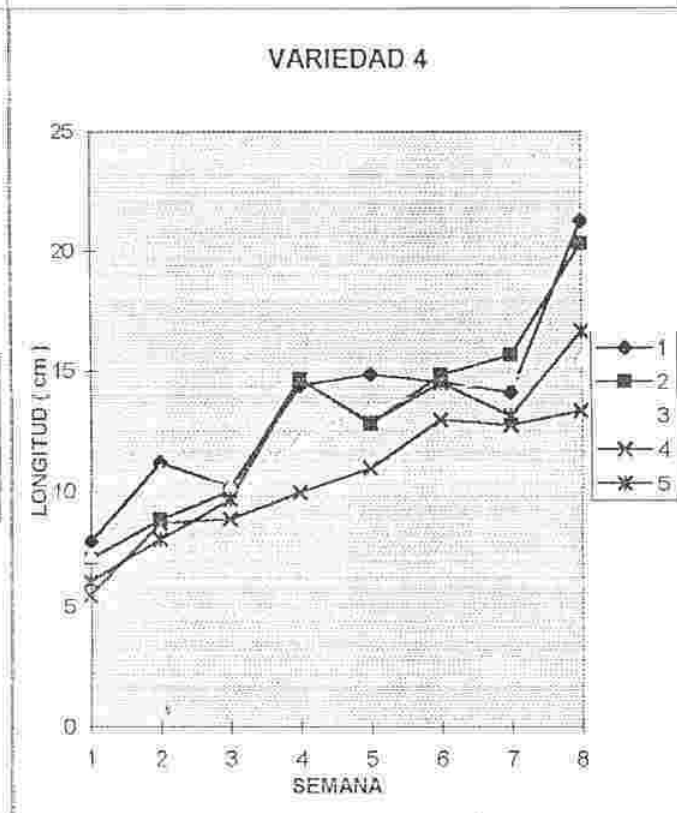
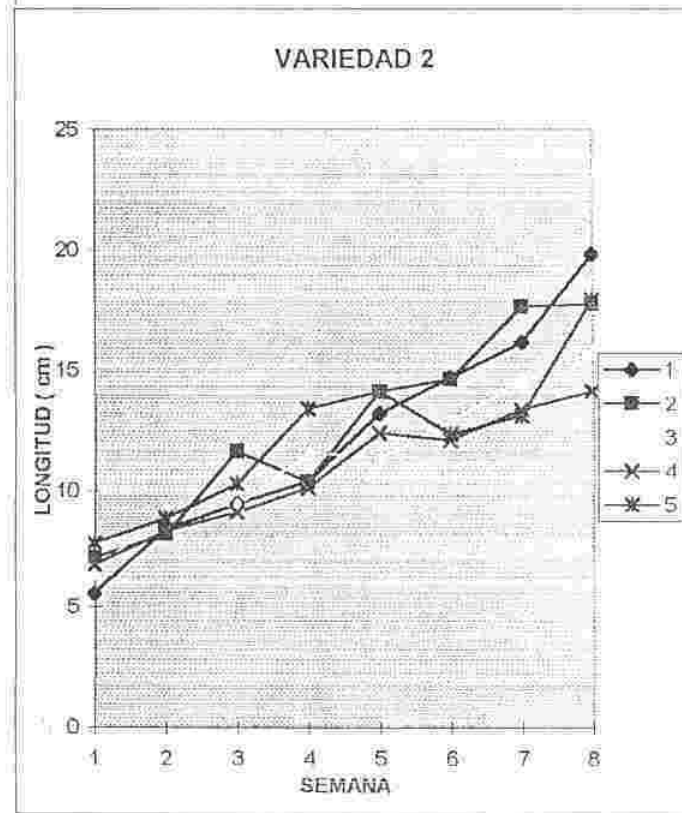
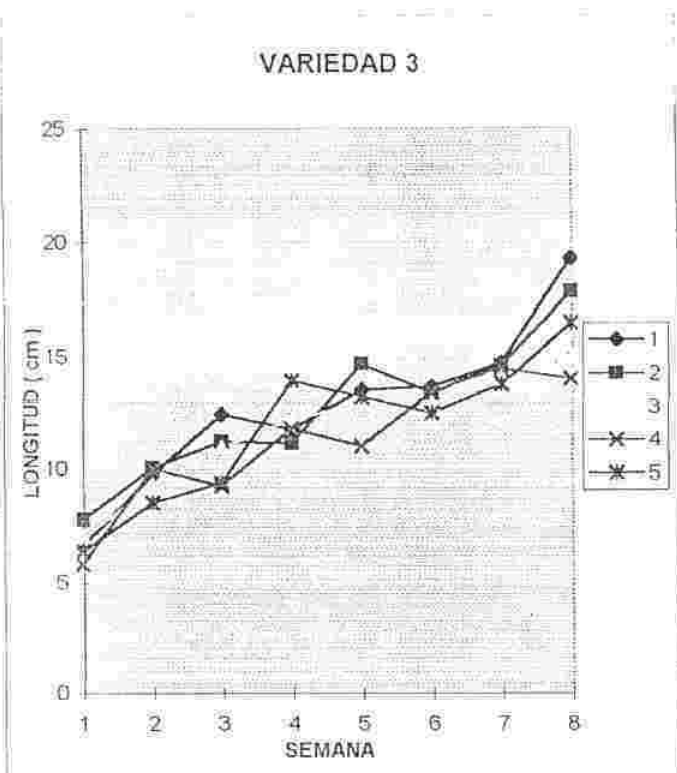
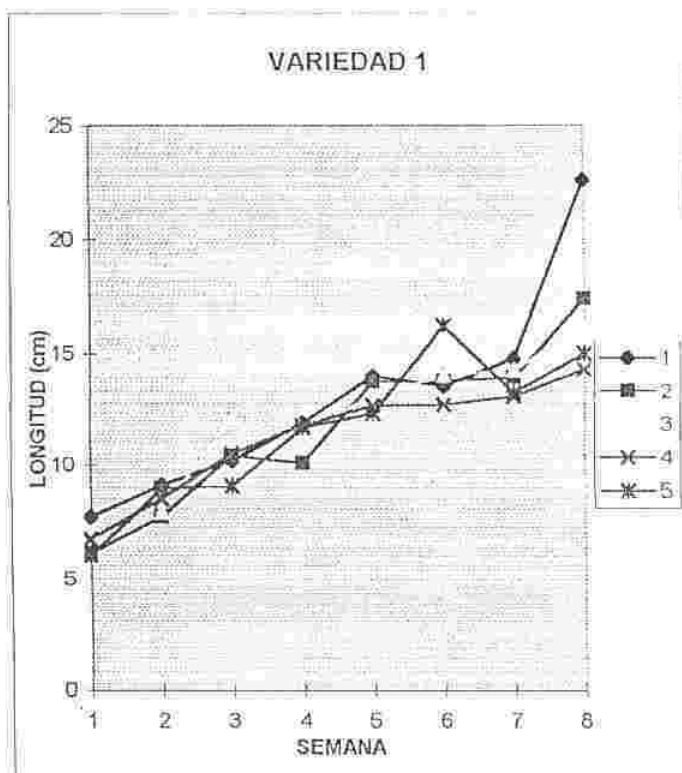
$$x = 55.4 \text{ cm.}$$

#### 5.1.8. Longitud de raíz.

La variable longitud de raíz comienza con valores entre 5 y 8 cm. La variedad 4 presenta los valores más bajos con el tratamiento durante el cultivo. Nuevamente la longitud de raíz se ve afectada con variaciones durante el ciclo con el testigo para todas las variedades, el tratamiento 1 encontró los valores más altos en el parámetro longitud de raíz al final del ciclo para todas las variedades, los tratamientos 4 y testigo alcanzan los valores más bajos en el mismo parámetro (gráfica 21).

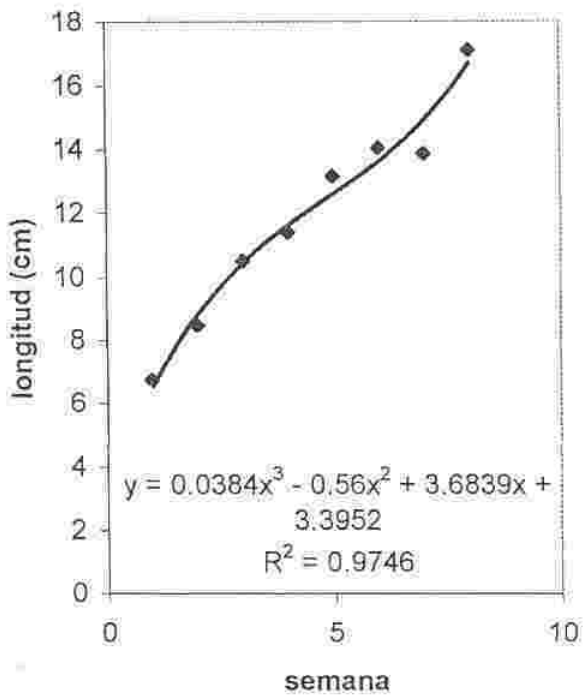
La variable longitud de raíz presentó en el análisis de varianza diferencias no significativas entre variedades, y diferencias altamente significativas entre láminas, (anexo 3).

La tabla 14, muestra los promedios finales para longitud de raíz, representados en la gráfica 22, ajustados a un modelo de tendencia.

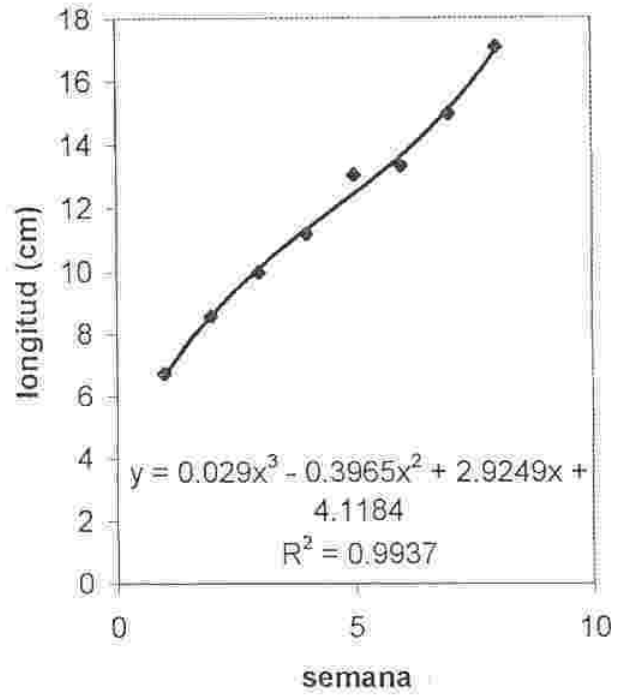


Gráfica 21. Longitud para las variables Vanmax (Var1), Simpson (Var 2), Balavia (Var 3), Boston (Var 4)

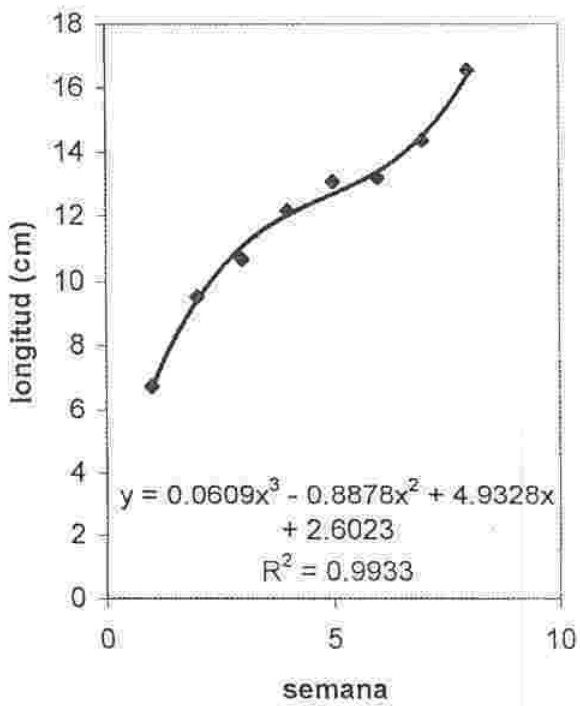
Variedad 1



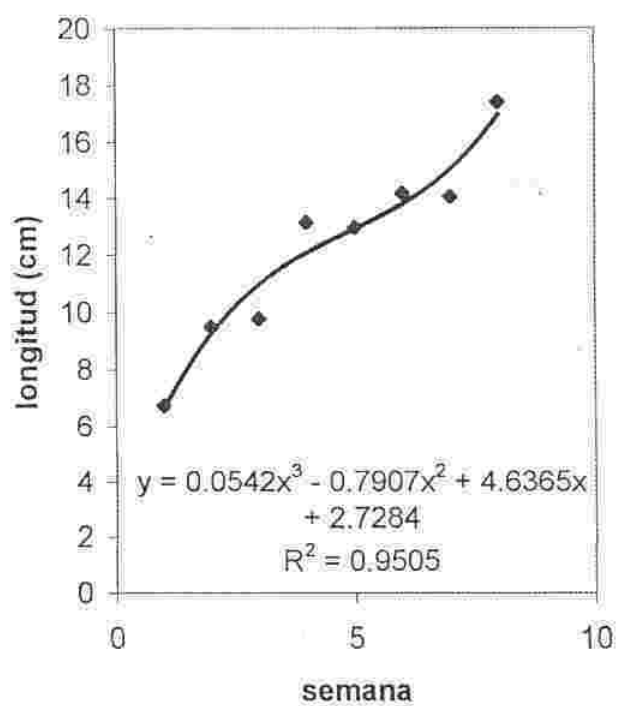
variedad 2



variedad 3



variedad 4



Gráfica 22 Modelos de tendencia para la variable longitud de raíz para las variedades Vanmax (v1), Simpson (v Batavia v3), y Boston (v4).

Tabla 14. Promedios finales de longitud de raíz en relación a la lámina de agua aplicada

Tratamiento.	Lámina total (cm.)	Variedad 1	Variedad 2	Variedad 3	Variedad 4
1	61.6	22.625	19.8225	19.32	21.25
2	44.8	17.375	17.737	17.837	20.287
3	34.4	16.175	15.775	15.087	15.5
4	26.208	14.3	14.112	14.05	13.312
5	23.088	15.012	17.925	16.5	16.662

El anexo 6, indica como se ajustan los promedios a una función, sin importar la variedad, a una función cubica, y a partir de ella obtener una lámina de agua para lograr la máxima longitud de raíz .

$$y = -0.3751x^3 + 4.164x^2 - 12.3x + 25.006$$

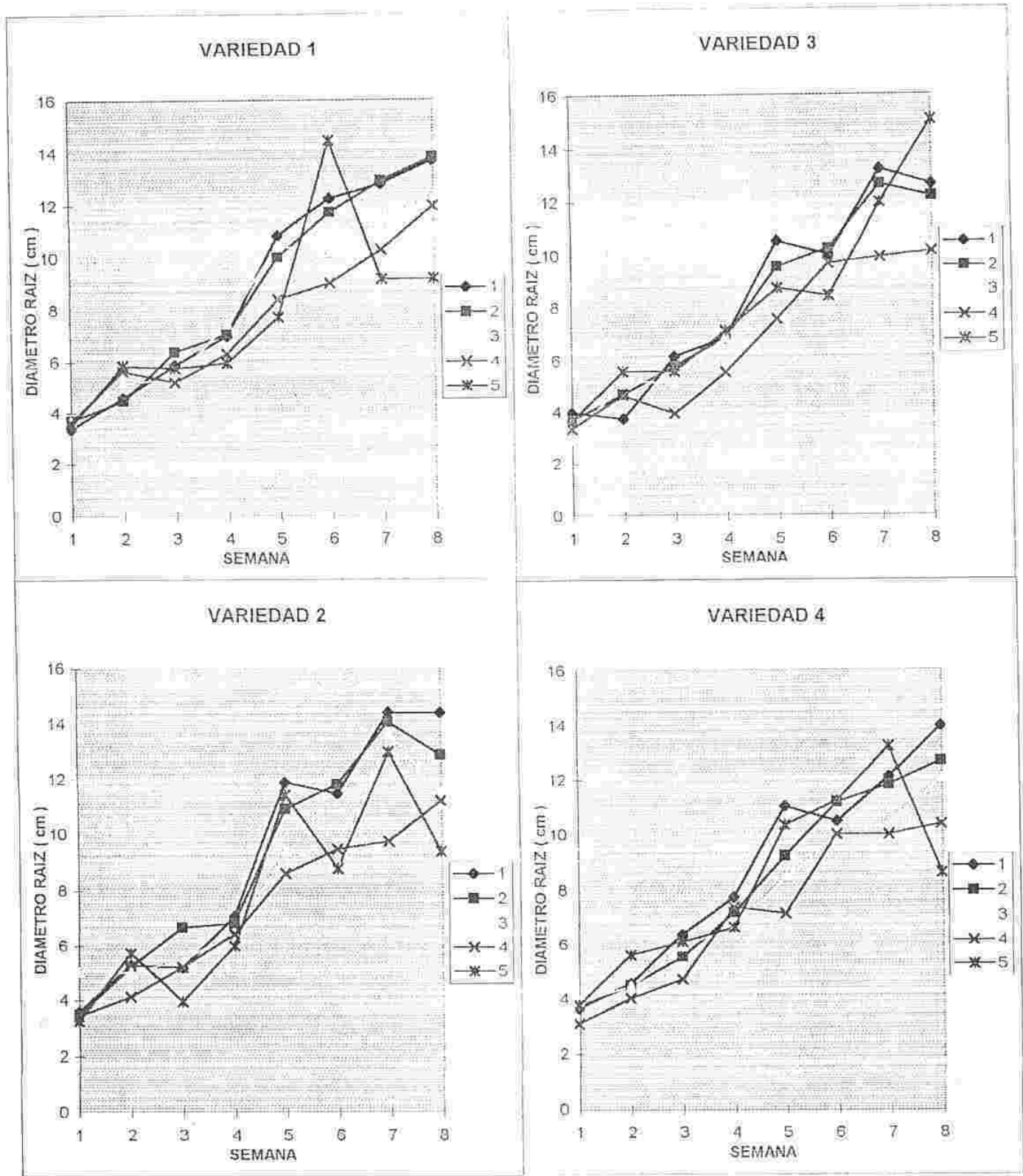
$$dx / dy = 0 = -1.1253x^2 + 8.328x - 12.3$$

$$x = 66.1 \text{ cm.}$$

#### 5.1.9 Diámetro de raíz.

Los aumentos en diámetro de raíz se ven en forma mas definida en las semanas cuarta y quinta, aunque de la semana siete a la ocho el proceso de crecimiento de diámetro radical es poco, no se encuentra una disminución marcada.

Como caso singular la variedad 3 presenta al testigo como el de valor mas alto al final del ciclo, ya que en las demás variedades presentan caídas significativas de la séptima a la octava semana. Las variedades 2 y 4 presentan al tratamiento 1 como el de mayor valor, la variedad 1 al tratamiento 2. Nuevamente el tratamiento 4 y el testigo presentan los valores mas bajos al final del ciclo.(gráfica 23).



Gráfica 23. Diámetro raíz para las variables Vanmax (Var1), Simpson (Var 2), Balavía (Var 3), Boston (Var 4)

Los datos promedios para cada variedad son ajustados a modelos de tendencia, por medio de regresión, presentados en la gráfica 24.

La variable diámetro de raíz en el análisis de varianza presenta diferencias no significativas entre variedades y láminas. (anexo 3)

Los datos de la tabla 15, son el resultado promedio al final del ensayo, para cobertura radical, para las variedades estudiadas y tratamientos aplicados a estas.

Tabla 15. Promedios en función de la lámina aplicada total para cobertura radical (cm.)

Tratamiento	Lámina total ( cm )	Var 1.	Var 2.	Var 3.	Var 4.
1	61.6	13.7	14.357	12.662	12.712
2	44.8	13.812	12.862	12.225	12.05
3	34.4	12.337	11.375	10.525	12.05
4	26.208	11.95	11.187	10.15	10.375
5	23.088	9.2	9.362	15.05	8.612

La gráfica 25 corresponde a la representación de los anteriores promedios finales y el ajuste a una línea de tendencia cúbica.

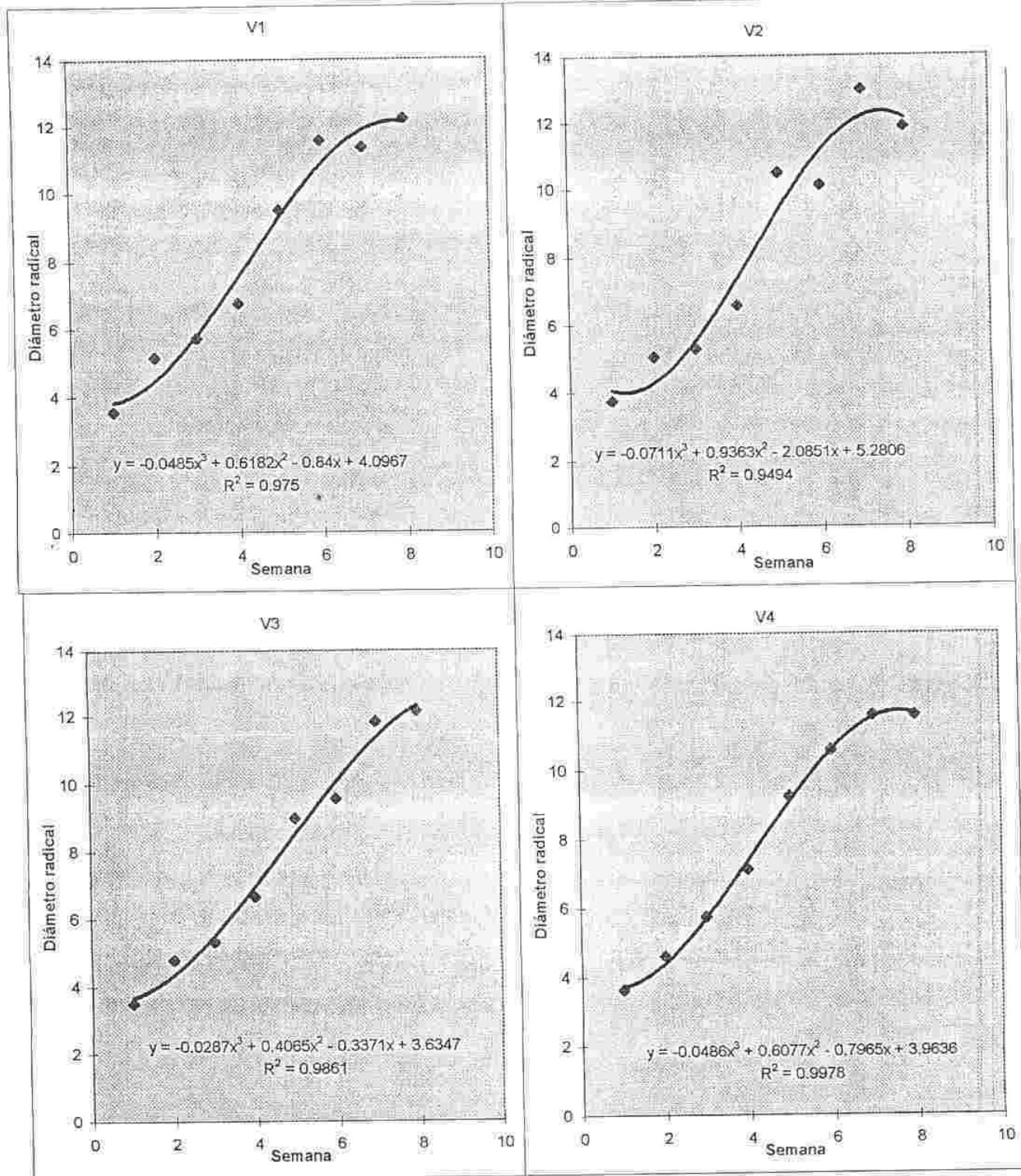
Las ecuaciones que se relacionan a continuación, son el resultado del análisis de los datos de la tabla 15.

