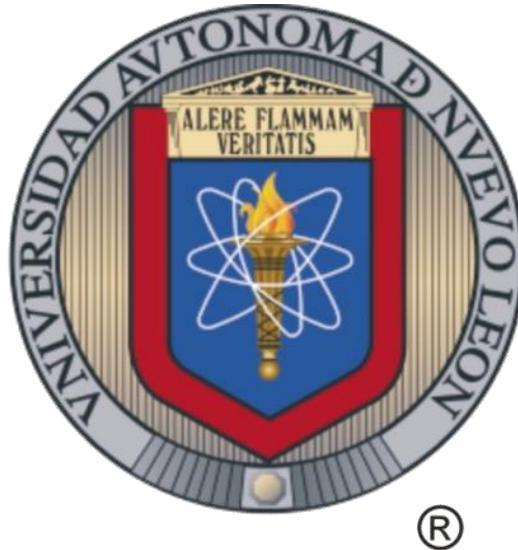


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**TESIS**

**ESTIMACIÓN DE LAS CURVAS DE CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN  
NUTRIMENTAL EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO DE ROMERO  
AROMÁTICO *Rosmarinus officinalis* (L)**

**PRESENTA**

**KRISTIAN GEANCARLO CASTILLO CASTRO**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**JUNIO 2013**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**TESIS**

**ESTIMACIÓN DE LAS CURVAS DE CRECIMIENTO Y  
EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO DE  
ROMERO AROMÁTICO *Rosmarinus officinalis* (L)**

PRESENTA

**KRISTIAN GEANCARLO CASTILLO CASTRO**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

MARIN, NUEVO LEÓN, MÉXICO,

JUNIO DE 2013

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**TESIS**

**ESTIMACIÓN DE LAS CURVAS DE CRECIMIENTO Y  
EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO DE  
ROMERO AROMÁTICO *Rosmarinus officinalis* (L)**

**PRESENTA**

**KRISTIAN GEANCARLO CASTILLO CASTRO**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**MARIN, NUEVO LEÓN, MÉXICO,**

**JUNIO DE 2013**

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL  
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR

---

Dr.C. Humberto Rodríguez Fuentes  
Asesor principal

---

Ph. D. Juan Antonio Vidales Contreras  
Asesor Auxiliar

---

Dr. C. José Elías Treviño Ramírez  
Asesor Auxiliar

---

Ph. D. Alejandro Isabel Luna Maldonado  
Asesor Auxiliar

---

Ph. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado  
Subdirector de Estudios de Posgrado

## **DEDICATORIA**

Con cariño muy especial para mi adorada esposa Nancy Elizabeth Garza González ya que su incondicional apoyo ha sido la inspiración principal en la conclusión de este proyecto de mi vida.

A mis hijos Kristian Geancarlo (+) y Germán Alberto por ser la motivación más grande que Dios Todopoderoso nos ha dado para cumplir con la misión terrenal.

A mi señora madre María Cruz Castillo Castro (+) por mostrarme el camino del bien y ser el más grande ejemplo de triunfo ante las adversidades de la vida misma.

A los equipos de football americano Daneses del Ateneo Fuente y Buitres de la UAAAN por haber hecho de mi un hombre triunfador tanto en el terreno de juego como en el juego de la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por darme la oportunidad de formarme como Maestro en Ciencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme puntualmente mes con mes el apoyo económico durante mi estancia en la FAUANL.

A mi asesor principal Dr. C. Humberto Rodríguez Fuentes por sus sabios consejos y la acertada filosofía para la dirección de este proyecto de investigación.

A mi comité de co-asesores Ph. Dr. Juan Antonio Vidales Contreras, Dr. C. José Elías Treviño Ramírez y Ph. Dr. Alejandro Isabel Luna Maldonado.

A mis hermanos académicos M.C. Heberto Antonio Rodas Gaitán y M.C. Gerardo Rodrigo Flores Mendiola por su apoyo científico y motivacional para este proyecto.

A los ingenieros Fernando Cabrieles Luna y Jorge Landa Gutiérrez por la asesoría en las actividades realizadas en el Laboratorio de Suelos, Plantas y Agua del Campus Marín.

A los estudiantes de licenciatura Mauricio Ávila Rodríguez y Eliud Piña Sandoval por el apoyo otorgado en el trabajo de laboratorio.

Al personal del área de viveros por el apoyo en las actividades de campo correspondientes a este trabajo, Sr. Anselmo Martínez (Don Chemo), Sr. Roberto González (Rober).

A mi colega y compañero de generación M.C. Héctor Rojas Pérez por su compañía y trabajo en equipo durante la realización de mis estudios de posgrado haciendo más amena esta estancia.

A la Lic. Claudia Rodríguez Silva, Sra. Yolanda Díaz Torres y Srita. Abigail Dávila por la eficiencia en los trámites generados durante este proceso.

## RESUMEN BIOGRÁFICO.

Nombre

Kristian Geancarlo Castillo Castro

Candidato a Maestro en Ciencias en Producción Agrícola

Título de Tesis

Estimación de las Curvas de Crecimiento y Extracción Nutricional en el Cultivo Hidropónico de Romero Aromático *Rosmarinus officinalis* (L)

Área de estudio

Línea Agua-Suelo

Lugar y fecha de nacimiento

Saltillo, Coahuila, Mex., 28 de septiembre de 1979

Estudios

Bachillerato, Escuela de Bachilleres Ateneo Fuente Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo Coahuila, Méx. (1994-1996).

Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila (1996-2000).

Experiencia Profesional.

Prestador de Servicios Profesionales de la Corporación para el Desarrollo Agropecuario del Estado de Nuevo León (CDANL), Monterrey, N.L.

Bachoco S.A. de C.V Ramos Arizpe, Coah.

Fersinsa Gist Brocades S.A de C.V.

Prokarne de Saltillo

---

Ing. Kristian Geancarlo Castillo Castro.

## ÍNDICE DE CONTENIDO.

	Página
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
RESUMEN BIOGRÁFICO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE APÉNDICE.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Hipótesis.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Descripción botánica del romero.....	3
2.2. Características climáticas del cultivo.....	4
2.3. Superficie cultivada en México.....	5
2.4. Usos y aplicaciones del romero.....	5
2.5. Conceptos de crecimiento y desarrollo.....	6
2.6. Absorción nutrimental.....	6
2.7. Curvas de absorción nutrimental.....	7
2.8. Importancia de la densidad de población.....	7
2.9. Densidad de población en romero.....	8
2.10. Hidroponia.....	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1. Condiciones de la investigación.....	10
3.1.1. Localización del sitio experimental.....	10
3.1.2. Sistema hidropónico.....	10
3.1.3. Sustrato.....	11
3.1.4. Solución Nutritiva Hidropónica (SNH).....	11
3.1.5. Trasplante.....	14
3.1.6. Diseño experimental.....	15
3.1.7. Muestreos.....	15
3.2. Ensayos.....	16

3.2.1.	Ensayo I.....	16
3.2.1.1.	Preparación de muestras para ensayo I.....	16
3.2.2.	Ensayo II.....	17
3.2.2.1.	Preparación de muestras para ensayo II.....	17
3.2.3.	Análisis nutrimental, determinación de N, P, K, Fe, Mn y Zn...	17
3.2.4.	Análisis estadístico.....	17
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1.	ENSAYO I.....	18
4.1.1.	Producción de Biomasa Seca Total BST (aérea + raíz).....	18
4.1.2.	Tendencia de crecimiento de <i>Rosmarinus officinalis</i> L.....	19
4.1.3.	Estimación del modelo de crecimiento en base a BST planta <sup>-1</sup> ..	20
4.1.4.	Número de brotes por planta.....	24
4.1.5.	Altura de planta.....	25
4.1.6.	Curvas de absorción nutrimental.....	26
4.1.6.1.	Estimación de la curva de extracción de nitrógeno.....	26
4.1.6.2.	Estimación de la curva de extracción de fósforo.....	29
4.1.6.3.	Estimación de la curva de extracción de potasio.....	33
4.1.6.4.	Estimación de la curva de extracción de hierro.....	37
4.1.6.5.	Estimación de la curva de extracción de manganeso.....	41
4.2.	ENSAYO II.....	45
4.2.1.	Producción de Biomasa Seca Total BST planta <sup>-1</sup> (aérea + raíz)..	45
4.2.2.	Altura de planta.....	46
4.3.	SOLUCIÓN NUTRITIVA HIDROPÓNICA PRELIMINAR PARA <i>Rosmarinus officinalis</i> L.....	48
5.	CONCLUSIONES.....	51
6.	LITERATURA CITADA.....	53
7.	RESUMEN.....	58
8.	SUMMARY.....	59
9.	APÉNDICE.....	60

## ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro		Página
1.	Análisis de agua realizado en Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua FAUANL.....	12
2.	Concentración de la Solución Nutritiva Hidropónica (SNH) y las fuentes empleadas.....	13
3.	Fórmula para estimar el contenido de humedad de muestras frescas..	16
4.	BST promedio mensual (g planta <sup>1</sup> ) ensayo I.....	18
5.	Comparación de medias para número de brotes por planta (ensayo I)	24
6.	Comparación de medias para nitrógeno extraído (g m <sup>-2</sup> ).....	28
7.	Comparación de medias para fósforo extraído (g m <sup>-2</sup> ).....	29
8.	Comparación de medias para potasio extraído (g m <sup>-2</sup> ).....	33
9.	Comparación de medias para fierro extraído (mg m <sup>-2</sup> ).....	37
10.	Comparación de medias para manganeso extraído (mg m <sup>-2</sup> ).....	41
11.	Comparación de medias para producción de BST (g planta <sup>-1</sup> ) ensayo II.....	45
12.	Comparación de medias para producción de BST m <sup>-2</sup> ensayo II.....	45
13.	Estimación de la Solución Nutritiva Hidropónica considerando la extracción nutrimental durante el ensayo I.....	49
14.	Cantidad de nutrientes aplicados en el ensayo (8 meses) en relación a los nutrientes extraídos por el cultivo. ....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura	Página
1. Planta de romero.....	3
2. Flores y frutos de romero.....	4
3. Dimensiones de los bancales de concreto del sistema hidropónico.....	11
4. Trasplante de variedad criolla de romero.....	14
5. Diseño Experimental Completamente al azar con 3 Tratamientos y 4 repeticiones en 2 ensayos.....	15
6. BST (g planta <sup>-1</sup> ).....	19
7. Modelo de ajuste lineal para producción  de BST en el Tratamiento 1...	21
8. Modelo de ajuste lineal para producción de BST en el Tratamiento 2....	22
9. Modelo de ajuste lineal para producción de BST en el Tratamiento 3....	23
10. Tendencia de la altura de planta (cm).....	25
11. Curva de extracción de N (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 1.....	26
12. Curva de extracción de N (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 2.....	27
13. Curva de extracción de N (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 3.....	28
14. Curva de extracción de P (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 1.....	30
15. Curva de extracción de P (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 2.....	31
16. Curva de extracción de P (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 3.....	32
17. Curva de extracción de K (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 1.....	34
18. Curva de extracción de K (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 2.....	35
19. Curva de extracción de K (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 3.....	36
20. Curva de extracción de Fe (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 1.....	38
21. Curva de extracción de Fe (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 2.....	39
22. Curva de extracción de Fe (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 3.....	40
23. Curva de extracción de Mn (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 1.....	42
24. Curva de extracción de Mn (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 2.....	43
25. Curva de extracción de Mn (g planta <sup>-1</sup> ) para el tratamiento 3.....	44
26. Tendencia de altura de planta (cm) en los tres tratamientos (ensayo II).	26
27. Modelo lineal y ecuación de predicción de altura de planta (ensayo II).	27

## INDICE DE APÉNDICE.

Figura	Página
A1. Resistencia a bajas temperaturas y principales características de los cultivares más comunes de <i>Rosmarinus officinalis</i> L.....	60
A2. Producción de BST de <i>Rosmarinus officinalis</i> en g por mes y por tratamiento.....	61
A3. ANVA de producción de BST en Parcelas Divididas (ensayo I).....	62
A4. Datos de estimación de curvas de crecimiento para los 3 tratamientos.....	62
A5. Número de brotes por mes (ensayo I).....	63
A6. ANVA para número de brotes en Parcelas Divididas (ensayo I).....	64
A7. Altura de planta en cm por mes (ensayo I).....	65
A8. ANVA de altura de planta en Parcelas Divididas (ensayo I).....	66
A9. Nitrógeno absorbido en gramos para los 3 tratamientos a través del tiempo.....	67
A10. Fósforo absorbido en gramos para los 3 tratamientos a través del tiempo.....	67
A11. Potasio absorbido en gramos para los 3 tratamientos a través del tiempo.....	68
A12. Hierro absorbido en miligramos para los 3 tratamientos a través del tiempo.....	68
A13. Manganeso absorbido en miligramos para los 3 tratamientos a través del tiempo.....	69
A14. ANVA para extracción de nitrógeno $g\ m^{-2}$ .....	70
A15. ANVA para extracción de fósforo $g\ m^{-2}$ .....	70
A16. ANVA para extracción de potasio $g\ m^{-2}$ .....	70
A17. ANVA para extracción de hierro $g\ m^{-2}$ .....	70
A18. ANVA para extracción de manganeso $g\ m^{-2}$ .....	70
A19. Producción de BST $g\ planta^{-1}$ (ensayo II).....	71
A20. ANVA de Producción de BST $g\ planta^{-1}$ (ensayo II).....	71
A21. Producción de BST $g\ m^{-2}$ (ensayo II).....	72
A22. ANVA de Producción de BST $g\ m^{-2}$ (ensayo II).....	72
A23. ANVA de altura de planta (ensayo II).....	72
A24. Promedios de alturas (ensayo II) para estimación de modelo lineal.....	73
A25. Altura (cm) de planta (ensayo II).....	74
A26. Fórmula para preparar 2000 L de SNH utilizada y recomendada por Rodríguez <i>et al.</i> (2011).....	75

## INTRODUCCIÓN.

En la planta la curva de absorción refleja los cambios nutricionales, los cuales dependerán de su fenología; esto se puede asociar a puntos de máxima absorción con puntos claves de desarrollo como serían prefloración, floración, fructificación, entre otros. Al obtener la curva de absorción se puede predecir cuando se presenta la mayor absorción de nutrientes durante el ciclo; con esto se pueden establecer programas preliminares de fertilización nutrimental; lo cual permitirá hacer más eficiente la cantidad de fertilizantes químicos a emplear con la consecuente reducción de costos y probable contaminación producida por la aplicación excesiva de ellos. (Molina *et al.*, 1993; Jiménez *et al.*, 2009).

La hidroponía es una técnica útil para estimar las curvas de crecimiento y absorción nutrimental para cualquier especie vegetal, (Rodríguez *et al.*, 2006 Almaguer *et al.*, 2009; Jiménez *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2009b) en el caso del romero (*Rosmarinus officinalis* L.) hay evidencias que indican que la adición al suelo de nitrógeno y fósforo incrementó la producción de biomasa y la concentración foliar de estos elementos (Sardans y Peñuelas., 2005), sin embargo existe poca información relacionada con el manejo agronómico, las necesidades nutrimentales y con la producción hidropónica de esta especie (Westervelt, 2003).

Debido a esto, en este trabajo de investigación se dan a conocer las curvas estimadas de crecimiento y extracción de algunos nutrientes en romero aromático, que se encontraron cuando este se cultivó en forma hidropónica.

### **1.1. OBJETIVOS.**

- Evaluar el efecto de la densidad de población en la producción de biomasa y extracción de N, P, K, Fe y Mn en el cultivo hidropónico de romero.
- Estimar las curvas de crecimiento y absorción de N, P, K, Fe y Mn del romero (*Rosmarinus officinalis* L.) cultivado en forma hidropónica.
- Calcular la Solución Nutritiva Hidropónica (SNH) preliminar para el cultivo de *Rosmarinus officinalis* L.

### **1.2. HIPÓTESIS.**

- La densidad de población tendrá un efecto sobre la producción de biomasa seca y la extracción nutrimental en el cultivo hidropónico de romero aromático.
- Existe una relación entre la producción de biomasa seca y la extracción de nutrientes.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA.

### 2.1. Descripción botánica del romero.

El romero aromático es una especie que pertenece a la familia de las labiadas (*labiatae*). Se trata una planta leñosa subarborescente, que llega a medir hasta los dos metros de altura (Figura 1). Existen diversos cultivares cuya breve descripción que hace Armitage citado por Westervelt (2003) se muestra en el Cuadro A1. Dirr (2003) menciona que sus hojas son lanceoladas espesas con los bordes vueltos hacia abajo, verde oscuro por el haz, blanquecinas por el envés debido a un gran número de tricomas; según Armitage (citado por Westervelt, 2003) las flores varían en color desde blancas hasta lilas, aparecen a finales del invierno, durante la primavera, nacen en las axilas de las hojas dispuestas en forma de racimillos, son bilaterales y presentan solo dos estambres y un estigma, (Figura 2). Sus frutos son tetraaquenios (Figura 2) con olor muy característico debido al contenido de terpenos (borneol, cineol, y pineno), alcanfor, saponósidos, y colina (Muñoz, 1993; Calderón y Rzedowski, 2001; Anónimo, 2004;).



Figura 1. Planta de romero.

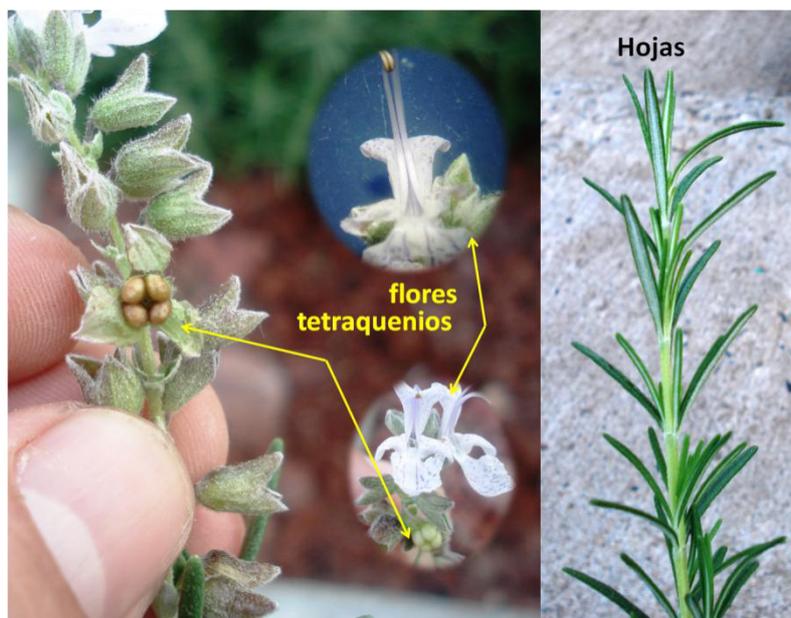


Figura 2. Flores y frutos del romero.

