

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS  
ESCUELA DE AGRONOMÍA

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS DE CINCO  
HÍBRIDOS DE ZANAHORIA (*Daucus carota* L. )

Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Agronómica con énfasis en Fitotecnia

TATIANA VEGA ROJAS

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

2010

## **Dedicatoria**

A Dios que me ha dado la sabiduría para realizar este trabajo.

A mis padres por su esfuerzo y paciencia.

A mis hermanos y a mis abuelos por creer en mí.

A mi novio Pablo por su apoyo incondicional.

# **Agradecimientos**

A mi director de tesis Carlos H. Méndez, M.Sc. por haber confiado en mí para realizar este trabajo, y por su apoyo y colaboración durante el desarrollo del mismo.

A Werner Rodríguez, Ph.D. por el valioso tiempo que dedicó a ayudarme en la elaboración del análisis estadístico de los datos, por brindarme su conocimiento sobre el tema de análisis funcional del crecimiento.

A Gustavo Quesada, M.Sc. , Floria Bertsch, M.Sc. y Rodolfo Amador, M.Sc. por su colaboración en la revisión de este trabajo final de graduación.

Al Ing. Agr. Antonio Castro por su ayuda y disponibilidad para llevar a cabo este trabajo en su empresa en Cipreses de Cartago.

A la Corporación Hortícola Nacional, las empresas Nunhems y Semillas para el futuro por su respaldo para la realización de los análisis de nutrimentos.

A las empresas Trisan, Nunhems, Semillas para el futuro y Seracsa por su colaboración con el aporte de la semilla de los híbridos de zanahoria.

Un especial agradecimiento a los señores Julio Vega y Carlos González, del Programa de Hortalizas de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit, por la ayuda brindada durante todo el proceso de campo y preparación de las muestras.


A todas las personas que de alguna manera me ayudaron en el proceso y culminación de este trabajo.

Análisis de crecimiento y absorción de nutrimentos de cinco híbridos de zanahoria (*Daucus carota* L.).

Tatiana Vega Rojas

Tesis

Presentada a la Comisión de Trabajos Finales de la Escuela de Agronomía, como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia



---

Carlos H. Méndez, M.Sc.

Director de Tesis



---

Floria Bertsch, M.Sc.

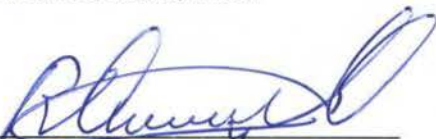
Miembro del Tribunal



---

Gustavo Quesada, M.Sc.

Miembro del Tribunal



---

Rodolfo Amador, M.Sc.

Miembro del Tribunal



---

Werner Rodríguez, Ph.D

Director de Escuela



---

Tatiana Vega Rojas

Sustentante

# Tabla de Contenido

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
HOJA DE APROBACIÓN .....	IV
TABLA DE CONTENIDO .....	V
LISTA DE CUADROS .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
RESUMEN .....	IX
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
DEFINICIONES SOBRE EL ANÁLISIS DE CRECIMIENTO.....	12
CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA ZANAHORIA .....	15
<i>Emergencia y primeros estados de crecimiento .....</i>	<i>15</i>
<i>Crecimiento vegetativo .....</i>	<i>16</i>
<i>Crecimiento de la raíz.....</i>	<i>16</i>
<i>Relación alométrica entre la raíz y las hojas .....</i>	<i>18</i>
<i>Contenido de azúcares solubles y caroteno en la raíz .....</i>	<i>19</i>
FACTORES QUE AFECTAN LA ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA .....	20
NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE ZANAHORIA.....	23
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
MATERIAL EXPERIMENTAL .....	30
MANEJO AGRONÓMICO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL .....	31
<i>Preparación del terreno.....</i>	<i>31</i>
<i>Siembra.....</i>	<i>31</i>
<i>Protección del cultivo .....</i>	<i>32</i>
<i>Nutrición del cultivo .....</i>	<i>33</i>
UNIDAD Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....	33
ANÁLISIS DE ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA .....	34
ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN Y ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS .....	34
VARIABLES EVALUADAS.....	35
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE DATOS .....	35
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
FENOLOGÍA DEL CULTIVO DE ZANAHORIA .....	37
ANÁLISIS DE CRECIMIENTO FUNCIONAL .....	39
TASA DE PARTICIÓN DE LA MATERIA SECA .....	47
COMPARACIÓN ENTRE HÍBRIDOS .....	51
CONCENTRACIÓN DE LOS NUTRIMENTOS EN LA PLANTA DE ZANAHORIA .....	52

CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS .....	56
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>66</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>74</b>

## Lista de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b>	Datos de extracción de N, P, K y Ca del suelo por parte de la raíz y el follaje del cultivo de zanahoria (Valadez, 1998). .....	27
<b>Cuadro 2.</b>	Cantidad estimada en kg de N, P y K que se requiere para producir una tonelada de zanahoria, en forma total y por la cosecha (Bertsch, 2003).....	27
<b>Cuadro 3.</b>	Valores promedio de las variables meteorológicas de marzo a julio del 2009 en décadas de días, en las estaciones meteorológicas de Dulce Nombre y San Juan de Chicao, informadas por el Instituto Meteorológico Nacional.....	29
<b>Cuadro 4.</b>	Análisis de la textura del suelo del área experimental en la zona de Cipreses de Oreamuno, Cartago, marzo del 2009.....	30
<b>Cuadro 5.</b>	Análisis químico del suelo del área experimental en la zona de Cipreses de Oreamuno, Cartago, marzo del 2009.....	30
<b>Cuadro 6.</b>	Híbridos de zanahoria utilizados en el análisis de crecimiento y de absorción de nutrimentos. ....	30
<b>Cuadro 7.</b>	Total de kg/ha aplicados durante el ciclo de cultivo de zanahoria, en la zona de Cipreses de Oreamuno, Cartago, 2009. ....	33
<b>Cuadro 8.</b>	Análisis de varianza de los parámetros que definen las funciones matemáticas de los modelos no lineales de regresión que corresponden a cada variable e híbrido de zanahoria. Oreamuno, 2009.....	51
<b>Anexo 1.</b>	Concentración porcentual de N, P y K por órgano en cinco híbridos de zanahoria, Oreamuno 2009.....	75
<b>Anexo 2.</b>	Concentración porcentual de Ca, Mg y S por órgano en cinco híbridos de zanahoria, Oreamuno 2009.....	76
<b>Anexo 3.</b>	Concentración de Fe, Cu, Zn, Mn y B (mg/kg) por órgano en cinco híbridos de zanahoria, Oreamuno 2009.....	77
<b>Anexo 4.</b>	Peso seco de hojas, raíz y de la biomasa total y área foliar de los cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009.....	78