$$\text{Var 1. } y = 0.0647x^3 - 0.9131x^2 + 4.5992x + 5.5368$$

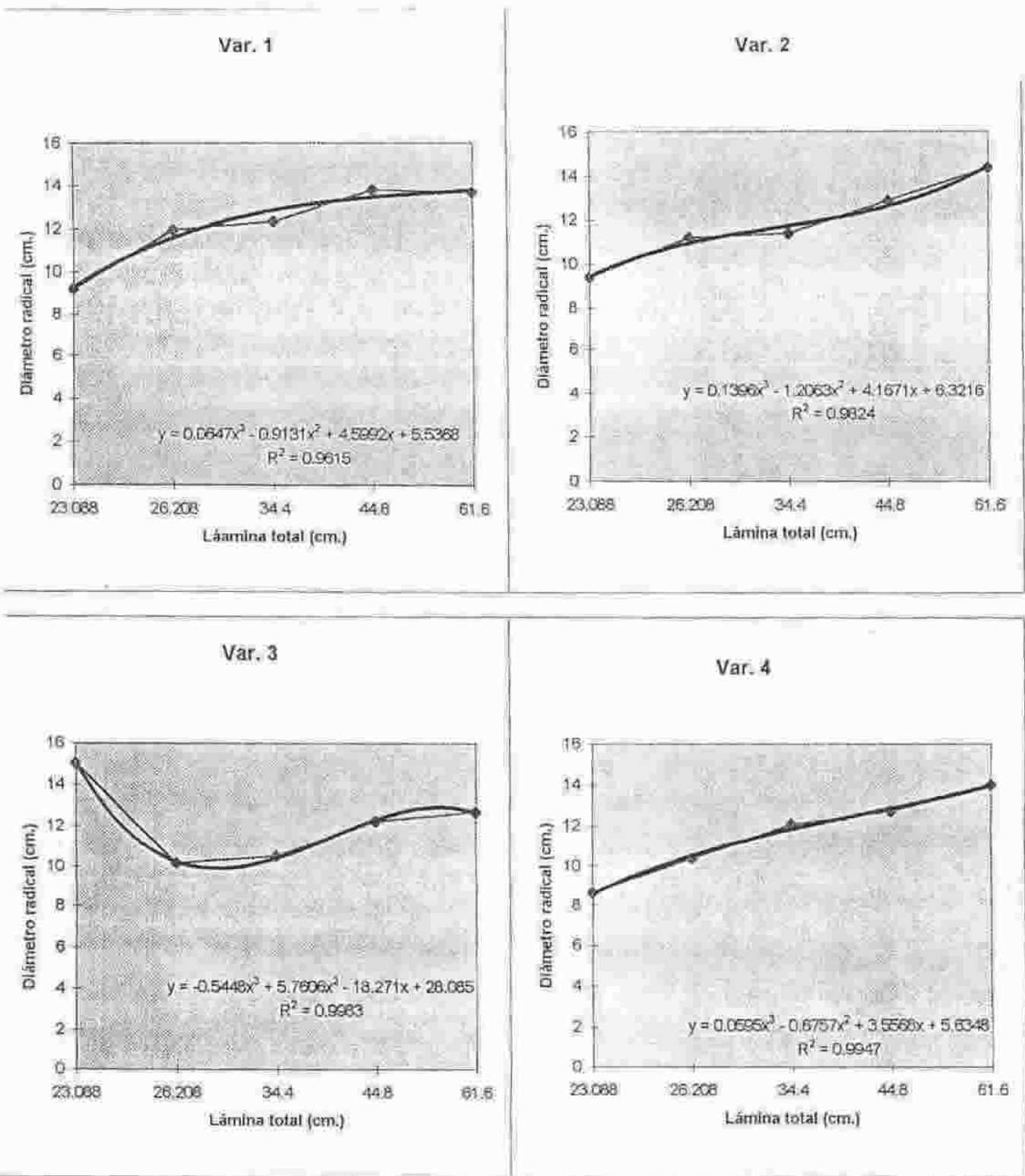
$$\text{Var 2. } y = 0.1396x^3 - 1.2063x^2 + 4.1671x + 6.3216$$

$$\text{Var 3. } y = -0.5448x^3 + 5.7606x^2 + 18.271x + 28.085$$

$$\text{Var 4. } y = 0.0595x^3 - 0.6757x^2 + 3.5568x + 5.6348$$



Gráfica 24. Modelos de tendencia para la variable diámetro radical para las variedades Vanamax (V1), Simpson (V2), Batavia (V3) y Boston (V4)



Gráfica 25. Tendencia de ajuste entre lámina total y diámetro radical para las variedades Vanmax (Var 1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3) y Boston (Var 4).

En la tabla 16 se presentan las láminas calculadas.

Variedad	dY / dY = 0	Lámina (cm.)
Var 1.	$y = 0.1941x^2 - 1.8262x + 4.5992$	i
Var 2.	$y = 0.4188x^2 - 2.4126x + 4.1671$	i
Var 3.	$y = -1.6344x^2 + 11.5212x + 18.271$	103.2
Var 4.	$y = 0.1785x^2 - 1.3514x + 3.5568$	i

Con los valores promedios generales de las cuatro variedades estudiadas se llega a un modelo de crecimiento (anexo 6) y a una lámina de agua a aplicar para maximizar la cobertura radical sin importar las variedades.

$$y = -0.0703x^3 + 0.7413x^2 - 1.4869x + 11.395$$

$$R^2 = 0.9945$$

$$dY / dX = 0 = -0.2109x^2 + 1.4826x - 1.4869$$

$$x = 71.6 \text{ cm.}$$

#### 5.1.10 Peso fresco de la raíz.

El peso fresco de la raíz presenta en las semanas tres a cinco un corto periodo de transición donde el aumento en peso es mínimo, probablemente estas semanas son de preparación y acumulación de fotosintetizados que en las semanas siguientes se transformaran en aumento de área foliar, peso fresco de las hojas y crecimiento de cada uno de los parámetros medidos. El aumento del peso fresco de la raíz es mayor de la quinta a la sexta semana y son marcados en todas las variedades casi hasta la séptima semana, aunque en algunos casos este aumento va hasta la octava semana. El testigo se comporta de manera diferente a los

tratamientos durante el ciclo del cultivo. Los mayores valores los presentan los tratamientos 1 y 2 para todas las variedades, en la séptima semana. (gráfica 26).

El análisis de varianza presentó diferencias no significativas entre variedades y diferencias altamente significativas entre láminas. (anexo 4)

La tabla 17, muestra los promedios finales para peso fresco de raíz, representados en la gráfica 27, ajustados a un modelo de tendencia.

Tabla 17. Promedios finales para peso fresco de raíz en relación con la lámina total aplicada.

Tratamiento	Lámina total (cm.)	variedad 1	variedad 2	variedad 3	variedad 4
1	61.6	12.332	15.889	10.7	13.611
2	44.8	11.885	9.463	11.822	13.29
3	34.4	11.998	11.646	12.467	13.071
4	26.208	7.9	7.973	8.594	9.568
5	23.088	11.379	10.98	9.307	10.496

Sin importar la variedad, los promedios se ajustan a un modelo, como lo muestra el anexo 6.

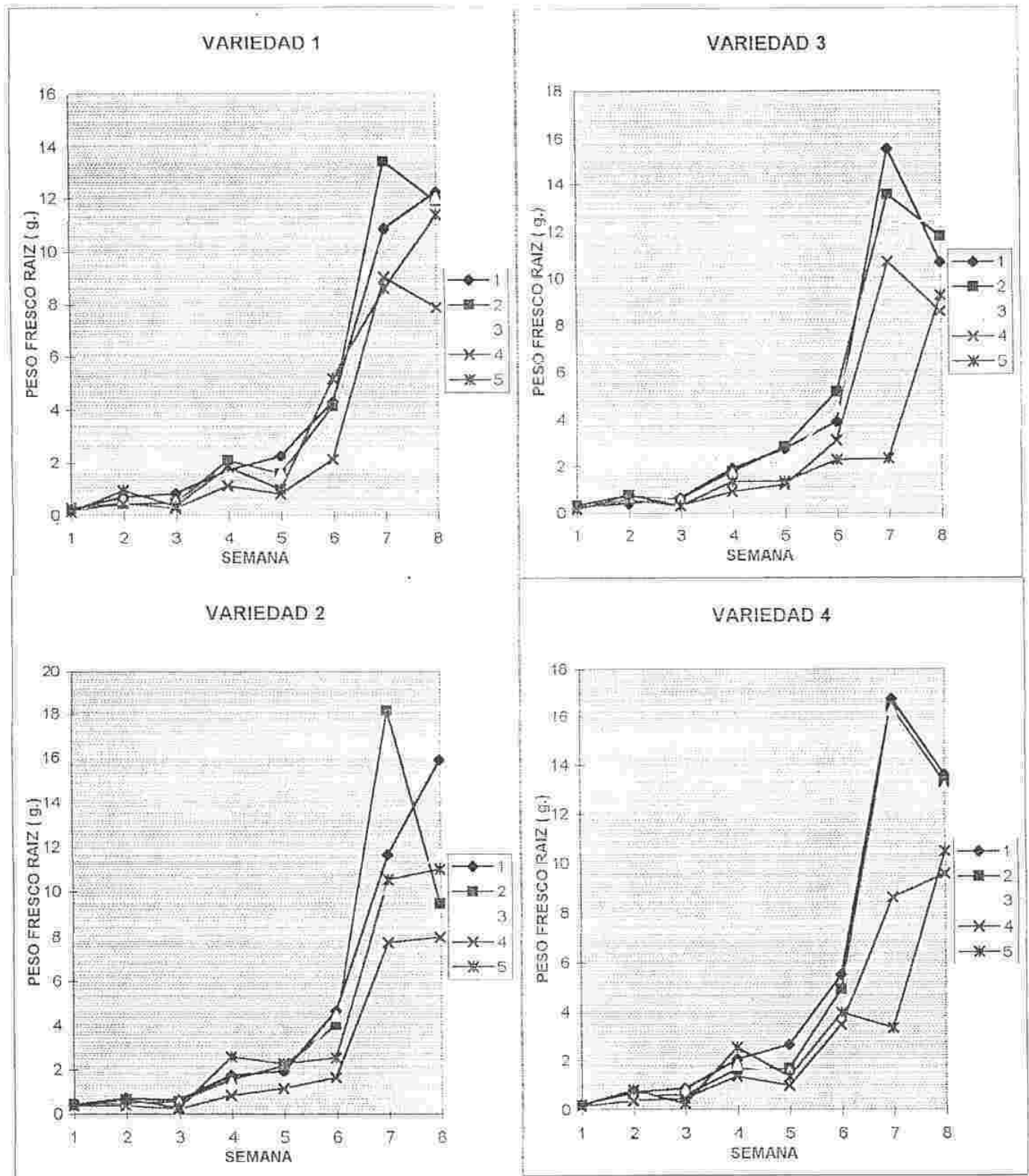
$$y = -0.3038x^3 + 2.9182x^2 - 7.4511x + 15.135$$

$$dy / dx = 0 = -0.9114x^2 + 5.8364x - 7.4511$$

$$x = 57.2 \text{ cm.}$$

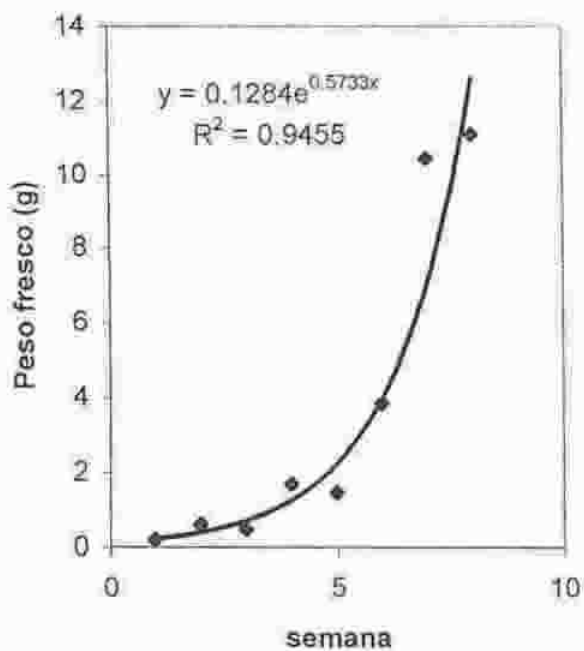
#### 5.1.11 Peso seco de la raíz.

El peso seco de la raíz presenta uniformidad en los tratamientos hasta la quinta semana donde nuevamente los pesos aumentan de forma notable, eso demuestra que lo encontrado en peso fresco obedece a un régimen hídrico y no a elementos

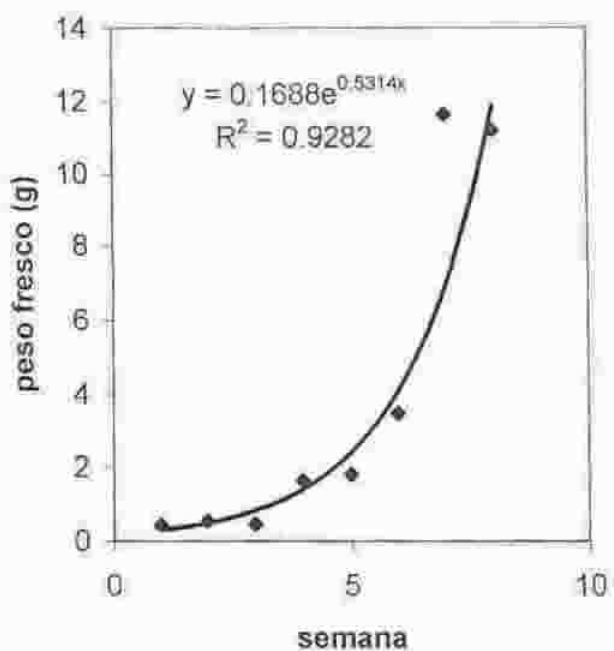


Gráfica 26. Peso fresco raíz para las variables Vanmax (Var1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3), Boston (Var 4)

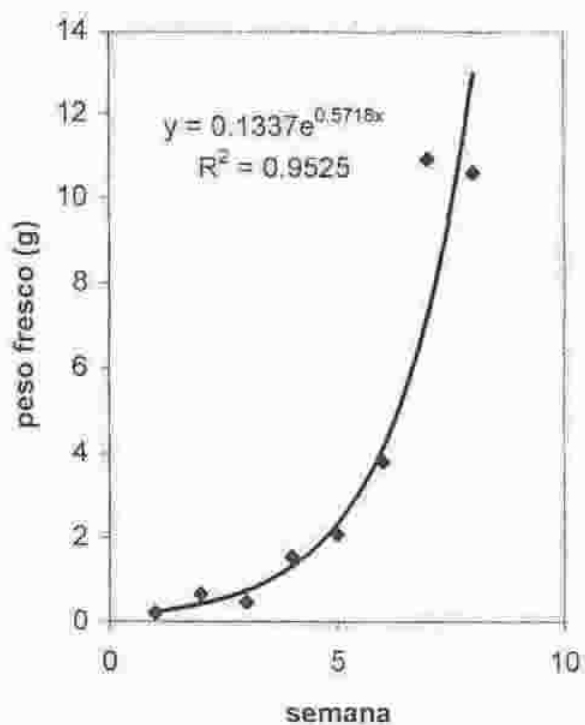
variedad 1



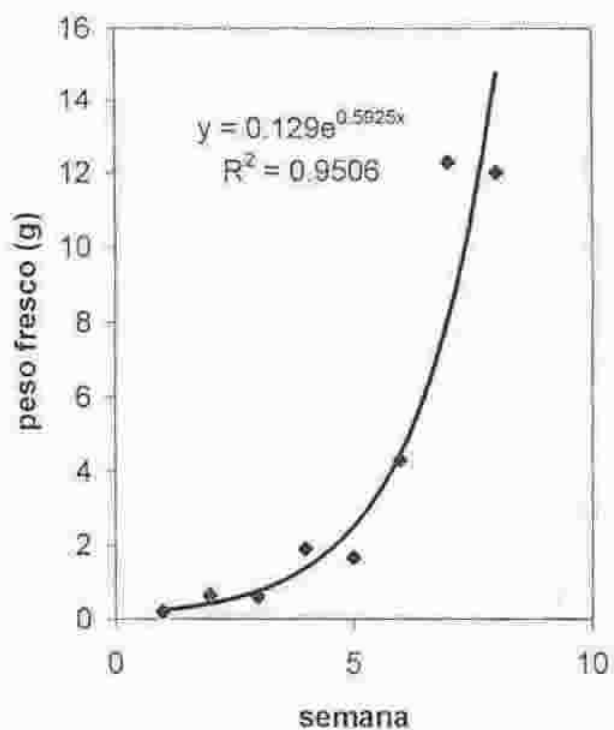
variedad 2



variedad 3



variedad 4



Gráfica 27. Modelos de tendencia para la variable peso fresco raíz para las variedades Vanmax (v1), Simpson Batavia v3), y Boston (v4).

metabólicos de crecimiento. La semana cuarta y quinta para la variedad 1 y 4 presentan pequeños descensos similares a los presentados en el parámetro de peso fresco de raíz, aunque las variedades 2 y 3 no presentan tan marcado el mismo proceso si muestran aumentos en el peso para la sexta semana.

El tratamiento 2 presenta los mayores valores en la séptima y octava semana para todas las variedades, el testigo se comporta de manera similar a los tratamientos y posiblemente el parámetro de peso seco de raíz no es tan afectado por la constancia del riego (gráfica 28).

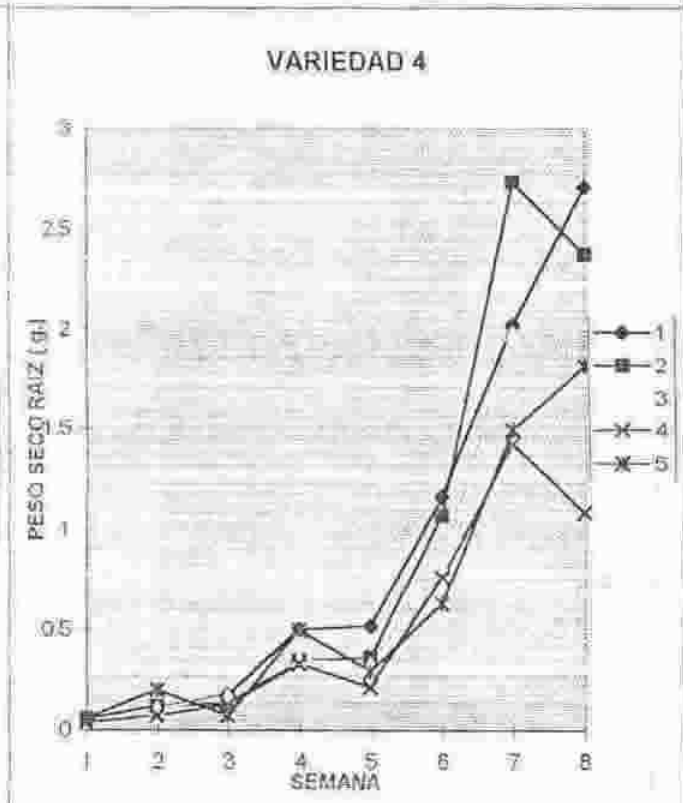
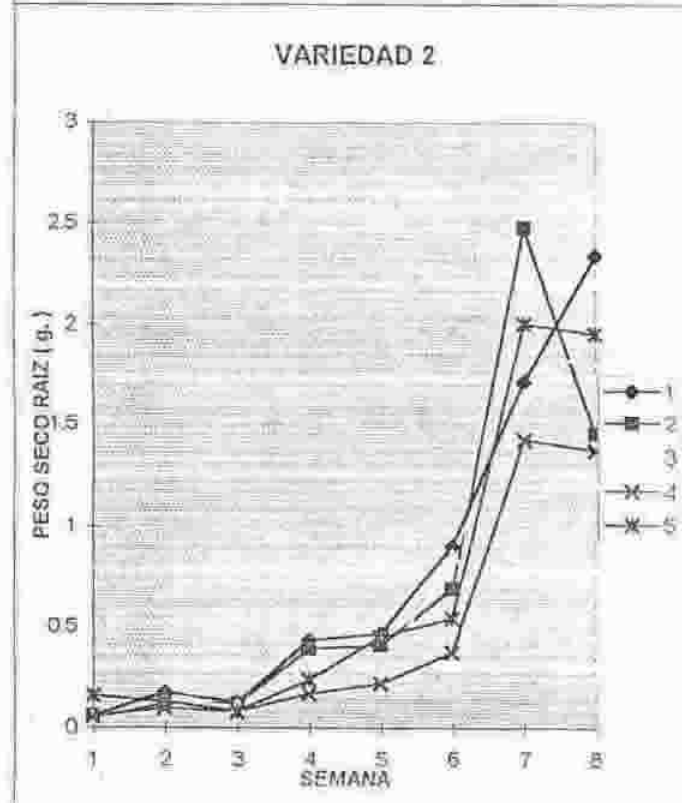
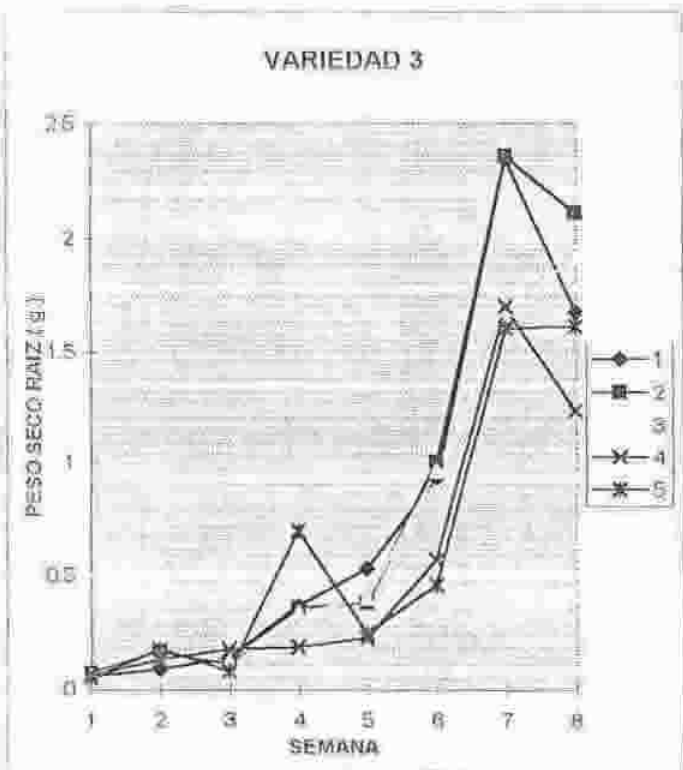
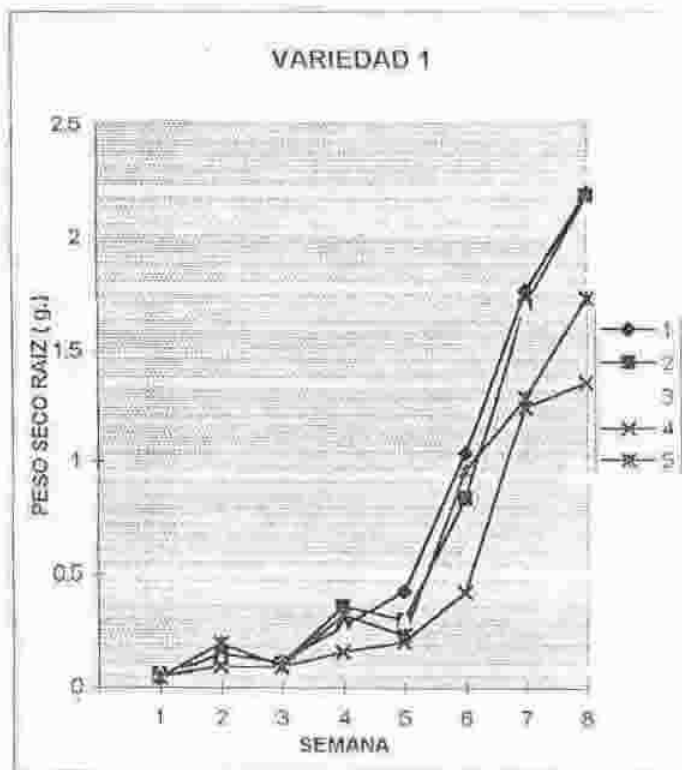
La gráfica 29, por medio de regresión, muestra el ajuste a un modelo para cada una de las variedades.