## 2.2. Características climáticas del cultivo.

El romero es una especie cuyo centro de origen es la región del Mediterráneo entre los 20° y 45° latitud norte y entre los 0° y 45° longitud este y 0° y 13° longitud oeste (Calderón y Rzedowski, 2001; Kowalchik y Hilton citados por Westervelt, 2003). La altura sobre el nivel de mar de éstas áreas oscila entre los cero hasta los 1800 msnm, el clima se caracteriza por sus veranos secos que alcanzan hasta los 35 °C e inviernos templados presentándose en ocasiones temperaturas menores de 0 °C con una precipitación pluvial de 400 a 600 mm año<sup>-1</sup>. Dado lo anterior, es factible considerar que esta especie podría ser cultivada en zonas con características climáticas como las que se presentan en el municipio de Marín, N.L., México.

### **2.3. Superficie cultivada en México.**

SAGARPA (2012) reportó en 2011 una superficie cultivada de 50.75 ha en el territorio nacional, de ellas, solo en los estados de Baja California Sur y Estado de México se cultiva esta especie correspondiendo a 11.75 y 39 ha respectivamente; la producción anual promedio de biomasa (no se indica si fue base seca o húmeda) fue de 7 y 6 ton ha<sup>-1</sup> en cada estado respectivamente.

### **2.4. Usos y aplicaciones del romero.**

Las hojas y ramas contienen un aceite esencial utilizado en las industrias farmacéutica, perfumería y arte culinario. Como medicina, la planta se dice posee un valor carminativo, propiedades estomacales, abortivas y antiespasmódicas, el aceite de romero también es utilizado en la aromaterapia (Muñoz, 1993; Pakrasa *et al.*, 1999).

Por otro lado existen estudios que tratan acerca del poder antimicrobiano del aceite esencial, tal es el caso de experimentos que se han hecho en cultivos de mojarra tilapia infectados de *Salmonella*, donde al agua se agregaron extractos de romero y se redujo la mortalidad que causa éste microorganismo a los peces (Naser, 2010).

Así mismo se menciona que el romero es utilizado como promotor de crecimiento en aves de corral ya que al usar el aceite esencial como aditivo en las dietas actúa como un agente probiótico y puede reemplazar el uso de antibióticos (Bozin *et al.*, 2007; Cross *et al.*, 2007).

Algunos autores reportan que dentro del aceite esencial está la presencia de polifenoles, carnosol, cineol, ácido rosmarínico y otras sustancias que actúan a modo de antioxidantes. (Ôzcan, 1999; Letelier *et al.*, 2009; Chipault *et al.*, 2003).

El romero es una planta que ha sido investigada desde hace años y a la cual cada vez se le encuentran más propiedades y aplicaciones de uso.

Sin embargo a pesar de su popularidad existe muy poca investigación publicada científicamente con respecto al manejo agronómico de la especie (Westervelt, 2003).

## **2.5. Conceptos de crecimiento y desarrollo.**

**Crecimiento:** se puede definir el crecimiento como el aumento irreversible de volumen de una célula, tejido, órgano o individuo, generalmente acompañado de un aumento de masa. Para que exista crecimiento no basta con que se haya producido división celular, dado que la simple división de una célula no constituye aumento de volumen o masa. El aumento de la masa debe ser permanente, con lo que eliminamos de esta definición la variación de volumen debida a fenómenos osmóticos (ganancia de agua). Puede darse crecimiento sin que aumente el tamaño, pero sí el número de células. Por lo tanto el crecimiento se refiere a la acumulación de materia seca a través del tiempo (Bidwell, 2002; Saldivar, 2010).

**Desarrollo:** son las series o conjuntos de eventos, procesos o etapas que experimenta una planta en su ciclo de vida que la traslada de un estado ordenado a otro más complejo (Bidwell, 2002; Saldivar, 2010).

## **2.6. Absorción nutrimental.**

Las plantas adquieren sus nutrimentos esenciales para su desarrollo a través de las hojas y principalmente de la raíz. El dióxido de carbono es absorbido a través de las estomas y es la principal fuente suministradora de carbono y oxígeno. Las plantas absorben por las raíces los nutrimentos que se encuentran disponibles en

el suelo en forma iónica o a partir de una solución nutritiva en el caso de cultivos hidropónicos.

### **2.7. Curvas de absorción nutrimental.**

Evaluar la extracción de un nutrimento por la planta durante su ciclo de vida a través de intervalos del tiempo permite construir una curva de absorción y en algunos casos modelarla matemáticamente. La extracción de nutrientes depende de factores tanto internos como externos, siendo los primeros el potencial genético de la planta y la etapa fenológica en la que se encuentra, mientras que los factores externos se refieren al medio ambiente donde se desarrolla la planta como lo son la textura de suelo, el pH, la conductividad eléctrica, las temperaturas ambiente, incidencia de luz solar entre otras.

### **2.8. Importancia de la densidad de población.**

La densidad de población en un cultivo se refiere al número de individuos o plantas establecidos en una unidad de superficie específica. Cruz *et al.* (2009), señalaron que la densidad de población es uno de los factores que influye en la cantidad de biomasa que se genera, además existe relación entre el número de individuos en una superficie definida y la biomasa producida; determinó en pimiento dulce (*Capsicum frutescens*) que la mayor densidad de población disminuyó la carga de fruto por planta; sin embargo, se incrementó la producción de frutos por unidad de superficie.

También se ha reportado que en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*), al incrementar la densidad de población, se disminuyó la cantidad de biomasa total

por individuo pero se incrementó la producción de tubérculos por unidad de superficie (Flores *et al.*, 2009).

Martínez *et al.* (1996) mencionaron que el romero en condiciones silvestres se encuentra en una densidad de población promedio de 1 a 2 plantas  $m^2$  y produce una cantidad de biomasa aérea desde 266.4 hasta 836  $g m^{-2}$ , dependiendo de los mecanismos de compensación hídrica.

Mishra *et al.* (2008), reportaron en un experimento realizado con tres densidades de población (6, 8 y 16 plantas  $m^{-2}$ ) y dos años de evaluación en el cultivo del romero bajo condiciones de secano, que la distancia entre hileras (con duración de un año de evaluación) es determinante en algunos parámetros de las plantas, tales como la producción de follaje, altura de plantas, número de ramas, y producción de aceite esencial. Además mencionan que con una mayor densidad de población en el cultivo, se incrementó la producción de biomasa seca y de aceite esencial, esto durante el primer año de establecimiento, al compararse con densidades más bajas donde hubo mayor rendimiento por individuo.

### **2.9. Densidad de población en romero.**

En España esta especie se encuentra distribuida en forma natural en densidades de población de 1.0 a 2.0 plantas  $m^{-2}$  y produciendo en promedio 551  $g m^{-2}$  de biomasa seca (Martínez *et al.*, 1996). Sin embargo, Muñoz (1993) menciona producciones de romero de 200 a 300  $g m^{-2}$  de biomasa cultivado en suelo en densidades de población de 1.5 a 2.0 plantas  $m^{-2}$ , no se menciona el tiempo en que fueron producidas estas cantidades de biomasa.

### **2.10. Hidroponia y SNH.**

El término hidroponia se deriva de dos palabras griegas “hidros” que significa agua y “ponos” equivalente a trabajo, se traduce como “trabajo del agua”.

(Sánchez y Escalante, 1988). Esta se define como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua (Solución Nutritiva Hidropónica), en lugar del suelo, se utiliza como sustrato de preferencia un material inerte, o simplemente la misma solución, como material inerte se utilizan: grava, piedra volcánica o tezontle, arena, piedra pómez, aserrín, arcilla expansiva, carbón, cascarilla de arroz, al cual se le agrega una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el normal crecimiento y desarrollo de la planta.

La solución nutritiva para un cultivo hidropónico se compone de agua y de los nutrientes añadidos con los fertilizantes. La elección de los fertilizantes y las cantidades que se debe usar de cada uno de ellos pueden depender del contenido inicial de la fuente del agua. Por lo tanto, es importante realizar un análisis químico del agua, antes de preparar la SNH. Por ejemplo, si el agua para riego contiene una concentración suficiente de calcio para la nutrición del cultivo, se descarta la utilización de este elemento se realiza el ajuste correspondiente; esto se puede realizar también para cualquier otro nutrimento.

Los parámetros que deben ser determinados en el análisis del agua son: la CE (conductividad eléctrica), el pH, los niveles del calcio, magnesio, cloruro, sodio, azufre, carbonato y bicarbonato.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **3.1. CONDICIONES DE LA INVESTIGACIÓN.**

##### **3.1.1. Localización del sitio experimental.**

Esta investigación se realizó en el periodo comprendido entre el 30 de octubre del 2011 al 30 de mayo del 2012 en el Centro de Investigación y Desarrollo en Hidroponía de la Facultad de Agronomía Campus Marín de la Universidad Autónoma de Nuevo León, el cual está ubicado en el municipio de Marín, N. L., México, en las coordenadas geográficas: L 25° 23" N y L 100° 12" W, a 393 msnm. El clima es extremoso, con régimen de lluvias en agosto y septiembre, la precipitación promedio anual es de 528 mm (García, 1988). La dirección de los vientos es de norte a sur, con una temperatura media anual de 22°C; temperatura máxima de 40°C y temperatura mínima de 4°C; siendo los meses más calientes son julio y agosto.

##### **3.1.2. Sistema hidropónico.**

Se utilizó un sistema hidropónico cerrado, el cual consta de bancales que están contruidos de bloque de hormigón con dimensiones de 14 m de longitud por 1.10 m de ancho (interior), de 0.20 m de altura y piso de concreto con acabado pulido y sellado. El bancal consta de dos partes, el cuerpo del mismo y cabecera que permite drenar la solución nutritiva debido a que se encuentra por debajo del piso un colector conectado a una cisterna de 2.5 m<sup>3</sup> de capacidad (Figura 3).



Figura 3. Dimensiones de los bancales de concreto del sistema hidropónico.

### 3.1.3. Sustrato.

Se empleó roca volcánica como sustrato con una granulometría de 20 a 40 mm de diámetro, previamente fue lavada y desinfectada con una solución de ácido sulfúrico grado industrial amortiguada a pH igual a 3.0, con esta solución se inundó el bancal por un periodo de tres horas y posteriormente se lavó dos veces con agua de la llave.

### 3.1.4. Solución Nutritiva Hidropónica (SNH).

Se utilizó la SNH recomendada por Rodríguez y Rodríguez (2011), ajustando la cantidad de nutrimentos en función al análisis de calidad de agua para riego agrícola (Cuadro 1). El volumen de SNH que se preparó fue de 2000 L y se renovó completamente cada 10 días, la concentración y fuentes se muestran en el Cuadro 2.

El pH se ajustó a 5.5- 6.5 cada vez que se renovó la SNH. El riego con la SNH se realizó cada tercer día. Se usó una bomba centrífuga de 0.373kW (0.5 HP) de 3.81 cm (1.5 pulg) diámetro a la salida, para saturar el sustrato contenido en el bancal; el exceso se drenó (recicló) inmediatamente hacia la cisterna por gravedad.

Para estimar la cantidad de agua que se quedaba retenida al sustrato se determinó la capacidad de retención de humedad del mismo por el método de volumen conocido, que consistió en pesar 500 g de sustrato y saturarlo con 500 mL de agua, colocarlos en un recipiente de plástico el cuál se cerró herméticamente y se dejó reposar por un lapso de 24 h, se colocó un matraz para recuperar el volumen de agua a través un embudo con un filtro Whatman # 1. Los resultados permitieron calcular la retención total que fue de un 16 %, con lo anterior se programaron de 2 a 3 riegos semanalmente.

Cuadro 1. Análisis de agua realizado en Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua FAUANL.

Análisis	Valor	Observaciones
CE	965	Altamente salina
pH	6.91	
Ca <sup>+2</sup>	6.00	
Mg <sup>+2</sup>	3.00	
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.00	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.90	
Cl <sup>-1</sup>	1.70	Condicionada

CE = conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}$  a 25 °C), pH = potencial hidrógeno, Ca<sup>+2</sup> = (calcio meq L<sup>-1</sup>), Mg<sup>+2</sup> = (magnesio meq L<sup>-1</sup>), CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> = carbonatos (meq L<sup>-1</sup>), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = (bicarbonatos meq L<sup>-1</sup>), Cl<sup>-</sup> = (cloro meq L<sup>-1</sup>)

Cuadro 2. Concentración de la solución nutritiva hidropónica (SNH) y las fuentes empleadas.

Elemento	Concentración (mg L <sup>-1</sup> )	Fuente
N	200	---
P	60	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
K	250	KNO <sub>3</sub>
Ca	200	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O
Mg	50	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
S	100	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Fe	0.50	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O
Mn	0.25	MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O
B	0.25	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
Cu	0.02	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O
Zn	0.25	ZnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O
Mo	0.01	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O

Fuente: Rodríguez-Fuentes *et al.* (2011b)

### 3.1.5. Trasplante.

Para el trasplante se utilizaron plantas de una variedad criolla de romero de aproximadamente 30 cm de altura, previo a esto con la finalidad de prevenir el ataque de hongos a la raíces se introdujo la raíz y el sustrato de origen (tierra de hoja) de cada planta en una solución fungicida (cymoxanil 30% clorotalonil 72%) dosificando  $90 \text{ g L}^{-1}$ . Posteriormente las plantas se insertaron en roca volcánica a una profundidad de 15 cm. (Figura 4).



Figura 4. Trasplante de variedad criolla de romero.

### 3.1.6. Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar con 3 tratamientos y 4 repeticiones que consistieron en T1= 8 pl m<sup>-2</sup>; T2= 16 pl m<sup>-2</sup> y T3= 24 pl m<sup>-2</sup>, se realizaron 2 ensayos como se muestra en la Figura 5. La unidad experimental fue de 1.0 m<sup>2</sup>.

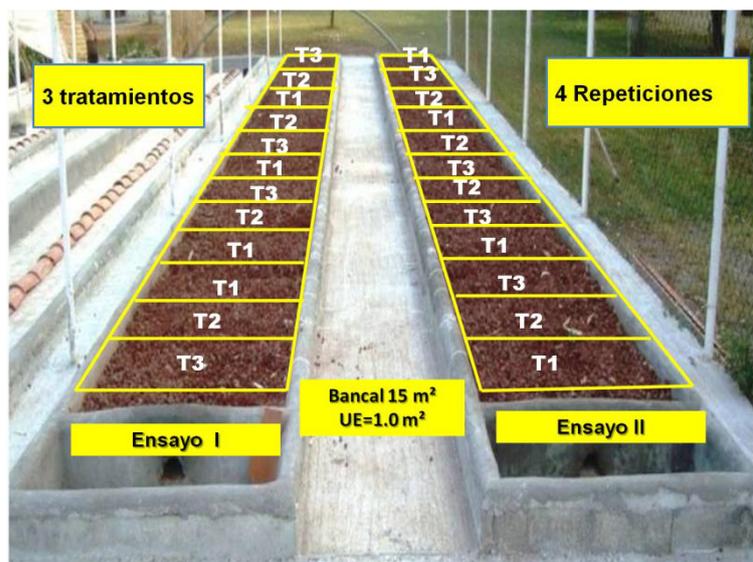


Figura 5. Diseño experimental completamente al azar con 3 Tratamientos y 4 repeticiones en 2 ensayos.

### 3.1.7. Muestreos.

Previo al trasplante, se seleccionaron al azar 10 plantas a las cuales se les determinó biomasa seca aérea (BSA), biomasa seca radicular (BSR), biomasa seca total (BST) y altura de planta, estos datos fueron considerados como inicio para estimar la curva de crecimiento.

### 3.2. ENSAYOS.

#### 3.2.1. Ensayo I.

Una vez que el cultivo se estableció y se aclimató, se colectaron plantas cada 30 días a partir del 30 de octubre del 2011 y hasta el 30 de mayo del 2012. Estos consistieron en extraer una planta completa (parte aérea + raíz) por repetición dando un total de 4 plantas por tratamiento a las que se le estimó BST, BSA, BSR, altura de planta, número de brotes y concentraciones de N, P, K, Fe y Mn.

##### 3.2.1.1. Preparación de muestras para Ensayo I.

Una vez que las muestras se extrajeron (4 plantas) por tratamiento fueron identificadas y etiquetadas. Posteriormente se colocaron en un contenedor de agua limpia para remover residuos de sustrato y de esta manera hacer un lavado con manguera y agua corriente, fueron llevadas al laboratorio; en cada repetición, se determinó peso fresco total, número de brotes y altura de la planta. Para determinar el contenido de humedad, las muestras se introdujeron en bolsas de papel estraza previamente identificada con el fin de ser deshidratada en una estufa de convección forzada (Marca Riossa, modelo H-62, México), se mantuvieron a una temperatura de 70 a 80° C hasta peso constante; con esta información se determinó la BST, BSA y BSR para ambos ensayos, empleando la fórmula que se describe en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Fórmula para estimar el contenido de humedad de muestras frescas.

Donde	Fórmula
H= humedad de la muestra	
Pf= Peso fresco	$H = Pf - Ps$
Ps= Peso seco	

### **3.2.2. Ensayo II.**

Cada 10 días se monitoreó la altura de planta en cada por tratamiento, se consideraron 10 plantas; esto se realizó del 30 de octubre del 2011 y hasta el final del experimento el 30 de mayo del 2012.

#### **3.2.2.1. Preparación de muestras para Ensayo II.**

Se extrajeron en total 10 plantas completas (parte aérea más raíz) por tratamientos, se identificaron, se lavaron con agua. Con este material se formaron muestras compuestas por tratamiento de 500 g de material fresco y con ellas se determinó la BST.

#### **3.2.3. Análisis nutrimental, determinación de N, P, K, Fe y Mn.**

Las muestras de biomasa seca total (BST) de ambos ensayos fueron molidas en un molino Willey de acero inoxidable, se tamizaron con una malla de 20  $\mu\text{m}$ . posteriormente se colocaron en una mufla a 450-550°C durante 4 h.

Para determinar contenido de N total se empleó el método Kjeldahl, el P total se determinó por espectrofotometría óptica (Spectronic 21D, Milton Roy) de acuerdo al método de amarillo vanadato molibdato; mientras que el K, Fe y Mn se determinaron por espectroscopia de absorción atómica (Rodríguez y Rodríguez, 2011).

#### **3.2.4. Análisis estadístico.**

Para realizar los análisis de varianza y comparaciones de medias se utilizaron los programas, Diseños Experimentales UANL versión 1.0 (Olivares, 2012) y SPSS 17.0 (2008). Para estimar las curvas de crecimiento y absorción nutrimental se emplearon los programas Sigma Plot 10.<sup>MR</sup> (Systat Inc., 2010) y Microsoft Office Excel 2007.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1. ENSAYO I.

#### 4.1.1. Producción de Biomasa Seca Total BST (aérea + raíz).

En el Cuadro 4 se muestran los resultados de BST (g planta<sup>-1</sup>) de los tratamientos 1, 2 y 3 durante el periodo de los ensayos (diciembre de 2011 a mayo de 2012). Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ), el tratamiento 1 fue el que presentó la mayor producción de BST, en todos los meses.

Cuadro 4. BST promedio mensual (g planta<sup>-1</sup>) ensayo I.