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b>	Etapas fenológicas del cultivo de zanahoria, híbrido Bangor. Oreamuno, 2009.....	<b>38</b>
<b>Figura 2.</b>	Acumulación de materia seca total de cinco híbridos de zanahoria, según el modelo logístico no lineal $y = \text{alfa}/(1+\exp(-\text{beta}(x-\text{gamma})))$ . Oreamuno, 2009. ....	<b>40</b>
<b>Figura 3.</b>	Acumulación de materia seca de las hojas de cinco híbridos de zanahoria, según el modelo no lineal tipo campana $y = \text{alfa}*\exp(-\text{beta}(x-\text{gamma})^2)$ . Oreamuno, 2009. ....	<b>42</b>
<b>Figura 4.</b>	Acumulación de materia seca de la raíz de cinco híbridos de zanahoria, según el modelo logístico no lineal $y = \text{alfa}/(1+\exp(-\text{beta}(x-\text{gamma})))$ . Oreamuno, 2009. ....	<b>43</b>
<b>Figura 5.</b>	Área foliar de los cinco híbridos de zanahoria, según el modelo no lineal tipo campana $y = \text{alfa}*\exp(-\text{beta}(x-\text{gamma})^2)$ . Oreamuno, 2009. ....	<b>44</b>
<b>Figura 6.</b>	Tasa relativa de partición de asimilados con respecto a la biomasa total de cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009. ....	<b>48</b>
<b>Figura 7.</b>	Porcentaje de distribución de la materia seca de hojas y raíces de los híbridos de zanahoria en función del tiempo. Oreamuno, 2009. ....	<b>50</b>
<b>Figura 8.</b>	Promedio de la concentración de los nutrientes de los cinco híbridos de zanahoria en el follaje y la raíz. Oreamuno, 2009. ....	<b>54</b>
<b>Figura 9.</b>	Curvas de absorción de los nutrientes K, N y Ca de cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009. ....	<b>57</b>
<b>Figura 10.</b>	Curvas de absorción de los nutrientes P, Mg y S de cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009. ....	<b>58</b>
<b>Figura 11.</b>	Curvas de absorción de nutrientes Cu, Zn, Mn y B de cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009. ....	<b>59</b>
<b>Figura 12.</b>	Curvas de absorción de Fe de cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009. ....	<b>60</b>



## Resumen

El análisis de crecimiento y de absorción de nutrimentos a cinco híbridos de zanahoria (*Daucus carota* L.) se realizó en Cipreses de Oreamuno, Cartago, con el objetivo de describir el crecimiento y la fenología del cultivo de zanahoria, así como determinar la concentración y la absorción de los nutrimentos y su relación con las etapas fenológicas de la planta. El manejo agronómico de la parcela experimental se realizó de acuerdo a las prácticas comerciales del productor de la región. El análisis de crecimiento se realizó mediante la metodología de análisis funcional. Se evaluó el área foliar y peso seco total y de cada órgano de la planta, se ajustaron modelos de regresión no lineal para dichas variables, se obtuvieron los parámetros que definen las funciones matemáticas que describen el crecimiento y se representó gráficamente cada modelo para cada variable evaluada. Las variables de peso seco total y de raíz se ajustaron en la función logística no-lineal asintótica:  $PS = \alpha / (1 + \exp(-\beta(x - \gamma)))$ , y el peso seco de hojas y área foliar se ajustaron en la función tipo “campana”:  $PS = \alpha * \exp(-\beta(x - \gamma)^2)$ . Finalmente, se determinó la concentración y absorción de nutrimentos en el follaje y las raíces.

Las plantas presentaron una curva de crecimiento sigmoideal con fases bien definidas: una fase de crecimiento lento, luego una etapa de crecimiento exponencial, seguida de una etapa de disminución del crecimiento y por último una etapa de estabilidad. La planta dedica sus primeros estados de desarrollo a establecer su maquinaria fotosintética en comparación con el desarrollo radical. La raíz comienza a engrosar entre los 63 dds y los 77 dds según el híbrido, durante la etapa II de crecimiento, con una mayor proporción de asimilados destinados a la raíz, lo que conduce a un aumento en su diámetro. Los híbridos de zanahoria absorben en orden jerárquico los nutrimentos potasio, nitrógeno, calcio, fósforo y el azufre y magnesio en similares proporciones. De los micronutrientes, el boro y cobre son los micronutrientes de mayor y menor absorción respectivamente. La absorción de nutrimentos es ampliamente influenciada por el peso seco de los órganos de la planta, siendo muy baja en los primeros estados de crecimiento, pero que se incrementa cuando la raíz esta engrosando en los últimos estados de desarrollo. Finalmente, del análisis de las variables de peso seco, área foliar y absorción de nutrimentos, se puede establecer dos grupos, por un lado Suprema, Esperanza y Bangor, y por otro CLX-3193 y Sirkana. El primer grupo presentó los valores más altos para dichas variables y el segundo grupo obtuvo los valores más bajos.