El análisis de varianza para la variable peso seco de raíz presenta diferencias no significativas entre variedades y diferencias altamente significativas entre láminas. (anexo 4)

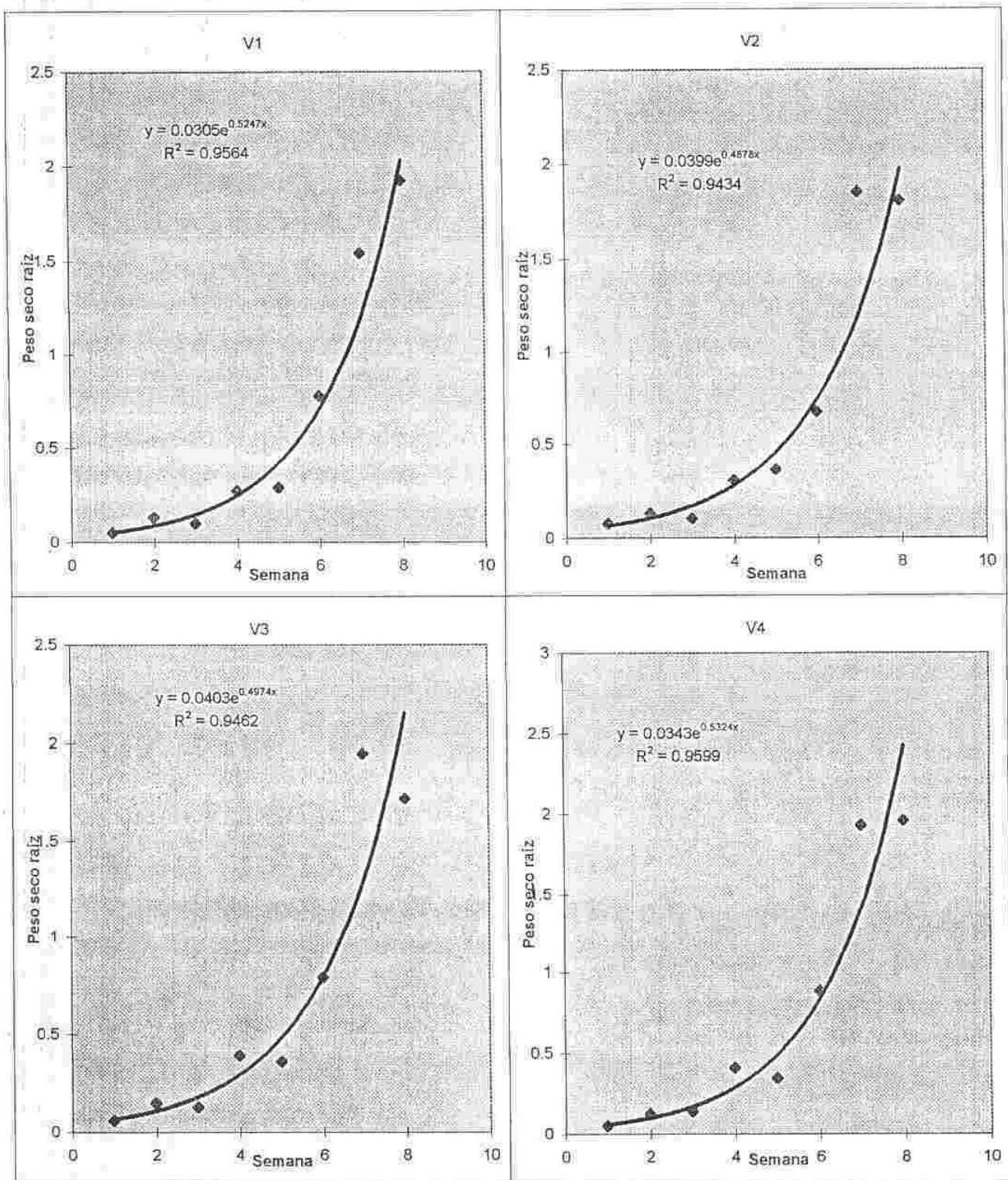
Los datos relacionados en la tabla 18, muestran el promedio para cada variedad y tratamiento al final del ensayo. La gráfica 30 muestra el ajuste de estos datos a un modelo.

Tabla 18. Promedios de peso seco raíz (g.) para el final del ensayo en función de la totalidad de la lámina aplicada en los tratamientos.

Tratamiento	Lámina total ( cm )	Var 1.	Var 2.	Var 3.	Var 4.
1	61.6	2.2	2.338	1.6792.	2.712
2	44.8	2.189	1.45	2.114	2.373
3	34.4	2.128	1.92	1.917	1.787
4	26.208	1.365	1.368	1.243	1.086
5	23.088	1.739	1.951	1.617	1.817

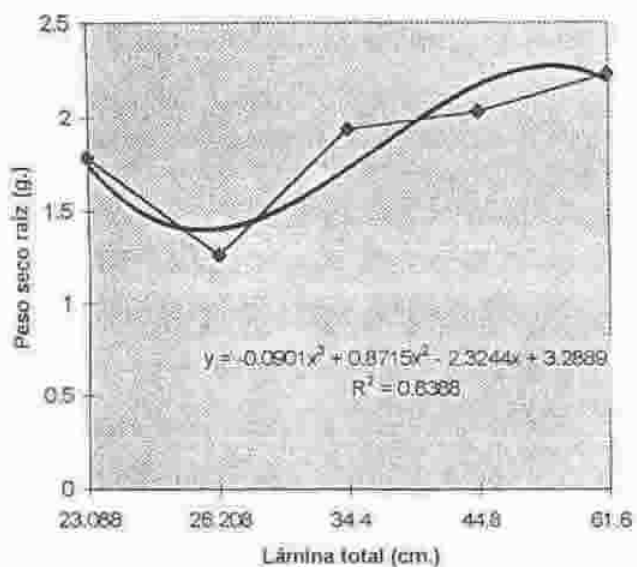


Gráfica 28. Peso seco raíz para las variables Vanmax (Var1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3), Bosten (Var 4)

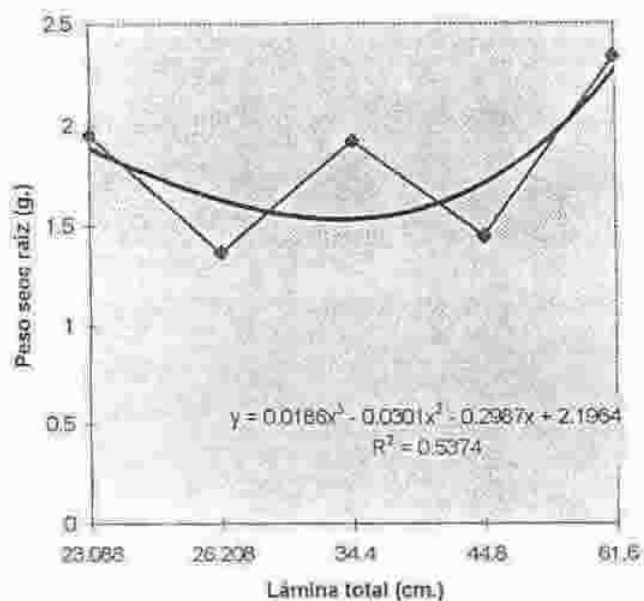


Gráfica 29. Modelos de tendencia para la variable Peso seco de raíz para las variedades Vanamax (V1), Simpson (V2), Batavia (V3) y Boston (V4)

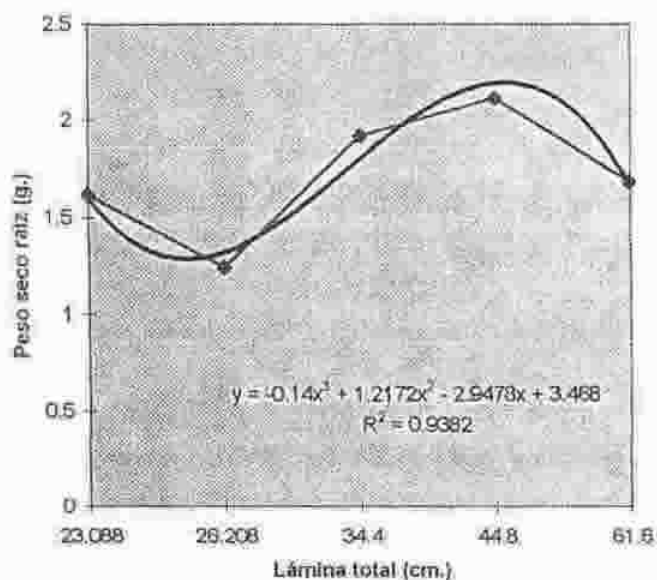
Var. 1



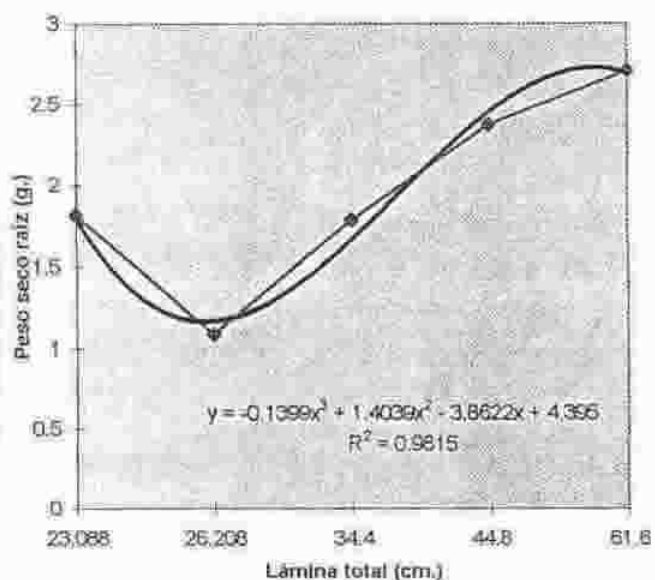
Var. 2



Var. 3



Var. 4



Gráfica 30. Tendencia de ajuste entre lámina total y peso seco radical para las variedades Vanmax (Var 1), Simpson (Var 2), Batavia (Var 3) y Boston (Var 4).

Las ecuaciones resultantes de ese análisis, para cada variedad son:

Var 1.  $y = -0.0901x^3 + 0.8715x^2 - 2.3244x + 3.2889$

Var 2.  $y = 0.0186x^3 - 0.0301x^2 - 0.2987x + 2.1964$

Var 3.  $y = -0.14x^3 + 1.2172x^2 - 2.9478x + 3.468$

Var 4.  $y = -0.1399x^3 + 1.4039x^2 - 3.8622x + 4.395$

Las láminas calculadas son presentadas en la tabla 19.

Tabla 19. Lámina de agua que maximiza la ganancia de peso seco.

Variedad	$dY / dX = 0$	Lámina (cm.)
Var 1	$y = -0.2703x^2 + 1.743x - 2.3244$	56.2
Var 2.	$y = 0.558x^2 - 0.0602x - 0.2987$	35.9
Var 3.	$y = -0.42x^2 + 2.4344x - 2.9478$	50.1
Var 4.	$y = -0.4197x^2 + 2.8078x - 3.8622$	58.5

A continuación se hace el mismo análisis sin importar las variedades, se generaliza para llegar a un modelo (anexo 6) para la especie.

$y = -0.0901x^3 + 0.8715x^2 - 2.3244x + 3.2889$   $R^2 = 0.8388$

$dY / dX = 0 = -0.2703x^2 + 1.743x - 2.3244$

$x = 54.1 \text{ cm.}$

## 5.2 Análisis de crecimiento.

El crecimiento se define como un incremento irreversible en el tamaño de la planta el cual a menudo es acompañado por cambios en la forma.

De acuerdo con Hunt (1978 1982), el análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa, que usa datos simples y básicos, para la descripción e interpretación

de las plantas que crecen bajo ambientes naturales, seminaturales y controlados. (Clavijo, 1989)

#### 5.2.1. Tasa de asimilación neta. (TAN)

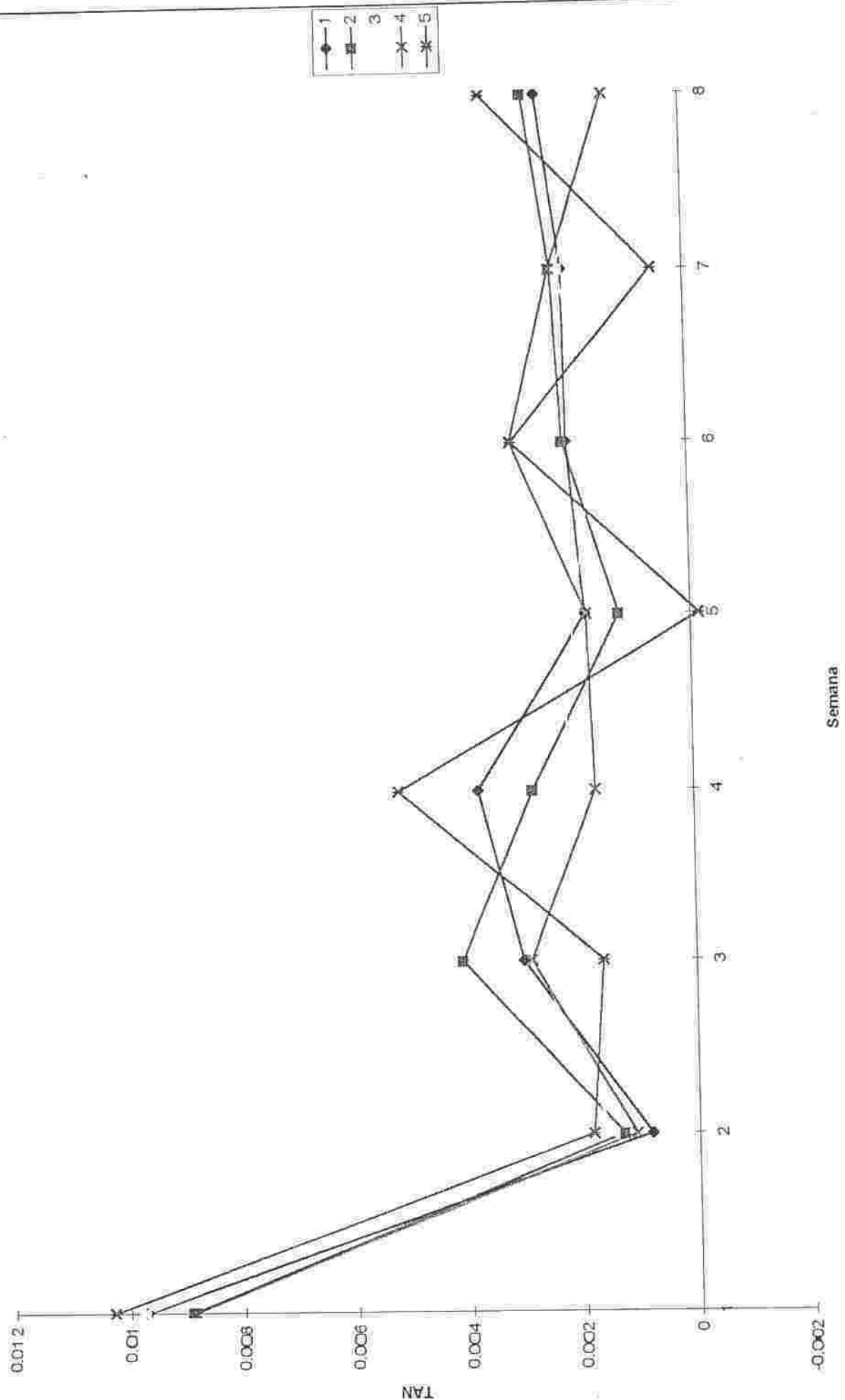
La TAN es una medida de la eficiencia de una planta o de una población como sistema asimilatorio. Es decir, la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo. La TAN no es constante sino que decrece con la edad de la planta. (Hunt y Gardner, citados por Clavijo, 1989)

La TAN para la variedad 1 presenta una caída considerable de la primera a la segunda semana después del trasplante, aunque se ven recuperaciones marcadas después de la segunda semana. El testigo fluctúa y cae a niveles negativos de TAN, es decir que los procesos tanto de asimilación como de respiración por unidad de área no están cambiando en forma semejante, como si ocurre con los demás tratamientos en estudio. (Patarroyo, 1980)

La acumulación de materia seca es mínima, los procesos de respiración aumentan, e impiden los procesos de acumulación de carbono. (gráfica 31).

La gráfica de TAN en la variedad 2, muestra plantas muy afectadas, inclusive con valores negativos en la tercera semana (-0.11123954), indicando que las tensiones causadas por una menor disponibilidad de agua sí afectan la TAN (Patarroyo, 1980).

Variedad 1



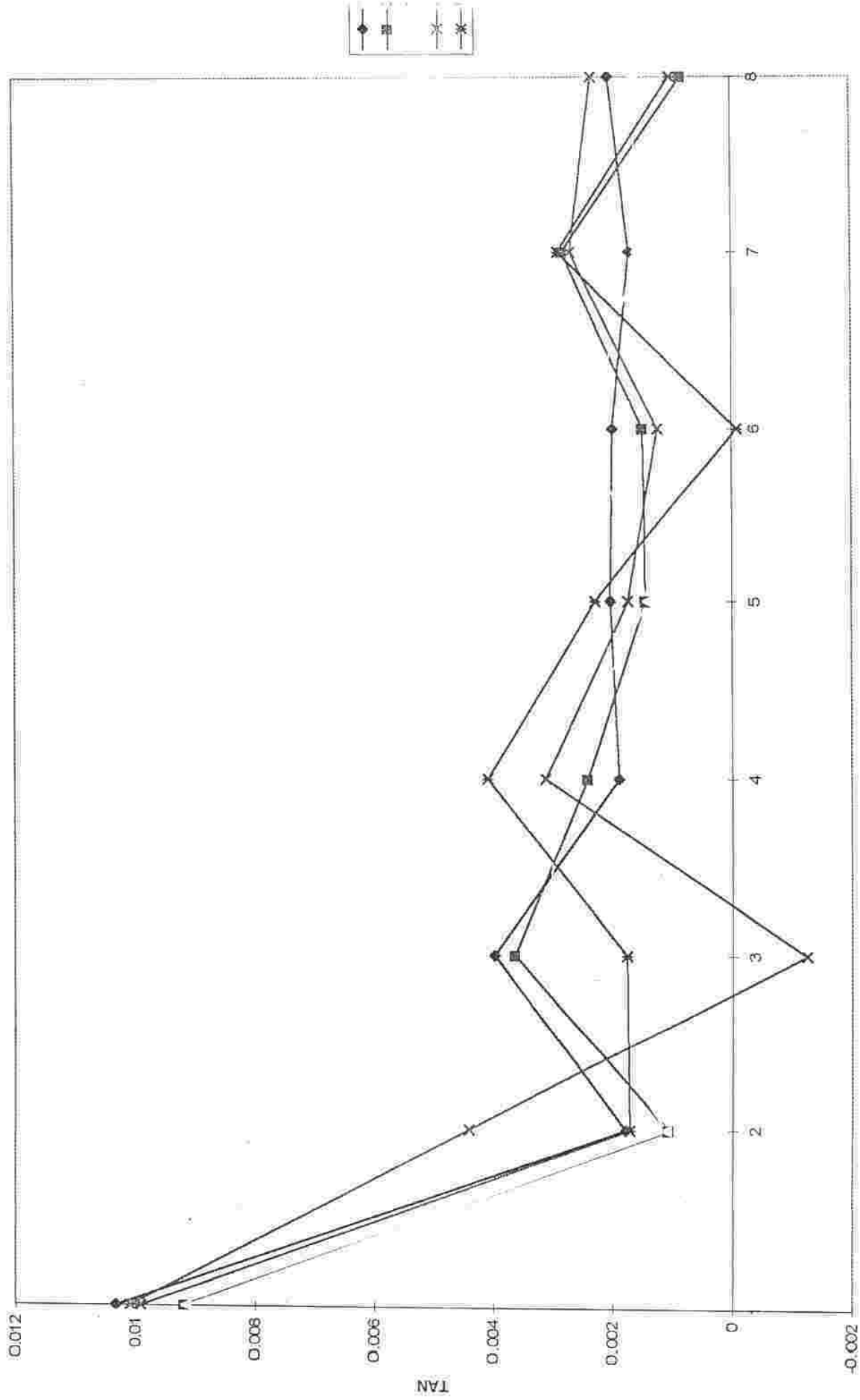
Gráfica 31. TAN para la variedad Vanmax (var 1).

Esta variedad presenta mayor susceptibilidad en cuanto al trasplante, como lo indica la gráfica 32, que alcanza valores negativos posiblemente provocado por el estrés que sufre la planta debido a los bajos niveles de agua utilizados en algunos de los tratamientos. La acumulación de carbono es poca, la respiración aumenta y el gasto en renovación de tejidos aumenta. (Cortez, 1985)

En la variedad 3, nuevamente la TAN en los tratamientos 3, 4 y el testigo muestran niveles negativos en algunos momentos del cultivo (en la semana 2, para el tratamiento 2 es  $-0.00034125$ ; y en la semana 4, para el tratamiento 4 es  $-0.000634$ ), corroborando lo publicado por Baker y Musgrave, citados por Patarroyo, 1980, en cuanto a que la actividad fotosintética es altamente dependiente del suministro de agua. El testigo tiene algunos picos y decrece de una semana a otra de forma considerable, probablemente por que el riego utilizado no fue constante, lo que no sucedió con los diferentes tratamientos en estudio. Esta variedad se resiente después del trasplante bajando su TAN de forma considerable a niveles menores de cero probablemente como consecuencia de un aumento en la respiración por daños ocasionados en el trasplante. Esta variedad presentó un crecimiento mayor en la época de semillero y posiblemente puede verse más afectada en la etapa de trasplante que otras variedades. (gráfica 33)

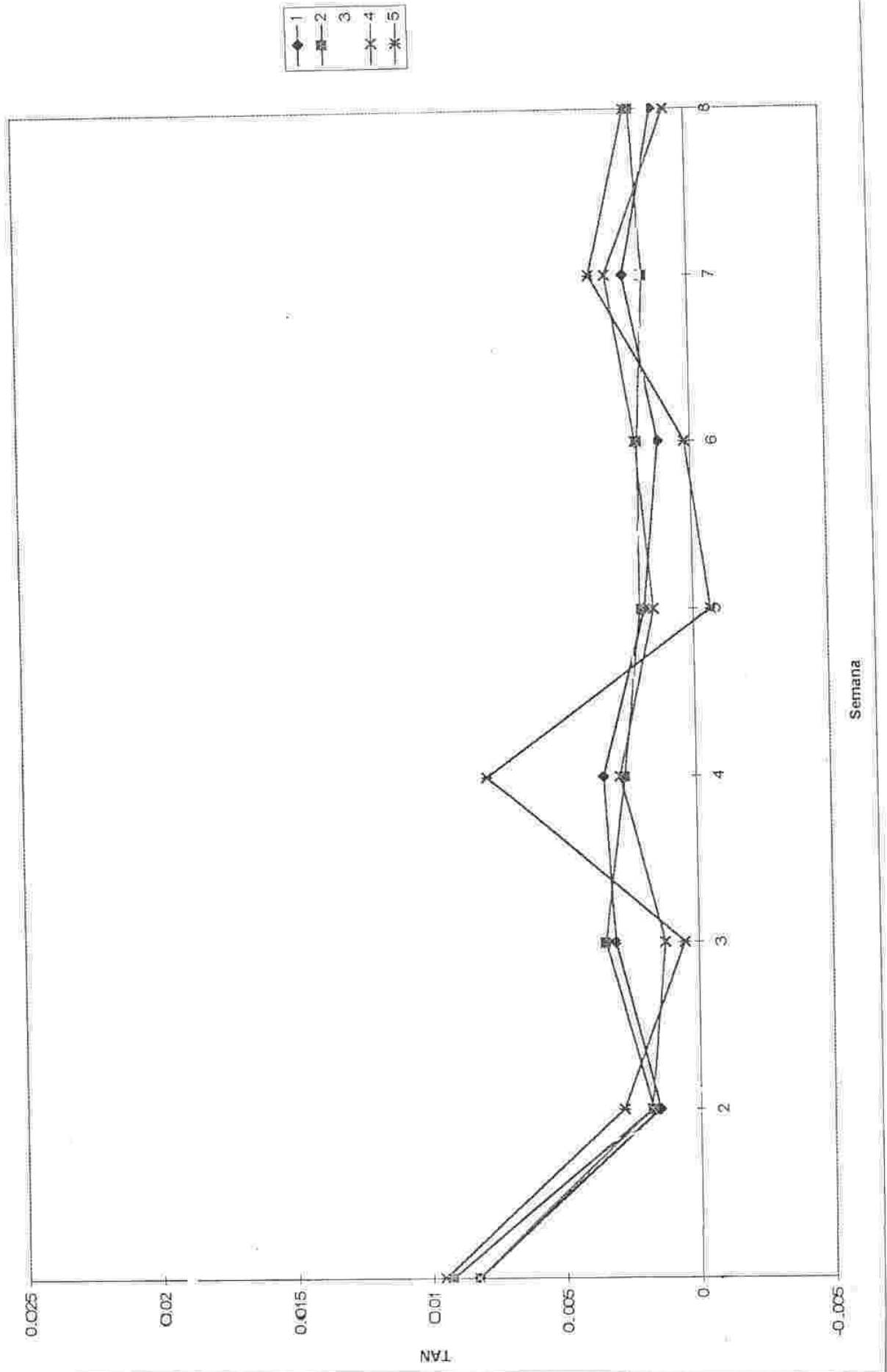
La variedad 4 no presenta valores negativos para TAN durante el periodo del ensayo, los tratamientos 1, 4, 5 presentan incrementos a partir de la quinta semana, probablemente debido que es mayor el carbono ganado por la

Variedad 2



Gráfica 32. TAN para la variedad Simpson (var 2)

Variedad 3



Gráfica 33. TAN para la variedad Boston (var 3).

fotosíntesis sobre la respiración en esta semana (Mengel y Kirby citados por Patarroyo 1980).