Tratamiento	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
1	85.68 a	123.76 a	117.00 a	209.50 a	229.50 a	267.25 a
2	55.60 ab	67.01 b	117.00 a	133.50 b	174.25 b	159.25 b
3	46.79 b	68.45 b	67.50 b	76.00 c	144.50 b	176.25 b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ )

Lo anterior coincide con lo reportado por Mishra *et al.* (2008), quienes reportan que el mayor espacio entre hileras y plantas (0.60 m x 0.30 m) correspondientes a 6 plantas m<sup>-2</sup> produjo la mayor cantidad de follaje comparado con los demás distanciamientos evaluados de 0.30 x 0.20 m (17 plantas m<sup>-2</sup>) y 0.40 x 0.30 m (8 plantas m<sup>-2</sup>) entre hileras y plantas, respectivamente. Dicho experimento fue realizado en la India, utilizando plantas de romero bajo condiciones de secano.

Por otra parte, Escalante-Estrada *et al.* (2008), evaluaron el peso seco total en plantas de girasol que fueron establecidas a 7.5, 10, 12.5 y 15, plantas m<sup>-2</sup> y

concluyeron que la densidad más baja ( $7.5 \text{ plantas m}^{-2}$ ) fue la que presentó los la mayor producción de materia seca.

#### 4.1.2. Tendencia de crecimiento de *Rosmarinus officinalis* L.

En la Figura 6 y Cuadro A4 se muestra la dispersión de datos de BST ( $\text{g planta}^{-1}$ ) obtenida en los tratamientos 1, 2 y 3, con sus respectivas desviaciones estándar.

Se aprecia que los tres tratamientos siguieron un patrón similar de crecimiento.

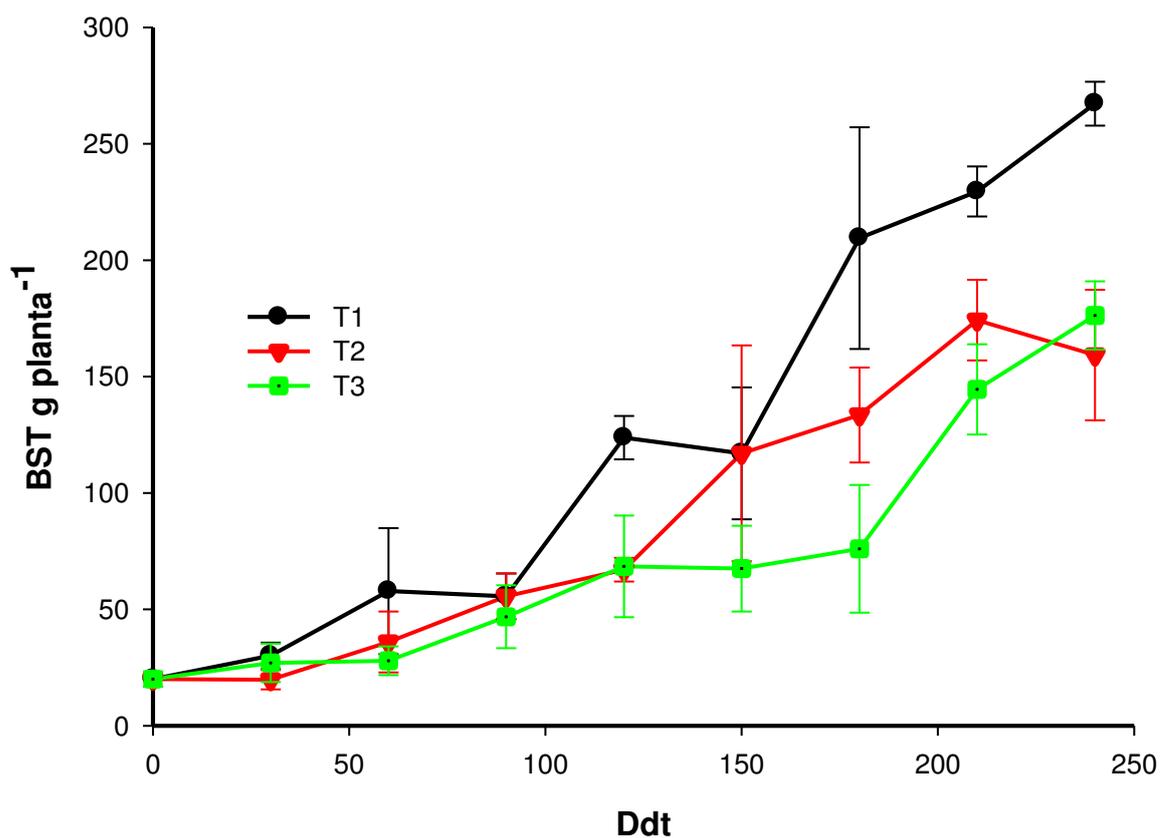


Figura 6. BST ( $\text{g planta}^{-1}$ ), versus Ddt (Días después de trasplante). Las barras verticales en cada punto representan la desviación estándar de la media.

#### **4.1.3. Estimación del modelo de crecimiento en base a BST planta<sup>-1</sup>.**

La relación entre la producción de BST y tiempo de muestreo se ajustaron a modelos lineales ( $P \leq 0.05$ ) como se observa en las Figuras 7, 8 y 9, los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) correspondieron a 0.9380, 0.9405, 0.8503 para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente. Se considera que el uso de ecuaciones de primer grado estiman adecuadamente el crecimiento (Rodas *et al.*, 2012).

El ajuste lineal quizás se debió al periodo corto del ensayo y por tratarse de una especie perenne, esto puede ser explicado por Saldívar (2010), Rodríguez y Leihner (2006) y Bidwell (2002) quienes afirman que generalmente las plantas tienen un patrón de crecimiento que es representado por un modelo sigmoideal, sin embargo, al segmentar el modelo se puede descomponer en modelos lineales. Cabe mencionar también se estimó el modelo sigmoideal, y los valores del coeficiente de determinación fueron similares (datos no presentados) a los estimados en los modelos lineales; por lo cual se decidió emplear este último con la finalidad de facilitar el cálculo de la extracción nutrimental y poder estimar la solución nutritiva hidropónica a emplear como una primer aproximación en el manejo nutrimental en futuros ensayos.

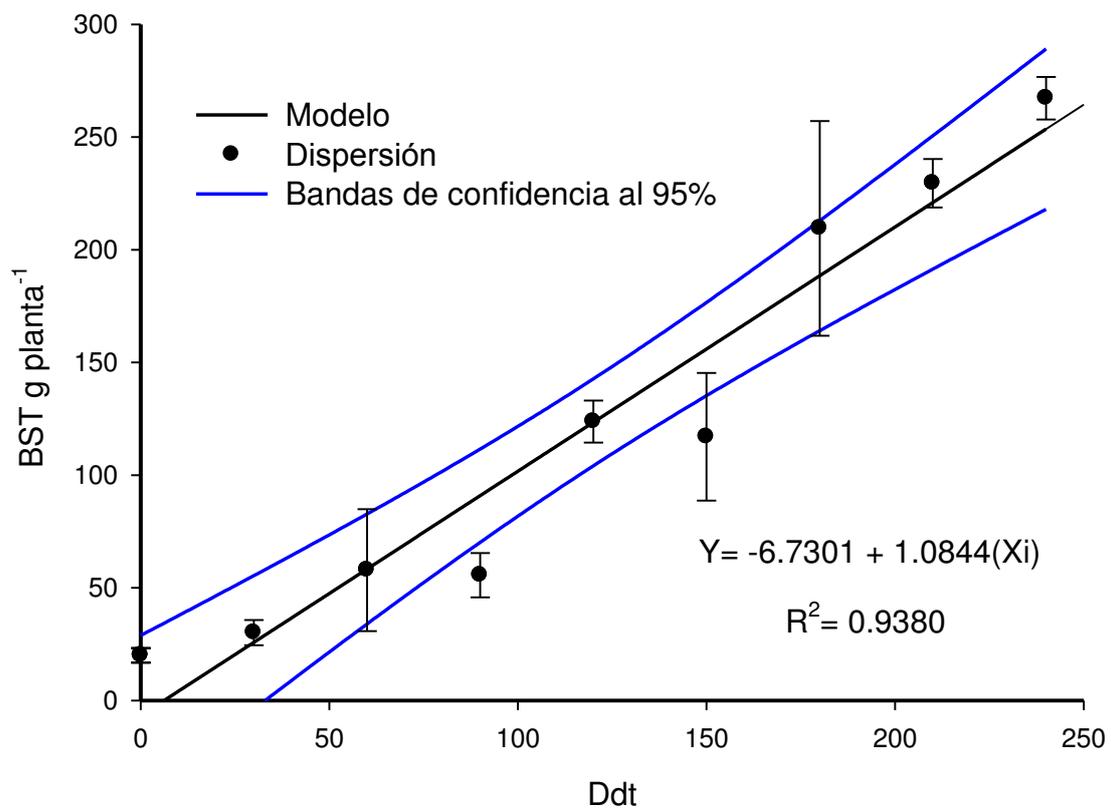


Figura 7. Modelo de ajuste lineal para producción de BST en el Tratamiento 1. BST= Biomasa Seca Total (g); Ddt= Días después de trasplante. Las barras verticales en cada punto representan la desviación estándar de la media.

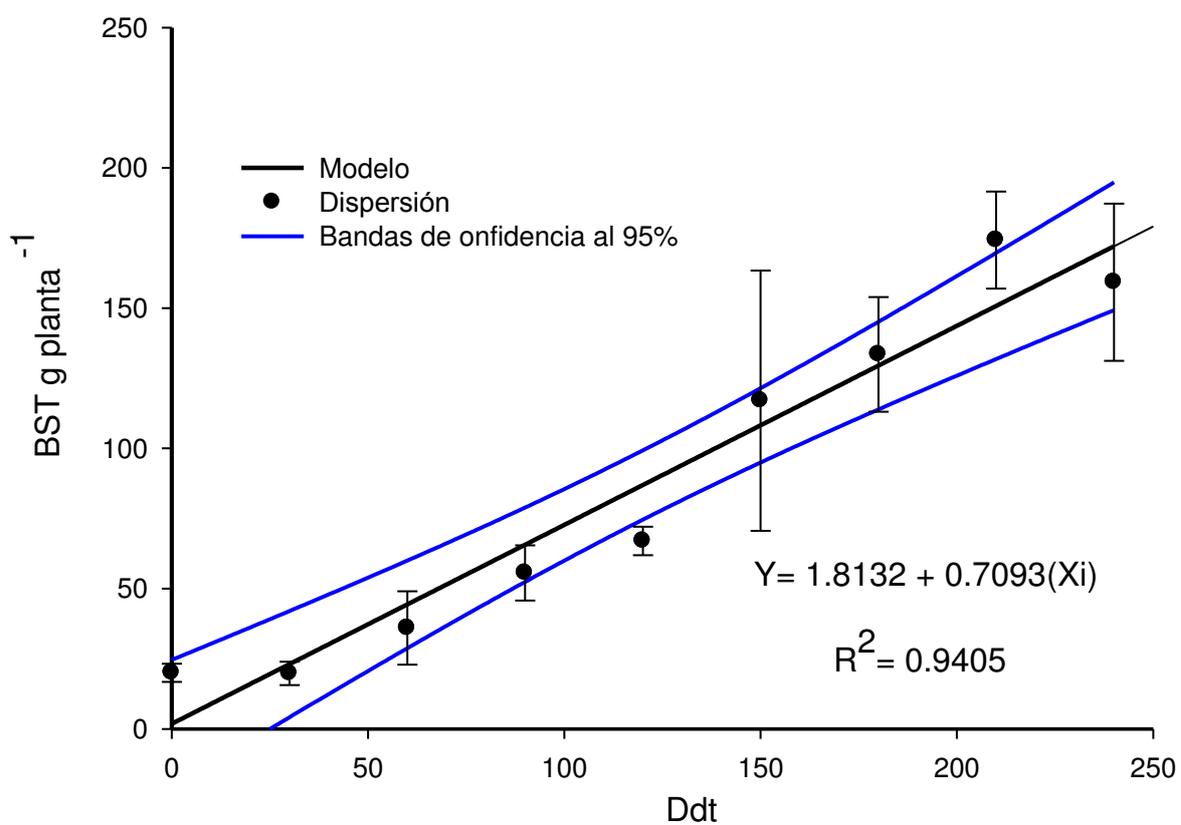


Figura 8. Modelo de ajuste lineal para producción de BST en el Tratamiento 2. BST= Biomasa Seca Total (g); Ddt= Días después de trasplante. Las barras verticales en cada punto representan la desviación estándar de la media.

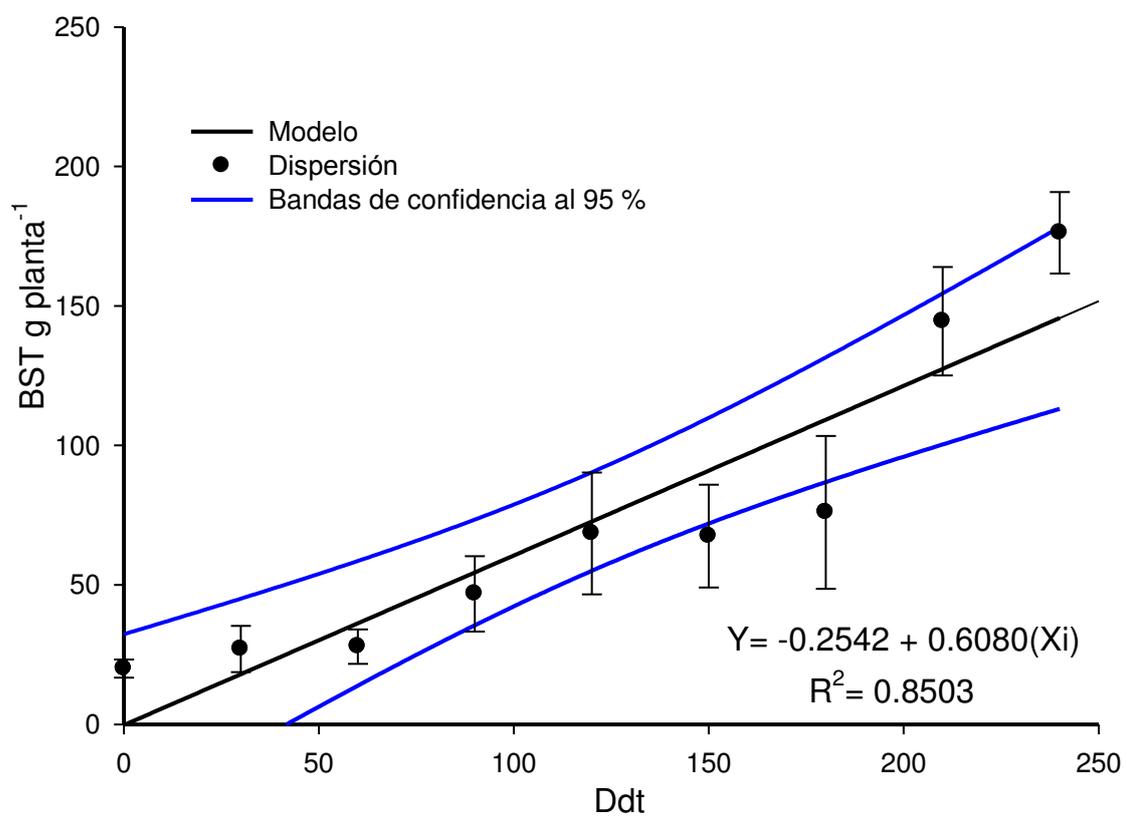


Figura 9. Modelo de ajuste lineal para producción de BST en el Tratamiento 3. BST= Biomasa Seca Total g; Ddt= Días después de trasplante. Las barras verticales en cada punto representan la desviación estándar de la media.

#### 4.1.4. Número de brotes por planta.

El número de brotes mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) en los meses de enero, marzo y mayo (Cuadro 5). El Tratamiento 1 fue superior a los Tratamientos 2 y 3.

Cuadro 5. Comparación de medias para número de brotes por planta (ensayo I).

Tratamiento	Ene.	Mar.	May
1	62.500 a	108.750 a	88.250 a
2	40.500 ab	77.250 b	53.250 b
3	27.500 b	46.500 c	49.250 b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ )

Estos resultados son similares a los expresados por Mishra *et al.* (2008) quienes atribuyen que las plantas que están con un mayor espaciamiento tienen la facilidad de propagarse y crecer más, ya que el nivel de competencia por luz, agua y nutrientes es menor que en espaciamientos más cortos. Así mismo, Pakrasa *et al* (1999) reportaron una mayor producción de BST por planta en el cultivo de romero en suelo, bajo condiciones de riego y fertilización nitrogenada, cuando las plantas estaban a una densidad de 3 plantas  $m^{-2}$  con espaciamientos de 60 x 60 cm; ambos autores coinciden que la producción total por unidad de superficie (y no por planta) es menor con esas densidades de población.

#### 4.1.5. Altura de planta.

La altura de planta no presentó significancia entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ), esto es explicado por Bidwell (2002) y Saldivar (2010) ya que afirman que el crecimiento en ocasiones no está asociado al incremento de tamaño. En la Figura 10 se muestra la tendencia de la altura a través del tiempo. Escalante-Estrada *et al* (2008) reportaron que en plantas de girasol (*Helianthus annuus*), en densidades de 15 plantas  $m^{-2}$  la altura fue mayor en densidades de población de 7.5 plantas  $m^{-2}$ .

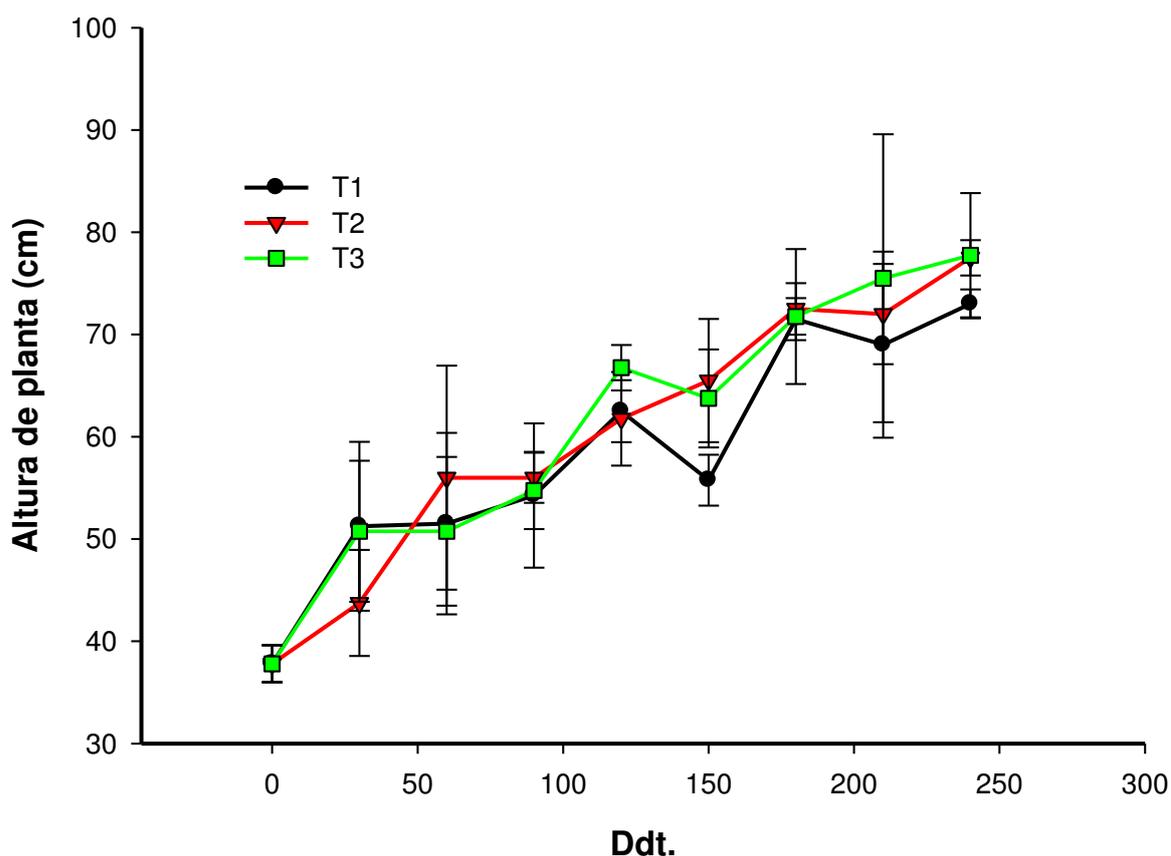


Figura 10. Tendencia de la altura de planta (cm). Las líneas que se originan de los puntos se refieren a las desviaciones estándar de la media. Ddt= días después de trasplante.