# **Análisis de crecimiento y absorción de nutrimentos de cinco híbridos de zanahoria (*Daucus carota* L.).**

## **I. Introducción**

El cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L., Umbelliferae) en Costa Rica, ha sido considerado por mucho tiempo como un producto menor en cuanto a su producción y consumo. Sin embargo, hay un incremento en el interés por este cultivo dadas las expectativas de exportación. Este cultivo presenta la posibilidad de apertura de nuevos mercados, más fuentes de trabajo y constituirse en una opción que contribuya a mejorar la balanza comercial del país.

Actualmente se realizan exportaciones de zanahoria a la Comunidad de Estados del Caribe (CARICOM), Puerto Rico, Nicaragua, Honduras, Canadá y Estados Unidos (Miami). La Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER), por medio del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2009), informa que del 2005 al 2008 la exportación se incrementó en un 218% en volumen y 439% en valor económico (en el 2008, 13 047 Tm y US \$ 4, 553,826, respectivamente).

Desde el punto de vista del valor nutricional, el consumo de zanahoria es importante por su alto contenido de provitamina A ( $\beta$ -caroteno). Esto explica su amplia utilización, de forma cruda o cocida, en ensaladas, en sopas, en la industria de conserva, congelación, deshidratación, fabricación de jugos e incluso alimento para animales (Tirilly y Bourgeois, 2002).

El principal híbrido de zanahoria sembrado actualmente en Costa Rica es Bangor F1, del cual se reporta de 1000 a 1200 hectáreas sembradas al año en la provincia de Cartago (Álvarez, 2010<sup>1</sup>). La zanahoria crece adecuadamente en el este de la Región Central, en las tierras de altura media del volcán Irazú (Tierra Blanca, Cot, Pacayas y Llano Grande de Cartago), donde se produce el 80% del total de zanahoria del país; el remanente proviene de la zona oeste, del cantón de Alfaro Ruiz. Ambas regiones cuentan con las condiciones adecuadas para producir zanahoria de buena calidad (Bolaños, 2001 y Valdés, 2005) que permiten el cumplimiento de los requisitos exigidos por los mercados internacionales.

---

<sup>1</sup> Ing. Agr. Mario Álvarez. 2010. Comunicación personal.

Al haberse considerado por tanto tiempo a la zanahoria como un producto de poca importancia para el mercado, hoy no se cuenta con información actualizada sobre el manejo agronómico de este cultivo; por lo tanto se deben desarrollar las bases científicas que permitan generar la tecnología para mejorar y optimizar la producción de zanahoria. Los análisis de la acumulación de materia seca, desarrollo fenológico y absorción de nutrimentos son fundamentales para comprender los procesos fisiológicos que determinan la producción vegetal y así desarrollar o modificar las prácticas agronómicas necesarias para lograr un mejor rendimiento y calidad del producto.

Por esta razón se decidió plantear la presente investigación con el objetivo de describir el crecimiento y los patrones de absorción de los nutrimentos de cinco híbridos de zanahoria en la zona alta de Cartago.

## II. Revisión de Literatura

### *Definiciones sobre el análisis de crecimiento*

El crecimiento se define como un aumento constante en la masa de un organismo, o también como un incremento irreversible en tamaño celular o en división celular (Srivastava, 2002). El crecimiento es posible por la asimilación de carbohidratos, e involucra procesos de absorción de agua, luz, dióxido de carbono y minerales, (Bloksma y Huber, 2002). El crecimiento es un fenómeno cuantitativo que se mide en gramos de materia seca acumulados por unidad de tiempo, ya que la materia seca es la que normalmente determina la importancia económica del cultivo (Rodríguez y Leihner, 2006 y Rojas y Rovalo, 1985).

Taíz y Zeiger (1991) y Bloksma y Huber (2002) señalan que el crecimiento está acompañado de dos procesos, morfogénesis y diferenciación. El primero es el desarrollo de la forma de la célula u órgano. El segundo, es el proceso por el cual las células cambian estructural y bioquímicamente, para adquirir funciones especializadas. Si bien la planta primero se concentra en el crecimiento y con el paso del tiempo en diferenciación, ambos procesos ocurren simultáneamente en las plantas.