Esta variedad presenta mayor resistencia al transplante y al estrés por agua. En la séptima y octava semana se presentan caídas de la TAN en los tratamientos 3, 4, 5 y se mantienen sin aumentar demasiado los tratamientos 1 y 2 (gráfica 34), ajustándose a lo afirmado por Thorne y Dantuma, citados por Patarroyo, 1980, al esperar valores menores de la TAN a una mayor edad del cultivo. Algunos valores de TAN son negativos debido a que en algunos momentos la tasa respiratoria es mayor que la tasa de fotosíntesis (Muñoz, 1986).

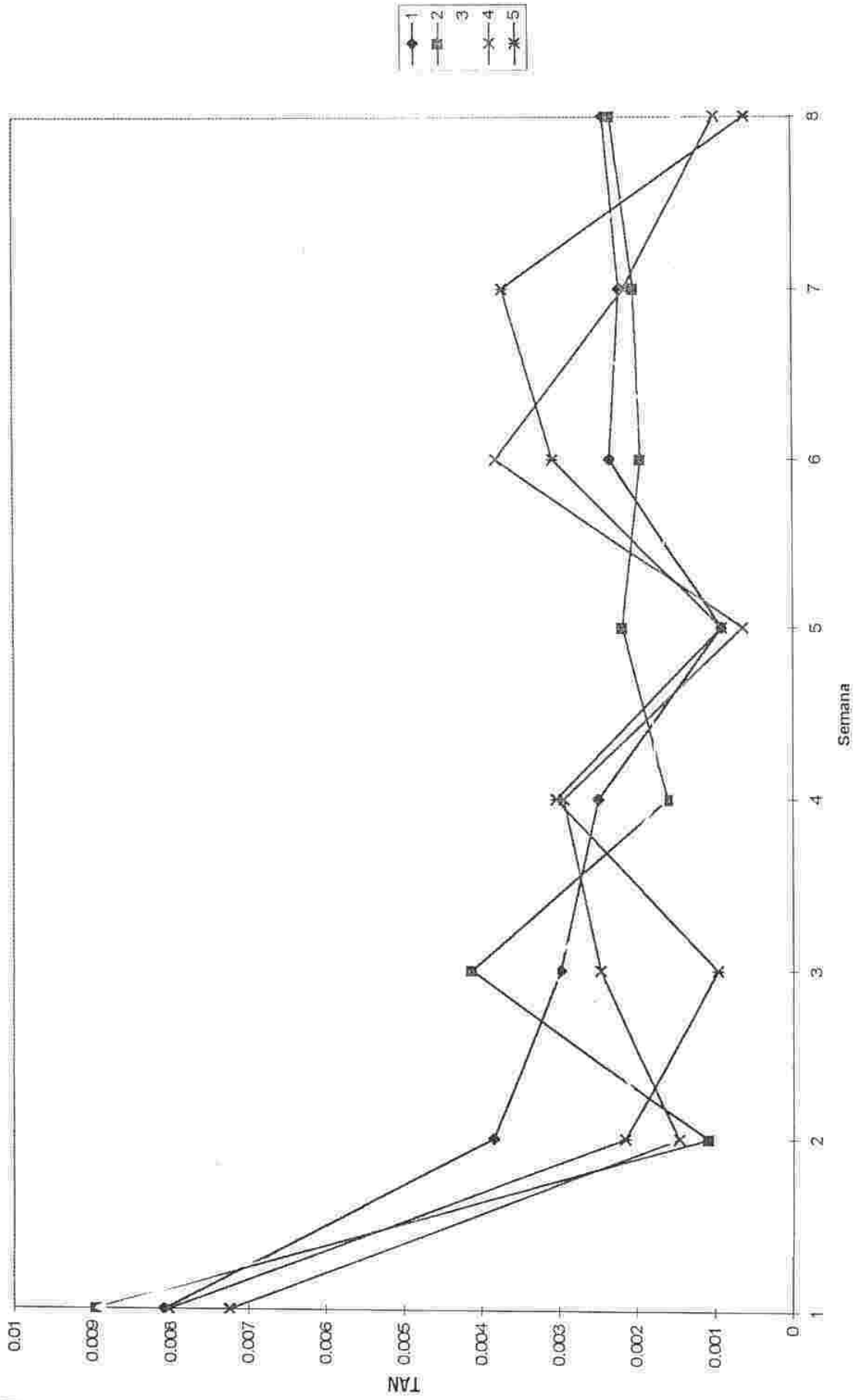
La gráfica 35, muestra los modelos de ajuste para cada una de las variedades.

#### 5.2.2. Tasa de crecimiento relativo. (TCR)

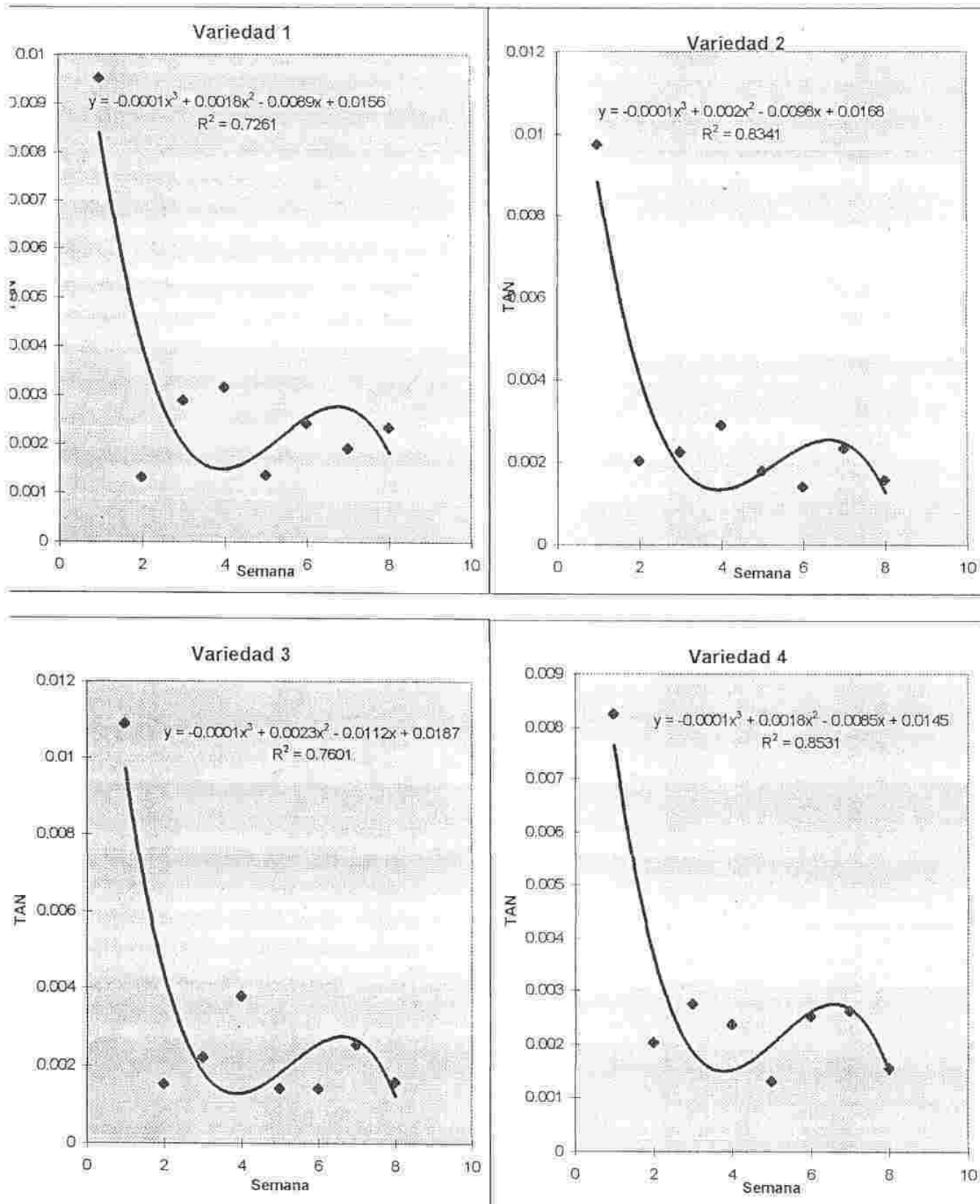
La TCR da una medida de la capacidad de conversión de energía por la planta en los diferentes períodos de su vida. Se da no solo para el período  $(t_2 - t_1)$  sino también a través del intervalo como consecuencia de la variación sin discontinuidad del peso seco durante este período.

En la variedad 1, la TCR presenta valores negativos para la primera semana, índices negativos explican que las etapas iniciales de la planta son de acumulación de mayor peso seco con relación a uno inicial presentado en las etapas finales del cultivo (Rodríguez, 1993). Se observan descensos o aumentos exagerados en el testigo de una semana a otra, lo que demuestra como afecta al

Variedad 4



Gráfica 34. TAN para la variedad Batavia (var 4).



Gráfica 35. Modelos de ajuste para la Tasa de asimilación neta TAN, para las variedades Vanmax (variedad 1), Simpson (variedad 2), Batavia (variedad 3) y Boston (variedad 4)

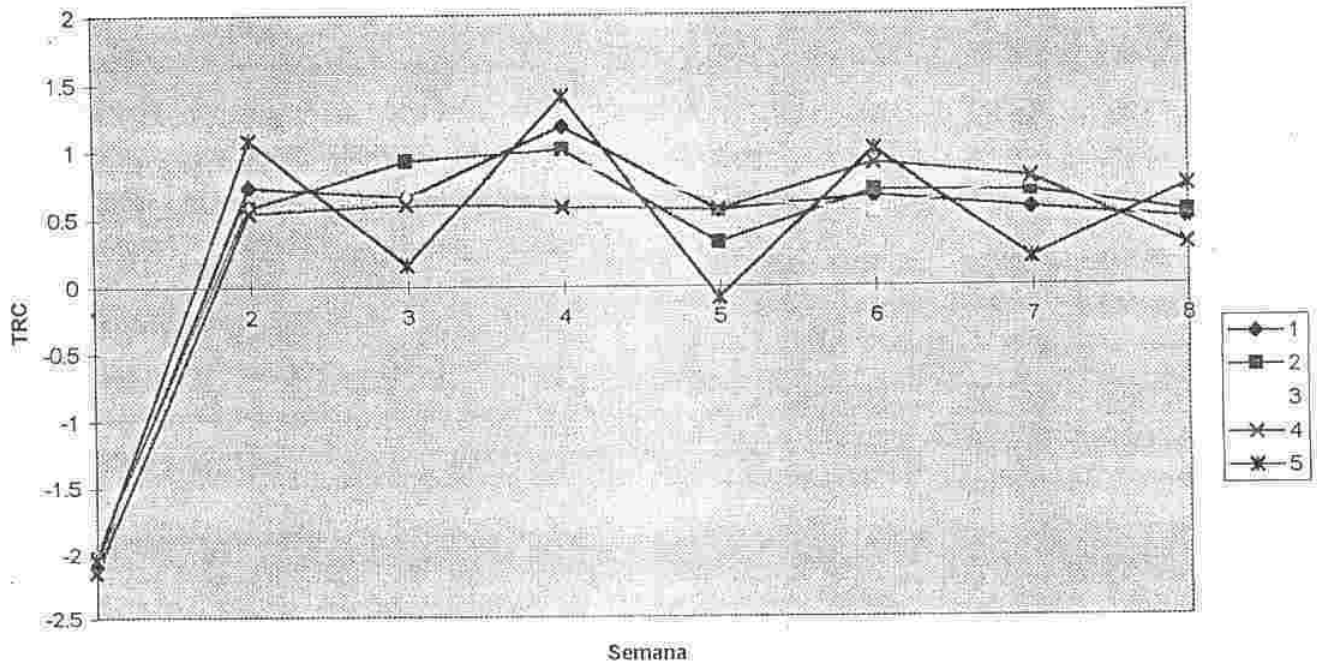
cultivo la continuidad en la aplicación del riego. Los demás tratamientos se comportan de forma similar durante el ciclo del ensayo.

La TCR para la variedad 2 presenta aumentos y descensos considerables en el testigo, se observan caídas de la séptima a la octava semana para todos los tratamientos, probablemente como una disminución en el crecimiento utilizando la energía sobrante en proceso de respiración y llenado de estructuras reproductivas (gráfica 36).

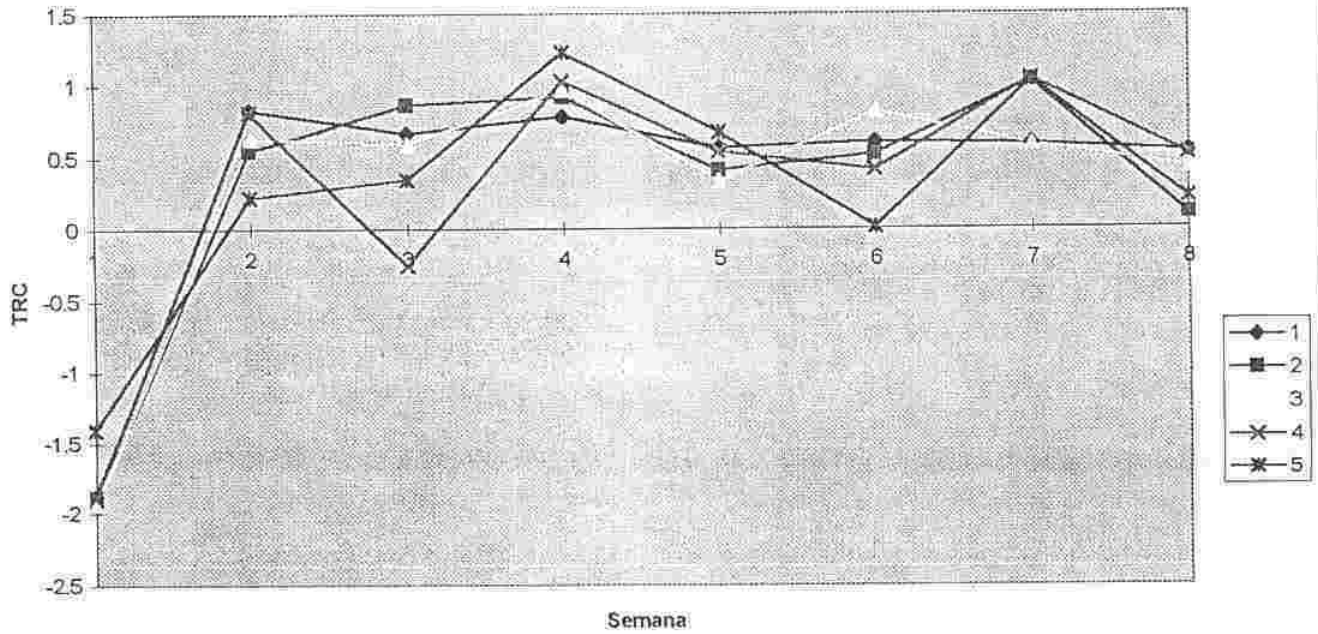
Para la variedad 3, la TCR, se presenta íntimamente ligada a la existencia o no de agua, el testigo nuevamente presenta aumento y descensos considerables mientras los tratamientos se muestran con valores similares durante el ciclo. Los valores más altos de TCR, los presentó hasta la semana 4, el tratamiento 1, posiblemente porque el crecimiento celular es muy sensible a deficiencias o excesos de agua (Patarroyo, 1980). La no aplicación constante de agua, puede traer consigo niveles muy bajos de TCR (tratamiento 5), con incremento no tan notorios como los otros tratamientos con lámina constante.

El comportamiento de la TCR para la variedad 4, es similar a las demás variedades, aunque sobresale la disminución de TCR, de todos los tratamientos de la cuarta al quinta semana como consecuencia posiblemente por una disminución de la actividad fisiológica para empezar a preparar el proceso del llenado de cabezas hasta la séptima semana, donde vuelve a descender la TCR, por la finalización de dicho llenado y empezar procesos de aparición de estructuras florales (gráfica 37).

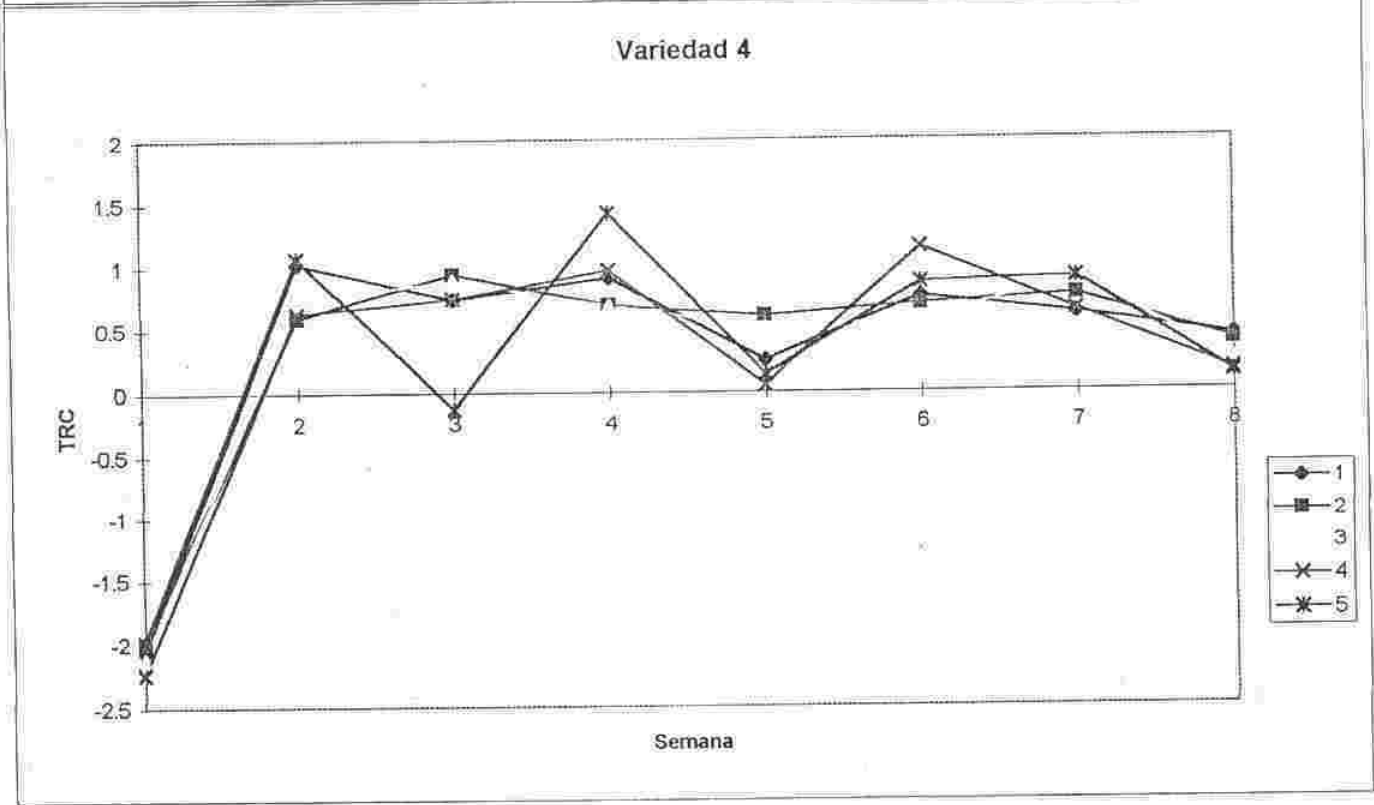
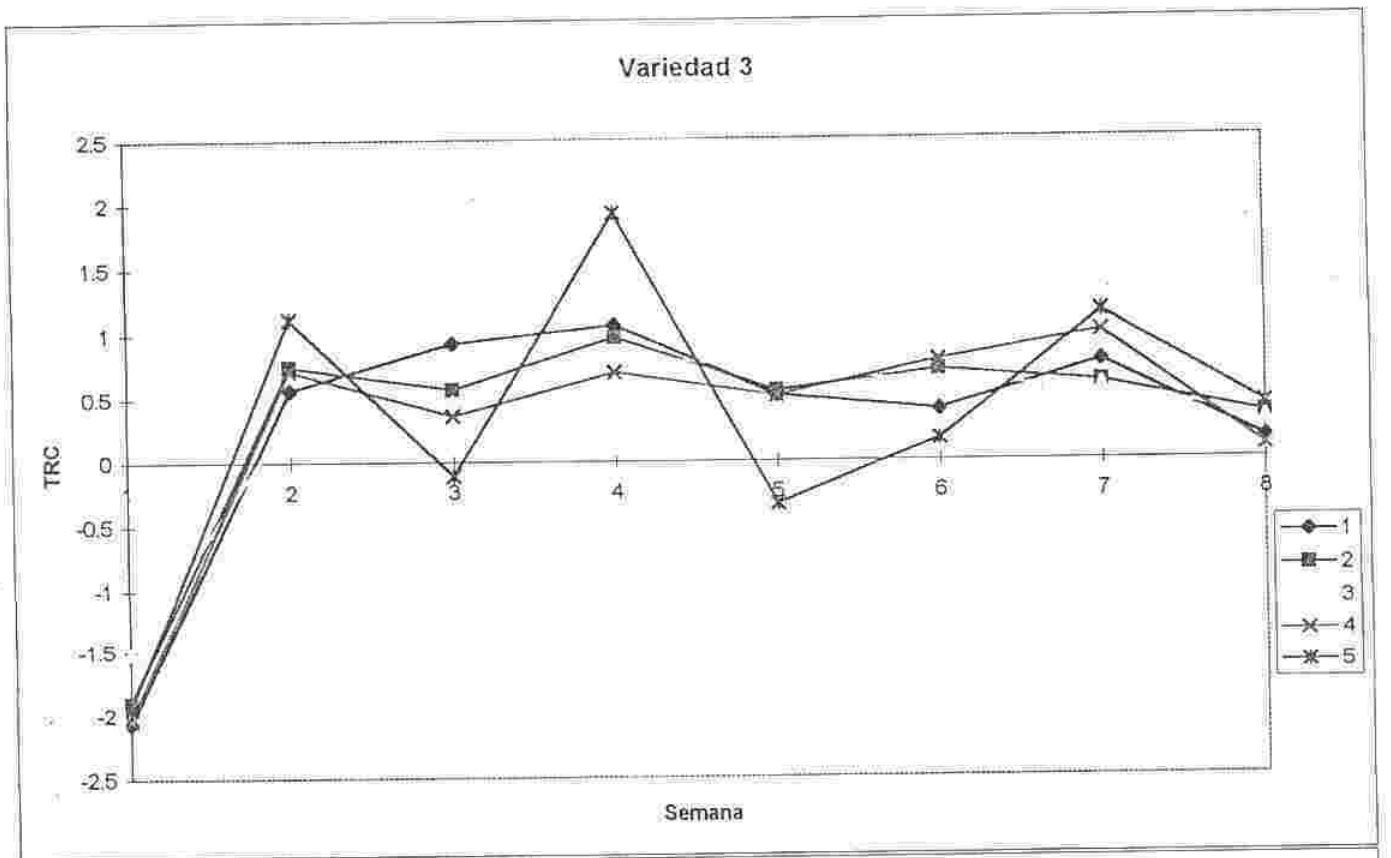
Variedad 1



Variedad 2



Gráfica 36. TCR para las variedades Vanmax (var 1), Simpson (var 2)



Gráfica 37. TCR para las variedades Boston (var 3), Batavia (var 4)

El ajuste a un modelo matemático es presentado en la gráfica 38, para cada una de las variedades en estudio.