#### 4.1.6. Curvas de absorción nutrimental.

En base a la concentración de N, P, K, Fe y Mn en la BST, se estimó la extracción a través del tiempo, los resultados se muestran en los Cuadros A9 al A13. Para ello se empleó el modelo lineal.

##### 4.1.6.1. Estimación de la curvas de extracción de nitrógeno.

En las Figuras 11,12 y 13 se muestran las curvas de extracción por planta por tratamiento y el modelo estimado.

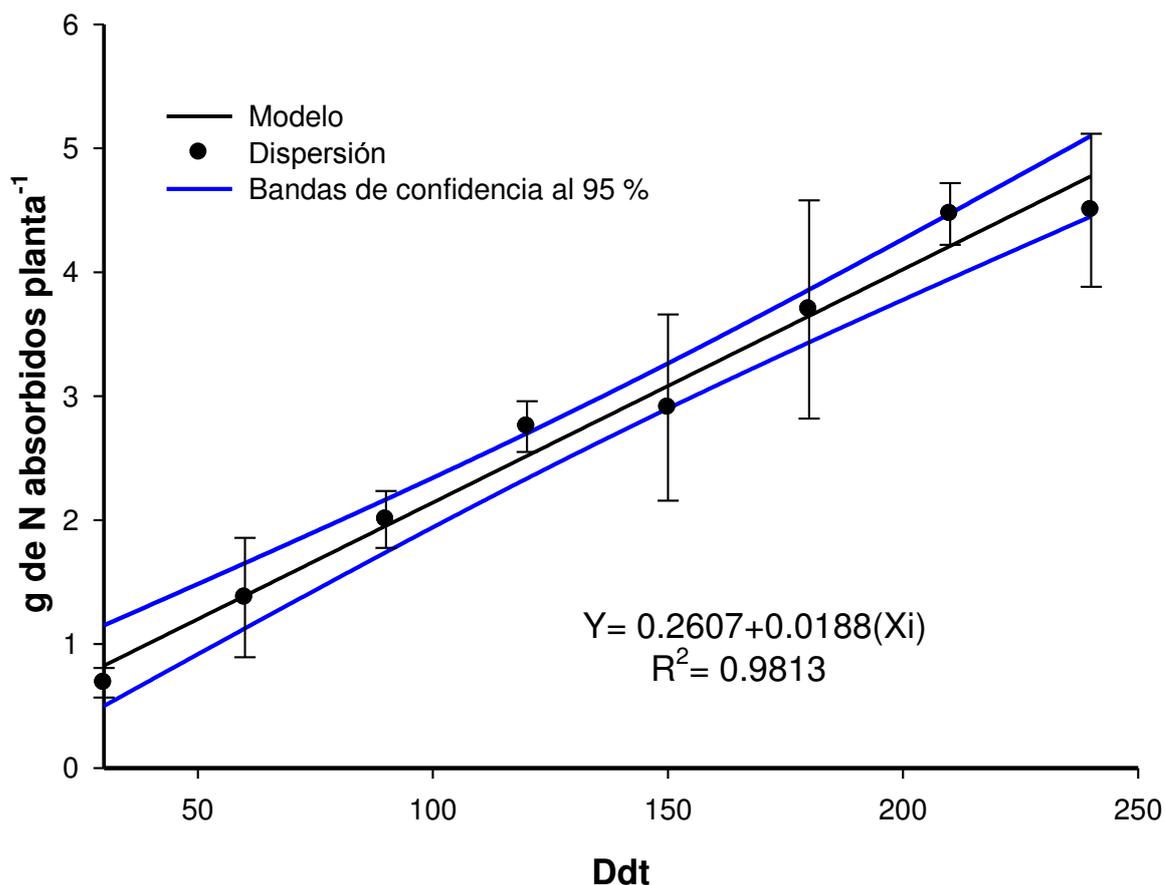


Figura 11. Curva de extracción de N (g planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento1; las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= Días después de Trasplante.

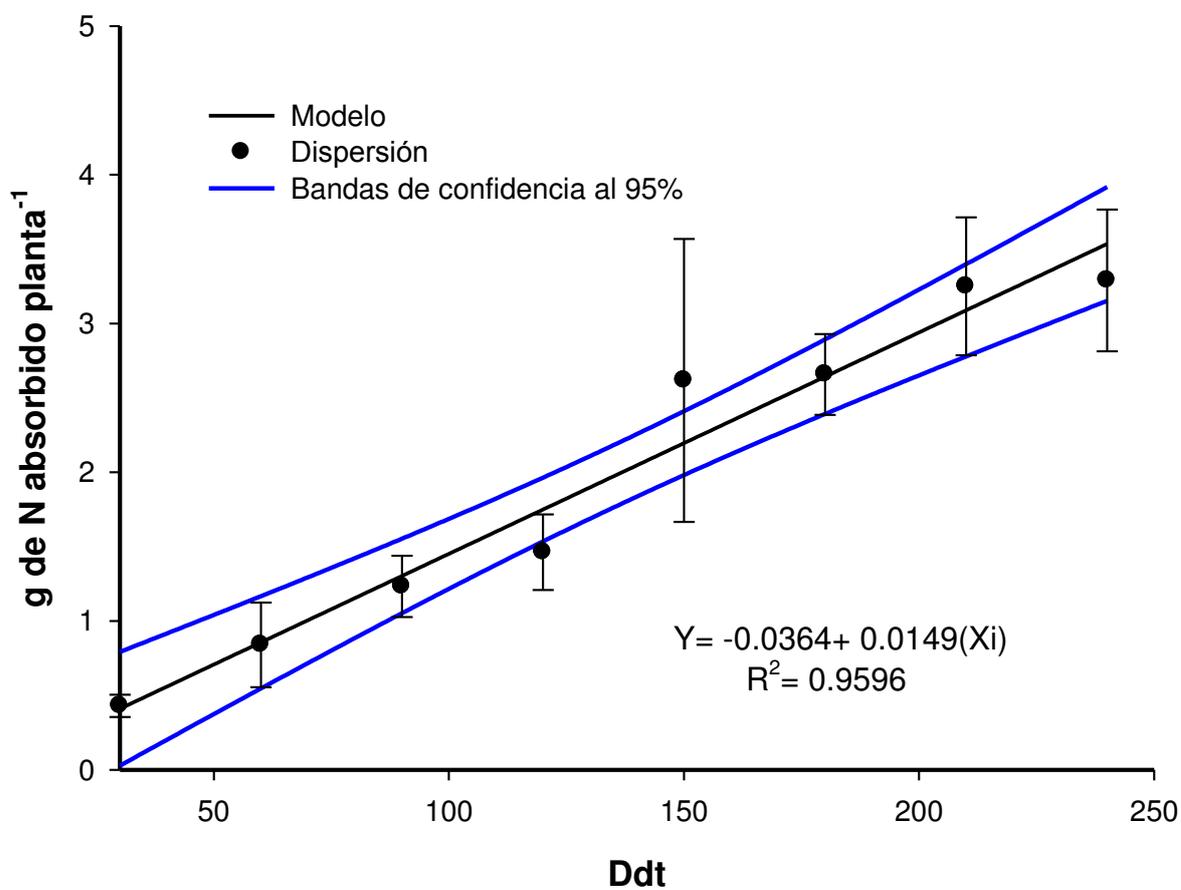


Figura 12. Curva de extracción de N en (g planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 2; las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

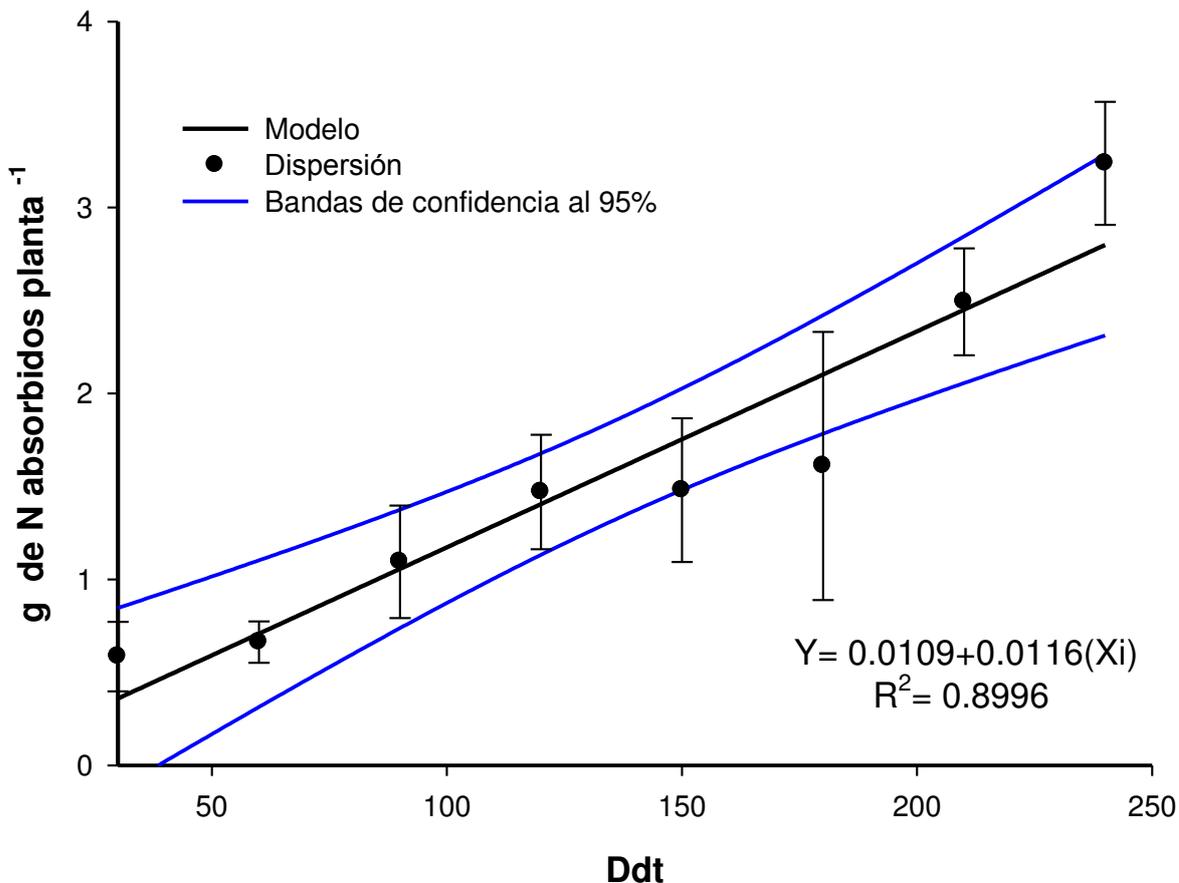


Figura 13. Curva de extracción de N (g planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 3 las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

La extracción total de nitrógeno (g m<sup>-2</sup>) mostró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), (Cuadro A14); el tratamiento 3 fue el que presentó la mayor extracción con 77.2 g m<sup>-2</sup> (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de medias para nitrógeno extraído (g m<sup>-2</sup>).

Tratamiento	Media
3	77.72a
2	52.57b
1	36.02c

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ )

#### 4.1.6.2. Estimación de la curvas de extracción de fósforo.

El análisis de varianza mostró significancia entre tratamientos (Cuadro A15) para el fósforo total extraído, así mismo en el Cuadro 7 muestra que el tratamiento 3 es superior a los tratamientos 1 y 2 que estadísticamente son iguales.

Cuadro 7. Comparación de medias para fósforo extraído ( $\text{g m}^{-2}$ ).

Tratamiento	Media
3	8.964a
2	5.546b
1	4.666b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ )

En las Figuras 14,15 y 16 se presentan las curvas de extracción de P extraído por planta por tratamiento. Así mismo se muestran las ecuaciones de ajuste y los coeficientes de determinación por tratamiento.

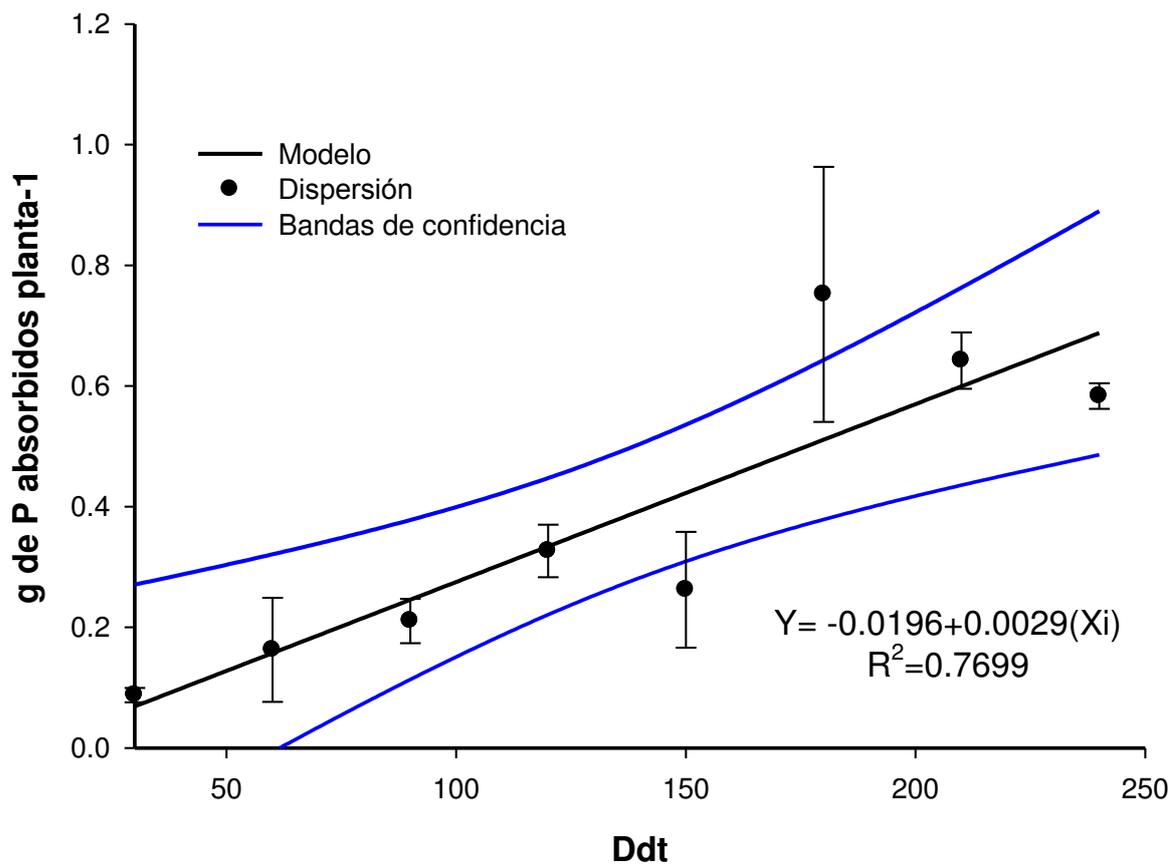


Figura 14. Curva de extracción de P en (g planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 1 las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

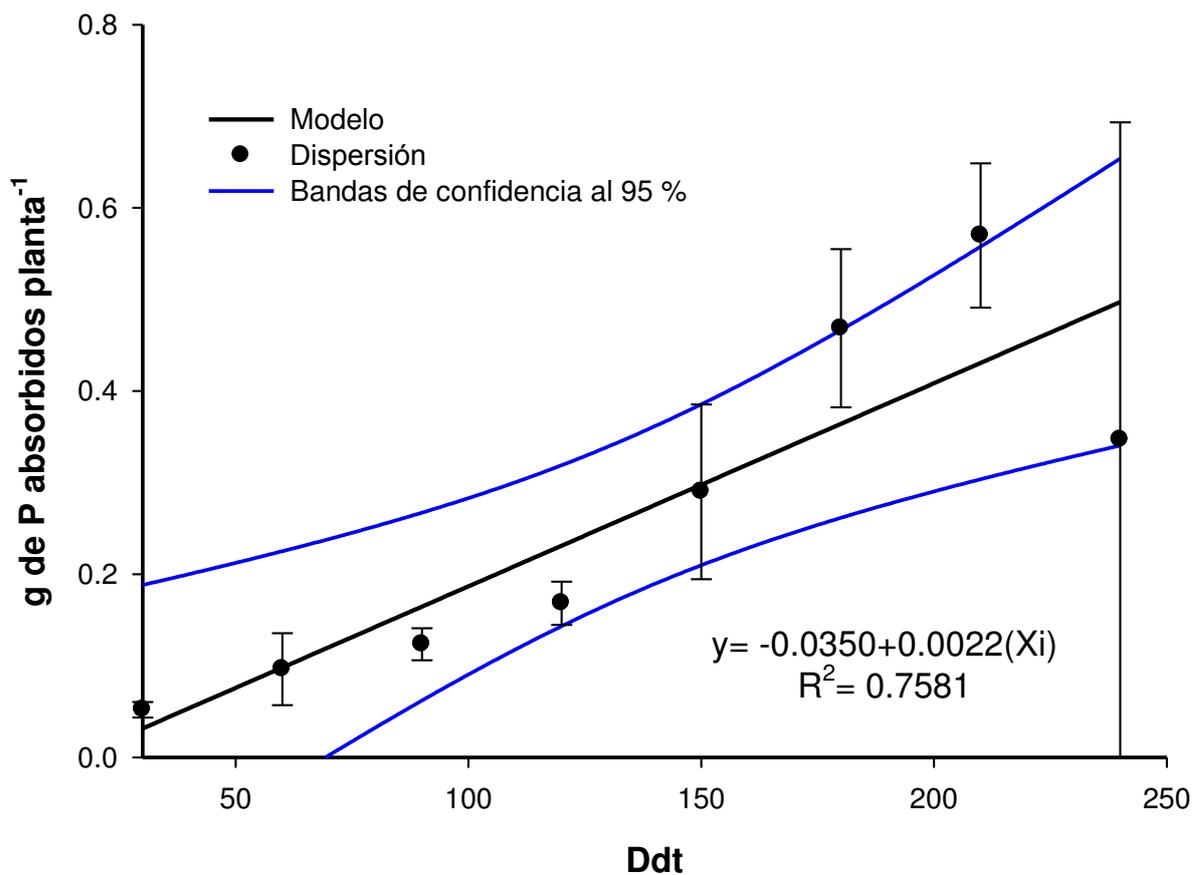


Figura 15. Curva de extracción de P (g planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 2, las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