Bertsch (1998), indica que el crecimiento de una planta puede expresarse mediante una curva, que presenta cinco fases. Una fase inicial, durante la cual ocurren cambios internos que son preparatorios para el crecimiento, seguido de un rápido incremento en el crecimiento, luego se presencia una disminución gradual en la tasa de crecimiento llegando a un punto en el que el organismo alcanza la madurez y el crecimiento termina, y por ultimo una fase final de senectud y muerte.

Según Bertsch (1998), con el fin de cuantificar el efecto de los diferentes factores externos sobre el crecimiento, se ha derivado una serie de fórmulas matemáticas, conocidas como “Índices de Crecimiento”. Para realizar un análisis de crecimiento y aplicar las fórmulas se requieren tres datos básicos, una medida del material vegetal que se refiera a la producción agronómica (peso seco o producción de biomasa), una medida de la magnitud del sistema asimilatorio del material vegetal (área foliar) y épocas de muestreo claramente definidas.

El término que mejor describe el crecimiento es la acumulación de materia seca por unidad de área por unidad de tiempo denominado tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Esto es usualmente expresado en  $\text{g m}^{-2}\text{día}^{-1}$ . La TCC de una especie está relacionada estrechamente a la interceptación de radiación solar (Gardner et al, 1985).

Otro parámetro utilizado para medir el crecimiento es el área foliar (Taíz y Zeiger, 1991); también expresado como índice de área foliar (IAF), que es la relación del área foliar del cultivo con respecto al área de suelo ocupada. Debido a que la radiación solar cubre toda la superficie de suelo, el IAF es una medida significativa de área foliar por unidad de radiación solar disponible. El IAF determina la fracción o proporción de luz interceptada (Gardner et al, 1985; Suojala, 2000).

La alometría es el estudio del crecimiento y desarrollo de una parte de un organismo en relación con otras partes de este. Aunque la relación entre las partes de una planta está determinada genéticamente, esta puede ser modificada por el ambiente en ámbitos relativamente estrechos (Rodríguez y Leihner, 2006).

El término “análisis de crecimiento” se refiere al uso de métodos cuantitativos que describen e interpretan todo el sistema de la planta creciendo bajo condiciones naturales, semi naturales o controladas. El análisis de crecimiento provee la capacidad para interpretar la forma y función de la planta (Hunt, 2003).

Rodríguez y Leihner (2006) indican que hay dos enfoques para realizar el análisis de crecimiento, el clásico y el funcional. El primero consiste en pocos muestreos a lo largo del ciclo de cultivo, pero cada uno de ellos con muchas repeticiones. Éste es adecuado cuando la meta es la comparación del efecto de tratamientos de interés sobre el crecimiento. Cumple la función de apoyar una hipótesis o contribuir a dilucidar las posibles causas que determinan un resultado. El segundo, se utiliza para detallar el crecimiento mediante una simulación con funciones matemáticas que describan adecuadamente el desarrollo de las plantas. Está basado en muestreos frecuentes con pocas repeticiones.

A diferencia del análisis de crecimiento clásico, el análisis funcional utiliza la totalidad de la información recabada para definir cada punto de la curva de crecimiento. En el análisis funcional es necesario tener un gran número de muestreos, si las circunstancias no permiten esto, el análisis funcional no se puede aplicar (Venus y Causton, 1979). Los parámetros que definen las funciones matemáticas aludidas por el análisis funcional son determinados mediante el procedimiento estadístico llamado análisis de regresión no-lineal (Rodríguez y Leihner, 2006).