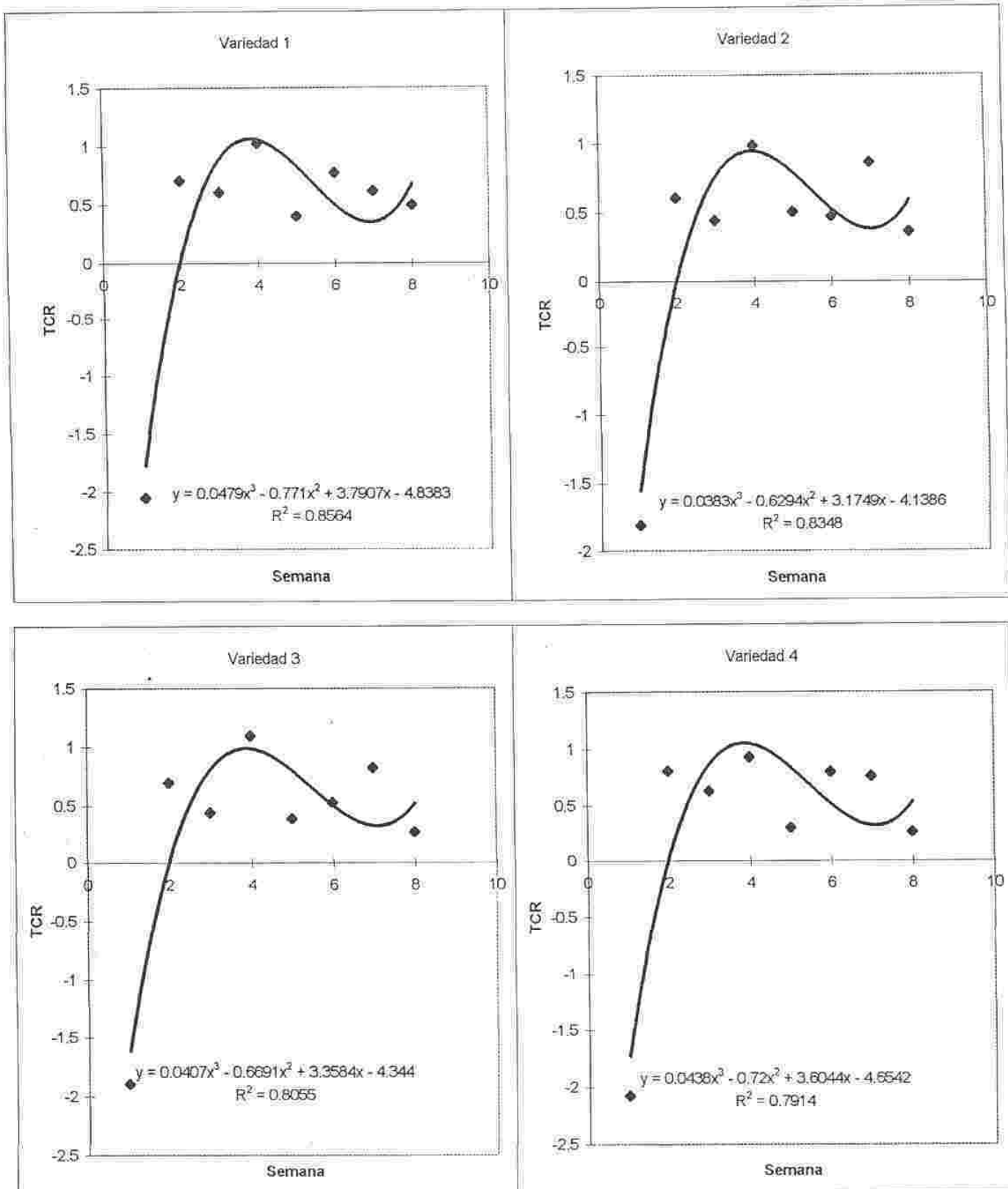
### 5.2.3 Relación de área foliar (RAF)

Este parámetro mide el tamaño relativo del aparato asimilatario e indica la razón existente entre el área foliar al peso seco de la planta. Esta RAF, por ser una relación área foliar a peso seco de la planta, estará influenciada en diferente grado por factores internos. Se mide y se calcula como un valor instantáneo.

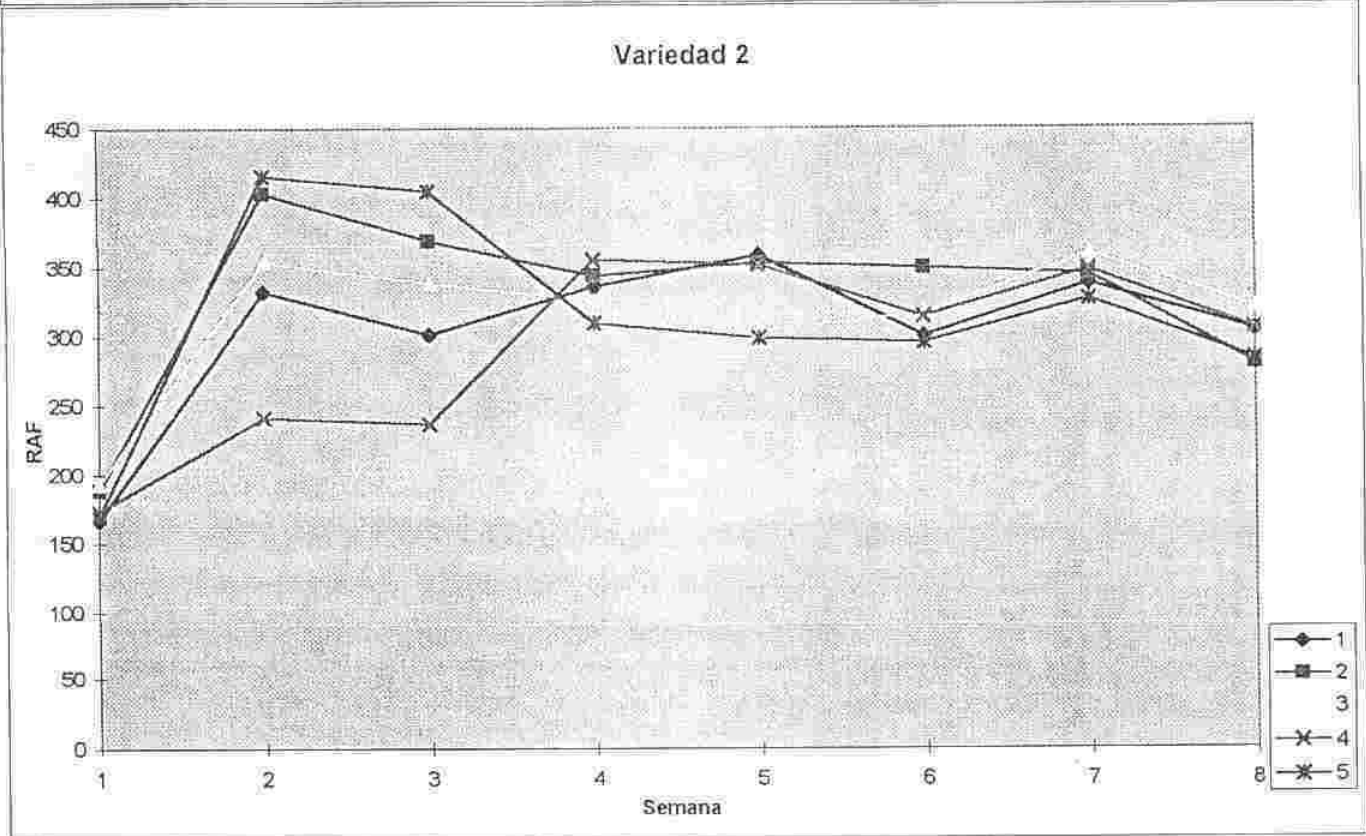
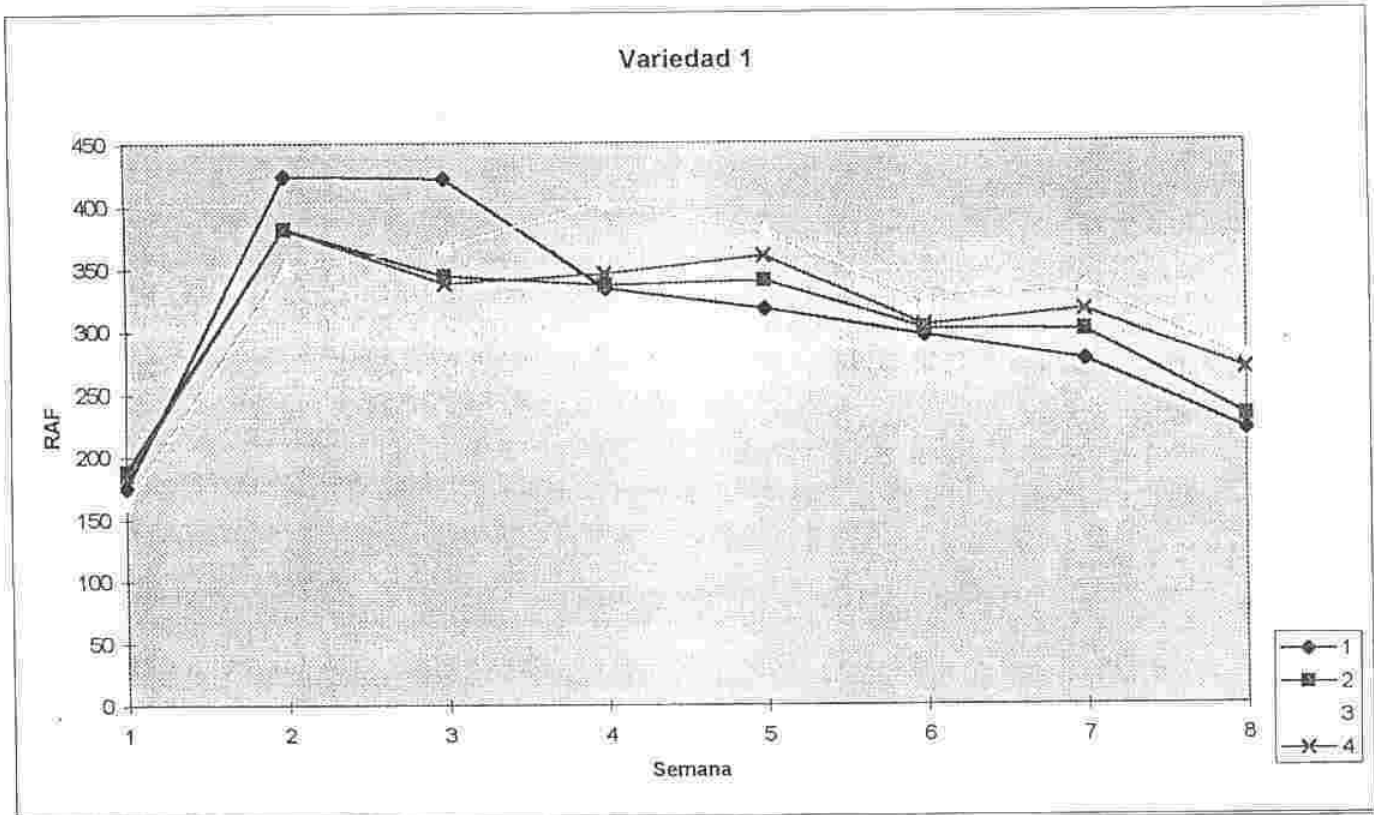
Para la variedad 1, en las dos primeras semanas, para todos los tratamientos, aumenta el tejido y aumenta el área foliar pero no hay ganancia de peso. Los tratamientos 3, 4 y testigo ganan lentamente en área foliar, esto se traduce en menor peso por unidad de área al inicio de la etapa reproductiva.

Para la variedad 2, el tratamiento 4 sobresale de los demás tratamientos, muestra en las primeras semanas poca expansión de la hoja. El peso es directamente proporcional ganancia en área foliar, como consecuencia de un estrés producido en dicho tratamiento. El testigo muestra ganancia en área foliar inicialmente, pero a medida que transcurre el ciclo muestra una estabilidad en el área foliar y como consecuencia una mayor acumulación en peso seco. Para todos los demás tratamientos la relación entre el peso y el área es muy estable. (gráfica 39)

En cuanto a la variedad 3, el tratamiento 3 inicia con un valor bajo debido a que esta variedad presenta una alta tasa de TAN y presumiblemente un mayor peso



Gráfica 38. Modelos de ajuste para la Tasa de crecimiento relativo TCR, para las variedades Vanmax (variedad 1), Simpson (variedad 2), Batavia (variedad 3) y Boston (variedad 4)



Gráfica 39. RAF para las variedades Vanmax (var 1), Simpson (var 2)

por unidad de área. La recuperación de las plantas en términos de área foliar se incrementa en la semana quinta donde la variedad alcanza su máxima área foliar empezando a recuperar peso.

Esta variedad aparentemente presenta mayor recuperación del área foliar cuando se presentan láminas de agua mayores a las de los tratamientos 4, 5 y testigo. El máximo valor de RAF se presenta en la segunda semana con el tratamiento 1 (417.204702).

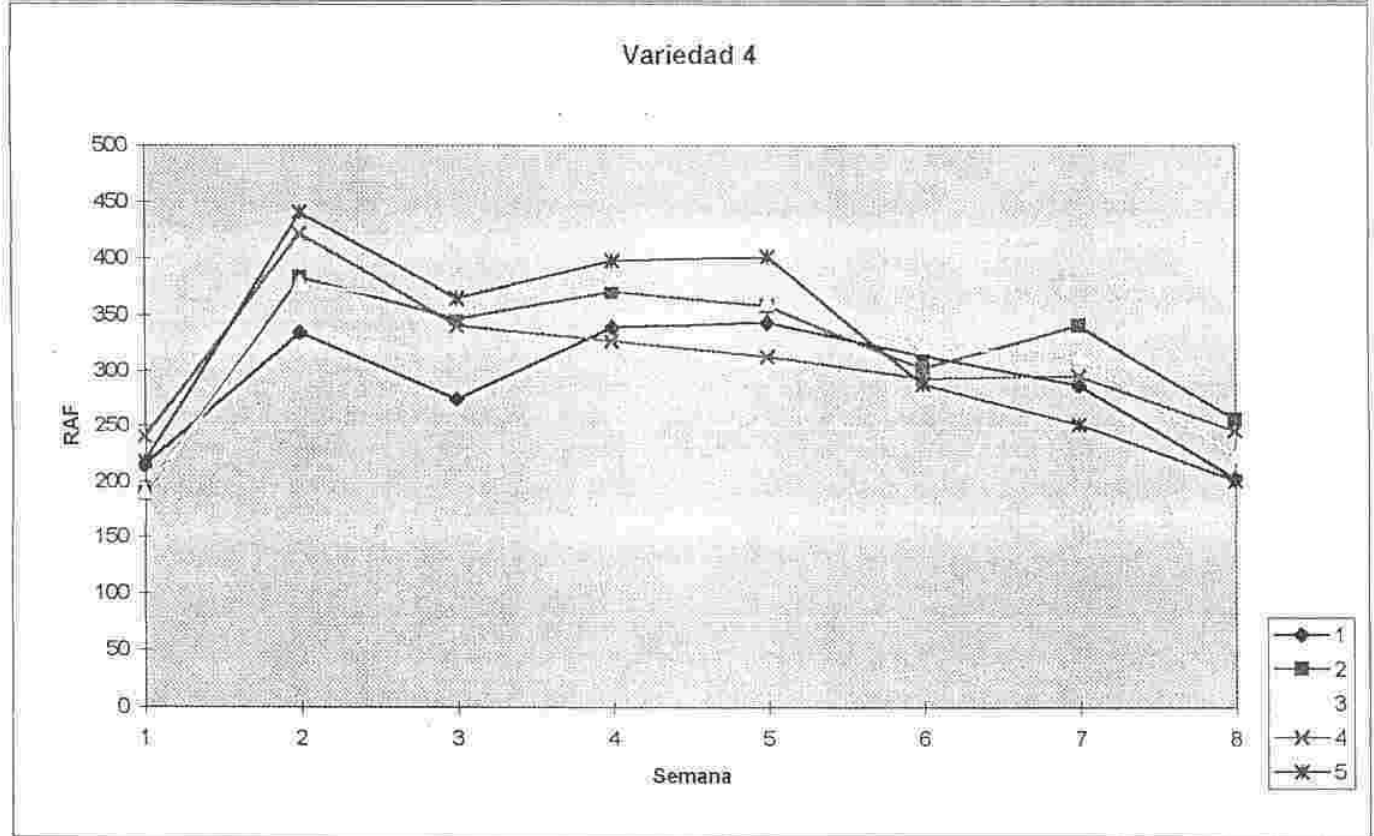
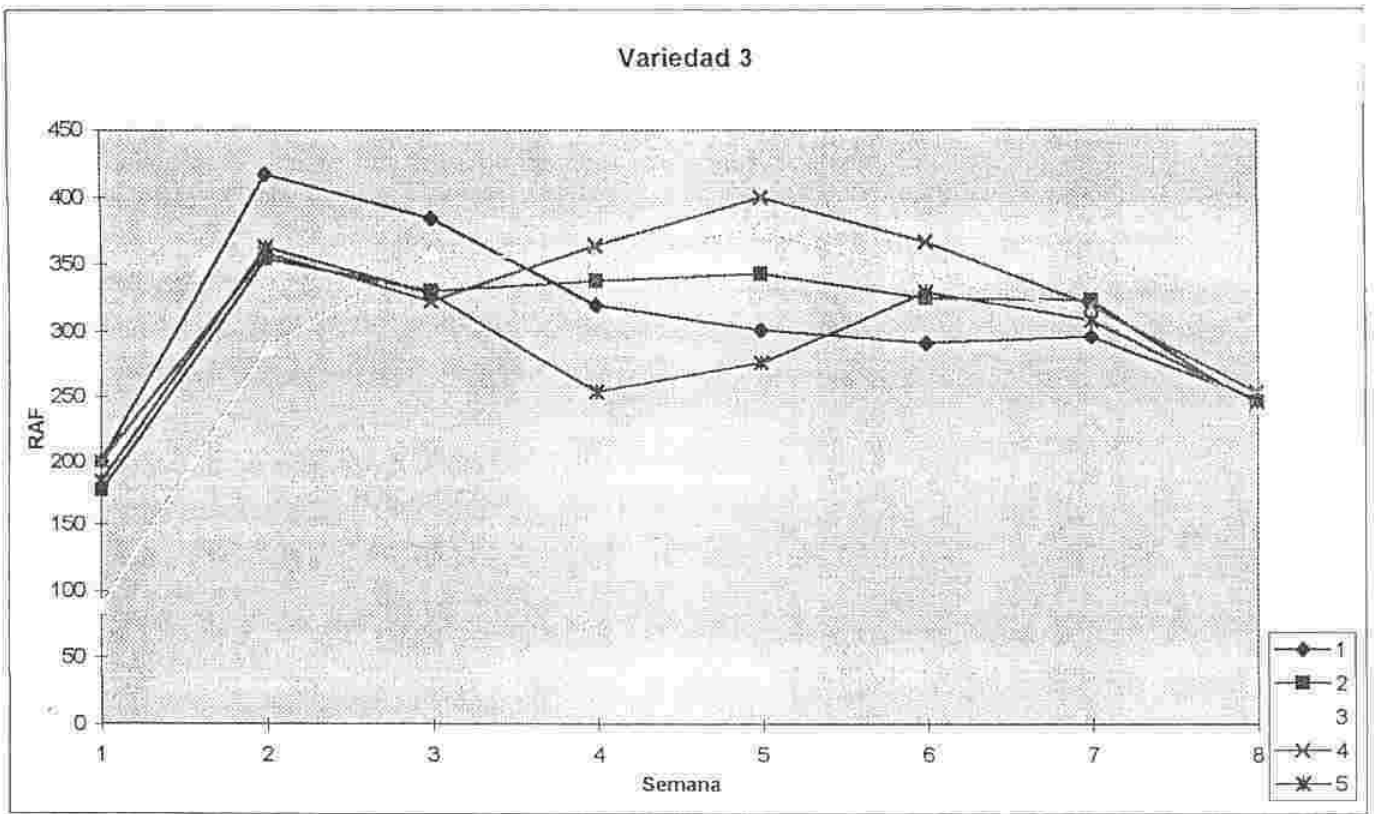
La variedad 4 es una de las más uniformes en cuanto a los índices analizados, la variabilidad durante el ciclo del cultivo es muy similar a otras variedades, pero se diferencia en cuanto a su estabilidad en relación a la acumulación de materia seca y área foliar, comportándose muy bien con los diferentes tratamientos, excepto el tratamiento 1, posiblemente por que en dicha lámina de agua, la más alta, se observaron algunos focos de pudrición basal ocasionados por el hongo (*Sclerotinia sclerotiorum*).

La TAN al ser mayor hace que aumente el peso y por lo tanto la variedad presente valores bajos de RAF en las primeras semanas (gráfica 40)

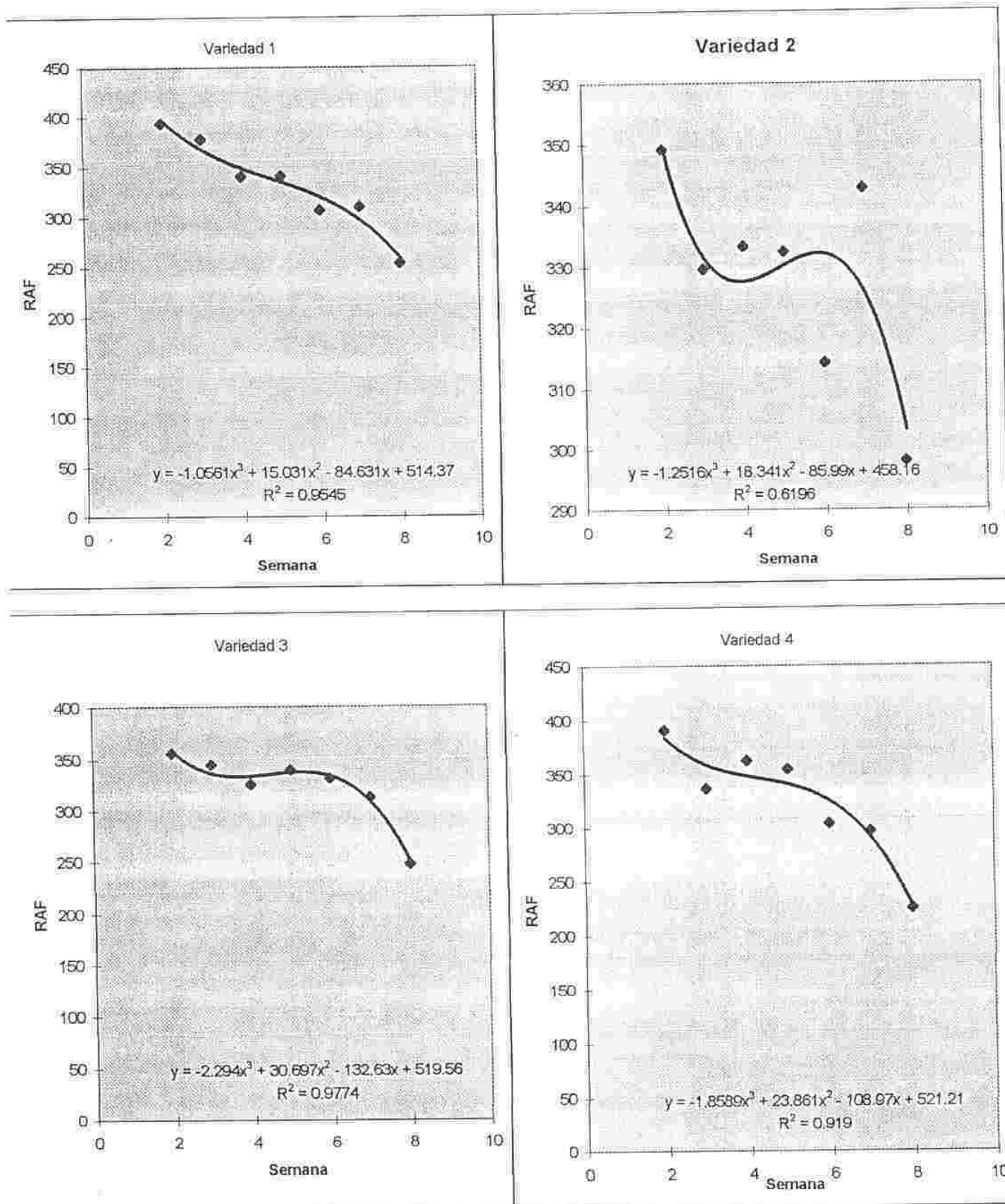
Los valores ajustados a un modelo, por medio de regresión, es mostrado en la gráfica 41

#### 5.2.4 Índice de área foliar. (IAF)

Este índice refleja la capacidad productiva de una planta o comunidad de plantas y provee un medio útil para determinar la arquitectura de la planta, tanto del



Gráfica 40. RAF para las variedades Boston (var 3), Batavia (var 4)



Gráfica 41. Modelos de ajuste para la Relación área foliar RAF, para las variedades Vanmax (variedad 1), Simpson (variedad 2), Batavia (variedad 3) y Boston (variedad 4)

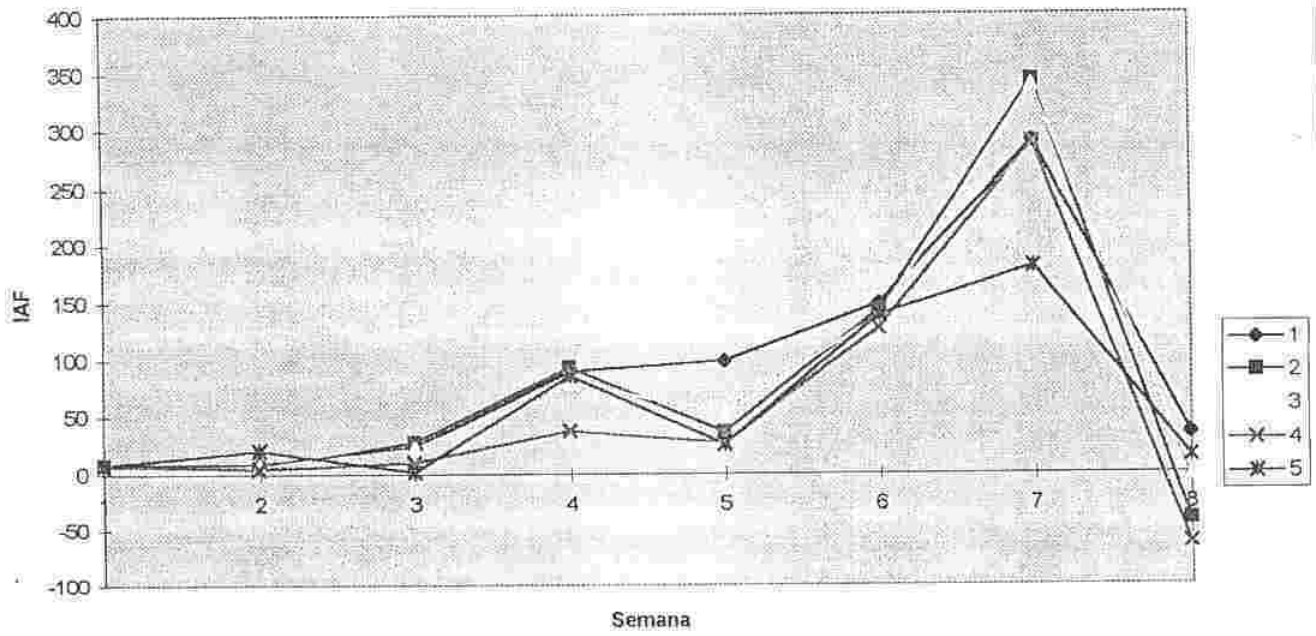
complejo de vegetación como de sus componentes individuales, para la intercepción de luz solar por una planta. En resumen es el factor primario que determina la tasa de producción de materia seca, tasa ésta que depende de la forma, posición y tamaño del área foliar.