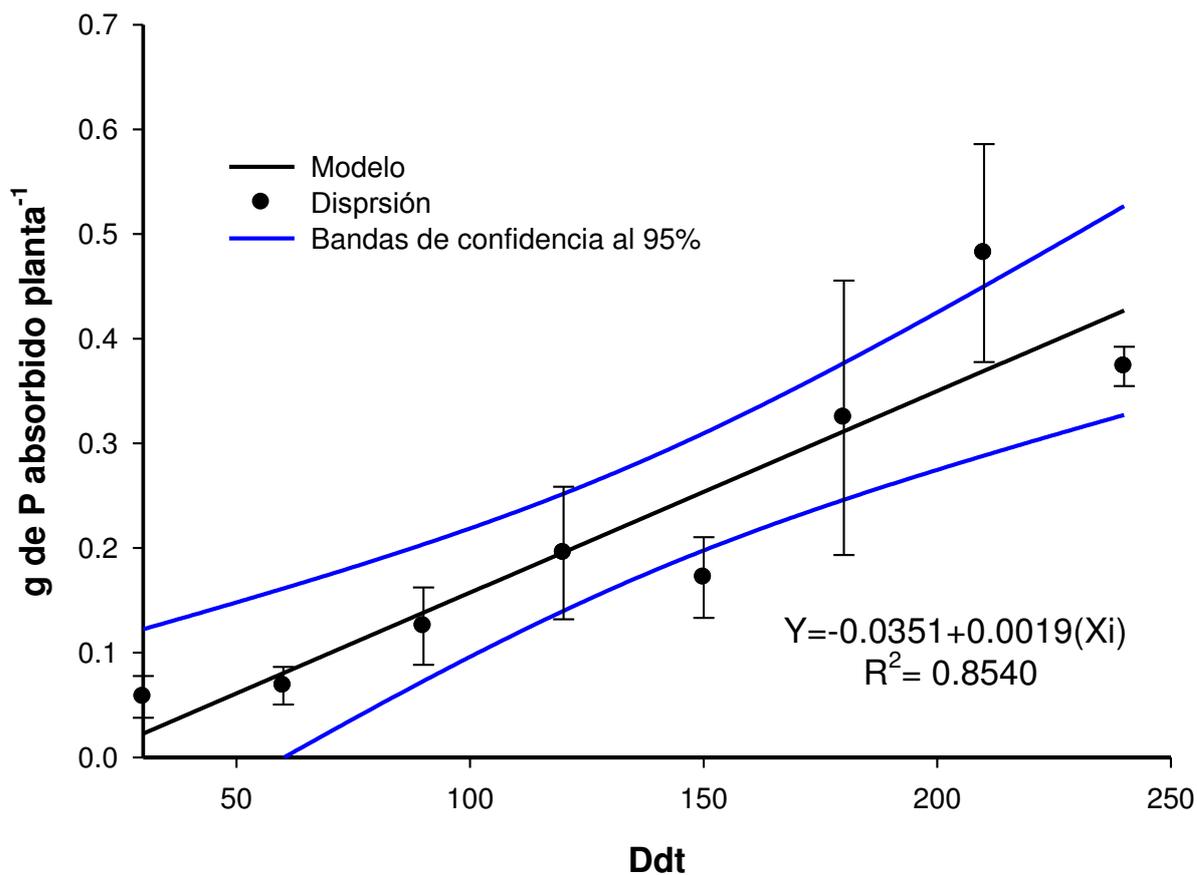


Figura 16. Curva de extracción de P (g planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 3 las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

#### 4.1.6.3. Estimación de la curvas de extracción de potasio por unidad de superficie (m<sup>2</sup>)

El análisis de varianza mostró significancia entre tratamientos (Cuadro A16) para el Potasio total extraído, así mismo en el Cuadro 8 se muestra que el tratamiento 3 fue superior a los tratamientos 1 y 2 ya que estos fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 8. Comparación de medias para potasio extraído (g m<sup>-2</sup>).

Tratamiento	Media
3	70.07a
2	42.03b
1	35.36b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey P≤0.05)

En las Figuras 17, 18 y 19 se muestran las curvas de extracción de K extraído por planta por tratamiento. Así mismo se presentan las ecuaciones de ajuste y coeficientes de determinación por tratamiento.

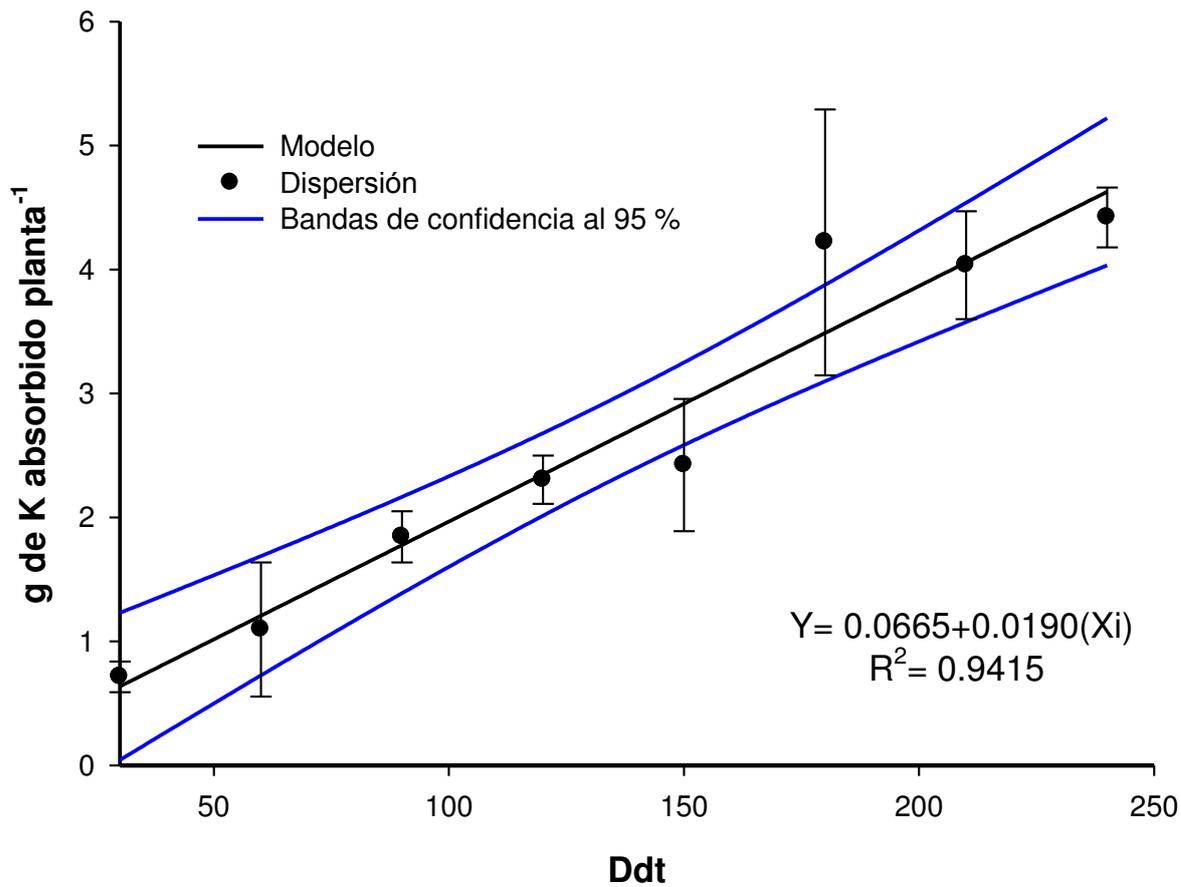


Figura 17. Curva de extracción de K (g planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 1. Las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

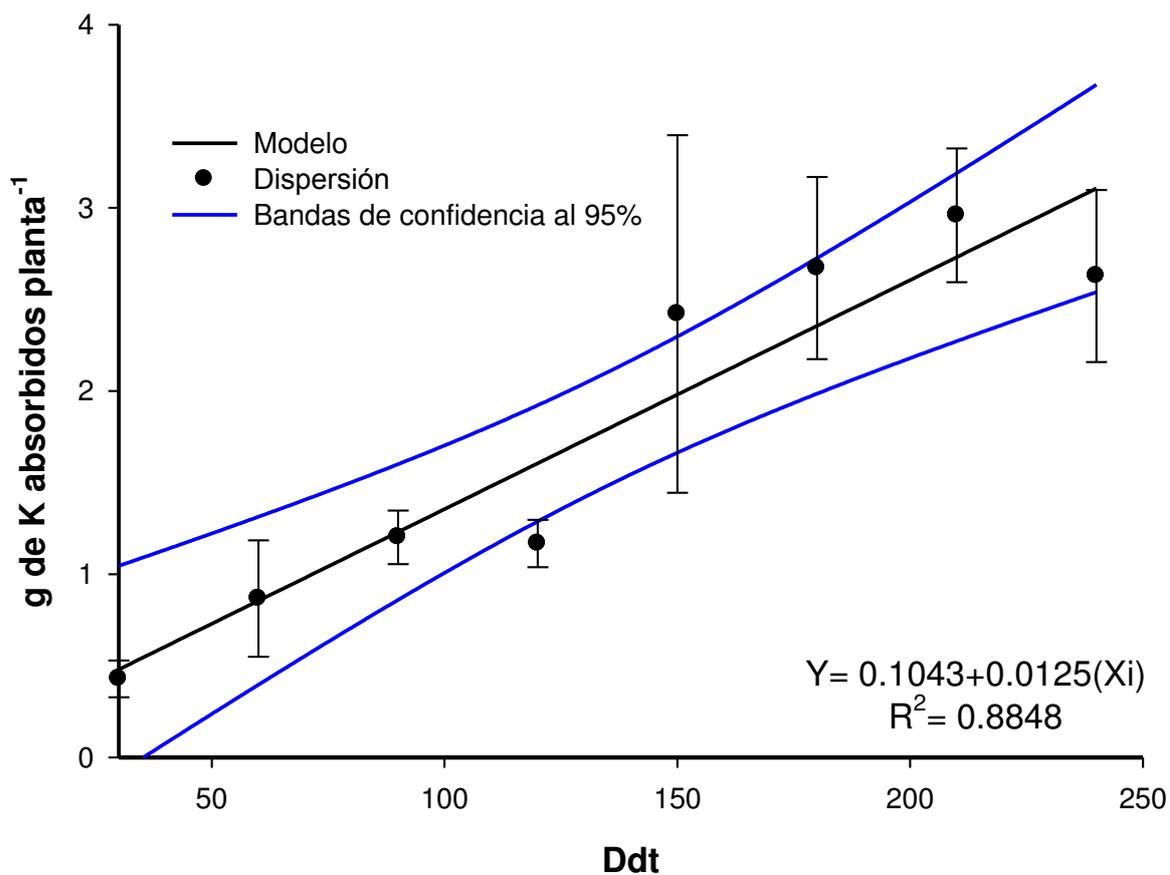


Figura 18. Curva de extracción de K (g planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 2. Las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

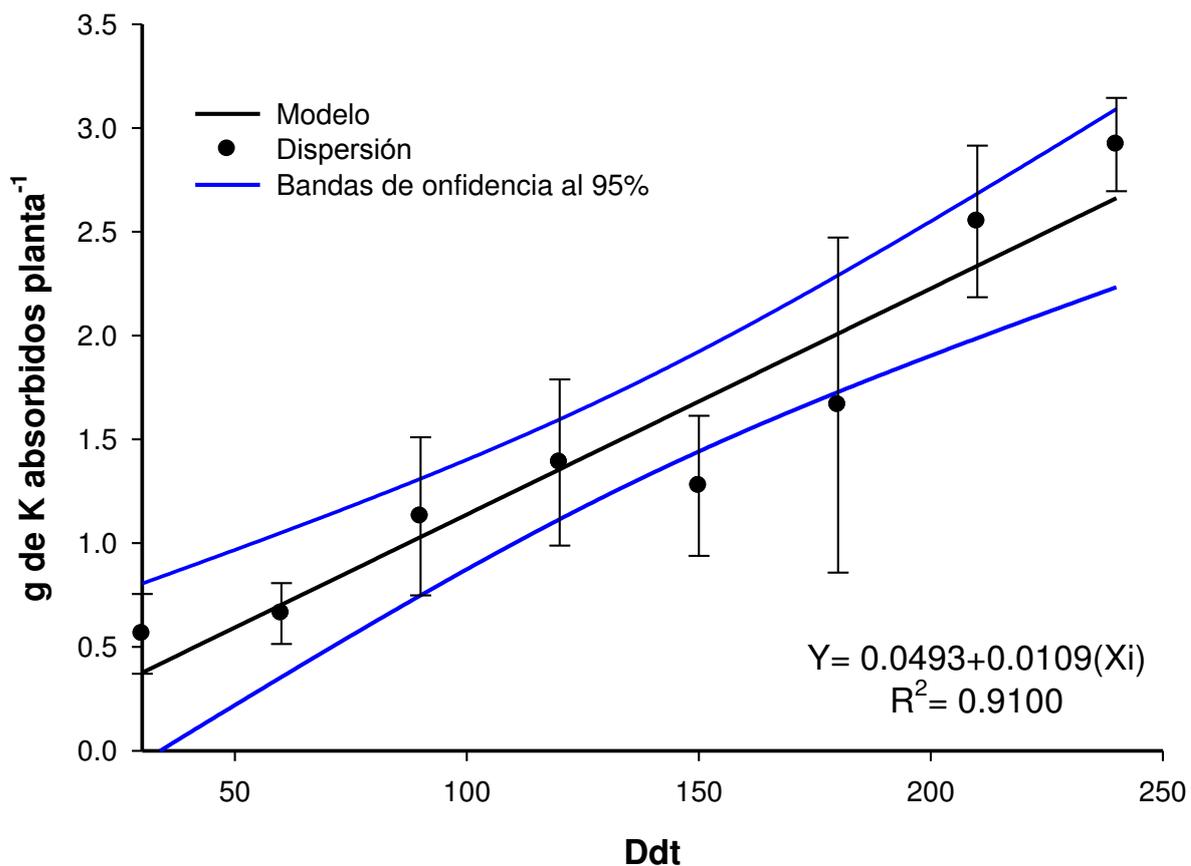


Figura 19. Curva de extracción de K (g planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 3. Las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

#### 4.1.6.4. Estimación de la curvas de extracción de fierro.

El análisis de varianza mostró significancia entre tratamientos (Cuadro A17) para el Fierro total extraído, así mismo en el Cuadro 9 muestra que el tratamiento 3 es superior a los tratamientos 1 y 2 que estadísticamente son iguales.

Cuadro 9. Comparación de medias para fierro extraído ( $\text{mg m}^{-2}$ ).

Tratamiento	Media.
3	1523.905a
2	887.475b
1	758.395b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ )

Las Figuras 20, 21 y 22 nos muestran las curvas de extracción de Fe extraído por planta por tratamiento. Así mismo se muestran las ecuaciones de predicción y coeficientes de determinación por tratamiento.

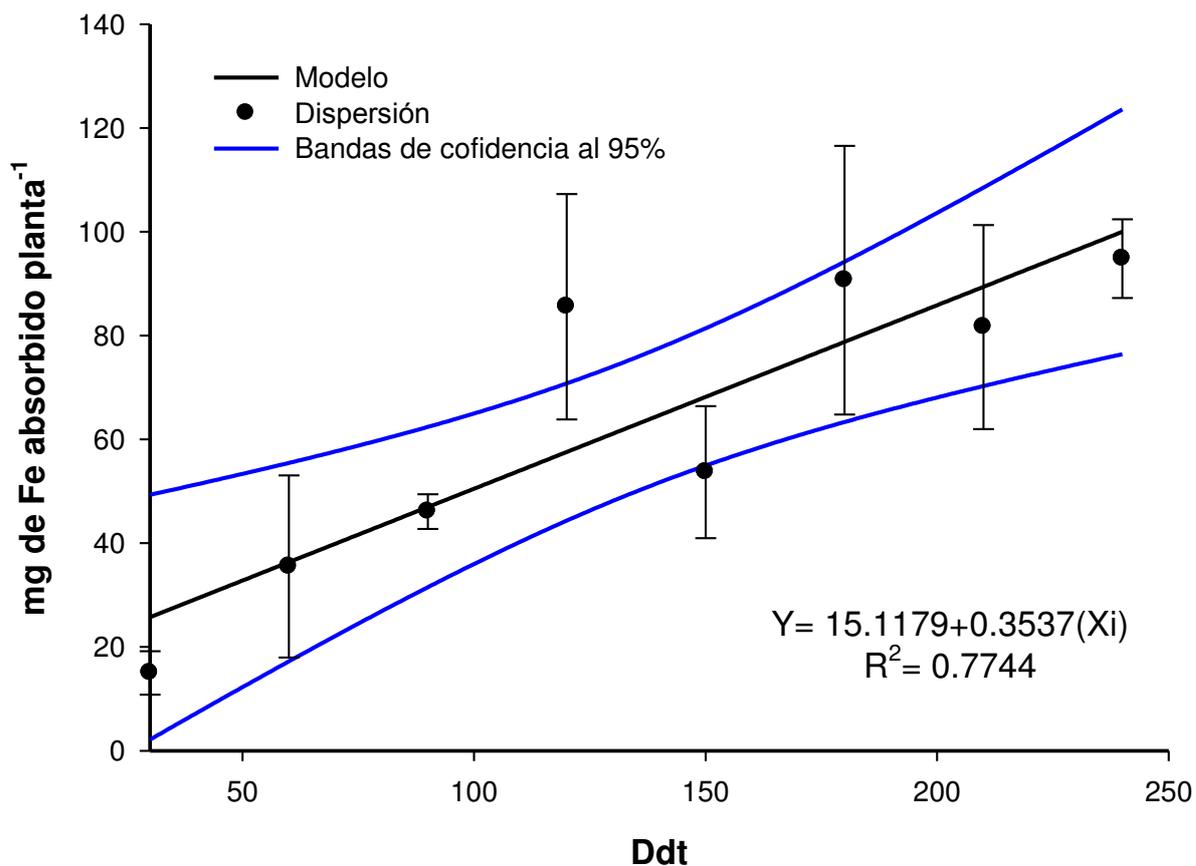


Figura 20. Curva de extracción de Fe (mg planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 1. Las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