Según Rodríguez y Leihner (2006), el análisis funcional posee las siguientes ventajas: las funciones matemáticas resumen la información en unos cuantos parámetros; se facilita significativamente la comparación entre datos de diferente origen, pero tratados en igual forma; no es necesario establecer suposiciones sobre la linealidad del crecimiento; la información proveniente de todos los muestreos es utilizada para determinar los parámetros y no solo la información de dos muestreos consecutivos, como en el caso del enfoque clásico; el procedimiento no depende de muestras grandes, y la cantidad de información que se arriesga por muestreo es mínima; es posible establecer comparaciones mediante interpolación; el número de repeticiones entre diferentes muestreos de una misma curva de crecimiento no tiene que ser igual; pequeñas desviaciones a partir de una tendencia general pueden ser “suavizadas” para obtener una impresión del crecimiento libre de fluctuaciones aleatorias; este enfoque provee una percepción más clara del patrón de crecimiento definido genéticamente por la planta.

## ***Crecimiento y desarrollo de la zanahoria***

### **Emergencia y primeros estados de crecimiento**

La zanahoria es una especie bianual dado que el primer año desarrolla una raíz engrosada y el segundo año el escapo floral (Mejía y Lobo, 1983). La germinación de la semilla y emergencia de la zanahoria puede ser extremadamente variable (Reid y English, 2000). Las plántulas que emergen primero o que provienen de semillas grandes generalmente producen raíces más largas, debido a una ventaja competitiva sobre sus plantas vecinas (Benjamin, 1984). Richmond (2009) informó un porcentaje de emergencia de la semilla entre 40.6 y 58.6% a los 18 días después de la siembra (**dds**).

El tamaño de los cotiledones y la radícula en la semilla puede ser crítica en la determinación de partición de asimilados, así como el endospermo afecta el tamaño de la planta. Diferencias morfológicas entre variedades posiblemente se deben a diferencias en la distribución de materia seca en la semilla y que continúan durante el desarrollo (Hole et al, 1983).

La emergencia de las plántulas en el tiempo y el número de ellas que se logran establecer, tienen una importancia en la dinámica de la población y como consecuencia sobre la competencia entre plantas. El tiempo de emergencia de las plántulas es el resultado de la combinación de factores ambientales, de suelo y características de la semilla (Finch-Savage et al, 2001).

Antes de que aparezcan las primeras hojas verdaderas, las plántulas de zanahoria presentan una clara delimitación entre la raíz y el hipocotilo. Con la aparición de las primeras hojas, esta distinción tiende a desdibujarse y las raíces laterales comienzan a desarrollarse alineadas en cuatro líneas longitudinales (Tirilly y Bourgeois, 2002). A partir de los 18 dds se puede observar una separación entre la raíz de almacenamiento y las raíces fibrosas (Hole y Dearman, 1991).

## **Crecimiento vegetativo**

Durante esta fase de crecimiento se desarrollan primero y rápidamente las hojas, que son alternas y compuestas. Las nuevas hojas se desarrollan centripetamente en una espiral dentro de la formación básica de los pecíolos precedentes (Tirilly y Bourgeois, 2002 y Plant Protection, 2005).

La zanahoria presenta un crecimiento lento en sus primeros estados de desarrollo vegetativo (Richmond, 2009 y Suojala, 2000). No obstante, Hole et al (1983), al estudiar el crecimiento de cuatro cultivares de zanahoria en invernadero encontraron que el crecimiento tanto de la parte aérea como la raíz fue exponencial hasta los 60 dds, para decrecer posteriormente.

Westerveld et al (2006), observaron que la acumulación de materia seca en el follaje se incrementa gradualmente hasta un punto máximo o en ocasiones disminuye al final del ciclo. En los casos en que la materia seca del follaje decrece, esta alcanza un máximo entre los 115 y 135 dds, lo que también concuerda con Stanhill (1977) y Suojala (2000).

## **Crecimiento de la raíz**

La radícula origina una raíz principal típica y pivotante, de la cual surgen raíces secundarias para la absorción de nutrimentos y agua (Valadez, 1998 y Tirilly y Bourgeois, 2002). Durante los primeros 50 días la raíz de zanahoria crece rápidamente en términos de longitud, ese desarrollo es considerablemente más rápido que el aumento en el peso de la raíz. La acumulación de materia seca en la raíz es un proceso lento al principio, pero después del primer tercio del ciclo la raíz comienza a aumentar de forma constante hasta la cosecha. Cerca de la cosecha la tasa de ganancia de peso de la raíz disminuye (Plant Protection, 2005).