El IAF para la variedad 1 muestra un comportamiento similar en los diferentes tratamientos. Aunque el testigo sigue siendo el de valores mas fluctuantes a lo largo del ciclo, la variedad presenta un IAF máximo en la séptima semana con los tratamientos 2 y 3 (289.56697, y 342.567039 respectivamente). La competencia por luz en lechuga es fuerte debido a la arquitectura de la planta, observándose una tendencia del IAF a incrementarse con la edad hasta alcanzar un valor máximo que luego se reduce. Este comportamiento se ha asociado a la actividad del meristemo apical, al crecimiento y elongación del sistema foliar. (Cortes 1985 )

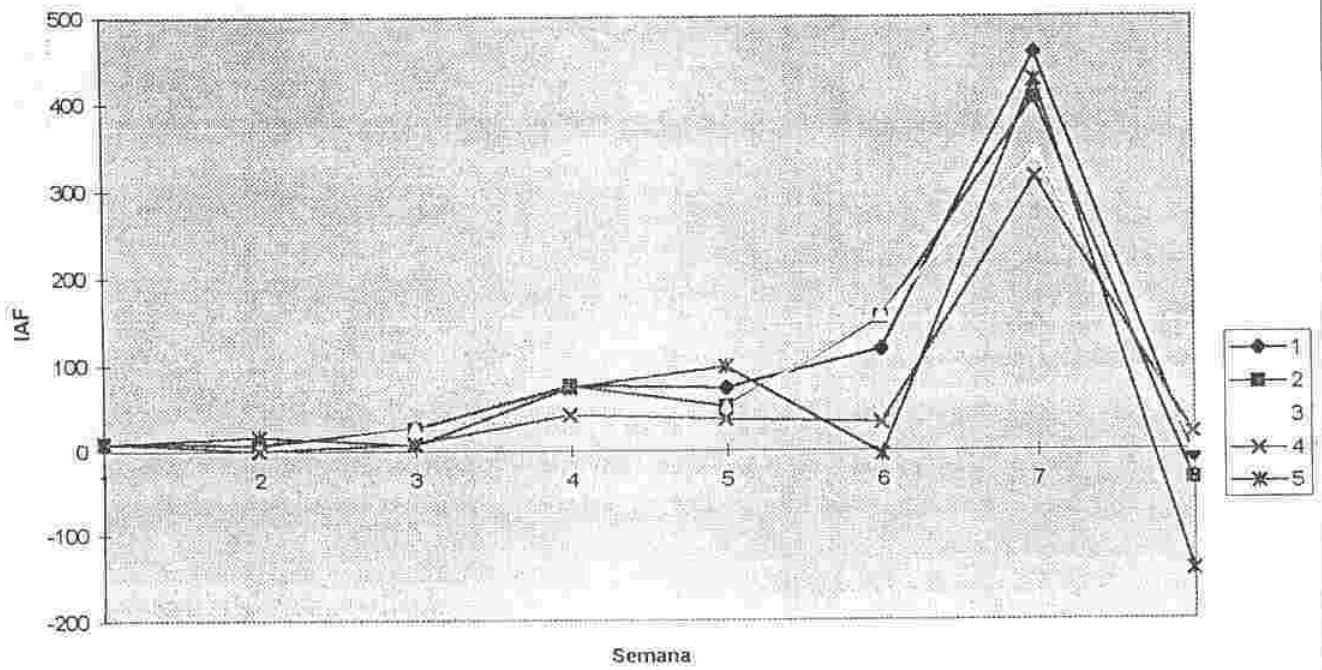
Por su habito de crecimiento el IAF no presenta en la variedad 2, diferencias entre los tratamientos. En la séptima semana presenta el mayor valor y luego muestra un detenimiento en el IAF paralelo a un detenimiento en la TAN, por la baja asimilación de carbono en la planta. (Cortez, 1985) (gráfica 42)

El comportamiento del IAF en la variedad 3 es similar a la de las demás variedades de cabeza, se consigue el máximo en la semana séptima y disminuye a partir de esta semana, probablemente como resultado del llenado de cabezas que ocurre en este momento.

Variedad 1



Variedad 2



Gráfica 42. IAF para las variedades Vanmax (var 1), Simpson (var 2)

La variedad 4, presenta valores bajos en IAF hasta la sexta semana probablemente por ocupar poca área de suelo en relación a su peso, a partir de allí empieza una alta producción de hojas y llega a un máximo en la séptima semana, luego de la cual decrece debido posiblemente a que inicia la formación de nuevos órganos para empezar una etapa de floración. (gráfica 43)

Los modelos de ajuste para cada una de las variedades están representados en la gráfica 44.

### 5.3 Correlación entre variables de respuesta.

Las variables escogidas para las correlaciones, se basan en la importancia que tienen en un estudio de crecimiento y en este estudio en particular.

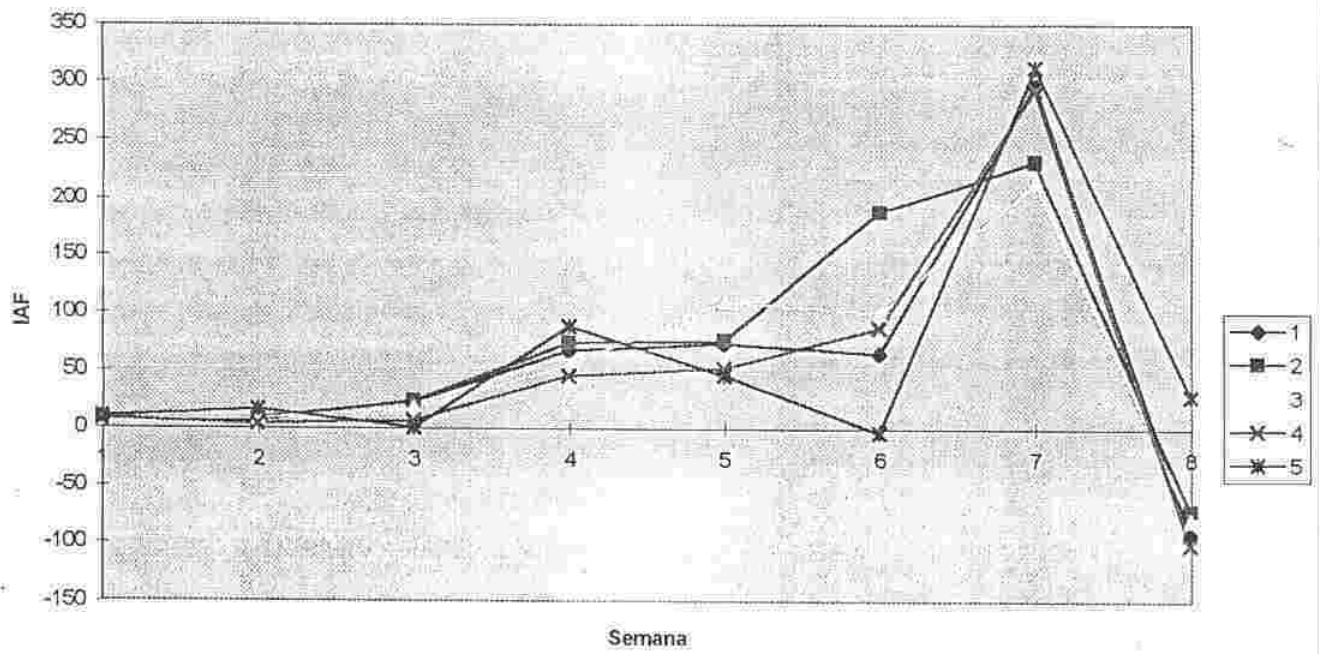
#### 5.3.1 Peso seco de raíz v/s Area foliar.

El análisis para pares de variables de respuesta, en este caso, peso seco de raíz v/s área foliar, muestran a la variedad 2 (Simpson) con los valores más altos de  $R^2$ .

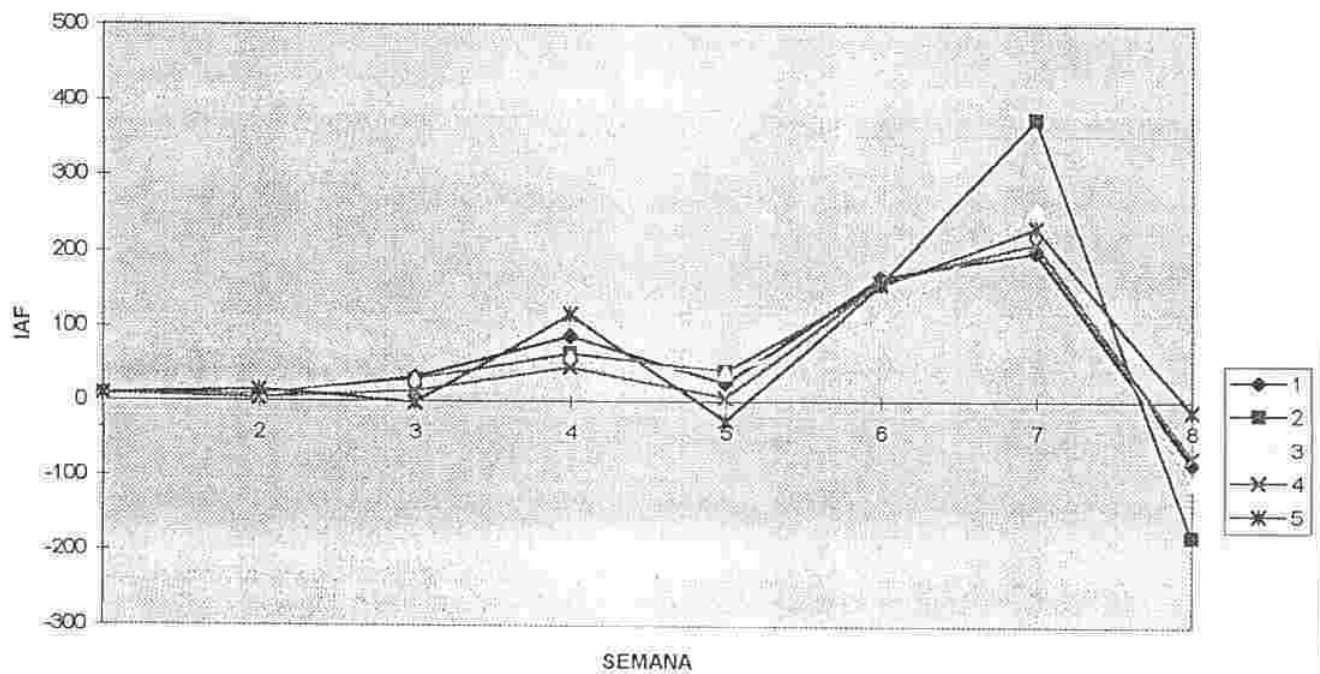
La gráfica 45, muestra la tendencia a ajustarse a un modelo exponencial, y los valores de  $R^2$  para todos los tratamientos en esta variedad (Simpson).

Las correlaciones altas de esta variedad nos indican que la planta para lograr una expansión óptima de las hojas y desarrollarse en perfectas condiciones, necesita que la raíz gane biomasa para el mejor transporte y asimilación de nutrientes.

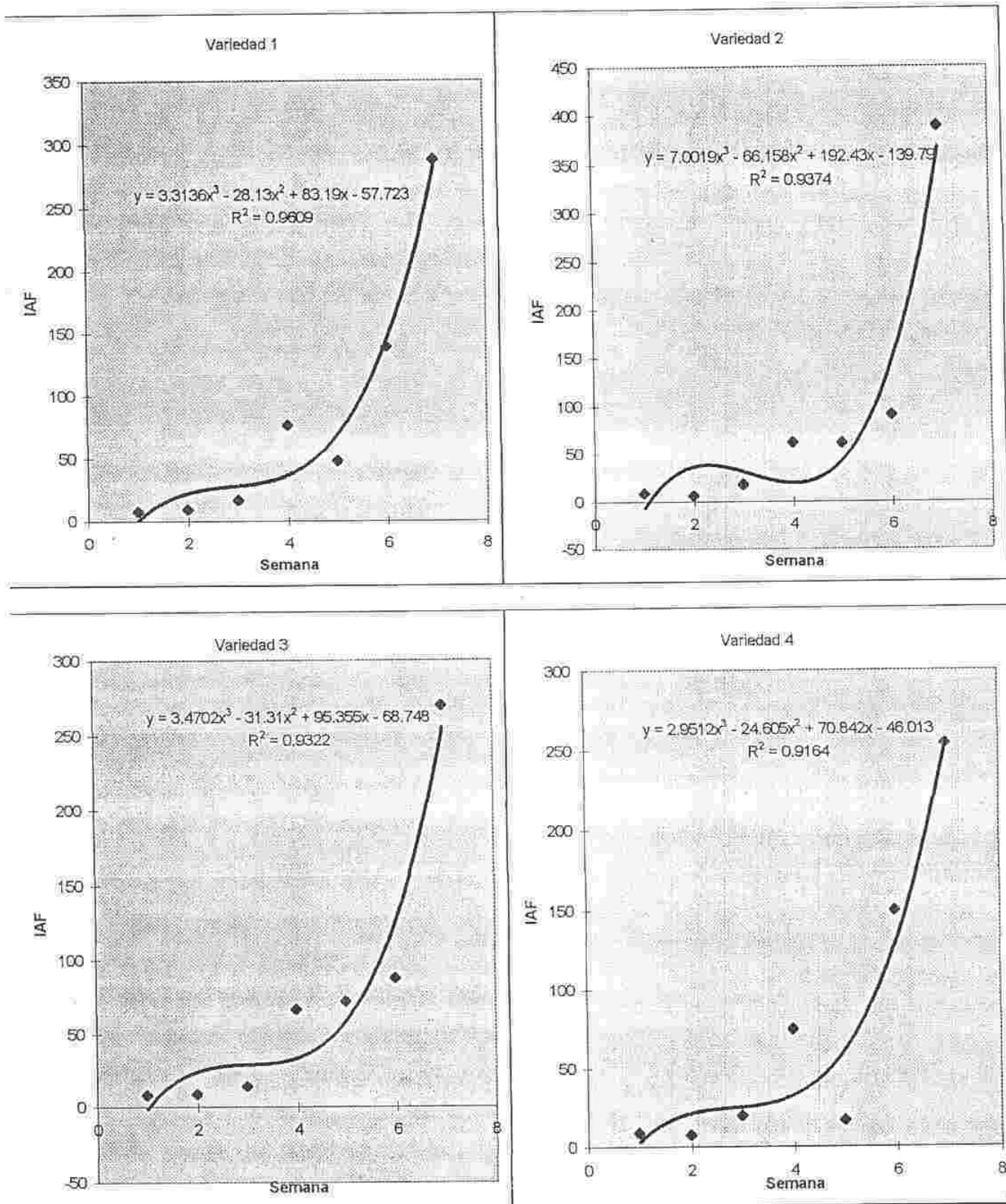
### Variedad 3



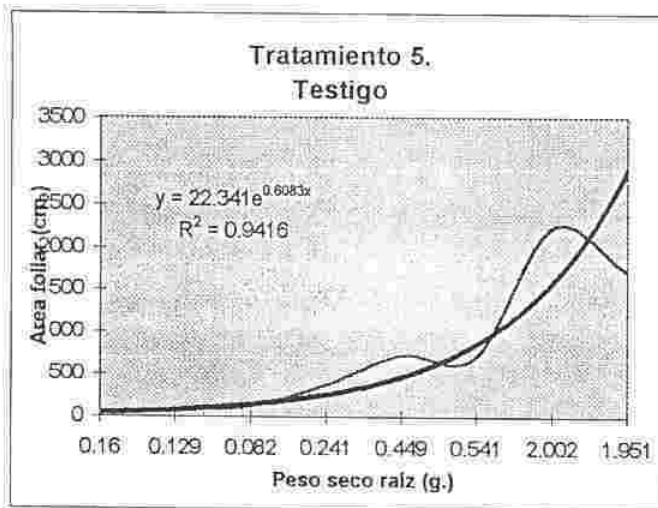
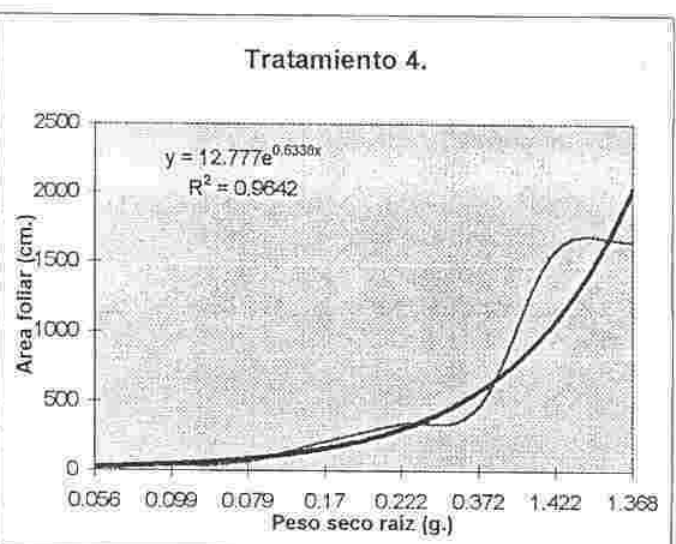
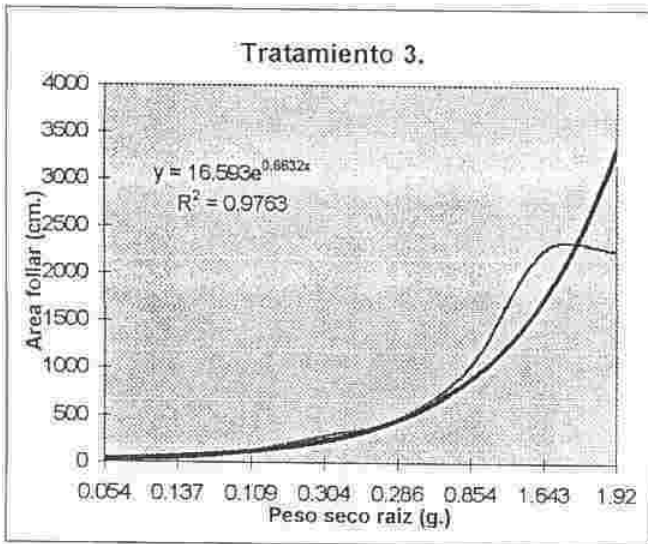
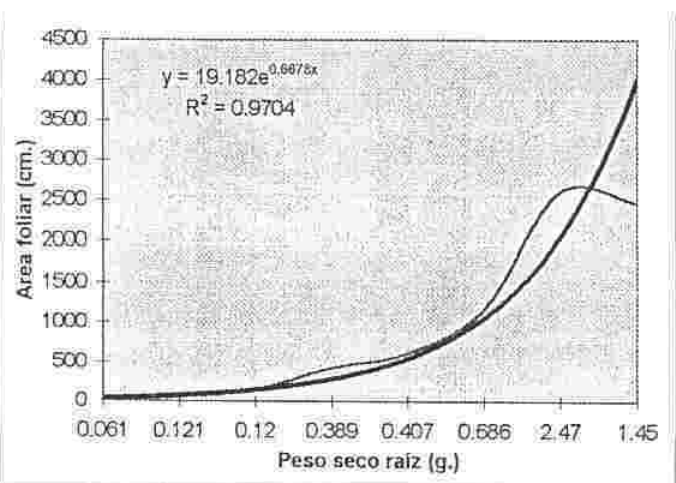
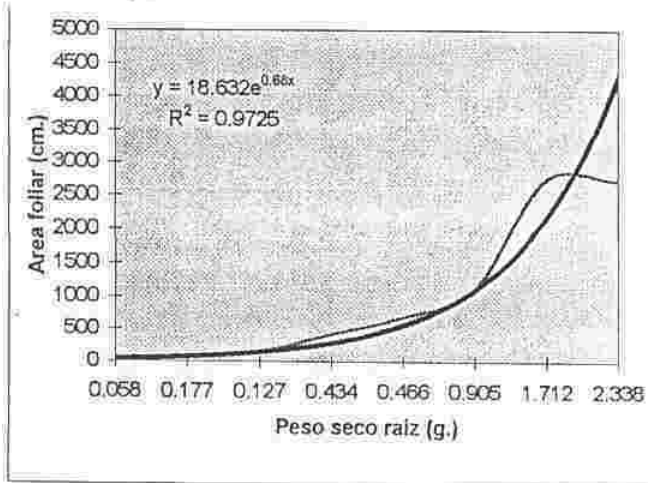
### VARIEDAD 4



Gráfica 43. IAF para las variedades Boston (var 3), Batavia (var 4)



Gráfica 44. Modelos de ajuste para el Índice de área foliar IAF , para las variedades Vanmax (variedad 1), Simpson (variedad 2), Batavia (variedad 3) y Boston (variedad 4)



Gráfica 45. Tendencia de las relaciones entre variables de respuesta para la variedad Simpson (psr/af V2)

### 5.3.2 Peso seco de raíz v/s peso seco de la hoja.

Para la relación de este par de variables, se obtuvieron valores de  $R^2$ , cercanos a uno (1), lo cual demuestra que los dos pesos secos o ganancias de biomasa están directamente relacionadas, y los niveles de agua utilizados afectan esa relación de una u otra forma.

La gráfica 46, indica los valores de  $R^2$ , para los diferentes tratamientos, y además muestra la tendencia de esos datos a ajustarse a una función exponencial.

En este caso la variedad de mejor comportamiento, con los valores de  $R^2$  más altos fue la variedad Boston (variedad 4), en comparación a las demás variedades analizadas.