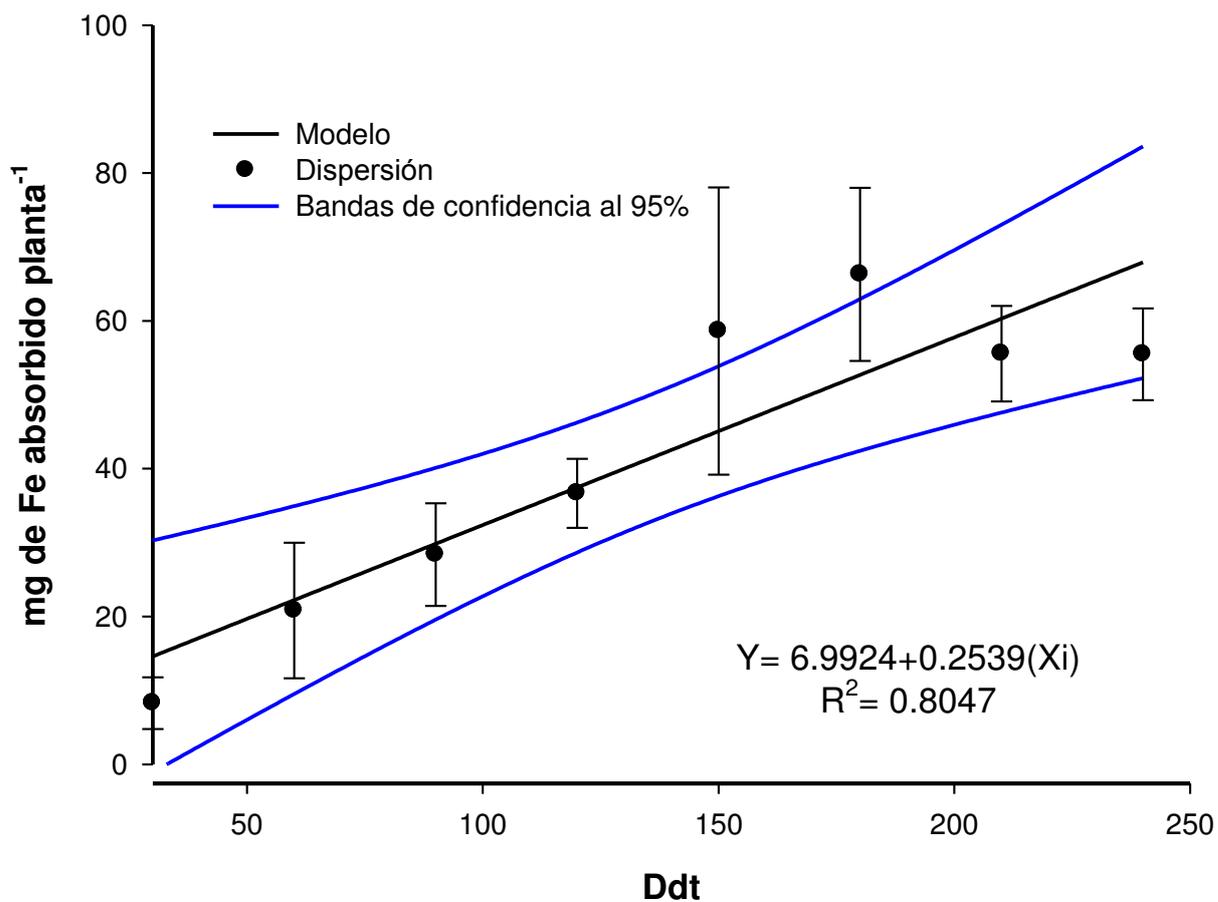


Figura 21. Curva de extracción de Fe (mg planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 2. Las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

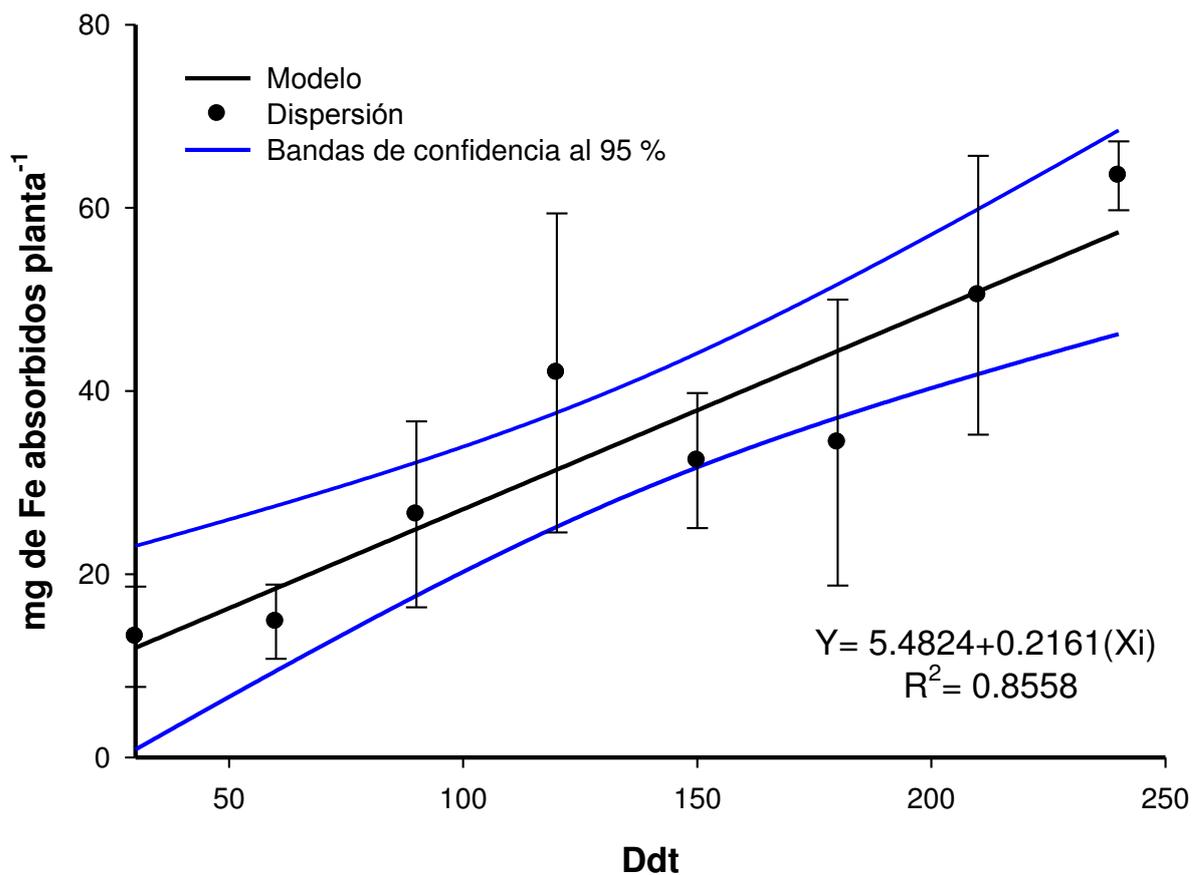


Figura 22. Curva de extracción de Fe (mg planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 3. Las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

#### 4.1.6.5. Estimación de las curvas de extracción de Manganeso.

El análisis de varianza mostró significancia entre tratamientos (Cuadro A18) para el manganeso total extraído, así mismo en el Cuadro 10 muestra que el tratamiento 3 es superior a los tratamientos 1 y 2 que estadísticamente son iguales.

Cuadro 10. Comparación de medias para manganeso extraído ( $\text{mg m}^{-2}$ ).

Tratamiento	Media.
3	311.138a
2	183.365b
1	143.698b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

Las Figuras 23, 24 y 25 muestran las curvas de extracción de Mn por planta por tratamiento, y los modelos de ajuste.

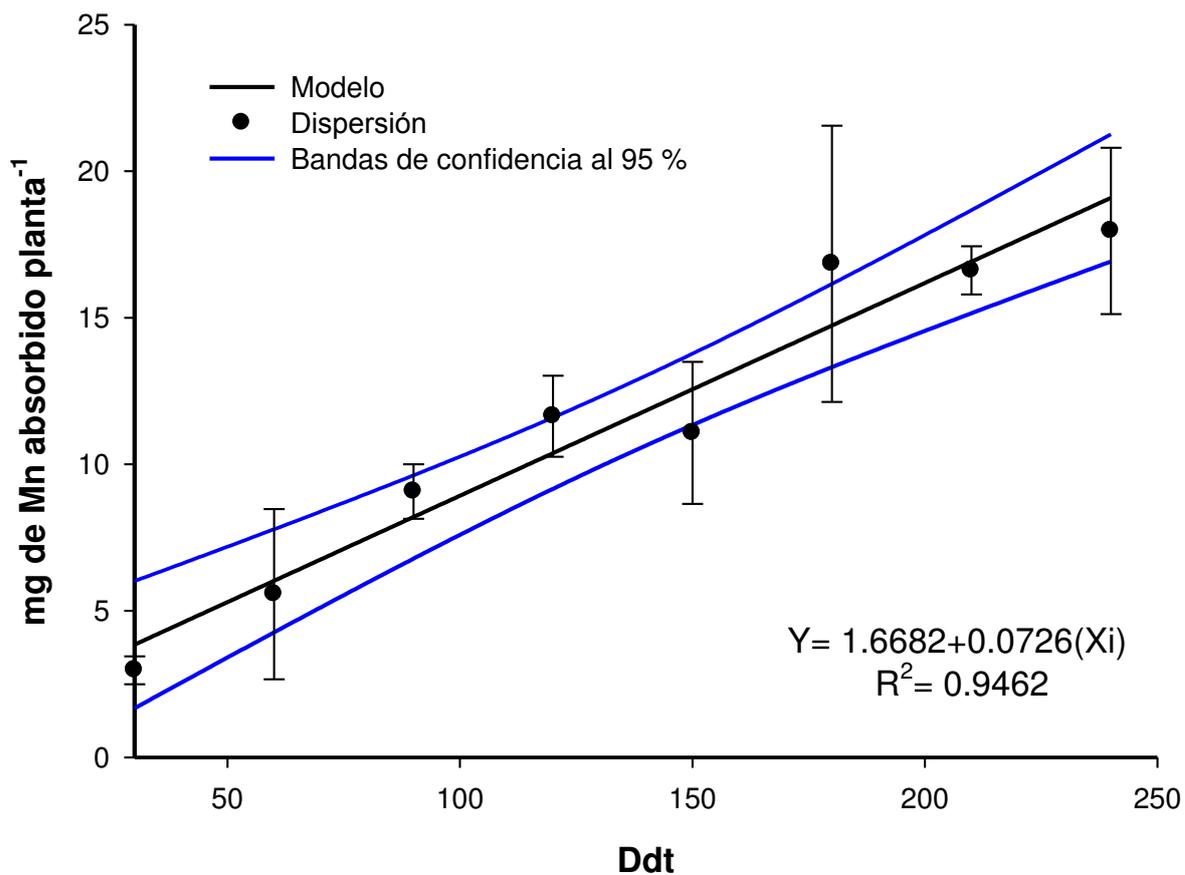


Figura 23. Curva de extracción de Mn (mg planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 1. Las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

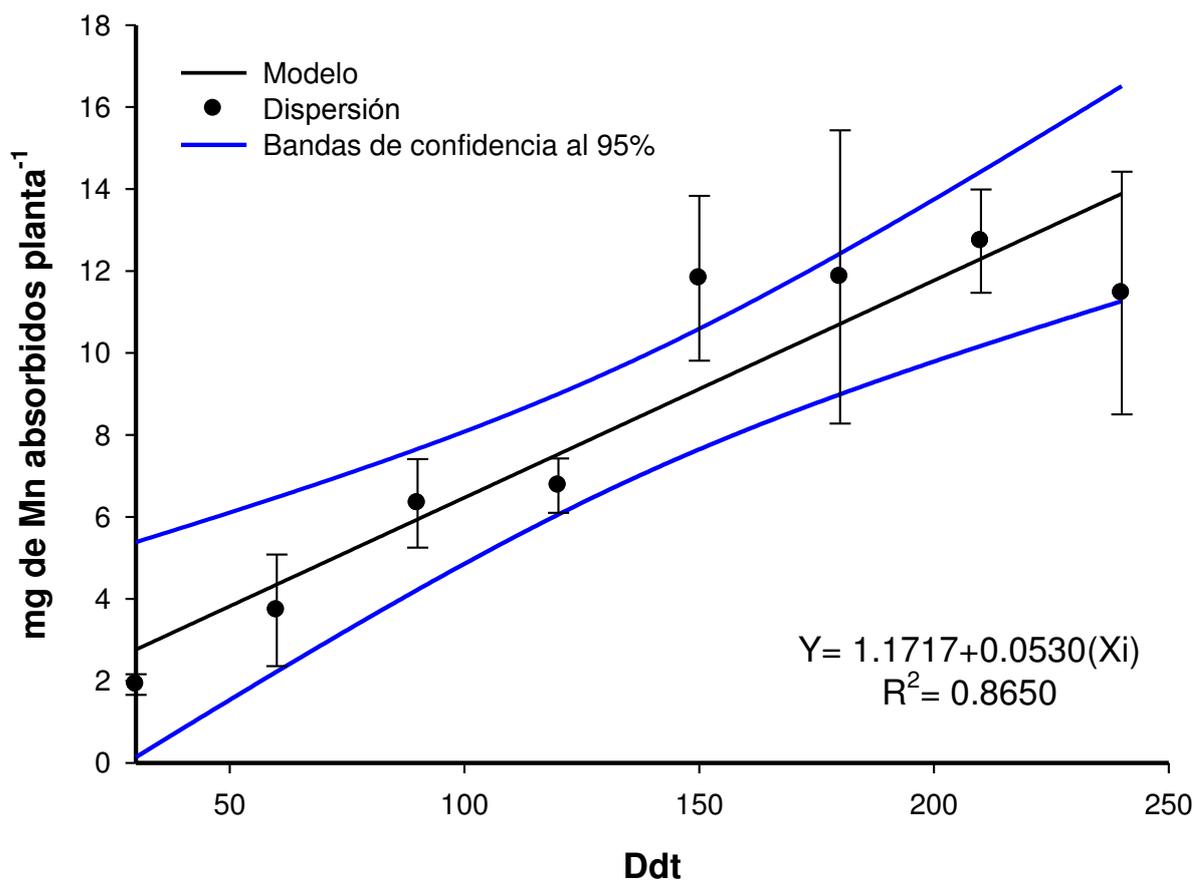


Figura 24. Curva de extracción de Mn (mg planta<sup>-1</sup>) para el tratamiento 2. Las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

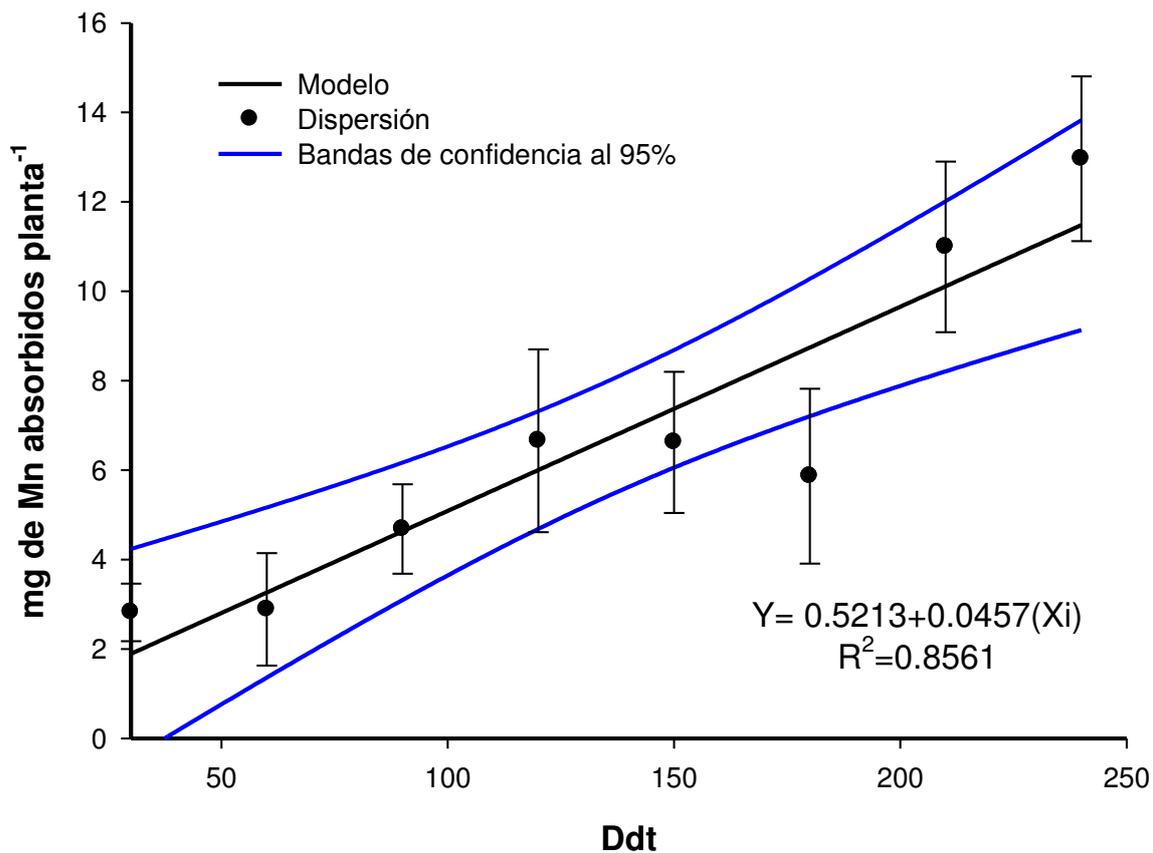


Figura 25. Curva de extracción de Mn (mg planta<sup>-1</sup>). Tratamiento 3. Las líneas que se originan en los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

## 4.2. ENSAYO II.

### 4.2.1. Producción de Biomasa Seca Total BST planta<sup>-1</sup> (aérea + raíz).

En el Cuadro 11 se muestra la comparación de medias (Tukey  $P \leq 0.05$ ) de producción de BST planta<sup>-1</sup>, y se puede apreciar que el tratamiento 1 fue superior estadísticamente al 2 y 3. Cabe señalar que cuando se evalúa por unidad de superficie el tratamiento 3 y 2 son superiores en la producción de BST (Cuadro 12); estos resultados presentaron la misma tendencia que los observados en el ensayo 1 y coinciden con lo reportado por Misrah *et al* (2008) y Pakrasa *et al* (1999) en el cultivo de romero, mientras que Escalante *et al.* (2008), Cruz *et al.* (2005) y Vega *et al.* (2001) en estudios de densidad de población en otras especies han llegado a la conclusión que al incrementar la densidad de población se disminuye la producción por individuo, pero se incrementa por unidad de superficie.

Cuadro 11. Comparación de medias para producción de BST planta<sup>-1</sup> ensayo II.

Tratamiento	Media	( $P \leq 0.05$ )
1	253.090	a
2	167.556	b
3	154.134	b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ )

Cuadro 12. Comparación de medias para producción de BST m<sup>-2</sup> ensayo II.

Tratamiento	Media	( $P \leq 0.05$ )
3	2783.033	a
2	2712.913	a
1	1473.034	b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ )

### 6.2.2 Altura de planta.

Con respecto a la altura de planta no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro A24), en la Figura 26 se muestra la tendencia entre los tratamientos y el modelo lineal que puede estimar la altura en este cultivo bajo estas condiciones.

Estos resultados son parecidos a los que se obtuvieron en el ensayo 1. Por lo tanto la altura en ocasiones no guarda relación con el crecimiento (acumulación de BST). (Saldívar, 2010), (Bidwell, 2002).