El alargamiento de la raíz central es muy rápido y en condiciones de crecimiento favorables puede alcanzar longitudes significativas en poco tiempo (tres semanas después de la germinación). La profundidad de la penetración de la raíz central varía entre genotipos, pudiendo penetrar hasta más de un metro de profundidad (Thorup-Kristensen, 2001; Plant Protection, 2005).



El engrosamiento inicia en la parte superior de la raíz a la punta y continua mientras las hojas provean fotoasimilados (Tirilly y Bourgeuis, 2002). El engrosamiento de la raíz es resultado de la actividad del cambium secundario, cuya iniciación depende del aporte de asimilados y reguladores de crecimiento proveniente de las hojas. La raíz empieza a desarrollarse por medio de un anillo cilíndrico de cambium vascular en el hipocotilo y parte superior de la raíz. La iniciación del cambium vascular es la primera etapa en el engrosamiento de la raíz, luego hay división celular, expansión celular, crecimiento y almacenamiento de carbohidratos (Benjamin et al, 1997).

Westerveld et al (2006), estudiaron el efecto de las variedades (Idaho y Fontana), el tipo de suelo (orgánico y mineral) y dosis crecientes de nitrógeno (0%, 50%, 100%, 150% y 200%) sobre la acumulación de materia seca y de nitrógeno. Las dos variedades de zanahoria presentaron una tendencia lineal de acumulación de materia seca en la raíz después de 53 dds, en ambos suelos y en las concentraciones de nitrógeno de 0% y 100%.

Cultivares que alcanzan mayor peso de hojas y área foliar producen mayor peso de la raíz. Las raíces alcanzan su peso máximo a los 120 días después de la emergencia (**dde**), los siguientes 30 días muestra un aumento pequeño e irregular. Esto sugiere que el patrón del crecimiento relativo empieza a cambiar entre los 105 y 120 dde (Stanhill, 1977 y Suojala, 2000).

El crecimiento de la raíz depende de los asimilados provenientes del follaje (Suojala, 2000). La raíz es un importante sumidero de asimilados, acumulando el 40% de la materia seca producida por la planta a las nueve semanas después de la siembra (Benjamin y Wren, 1978).

La actividad meristemática en la punta de la raíz inicia los cambios en la arquitectura y distribución de la raíz (Aiken y Smucker, 1996). Además, el flujo de iones y de hormonas de crecimiento que emite la raíz hacia la parte aérea, regulan todo el proceso de crecimiento de la planta, con efecto en la distribución de la materia seca entre la parte aérea y la raíz, lo anterior sugiere que las hormonas endógenas controlan la partición de materia seca (Benjamin et al, 1997).

La función botánica de la raíz de la zanahoria es servir de reservorio para la producción de semillas y su reproducción, pero para el hombre la raíz sirve como fuente de carbohidratos, vitamina A y otros componentes de valor nutricional (Rosenfeld et al, 2002), por lo que se cosecha cuando aún no ha alcanzado su madurez fisiológica (Bolaños, 2001).

Al final de ciclo es posible diferenciar en el interior de una raíz madura varias partes (Tirilly y Bourgeuis, 2002):

- Una zona muy delgada en el exterior, verdadera epidermis de la raíz, llamada peridermis.
- Una zona intermedia constituida por el floema.
- Un delgado anillo de capas generatrices que constituyen el cambium.
- Una zona central que corresponde al xilema.

## **Relación alométrica entre la raíz y las hojas**

La distribución de materia seca entre los órganos de la planta depende del control de la partición de asimilados, las pérdidas por respiración y del genotipo (Barnes, 1979, Hole et al, 1983 y Hole y Sutherland, 1990). Existe una relación alométrica simple entre el peso seco de la parte aérea y la raíz. El peso seco de la raíz depende de la actividad fotosintética de la parte aérea, la cual está estrechamente relacionada con el tamaño (peso seco) de las hojas (Currah y Barnes, 1979; Benjamin, 1984).