### 5.3.3 Peso seco de raíz v/s diámetro foliar.

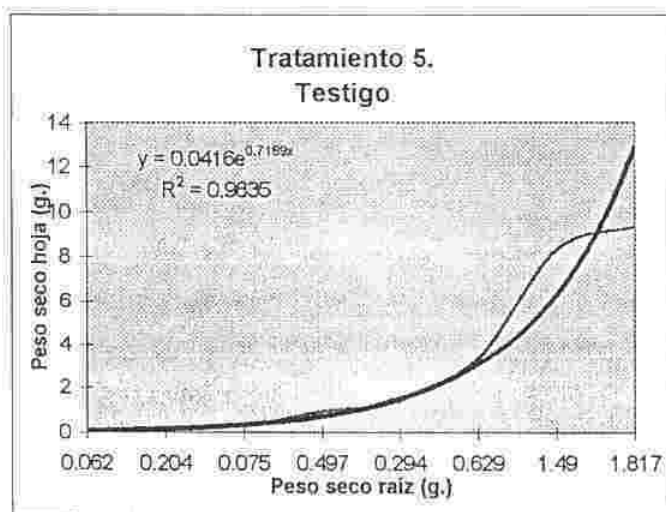
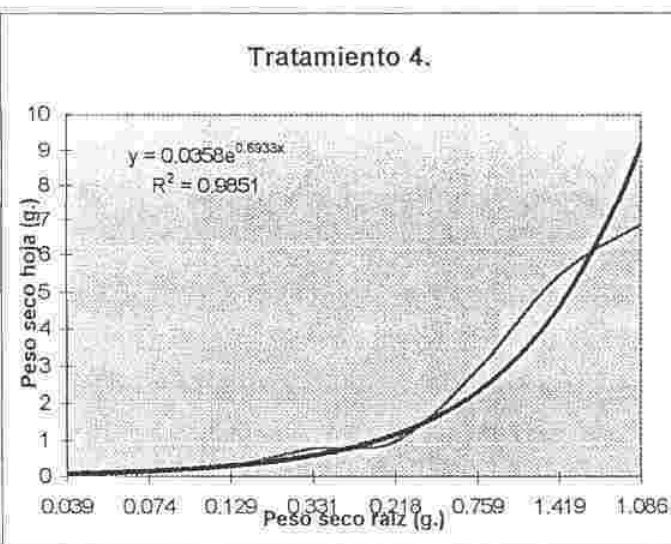
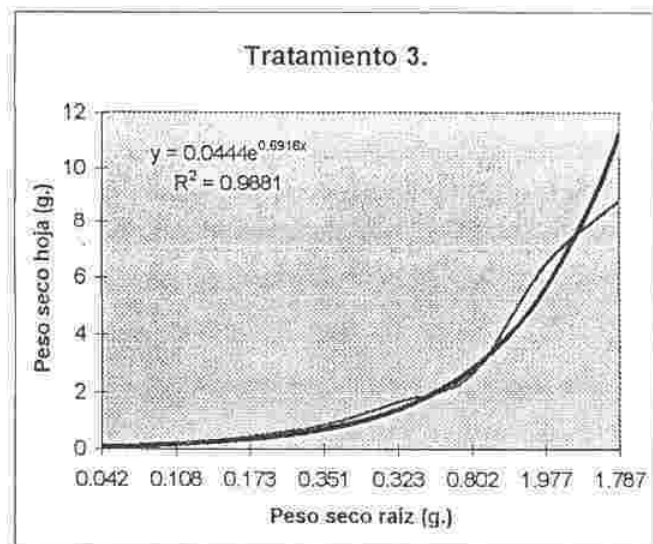
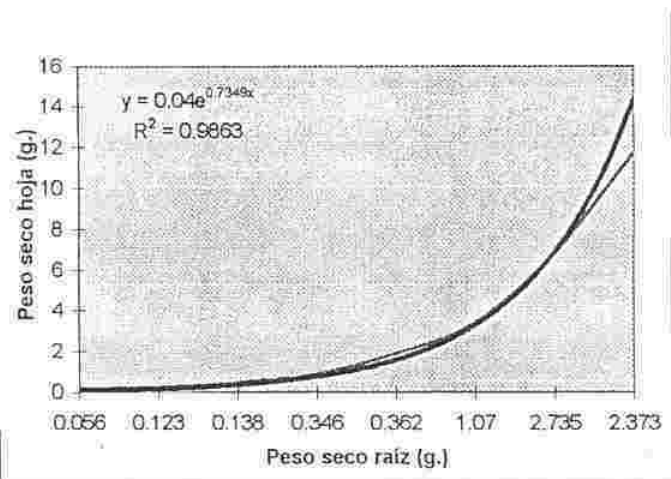
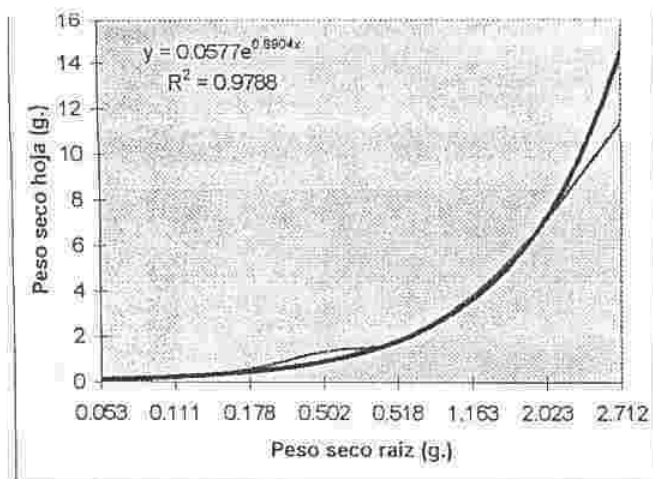
La gráfica 47, muestra los valores de  $R^2$  (mayores entre las otras variedades analizadas) para la variedad Simpson (variedad 2), y el ajuste a una función cúbica de los datos.

La correlación alta nos indica la alta interacción entre las dos variables, es decir que para lograr una cobertura foliar óptima, necesita de una ganancia de biomasa por parte de la raíz, a razón de la cantidad de agua aplicada.

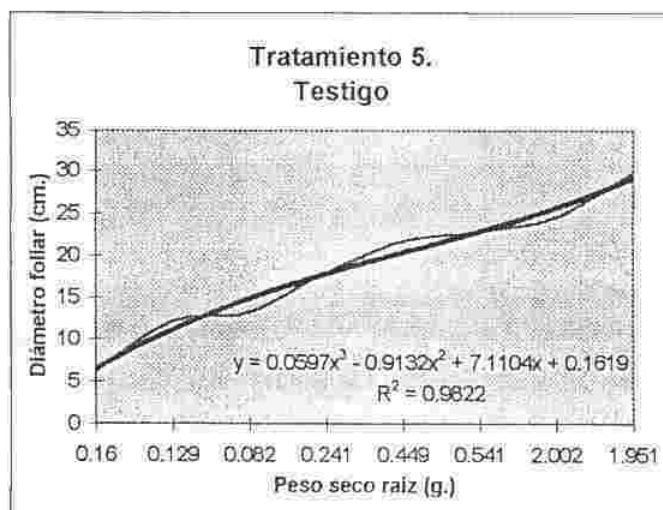
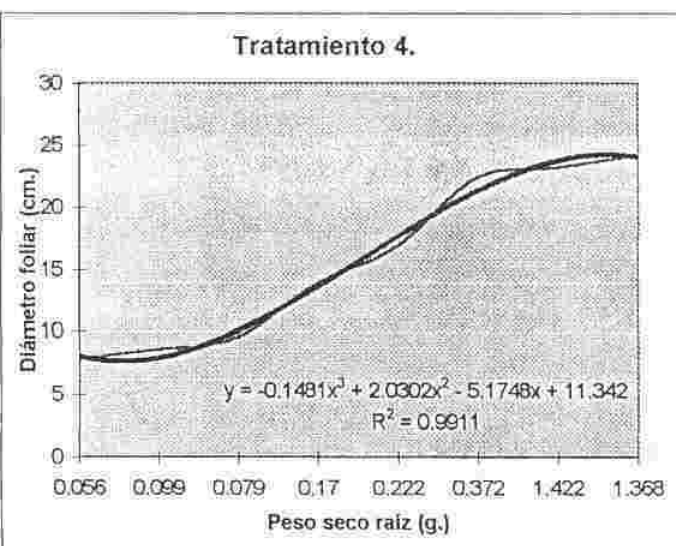
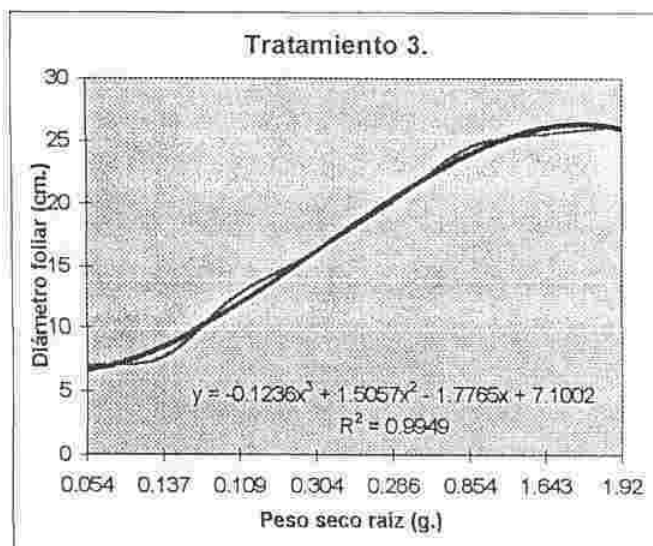
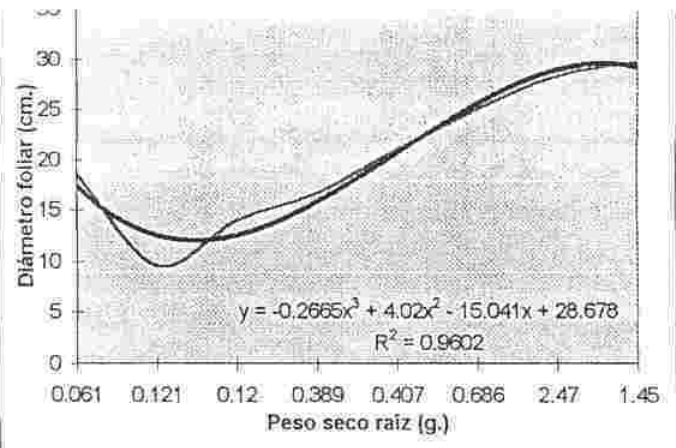
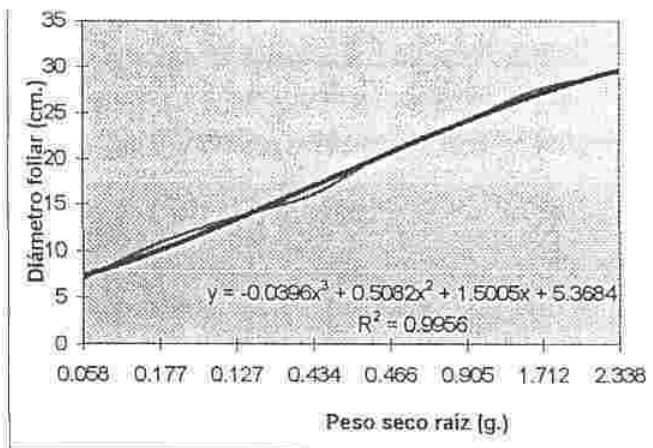
### 5.3.4 Altura de la planta v/s profundidad.

Los coeficientes de estas correlaciones, dan valores de 0.95 y 0.91 para los tratamientos 1 y 2 (mayor lámina) y valores de 0.77 y 0.72, más bajos, para los tratamientos de menor lámina (3 y 4); mientras el testigo alcanza valores de 0.90.

Esto indica que la relación entre la altura y profundidad se relaciona de manera



Gráfica 46. Tendencia de las relaciones entre variables de respuesta para la variedad Boston (psr/psh V4)

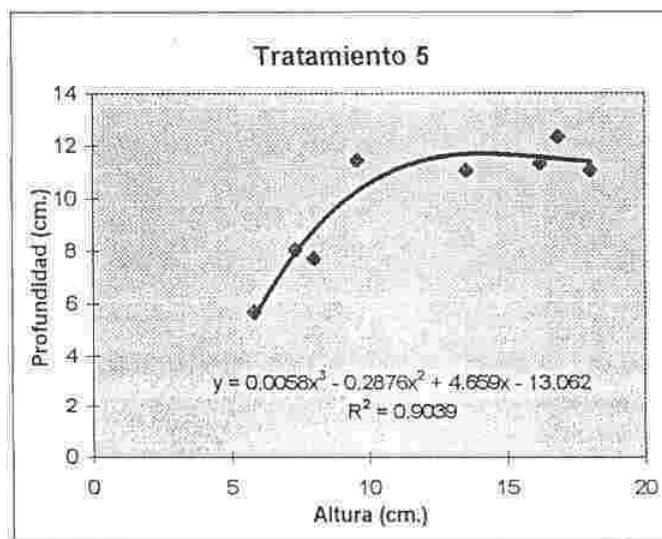
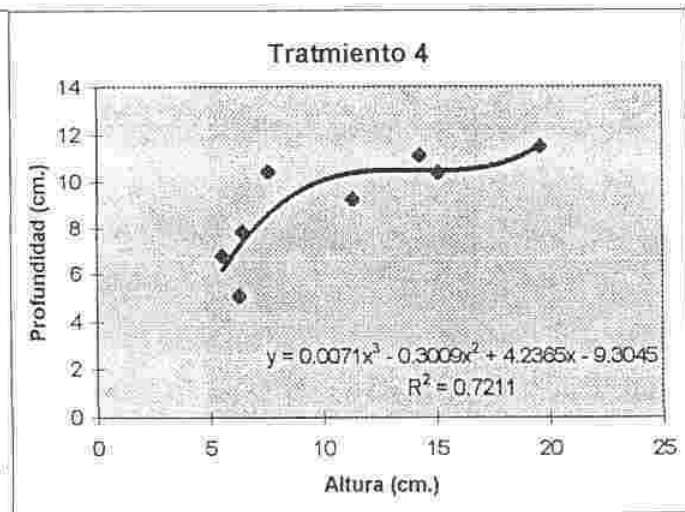
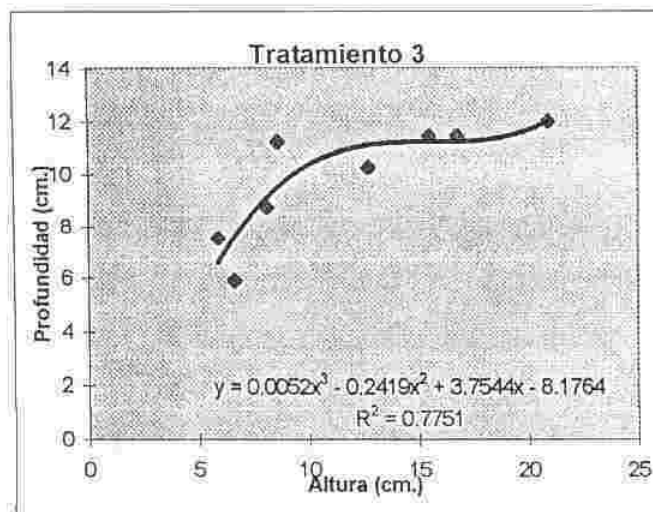
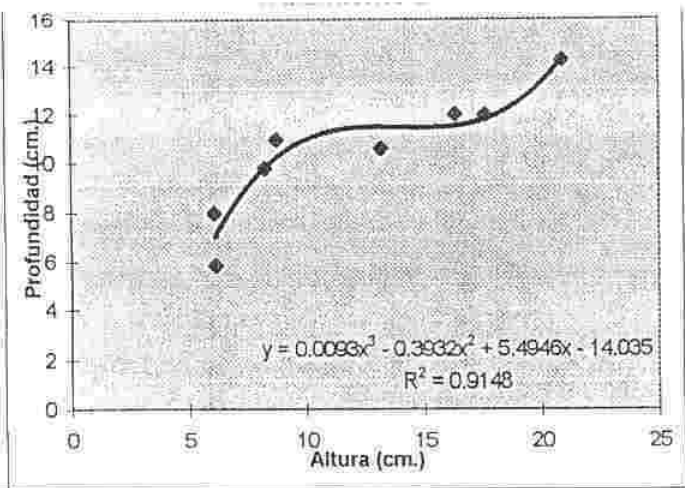
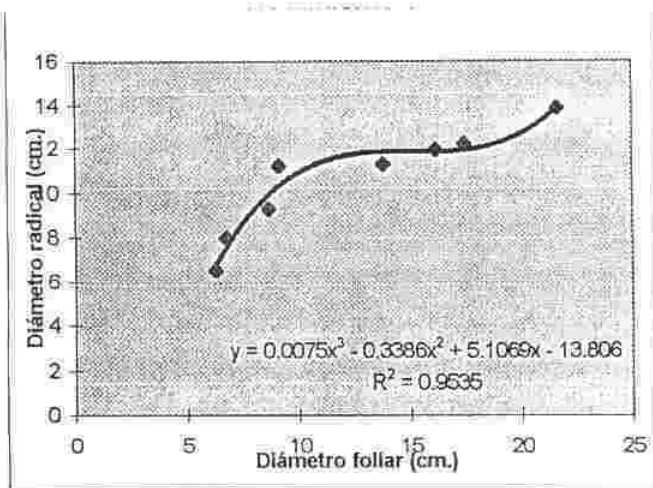


Gráfica 47. Tendencia de las relaciones entre variables de respuesta para la variedad Simpson. (psr/dfol V2)

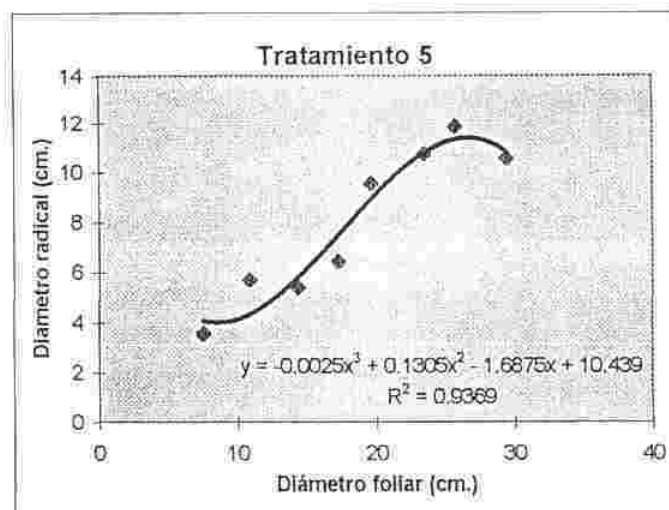
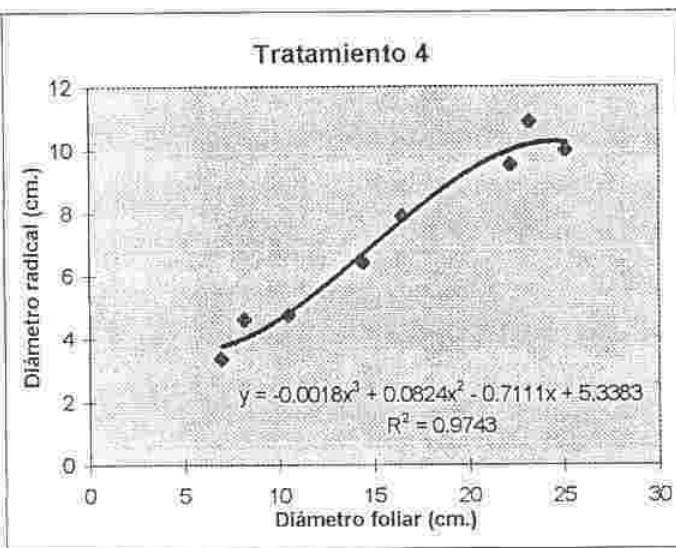
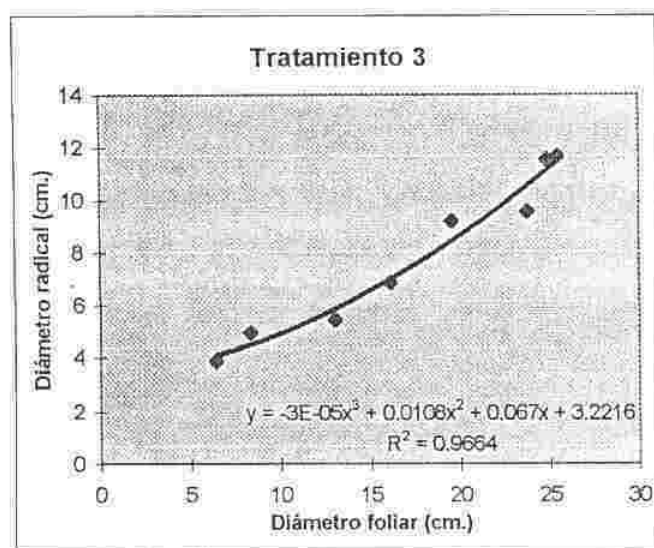
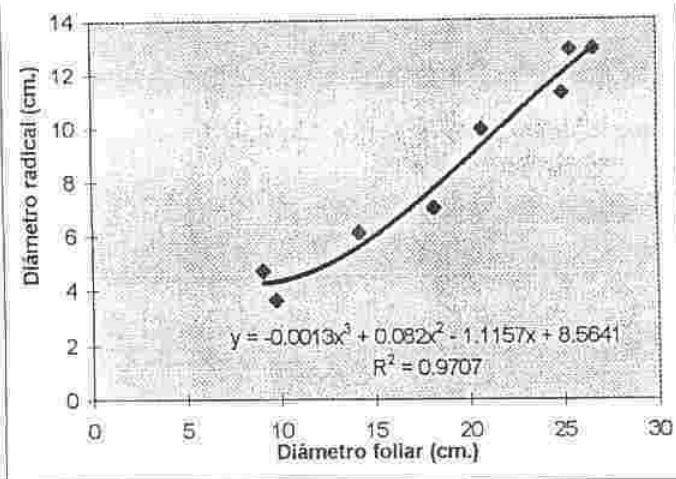
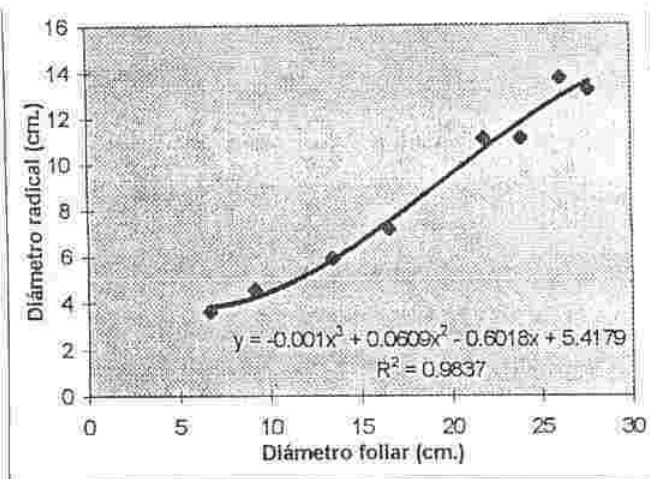
directa y depende de la cantidad de agua aplicada. Esto es muy importante para saber que cantidad de agua debe aplicarse para lograr un mejor desarrollo de las plantas de acuerdo a los análisis efectuados anteriormente. La gráfica 48 indica el ajuste de estas dos variables a una función cúbica y la correlación existente.

#### 5.3.5. Diámetro foliar v/s Diámetro radical.

Los coeficientes de correlación obtenidos son altos para todos los tratamientos, van desde 0.93 a 0.98, lo que indica que la relación entre las variables no depende de la cantidad aplicada de agua, sino de su habito de crecimiento. A pesar de esto por medio de la ecuación y el coeficiente en la gráfica 49, se puede llegar a obtener un desarrollo del cultivo bueno si se tienen en cuenta los análisis anteriormente realizados.



Gráfica 48. Tendencia y correlación entre las variables Altura (cm.) y Profundidad (cm.) para todas las variedades



Gráfica 49. Tendencia y correlación para las variables diámetro foliar (cm.) y diámetro radical (cm.) para todas las variedades.

## CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias altamente significativas para láminas, en la mayoría de variables medidas a excepción de diámetro foliar que presentó diferencias significativas y las variables altura y diámetro radical, que presentaron diferencias no significativas.

La cantidad de agua o lámina aplicada al cultivo es determinante para lograr un buen crecimiento y desarrollo tanto fitosanitario como comercial. Cantidades altas de agua aplicada favorece el desarrollo de patógenos; la baja cantidad de agua aplicada ayuda a que la planta no alcance la calidad apta para el mercado.