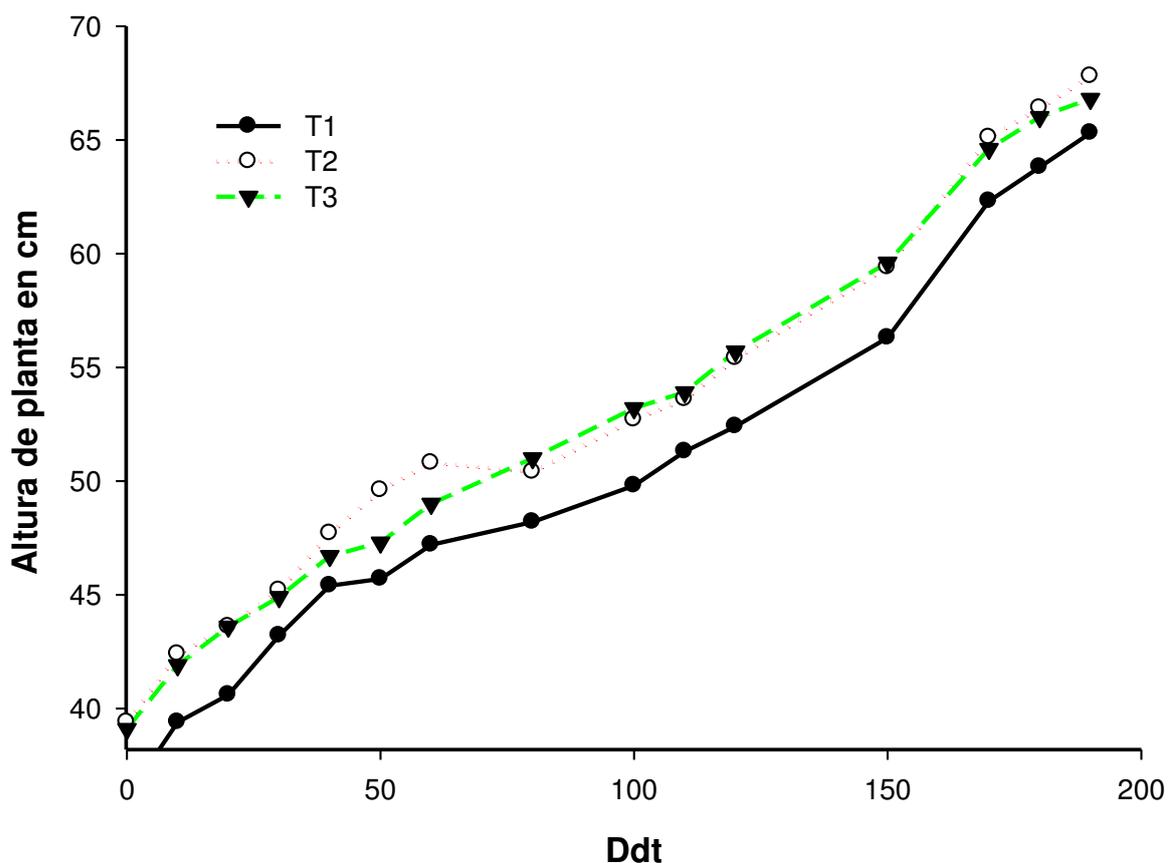


Figura 26. Tendencia de altura de planta (cm) en los tres tratamientos, (ensayo II). Ddt= días después de trasplante.

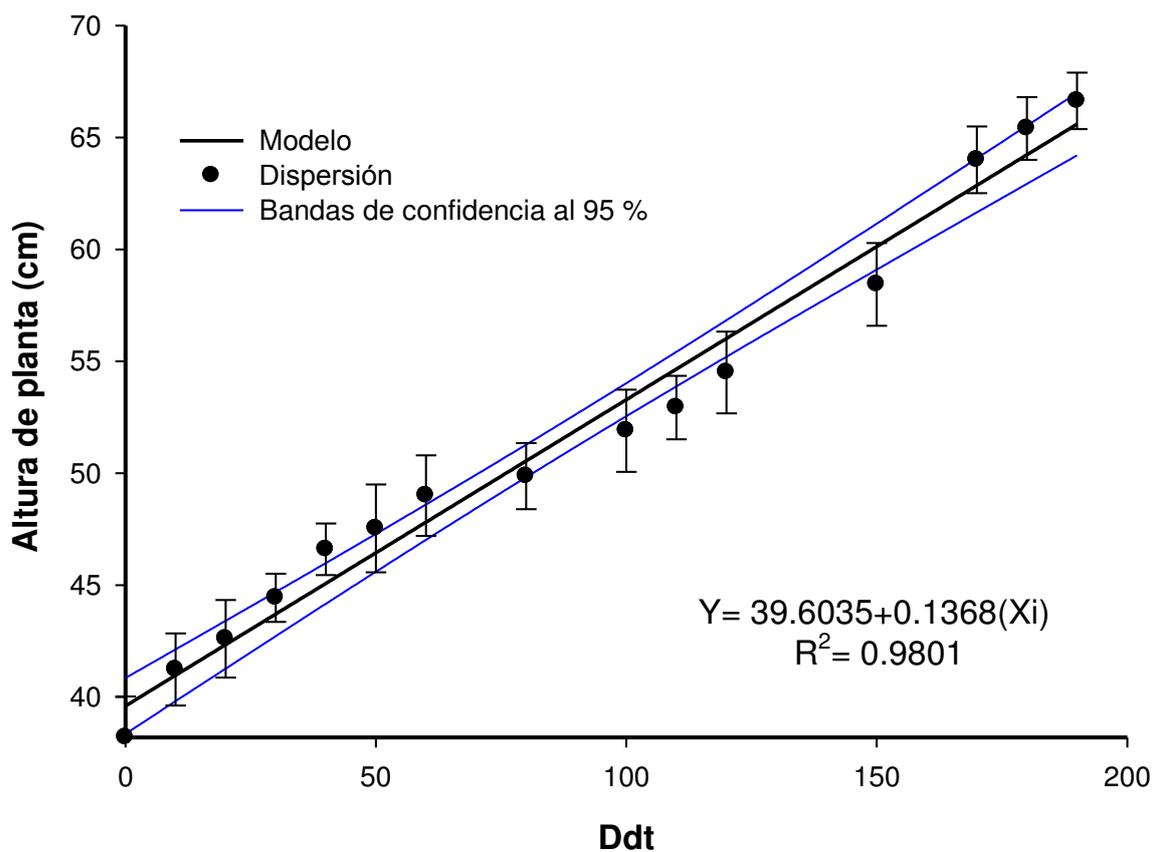


Figura 27. Modelo lineal y ecuación de predicción de altura de planta (ensayo II), las líneas verticales que se originan de los puntos se refieren a la desviación estándar, Ddt= días después de trasplante.

#### **4.3. SOLUCIÓN NUTRITIVA HIDROPÓNICA PRELIMINAR PARA *Rosmarinus officinalis* L.**

La Solución Nutritiva Hidropónica preliminar para este cultivo se muestra en el Cuadro 13. Con respecto a la totalidad de nitrógeno adicionado en la SNH solo el 9.9 % fue absorbido. Así mismo se absorbió el 5.5% de fósforo y el 7.4% de potasio. El fierro y manganeso fueron los elementos que tuvieron una mayor absorción en base a la cantidad adicionada en la SNH siendo de 88% y 33% respectivamente, las cantidades se presentan el Cuadro 14.

Cuadro 13. Estimación de la Solución Nutritiva Hidropónica considerando la extracción nutrimental durante el ensayo I.

Días después de trasplante	No. de renovación cada 10 días	Nitrógeno (g)	Fósforo (g)	Potasio (g)	Fierro (mg)	Manganeso (mg)
31-40	4 <sup>†</sup>	9.30	1.28	11.80	196.00	8.00
41-50	5	9.30	1.28	11.80	196.00	8.00
51-60	6	9.30	1.28	11.80	196.00	8.00
61-70	7	51.90	6.84	56.14	1406.00	216.00
71-80	8	51.90	6.84	56.14	1406.00	216.00
81-90	9	51.90	6.84	56.14	1406.00	216.00
91-100	10	45.00	8.38	31.12	1854.00	236.00
101-110	11	45.00	8.38	31.12	1854.00	236.00
111-120	12	45.00	8.38	31.12	1854.00	236.00
121-130	13	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00
131-140	14	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00
141-150	15	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00
151-160	16	15.60	18.32	46.62	236.00	0.00
161-170	17	15.60	18.32	46.62	236.00	0.00
171-180	18	15.60	18.32	46.62	236.00	0.00
181-190	19	105.90	18.88	106.18	1930.00	616.00
191-200	20	105.90	18.88	106.18	1930.00	616.00
201-210	21	105.90	18.88	106.18	1930.00	616.00
211-220	22	89.4	0.00	44.42	1564.00	236.00
221-230	23	89.4	0.00	44.42	1564.00	236.00
231-240	24	89.4	0.00	44.42	1564.00	236.00

<sup>†</sup> Número de renovación inicia en la 4<sup>a</sup> (40 días después de trasplante)

Cuadro 14. Cantidad de nutrimentos aplicados en el ensayo (8 meses) en relación a los nutrientes extraídos por el cultivo.

Elemento	Adicionados	(g) totales	Extraídos
Nitrógeno	9600.00		954.90
Fósforo	2880.00		161.10
Potasio	12000.00		888.84
		(mg) totales	
Fierro	24000.00		21158.00
Manganeso	12000.00		3936.00

## 5. CONCLUSIONES.

La mayor producción de Biomasa Seca Total por planta al final en el ensayo II se presentó en el tratamiento de 8 plantas  $m^2$  y correspondió a 253.090 g ( $P \leq 0.05$ ).

La mayor producción de Biomasa Seca Total por  $m^2$  al final en el ensayo II se presentó en el tratamiento de 24 plantas  $m^2$  y correspondió a 2783.033 g ( $P \leq 0.05$ ).

La producción de Biomasa Seca Total por unidad de superficie se incrementó al aumentar la densidad de población, por el contrario la producción de Biomasa Seca Total por planta disminuyó al aumentar la densidad de población.

La producción de Biomasa Seca Total por planta se ajustó a modelos lineales en los tratamientos 1, 2 y 3 con valores de  $R^2$  de 0.9380, 0.9405 y 0.8503 respectivamente.

La altura de planta fue no significativa ( $P \leq 0.05$ ) para las diferentes densidades de población, a los 240 días del trasplante los valores oscilaron entre 65.30 cm y 67.80 cm.

El número de brotes por planta por mes fue mayor y significativo ( $P \leq 0.05$ ) en la densidad de población de 8 plantas  $m^{-2}$ .

Para el último mes de muestreo del cultivo, la concentración ( $mg\ kg^{-1}$ ) por planta en todos los nutrimentos fue no significativo ( $P \leq 0.05$ ).

Existe una diferencia muy amplia al comparar la cantidad de nutrimentos aplicados durante el ciclo del experimento en relación a la cantidad de nutrimentos absorbidos por el cultivo (Cuadro 14).

Las cantidades de nutrimentos absorbidos por el cultivo en el tratamiento 3 (banca de 15 m<sup>2</sup>) correspondieron a: 954.90 g de N, 161.10 g de P, 888.84 g de K, 21158 mg de Fe y 3936.00 mg de Mn.

## 6. LITERATURA CITADA.

- Aguilar G., L., J. A. Escalante E., M.T. Rodríguez y L. Fucikovsky Z. 2002. Materia seca, rendimiento y corriente geofitoeléctrica en girasol. *Terra* 20: 277-284.
- Almaguer-Sierra, P., Rodríguez-Fuentes, H., Vidales-Contreras, J.A., Valdez-Cepeda, R.D., Aranda-Ruiz, J., Rodríguez-Absi, J., López-Jiménez, M.A. y Rodríguez-Ortíz, J.C. 2009. Biomass Accumulation in *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill Plants Grown in a Closed Hydroponic System. *Acta Hort. (ISHS)*. 843:35-41. ISSN: 0567-7572. 01 october 2009.
- Anónimo. 2004. Hierbas y plantas curativas. Editorial Diana. Impreso en España. pp. 83-84.
- Armitage A. M., 1997. Herbaceous perennial plants. 2<sup>nd</sup> ed. Stipes. Champagne, IL.
- Bidwell, R. G. S. 2002. Fisiología Vegetal. AGT Editor. México, D.F. pp. 409-438.
- Bozin B., N. Mimica-Dukic, I. Samojlik, and E. Jovin. 2007. Antimicrobial and Antioxidant Properties of Rosemary and Sage (*Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia officinalis* L., Lamiaceae) Essential Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55: 7879-7885.
- Calderón R. G, J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica de México, Instituto de Ecología A.C. pp. 624-625.
- Chipault J.R., G.R. Mizuno, and W.O. Lundberg. 1955. Antioxidant properties of spices in oil in-water emulsions. *Food Research*. 20:443-448.
- Chipault J.R., G.R. Mizuno, J.M. Hawkins, and W.O. Lundberg. 1952. The antioxidant properties of natural spices. *Food Research*. 14:187-190.
- Chipault, J.R., G.R. Mizuno, and W.O. Lundberg. 1956. The antioxidant properties of spices in foods. *Food Technology*. 10:209-211.

- Cross, D.E., R.M. Mcdevit., K. Hillman., and T. Acamovic. 2007. The effect of herbs and their associated essentials oils on performance, dietary digestibility and gut microflora in chickens from 7 to 28 days of age. *British Poultry Science*. 48: 496-506.
- Cruz-Huerta N., F. Sánchez-Castillo, J. Ortíz-Cereceres y M. del C. Mendoza-Castillo. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y periodo de cosecha en chile pimiento. *Agricultura Técnica en México*. 35: 73-80.
- Dirr M. A., 1990. *Manual of woody landscape plants*. 4th ed. Stipes. Champagne, IL. s.s.p
- Escalante E., J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra*. 17: 149-157.
- Escalante-Estrada L. E., Y. I. Escalante-Estrada, C. Linzaga-Elizalde. 2008. Densidad de siembra del girasol forrajero. *Agronomía Costarricense*. 2:177-182.
- Flores-López R., F. Sánchez del Castillo., J. E. Rodríguez-Pérez, M. T. Colinas-León, R. Mora-Aguilar, H. Lozoya-Saldaña. 2009. Densidad de población en cultivo hidropónico para la producción de tubérculo-semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.), *Revista Chapingo, Serie horticultura*.15: 251-258.
- García E. 1988. Sistema de Clasificación de Köppen Modificado para las Condiciones de México. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México. [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350) (Consulta: marzo 31, 2012).
- Jiménez-García, G., Rodríguez-Fuentes, H., Vidales Contreras, J.A., Alcorta García, E. Olivares-Sáenz, E. Hernández-Escareño, J., Sánchez-Alejo, E.J.

and Ojeda-Zacarias, M.C. 2009. Growth and nitrogen uptakes in papaya grown under protected crop. *Acta Hort.* (ISHS). 843:97-102. ISSN: 0567-7572. 01 octubre 2009.

Kowalchik C., and W.H. Hylton. 1987. *Rodale's illustrated encyclopedia of herbs*. Rodale Press. Emmaus, Pennsylvania. s.p.p

Letelier M. E., A. Terán., M. A. Barra., P. Aracena-Parks. 2009. Antioxidant properties of *Rosmarinus officinalis* and its effects on xenobiotic biotransformation. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 6: 487-497.

Liberty Hyde Bailey Hortorium. 1976. *Hortus third: A concise dictionary of plants cultivated in the United States and Canada*. 3rd ed. Macmillan, New York. s.p.p.

Martínez-Fernández J., J. Martínez-Fernández, M. A. Romero-Díaz, F. López-Bermúdez, y F. Belmonte-Serrato. 1996. Biomasa e índice de área foliar de *Rosmarinus officinalis* L. en matorral semiárido (Cuenca de Mula, Murcia, España). *Universidad de Murcia, España. Anales de Biología*. 21: 83-92.

Mishra A. C., K. S. Negi, H. Y. Shukla and A. K. Sharma. 2009. Effect of spacing on the performance of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) blue flowered genotype (NIC-23416) in mid hills of Uttarakhand under rainfed conditions. *Natural Product Radiance*. 8: 528-531.

Molina E., R. Salas., A. Castro. 1993. Curva de crecimiento y absorción de nutrimentos en fresa. *Agronomía Costarricense*. 17: 67-73.

Muñoz, L. F. 1993. *Plantas medicinales y aromáticas*, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. pp. 264-268.

- Olivares, S. E. 2012. Paquete Estadístico de Diseños Experimentales Versión 1. Facultad de Agronomía, UANL. Marín, N. L. México.
- Ôscan, M. 1999. Antioxidant activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract on natural olive and sesame oils. *Revista Grasas y Aceites*. 5: 355-358.
- Pakrasa R. E. V. S., C. T. Gopinath, R. S. Ganesh Rao, S. Ramesh. (1999). Agronomic and Distillation Studies on Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L) in a Semi-Arid Tropical Environment. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*. 6: 3-10.
- Rengel M. L. 2004. Informaciones Agronómicas, Instituto de la Potasa y el Fósforo. 53: 5-9.
- Rodas-Gaitán, H. A., Rodríguez-Fuentes, H., Ojeda-Zacarías, M, C., Vidales-Contreras, J.A. y Luna-Maldonado A. I., 2012. Curvas de Absorción de Macronutrientes en Calabacita Italiana (*Cucurbita pepo* L.). *Fitotecnia Mexicana*. 35: 57-60.
- Rodríguez-Fuentes. H., y J. Rodríguez A. 2011. Métodos de Análisis de Suelos y Plantas. Trillas, México, D.F. 239 p.
- Rodríguez-Fuentes. H., J. Rodríguez A., P. Almaguer S. y J. C. Rodríguez O. 2011. Cultivo Hidropónico del Nopal. Trillas, México, D.F. 62 p.
- Rodríguez-Fuentes. H., S. Muñoz L., E. Alcorta G. 2006. El Tomate Rojo Sistema Hidropónico, Trillas, México, D.F. 86 p.
- Rodríguez W., y D. Leihner. (2006). Fisiología de la Producción de los Cultivos Tropicales, Editorial UCR, Costa Rica: pp. 4-39.
- Rodríguez-Fuentes, H., Acuña-Askar, K., Vidales-Contreras, J.A., Rodríguez-Absi, J., Jiménez-García, G., López-Jiménez, M.A. y Rodríguez Ortiz, J.C. 2009(a). Mineral Nutrition Requirements for Bermuda Grass Grown on a

Professional Soccer Field. ISSN: 0567-7572. 01 octubre 2009. Acta Hort. (ISHS). 843:129-136.

Rodríguez-Fuentes, H., Vidales-Contreras, J.A., Acuña-Askar, K., Aranda-Ruiz, J., López-Jiménez, M.A. y Rodríguez-Ortíz, J.C. 2009(b). Growth, Mineral Uptake and Stem Elongation of *Lillium Spp* as a Function of Plant Density. ISSN: 0567-7572. 01 octubre 2009. Acta Hort. (ISHS). 843:81-88.

SAGARPA, 2011. (SIAP sistema de información agroalimentaria y pesquera).

Saldivar, R. H. 2010. Fisiología Vegetal. Editorial Trillas. México, D. F. pp. 193-211.

Sánchez C.F., y E.R. Escalante. 1988. Hidroponía, Principios y Métodos de Cultivo. Universidad Autónoma Chapingo. Tercera edición, México 194p.

Sancho V.H., 1999. Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización. San José, Costa Rica. Informaciones Agronómicas 36 (INPOFOS). 36:11-13.

Sardans J., y J. Peñuelas. 2005. Disponibilidad y uso del fósforo en los ecosistemas terrestres mediterráneos. Ecosistemas. 15 (1): 7-9.

Systat Software Inc. 2010. SygmaPlot 10.0. <http://www.sigmaplot.com>

Vega M. R., J. A. Escalante-Estrada., P. Sánchez-García., C. Ramírez-Ayala., E. Cuenca-Adame. 2001. Asignación de Biomasa y Rendimiento de Girasol con Relación al Nitrógeno y Densidad de Población. Terra. 19:75-81.

Westervelt P. M. 2003. Greenhouse Production of *Rosmarinus officinalis* L. Thesis submitted of the Virginia Polytechnic Institute and State University. 51 p.

## 7. RESUMEN

La densidad de población en un cultivo es un factor determinante para la producción de Biomasa Seca Total (BST) ya que relaciona el número de individuos con respecto a una superficie de suelo determinada. Por otra parte la estimación de las curvas de absorción nutrimental permiten establecer programas de fertilización, hacer uso racional de fertilizantes químicos minimizando el impacto ambiental y reduciendo los costos de producción. Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la densidad de población en relación con la producción de BST y estimar la curva de absorción nutrimental en el cultivo hidropónico de *Rosmarinus officinalis* L. El trabajo fue efectuado del mes de octubre del 2011 al mes de mayo del 2012 en el Centro de Investigación y Desarrollo en Hidroponia, de la Facultad de Agronomía Campus Marín de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en Marín, N.L. México. Durante el experimento (completamente al azar) se evaluaron tres densidades de población como tratamientos que constaron de: 8, 16 y 24 plantas  $m^{-2}$  en un sistema hidropónico cerrado con sustrato de roca volcánica con granulometría de 20 a 40 mm de diámetro y una solución nutritiva hidropónica estándar.

Se determinó en forma preliminar una mayor producción de BST por planta en la densidad de 8 pl  $m^{-2}$  mientras que en las densidades de 16 y 24 pl  $m^{-2}$  mostraron una mayor producción de BST por unidad de superficie. La altura de planta no presentó diferencia significativa.

Los datos obtenidos se ajustaron a modelos lineales de crecimiento, los cuales fueron empleados para estimar las curvas de absorción nutrimental.

**Palabras clave:** Romero, densidad de población, curva de crecimiento, biomasa

## 8. SUMMARY.

The population density relates the number of individuals to a given soil surface and it is a key factor for determining Total Dry Biomass (TDB) production of a crop. On the other hand, before the establishment of fertilizer programs, nutrient uptake curves must be estimated to make rational use of chemical fertilizers minimizing the environment impact and reducing production costs. This research was carry out in order to evaluate the effect of population density TDB and estimate nutrient absorption curve of *Rosmarinus officinalis* L., grown hydroponically. The experiment was carried out from October 2011 to May 2012 at the Centre for Research and Development of Hydroponics Systems located in Marin Experimental Farm of Agronomy School, Universidad Autónoma Nuevo León. Over the experiment (completely randomized design), the population density treatments assessed were 8, 16 and 24 plants m<sup>-2</sup> in a closed hydroponic system with volcanic rock (diameter 20-40 mm particle size) as substrate and a standard hydroponic nutrient solution.

Maximum yield of TDB per plant was found in a crop density of 8 pl m<sup>-2</sup> while at densities of 16 to 24 pl m<sup>-2</sup> showed higher yield of TDB per unit area. Plant height showed no significant difference.

The raw data obtained were fitted to linear models of vegetative growth and later were used to estimate nutrient uptake curve.

**Keywords:** Rosemary, population density, growth curve, biomass.

## 9. APÉNDICE.

Cuadro A1. Resistencia a bajas temperaturas y principales características de los cultivares más comunes de *Rosmarinus officinalis* L.

Romero especies y cultivares	Resistencia a bajas temperaturas en °C	Descripción
<i>Rosmarinus officinalis</i>	-17	2.3 m de altura, crecimiento irregular y ancho.
“Arp”	-23	Hojas de color verde opaco, crecimiento extendido y hasta 1.5 m de altura.
“Athens Blue Spires”	-12	Hojas delgadas verde grisáceo, crecimiento vertical.
“Beneden Blue”	-6	Hojas muy estrechas en forma de aguja, fuerte aroma disperso fácilmente por el viento, hasta 1.5 m de altura.
“Blue Boy”	-9	Hojas pequeñas color verde claro, crecimiento compacto y altura de hasta 0.6 m.
“Blue Spires”	-17	Hojas de color verde brillante, planta de porte erguido de hasta 1 m de altura.
“Nancy Howard”	-9	Hojas largas y estrechas de color verde oscuro con flores de color blanco.
“Prostratus”	-6	Hojas cortas y estrechas de color verde opaco, de hasta 1 m de altura.
“Majorica Pink”	-9	Hojas pequeñas color verde opaco, crecimiento vertical y erecto con flores rosadas y una altura de hasta 1.5 m.
“Tuscan Blue”	-15	Hojas cortas y anchas color verde brillante, pocas ramas con crecimiento vertical de hasta 2.5 m de altura.

Cuadro A2. Producción de BST de *Rosmarinus officinalis* L. (g) por mes y por tratamiento.

Tratamiento	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
1	27.02	31.69	95.93	113.85	130.00	164.00	240.00	258.00
	32.15	63.83	87.36	115.71	80.00	260.00	216.00	280.00
	36.96	93.12	81.16	129.23	146.00	174.00	226.00	268.00
	24.30	42.76	78.28	136.24	112.00	240.00	236.00	263.00
2	21.34	47.13	56.50	69.06	126.00	148.00	190.00	191.00
	13.72	46.82	41.63	62.61	162.00	130.00	175.00	154.00
	21.07	21.12	64.09	63.12	52.00	150.00	150.00	168.00
	23.08	28.86	60.19	73.25	128.00	106.00	182.00	124.00
3	31.43	28.89	61.81	93.88	94.00	78.00	162.00	172.00
	33.11	21.40	40.62	42.87	54.00	114.00	120.00	161.00
	28.58	35.90	31.32	76.67	66.00	58.00	138.00	196.00
	14.90	25.34	53.42	60.39	56.00	54.00	158.00	176.00
CV %	27.01	49.00	30.40	33.80	36.80	44.42	20.80	25.00

Los datos consideran de cuatro repeticiones por tratamiento, CV= coeficiente de variación.

Cuadro A3. ANVA de producción de BST en Parcelas Divididas (ensayo I).

FV	GL	SC	CM	F	Nivel de Sig.
Bloques	3	780.83	260.280	0.502	*0.695
Tratamientos	2	63530.75	31765.379	61.294	0.000
Error Tratamientos	6	3109.48	518.248		
Meses	7	348623.11	49803.302	112.099	0.000
Tratamientos X meses	14	34585.27	2470.377	5.560	0.000
Error meses	63	27989.55	444.279		
Total	95	478619.03			
CV %	33.38				

Cuadro A4. Datos de estimación de curvas de crecimiento para los 3 tratamientos.

Ddt.	Tratamiento 1	DE	Tratamiento 2	DE	Tratamiento 3	DE
0	19.99	3.22	19.99	3.20	19.99	3.23
30	30.10	5.60	19.80	4.15	27.00	8.28
60	57.85	27.02	35.98	13.08	27.88	6.16
90	55.60	9.81	55.60	9.81	46.79	13.50
120	123.75	9.33	67.01	5.08	68.45	21.86
150	117.00	28.30	117.00	46.37	67.50	18.43
180	209.50	47.64	133.50	20.42	76.00	27.42
210	19.99	3.22	174.25	17.28	144.50	19.41
240	30.10	5.60	159.25	28.01	176.25	14.62

Ddt= Días después de trasplante; DE= Desviación estándar.

Cuadro A5. Número de brotes por mes (ensayo I).

Tratamiento	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
	15	22	50	58	56	89	68	59
1	16	35	65	49	34	134	74	98
	21	57	55	61	55	86	67	100
	30	44	58	82	40	126	88	96
2	21	21	44	36	65	80	69	63
	23	56	40	36	49	98	51	42
	14	15	53	51	40	73	61	42
	9	32	22	39	37	58	54	66
3	29	13	51	28	38	52	36	32
	14	9	25	22	15	71	53	52
	26	38	30	39	40	28	72	72
	17	25	34	21	21	35	37	41

Cuadro A6. ANVA para número de brotes en Parcelas Divididas (ensayo I).

64

FV	GL	SC	CM	F	Nivel de Sig.
Bloques	3	265.917	88.639	0.208	0.8870
Meses	2	12057.333	6028.667	14.10	0.005
Error tratamientos	6	2556.333	426.056		0.000
Tratamientos	7	29702.833	4243.262	25.106	0.008
Tratamientos por meses	14	5837.667	416.976	2.467	
Error meses	63	10647.750	169.012		
Total	95	61067.833			
CV %	37.10				

Cuadro A7. Altura de planta (cm) por mes (ensayo I).

Tratamiento	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May
1	43	38	51	66	55	69	67	72
	62	62	57	59	54	70	57	75
	53	56	45	65	60	73	75	73
	47	50	64	60	54	74	77	72
2	46	50	59	59	63	72	74	79
	46	68	56	57	74	70	68	76
	47	44	53	64	65	72	78	79
	36	62	56	67	60	76	68	76
3	46	60	59	69	65	79	91	83
	60	44	50	64	70	72	79	79
	52	53	54	68	60	73	75	80
	45	46	56	66	60	63	57	69

Cuadro A8. ANVA de altura de planta en Parcelas Divididas (ensayo I).

FV	GL	SC	CM	F	Nivel de Sig.
Bloques	3	114.792	38.264	0.418	0.747
Tratamientos	2	139.771	69.885	0.763	0.507
Error Tratamientos	6	549.396	91.566		
Meses	7	8558.958	1222.708	32.341	0.000
Tratamientos X meses	14	490.229	35.016	0.926	0.536
Error meses	63	2381.813	37.807		
Total	95	122234.958			
CV %	9.70				

Cuadro A9. Nitrógeno absorbido (g) para los 3 tratamientos a través del tiempo.

Ddt.	Tratamiento 1	DE	Tratamiento 2	DE	Tratamiento 3	DE
30	0.6875	0.1195	0.4300	0.0744	0.5850	0.1870
60	1.3750	0.4812	0.8400	0.2844	0.6625	0.1112
90	2.0050	0.2299	1.2325	0.2056	1.0950	0.3026
120	2.7550	0.2047	1.4625	0.2540	1.4700	0.3078
150	2.9075	0.7515	2.6175	0.9511	1.4800	0.3870
180	3.7000	0.8808	2.6575	0.2718	1.6100	0.7209
210	4.4700	0.2486	3.2500	0.4632	2.4925	0.2876
240	4.5000	0.6171	3.2900	0.4762	3.2375	0.3308

Ddt= Días después de trasplante; DE= Desviación estándar.

Cuadro A10. Fósforo absorbido (g) para los 3 tratamientos a través del tiempo.

Ddt.	Tratamiento 1	DE	Tratamiento 2	DE	Tratamiento 3	DE
30	0.0875	0.0118	0.0519	8.5540e-3	0.0578	0.0200
60	0.1625	0.0861	0.0963	0.0392	0.0684	0.0180
90	0.2103	0.0369	0.1234	0.0175	0.1254	0.0370
120	0.3265	0.0435	0.1682	0.0236	0.1952	0.0634
150	0.2621	0.0960	0.2900	0.0954	0.1718	0.0385
180	0.7516	0.2114	0.4685	0.0864	0.3245	0.1311
210	0.6420	0.0468	0.5698	0.0788	0.4818	0.1042
240	0.5832	0.0211	0.3466	0.3466	0.3735	0.0188

Ddt= Días después de trasplante; DE= Desviación estándar.

Cuadro A11. Potasio absorbido (g) para los 3 tratamientos a través del tiempo.

Ddt.	Tratamiento 1	DE	Tratamiento 2	DE	Tratamiento 3	DE
30	0.7143	0.1238	0.4285	0.1004	0.5629	0.1920
60	1.0961	0.5414	0.8669	0.3174	0.6612	0.1468
90	1.8429	0.2065	1.2015	0.1461	1.1291	0.3805
120	2.3039	0.1945	1.1669	0.1293	1.3884	0.3997
150	2.4223	0.5335	2.4203	0.9762	1.2763	0.3374
180	4.2187	1.0725	2.6711	0.4971	1.6648	0.8069
210	4.0348	0.4355	2.9589	0.3654	2.5496	0.3647
240	4.4204	0.2410	2.6276	0.4693	2.9198	0.2246

Ddt= Días después de trasplante; DE= Desviación estándar.

Cuadro A12. Hierro absorbido (mg) para los 3 tratamientos a través del tiempo.

Ddt.	Tratamiento 1	DE	Tratamiento 2	DE	Tratamiento 3	DE
30	14.9978	4.1816	8.2789	3.5028	13.1718	5.4726
60	35.4911	17.5496	20.8148	9.1820	14.8076	4.0495
90	46.0805	3.3435	28.3848	6.9397	26.5245	10.1469
120	85.5496	21.7070	36.6764	4.6723	41.9776	17.4284
150	53.6817	12.7104	58.6248	19.4266	32.3995	7.3805
180	90.6520	25.8775	66.2964	11.7112	34.3677	15.6237
210	81.6441	19.6708	55.5561	6.4572	50.4563	15.2165
240	94.7993	7.5853	55.4672	6.2112	63.4960	3.7650

Ddt= Días después de trasplante; DE= Desviación estándar.

Cuadro A13. Manganeso absorbido (mg) para los 3 tratamientos a través del tiempo.

Ddt.	Tratamiento 1	DE	Tratamiento 2	DE	Tratamiento 3	DE
30	2.9709	0.4773	1.9115	0.2514	2.8183	0.6427
60	5.5675	2.9006	3.7208	1.3624	2.8852	1.2559
90	9.0714	0.9323	6.3312	1.0809	4.6825	1.0000
120	11.6397	1.3829	6.7635	0.6625	6.6567	2.0435
150	11.0709	2.4228	11.8208	5.5944	6.6210	1.5768
180	16.8418	4.7145	11.8575	3.5769	5.8646	1.9544
210	16.6156	0.8208	12.7282	1.2586	10.9927	1.9075
240	17.9621	2.8342	11.4603	2.9603	12.9641	1.8430

Ddt= Días después de trasplante; DE= Desviación estándar.

Cuadro A14. ANVA para extracción de nitrógeno

FV	GL	SC	CM	F	Nivel de Sig.
Tratamientos	2	3526.698	1763..349	36.396	0.000
Error	9	436.047	48.450		
Total	11	3962.745			
CV%	34.24				(P≤ 0.05)

Cuadro A15. ANVA para extracción de fósforo.

FV	GL	SC	CM	F	Nivel de Sig.
Tratamientos	2	41.237	20.619	47.522	0.000
Error	9	3.905	0.434		
Total	11	45.142			
CV%	31.69				(P≤ 0.05)

Cuadro A16. ANVA para extracción de potasio.

FV	GL	SC	CM	F	Nivel de Sig.
Tratamientos	2	2714.011	1357.005	45.657	0.000
Error	9	267.494	29.722		
Total	11	2981.504			
CV%	33.49%				(P≤ 0.05)

Cuadro A17. ANVA para extracción de hierro.

FV	GL	SC	CM	F	Nivel de Sig.
Tratamientos	2	1343613.8	671806.9	97.8	0.000
Error	9	65169.7	7241.0		
Total	11	1408783.5			
CV%	33.87				(P≤ 0.05)

Cuadro A18. ANVA para extracción de manganeso.

FV	GL	SC	CM	F	Nivel de Sig.
Tratamientos	2	61247.301	30623.651	19.491	0.001
Error	9	14140.555	1571.173		
Total	11	75387.856			
CV%	38.92				(P≤ 0.05)

Cuadro A19. Producción de BST (g planta<sup>-1</sup>) (ensayo II).

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
297.23	130.71	121.94
230.76	127.12	109.46
195.66	149.39	169.69
171.76	242.03	89.25
245.70	242.03	207.16
136.66	168.78	163.82
327.10	152.98	224.05
232.25	153.69	118.64
332.33	184.94	138.84
361.45	123.89	198.34

Cuadro A20. ANVA de Producción de BST (ensayo II).

FV	GL	SC	CM	F	Nivel de Sig.
Tratamientos	2	57539.181	28769.591	9.093	0.001
Error	27	85424.203	3163.859		
Total	29	142963.38			
CV%	36.69				

Cuadro A21. Producción de BST ( $\text{g m}^{-2}$ ) (ensayo II).

Tratamiento I	Tratamiento II	Tratamiento III
2180.65	2363.95	3429.84
1629.51	2813.18	2343.37
1146.33	2935.64	3091.19
962.62	2738.85	2267.71

Cuadro A22. ANVA de Producción de BST ensayo II.

FV	GL	SC	CM	F	Nivel de Sig.
Tratamientos	2	4298630.8	2149315.4	9.452	0.006
Error	9	2046580.9	227397.88		
Total	11	6345211.7			
CV%	32.66				

Cuadro A23. ANVA de altura de planta (ensayo II).

FV	GL	SC	CM	F	Nivel de Sig.
Tratamientos	2	56.244	28.122	0.730	0.491
Bloques	14	4400.121	314.294	8.158	0.000
Error	28	1078.723	38.526		
Total	44	5535.088			
CV	17.21%				

Cuadro A24. Altura (cm) de planta (ensayo II).

---

Días después de trasplante	Tratamiento I	Tratamiento II	Tratamiento III
0	36.10	39.40	39.10
10	39.40	42.40	41.90
20	40.60	43.60	43.60
30	43.20	45.20	44.90
40	45.40	47.70	46.70
50	45.70	49.60	47.30
60	47.20	50.80	49.00
80	48.20	50.40	51.00
100	49.80	52.70	53.20
110	51.30	53.60	53.90
120	52.40	55.40	55.70
150	56.30	59.40	59.60
170	62.30	65.10	64.60
180	63.80	66.40	66.00
190	65.30	67.80	66.80

---

Cuadro A25. Promedios de alturas (ensayo II) para estimación de modelo lineal.

Días después de trasplante	Altura (cm)	Desviación estándar
0	38.20	1.82
10	41.23	1.61
20	42.60	1.73
30	44.43	1.08
40	46.60	1.15
50	47.53	1.96
60	49.00	1.80
80	49.87	1.47
100	51.90	1.84
110	52.93	1.42
120	54.50	1.82
150	58.43	1.85
170	64.00	1.49
180	65.40	1.40
190	66.63	1.26

Cuadro A26. Fórmula para preparar 2000 L de SNH utilizada y recomendada por Rodríguez *et al.* (2011).

Fuente	Cantidad en (g)
Nitrato de Potasio.	1292.95
Fosfato Monoamónico (MAP).	445.64
Nitrato de Magnesio.	610.22
Sulfato Ferroso.	4.98
Sulfato de Manganeso	1.54
Ácido bórico.	2.86
Sulfato de cobre.	0.16
Sulfato de zinc.	1.37
Molibdato de sodio.	0.05