El testigo en todas las variedades, a pesar de tener un buen desarrollo y un buen aprovechamiento del agua aplicada, se ve afectado por la frecuencia de riego.

La lechuga presenta dos ciclos bien marcados; el primero comprendido desde la primera s.d.t hasta la quinta s.d.t semana. El segundo desde la quinta s.d.t hasta la séptima s.d.t. El primer ciclo comprende los periodos de adaptación, establecimiento y ganancia de material verde (periodo vegetativo). El segundo comprende los procesos de madurez tanto comercial como fisiológica. A partir de

la séptima s.d.t, la planta comienza el proceso de formación estructuras reproductivas.

## RECOMENDACIONES

Seria importante trabajar con densidades de siembra diferentes para determinar una distancia óptima para la producción de lechuga en las condiciones de riego bajo cubierta.

Realizar estudios en las mismas condiciones con diferentes tipos de riego para observar el comportamiento y definir cual sistema de riego es el mas eficiente.

Estudiar mas a fondo las interacciones existentes entre fitopatología, fisiología y manejo de agua.

Tomar como base este ensayo para futuros estudios de crecimiento radical con relación a la cantidad de agua aplicada y su influencia en el desarrollo de la parte aerea.

## BIBLIOGRAFIA

ARCHILA, J. A. 1992 Análisis de crecimiento y desarrollo en dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L. ) originadas de semilla nacional e importada. Tesis de grado. I. A. Facultad de Agronomía. Bogotá.

AREVALO, M. 1993 Estudio reproductivo de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L. ) en condiciones de la sabana de Bogotá. Tesis de grado. I.A. Facultad de Agronomía. Bogotá.

ARMONI, S. 1986 Micro-sprinkler irrigation. Israel. p 11 -18.

BARCELO, J. 1983 Fisiología vegetal. Madrid, España. Ediciones pirámide. 822p.

5 BLACK, C. A. 1975 Relaciones suelo planta. Editorial hemisferio sur. Buenos Aires. Argentina. 717 p.

BEADLE, C. 1988. Análisis de crecimiento. Pags 17-22 en: Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. UNEP. Colegio de postgraduados. J. Cembs., D. Hall., J. Longi. y J. Scurlet, comps. Chapingo, Mexico.

BURITICA MARTINEZ, H. 1994. Manual de riego y drenaje. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

CASSERES H. E. 1994. Producción de hortalizas. Instituto Iberoamericano de cooperación para la agricultura (IICA). San José, Costa rica. 387 p.

CLAVIJO, J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. En: Revista comalfi 1989, Volumen XVI: 12 - 16.

CORREDOR, H. 1994. Características y modelos de variación en los sistemas de raíces. En: Microaspersión. Memorias Facultad de Agronomía. Bogotá.

( CORREDOR, H; KHALIL, C. 1988. Propagación Vegetativa por estacas de *Aca sellowiana* (feijoa). Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá, 102 pp.

CORREDOR, H. Y VALENCIA, O. 1991. Análisis del desarrollo vegetativo y reproductivo. Anatomía y Morfología en Papaya Hawaiiana *Varica papaya* cv. Solo. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá. 98 pp.

CORTES, M. V. 1985. Análisis de crecimiento y desarrollo de 3 genotipos de cebolla de bulbo. (*Allium cepa* L.) Universidad Nacional de Colombia. Tesis de grado. I. A. Facultad de Agronomía.

DENISEN, E. 1987. Fundamentos de horticultura. Editorial limusa. México D.F., México. 530p.

GARCIA, A. 1967. La lechuga: cultivo y comercialización. Editorial Oikos - tau. Barcelona.

GAVIOLA, J. C. 1989. Manual de producción de semilla de cebolla. Santiago de Chile : FAO. 60 p.

HEYSSON, D. G. 1985. Manual de horticultura. Tr. Lucia Moysset. 128 p.  
Titulo original: The vegetable expert.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. (ICA). 1983. Variedades de hortalizas recomendadas para su siembra en Colombia. Palmira, ICA, Colombia. 9p.

ISRAELSEN, H. 1985. Principios y aplicaciones del riego. Editorial Reverté S. A. Barcelona, España. 876p.

KRAMER, P. J. 1983. Water relations of plants. Academic press, Inc. New York. 535p.

MALAVAR, L. V. 1994. Relaciones fisiológicas del agua en las plantas. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.

MAROTO, J. 1993. Horticultura herbácea especial. Madrid, España. Editorial Mundi prensa. 568p.

MUÑOZ, S. D. 1986. Estudio del época crítica de competencia de malezas y análisis de crecimiento de ajo (*Allium sativum* L.). Tesis de grado. I. A. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá.

93 PATARROYO, F. 1980. Análisis de crecimiento del ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) bajo dos diferentes condiciones de suministro de agua. Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

PAVA, J. F. 1996. Efecto de diferentes volúmenes de Agua en guanabana, a partir de dos sistemas de riego. Tesis de grado. I. A. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

PEDROZA, J. A. 1996. Análisis de la homogeneidad fenotípica de plantas micropropagadas de estatiche (*Limonium sinuatum* Mill.) c. v. Midnight Blue. Tesis de grado. M. Sc. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional. Bogotá. Colombia.

PINZON, H. 1990. Producción de semilla de lechuga bajo invernadero (*Lactuca sativa* L.). Tesis de grado. M. Sc. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de agronomía.

PIZARRO, F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia. Editorial mundi prensa. Madrid, España.

RADFORD, P. 1967. Growth analysis formulae: Their use and abuse. *Crop Science* 7 (3): 171-175.

29 RODRIGUEZ, F. 1993. Análisis de crecimiento y desarrollo y relación fuente demanda en ajo (*Allium sativum* L) cultivar rosado criollo. Tesis de grado. I.A. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia.

RODRIGUEZ, J. C. 1994 Análisis de crecimiento y desarrollo de 2 variedades de repollo Copenhague y Market, (*Brassica Oleraceae Var. capitata L.*) en condiciones de la Sabana de Bogotá. Facultad de Agronomía.

SAVALDI, D. 1991 Material de estudio sobre microaspersión. Cinadco. Israel. p2 -6.

SAINT D' FOULE, J. D. 1975. Riego por aspersión. Editorial Técnicas asociados. Barcelona, España.

STEEL, R., y Torrie, J. H..1980 Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill, Nueva York, E.U.A.

TARJUELO, J. Y BENITO, M. 1995. El riego por aspersión y su tecnología. Editorial Mundi ' prensa. Madrid, España.

TURCHI, A. 1987 Guía práctica de horticultura. CEAC. Madrid, España. 236p.

35 VALADEZ, A. 1994 Producción de hortalizas. México: UTEHA. Editorial Noriega.

## ANEXOS

A. V.	G. L.	No. HOJAS		ALTURA		COB. FOL.		AREA FOL.	
		C. M		C. M		C. M		C. M	
BLOQUE	3	263.3	*	180.7	*	315.1	n.s	4 236 249	*
VAR	3	563.5	**	251.9	**	27.1	n.s	1 196 937	n.s
E (A)	9	42.1		31.2		98.5		1 016 165.	
LAMINA	4	285.7	**	109.9	n.s.	342.9	*	3 686 419.5	**
E (B)	12	22.9		41.9		66.2		578 219.3.	
VAR X LAM	12	27.4	n.s	21.8	**	23.7	n.s	269 658.9	n.s
E (C)	36	13.7		6.9		28.3		136 610.4.	
TIEMPO	7	4832.3	**	4485.11	**	8 630.9	**	103 378 145.6	**
E (D)	21	40.6		71.6		66.9		633 972.3	
VAR X TIEM	21	43.3	**	40.9	**	42.3	*	576 033.5	n.s
E (E)	63	12.4		7.7		33.1		344 928.8	
LAM X TIEM	28	36.1	**	25.9	*	35.72	n.s	461 134.7	**
E (F)	84	9.5		14.4		33.0		132 210.2	
V X L X T	84	10.8	**	9.1	**	25.6	n.s	122 080.6	*
E (G)	252	6.5		4.9		23.2		86 070.6	
E. MUESTREO	640	4.9		8.5		25.1		62 522.7	

Anexo 1. Tabla de ANOVA para número de hojas, altura, cobertura foliar y área foliar.

F. V.	G. L	PESO FRESCO		PESO SECO	
		C. M		C. M	
BLOQUE	3	19.333.4	n.s	6.8	n.s
VARIEDAD	3	7062.1	n.s	13	n.s
E (A)	9	8081.2		16.6	
LAMINA	4	24 341.9	**	69.4	**
E (B)	12	3392.9		5.3	
VAR X LAM	12	1941.1	n.s	4.1	n.s
E (C)	36	1116.1		2.4	
TIEMPO	7	821 976.4	**	2019.5	**
E (D)	21	4061.6		11.5	
VAR X TIEM	21	4343.8	*	6.1	n.s
E (E)	63	2084.4		3.8	
LAM X TIEM	28	6006.0	**	13.7	**
E (F)	84	1456.3		4.9	
V X L X T	84	1271.9	*	2.7	n.s
E(G)	252	889.6		2.1	
E. MUESTREO	640	700.6		1.9	

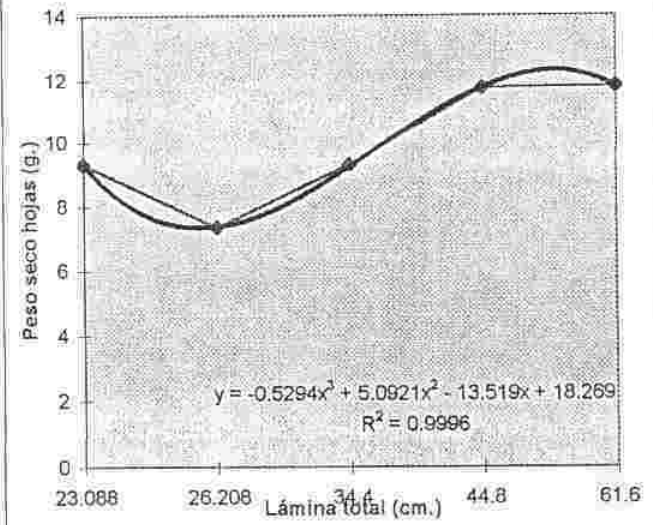
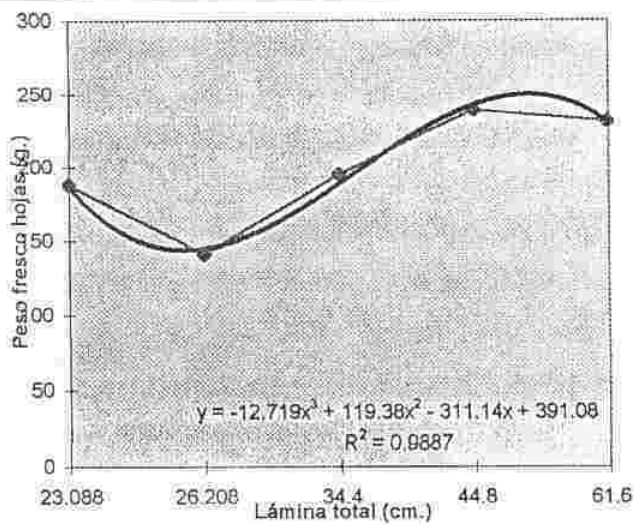
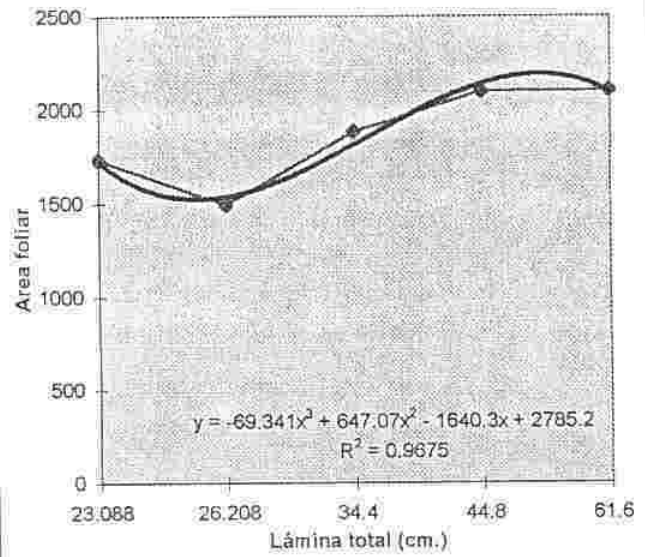
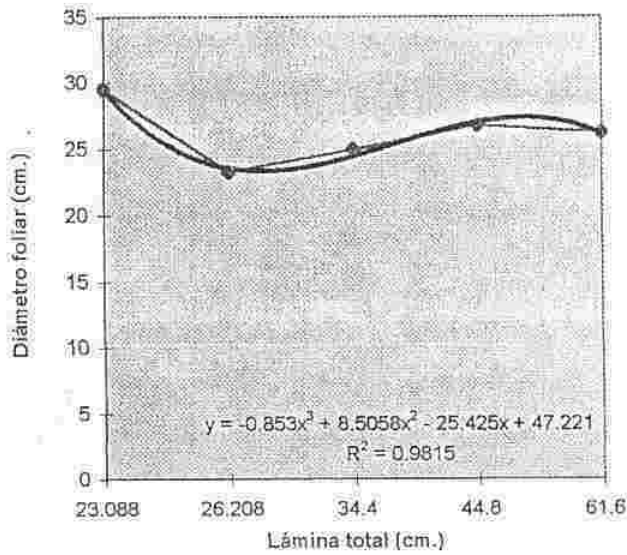
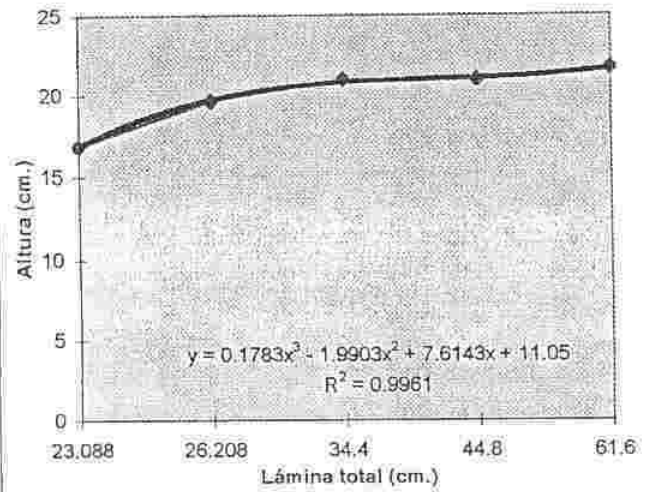
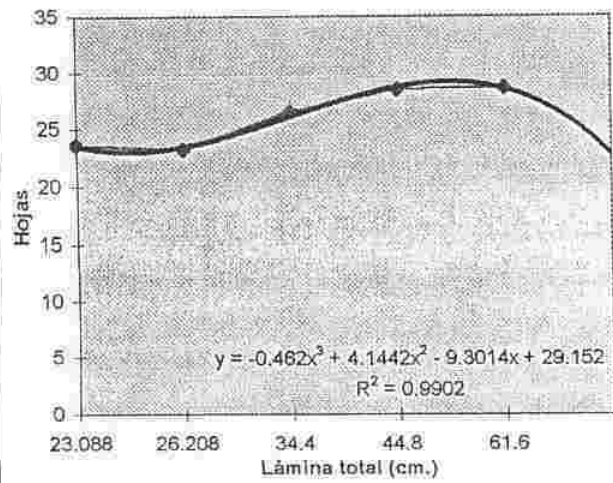
Anexo 2. Tabla de ANOVA para peso seco y peso fresco foliar.

F. V	G. L	PROFUND. C. M		LONGITUD C. M		COBERTURA C. M	
BLOQUE	3	47.3	*	17.8	n.s	662.6	n.s
VARIEDAD	3	1.8	n.s	7.8	n.s	12.0	n.s
E (A)	9	9.6		12		11.9	
LAMINA	4	83.5	**	140.1	**	98.0	n.s
E (B)	12	8.8		5.4		63.0	
VAR X LAM	12	6.8	n.s	14.6	**	6.2	*
E (C)	36	3.7		4.8		2.9	
TIEMPO	7	872.3	**	1700.8	**	1723.9	**
E (D)	21	18.5		12.1		5.3	
VAR X TIEM	21	5.0	**	9.5	n.s	9.3	n.s
E (E)	63	6.3		8.2		6.3	
LAM X TIEM	28	5.4	n.s	27.1	**	13.0	*
E(F)	84	5.0		4.1		7.7	
V X L X T	84	6.0	**	6.6	**	7.4	**
E (H)	252	3.5		4.1		2.9	
E. MUESTREO	640	2.9		4.0		1.8	

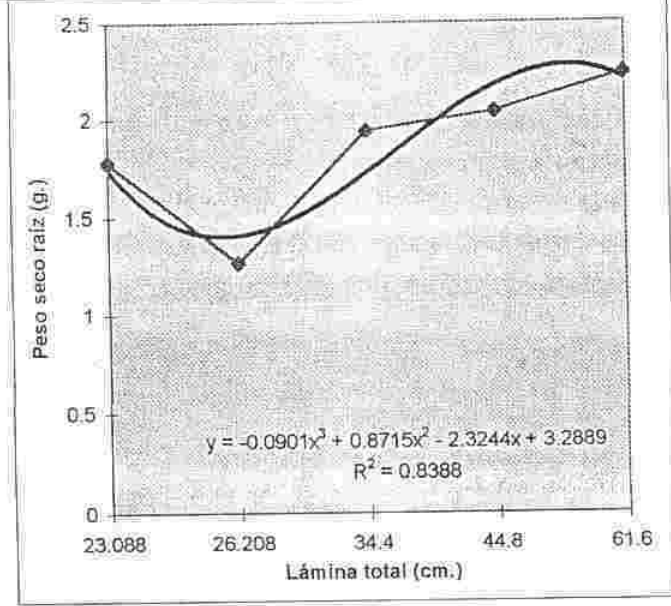
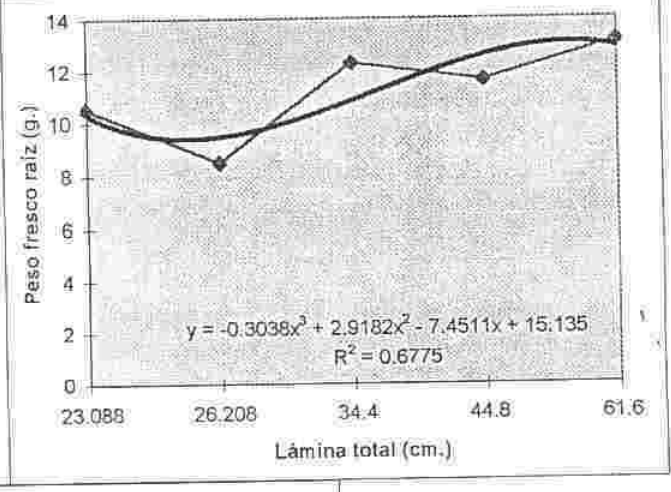
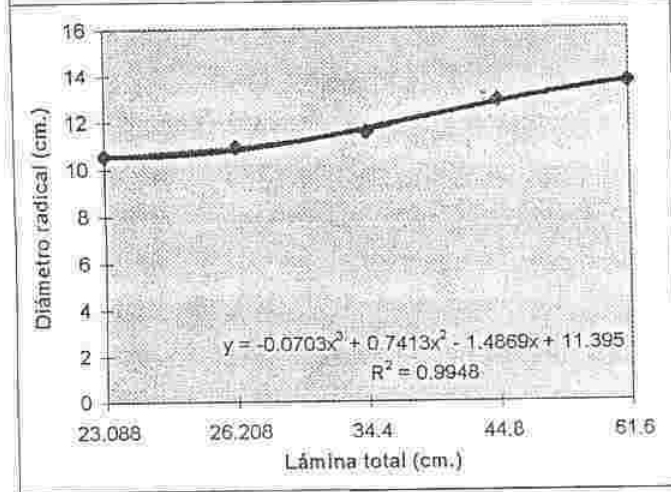
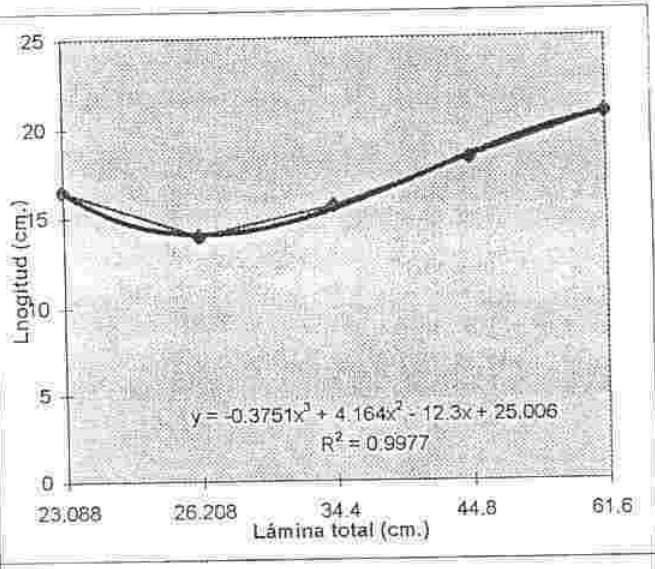
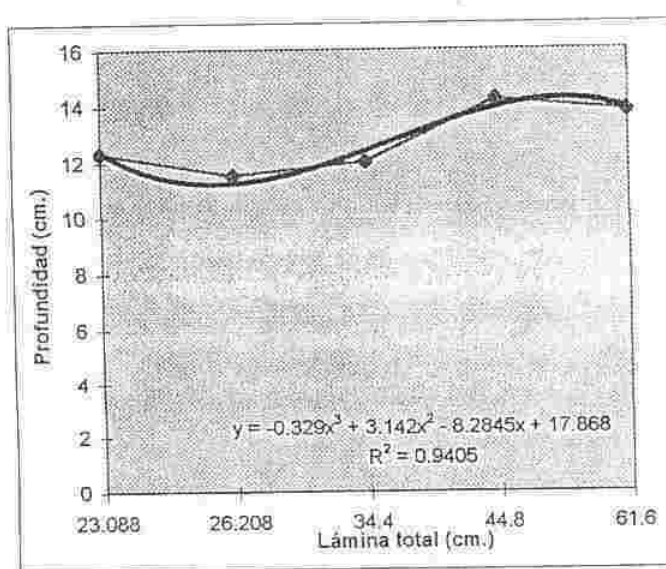
Anexo 3. Tabla de ANOVA para profundidad, longitud y cobertura radical.

F. V	G. L	PESO FRESCO		PESO SECO	
		C. M		C. M	
BLOQUE	3	70.2	n.s.	1.6	n.s
VARIEDAD	3	23.9	n.s	0.5	n.s
E (A)	9	51.2		0.9	
LAMINA	4	142.3	**	4.0	**
E (B)	12	18.6		0.4	
VAR X LAM	12	6.0	n.s	0.2	n.s
E (C)	36	14.5		0.4	
TIEMPO	7	3741.8	**	89.1	**
E (D)	21	44.1		0.9	
VAR X TIEM	21	10.1	n.s	0.3	n.s
E (E)	63	16.8		0.3	
LAM X TIEM	28	33.5	**	0.8	**
E (F)	84	12.6		0.3	
V X L X T	84	6.9	n.s	0.2	n.s
E (G)	252	8.4		0.2	
E. MUESTREO	640	4.2		0.1	

Anexo 4. Tabla de ANOVA para peso fresco y peso seco de raíz.



Anexo 5. Modelos de tendencia para todas las variables en relación con la lámina total aplicada



Anexo 5. Modelos de tendencia para todas las variables en relación con la lámina total aplicada

Finca: Invernadero 4  
Municipio: Santafé de Bogotá  
Dirección: Facultad de Agronomía  
Departamento: Cundinamarca.

Textura	F Ar
CIC me/100g	23.2
pH	4.6
C %	4.39
P ppm	86
Ca me/100g	9.2
Mg me/100g	2.7
K me/100g	1.2
Al me/100g	0.6
MO	7.57
Ca/Mg	3.4
Ca/K	7.66
Mg/K	2.25
Ca + Mg/K	9.92

Para este análisis se recomendó aplicar:

100 Kg/ha de cal dolomítica.  
13-26.6 (fertilización comercial) 8 bultos/ha.  
Aplicar fertilizante para menores.  
Aplicar un foliar completo y otro para boro.

j

Anexo 7. Análisis de suelos para el lote experimental.