La relación entre el peso seco de la raíz y la parte aérea difiere con el estado de crecimiento. Estas diferencias pueden ser asociadas a los cambios fisiológicos que ocurren cuando da inicio el proceso de engrosamiento de la raíz (Stanhill, 1977; Currah y Barnes, 1979).

Desde las primeras etapas de crecimiento, tanto la parte aérea como la raíz de la zanahoria se desarrollan simultáneamente y en sincronía. Inicialmente domina el crecimiento de la parte aérea, cuando el sistema foliar alcanza su pleno desarrollo se acelera el crecimiento de la raíz principal en detrimento del follaje, sugiriendo un aumento en la movilización de asimilados hacia la raíz (Hole et al, 1983; Tirilly y Bourgeuis, 2002 y Krzesiński y Knaflewski, 2004).

## **Contenido de azúcares solubles y caroteno en la raíz**

El análisis de la composición de azúcares solubles de la raíz de la zanahoria ha revelado esencialmente la presencia de sacarosa, glucosa, y en menor cantidad galactosa y rafinosa. La sacarosa es el principal carbohidrato de reserva de la raíz de zanahoria. Durante el período de crecimiento de la raíz, la cantidad total de azúcares solubles aumenta progresivamente (Schaller y Schnitzler, 2000; Suojala, 2000 y Tirilly y Bourgeois, 2002).

En los tejidos jóvenes hay una alta actividad de la enzima invertasa o sacarasa, por tanto estos no almacenan sacarosa, lo cual es característico de los primeros estados de crecimiento de la raíz. Al desarrollarse la raíz, disminuye la actividad de la invertasa y se acumula sacarosa. La invertasa no es detectable en raíces de zanahoria maduras, donde la sacarosa forma aproximadamente un 80% del peso seco (Ricardo y Sovia, 1974).

La producción de carotenos en la raíz se da en la fase de maduración. La concentración en carotenos aumenta gradualmente hasta un máximo definido, tanto por un incremento de su síntesis en las células de los tejidos maduros como por el crecimiento de estos tejidos en el seno de la raíz entera. Un retraso en la maduración se traduce en un bajo contenido en carotenos. En la práctica, uno de los principales factores responsable de los bajos contenidos en carotenos en las raíces es la cosecha precoz (Tirilly y Bourgeois, 2002).

## ***Factores que afectan la acumulación de materia seca***

La partición de asimilados entre la parte aérea y la raíz, durante el ciclo de cultivo, es una expresión de la interacción entre los factores genéticos, los ambientales (Hole et al, 1983; Bertsch, 1998 y Suojala, 2000) y los culturales. Entre las variables ambientales están la radiación, la concentración de CO<sub>2</sub> y la temperatura, las cuales afectan de forma combinada el crecimiento de las plantas; con frecuencia un factor condiciona la respuesta de otro, dando origen a un tejido complejo de interacciones (Rodríguez y Leihner, 2006). Por ello es importante entender como el crecimiento y desarrollo de las plantas interactúa con el ambiente para incrementar la producción de los cultivos (Fourcaud et al, 2008).

La radiación es el principal factor regulador de la fotosíntesis, días largos y una alta radiación son favorables durante los primeros estados de crecimiento (Suojala, 2000). Las plantas de zanahoria que crecen con falta de radiación tienen un bajo contenido de clorofila, se alargan en su parte longitudinal, muestran retardo en el desarrollo foliar (etiolación) y sus raíces tendrán un sabor menos dulce (Rojas y Rovalo, 1985 y Bloksma y Huber, 2002). Si bien el crecimiento de la zanahoria es regulado principalmente por la radiación, también depende de otros factores como la temperatura, la densidad del cultivo y el potencial hídrico (Rojas y Rovalo, 1985; Gardner et al, 1985; Suojala, 2000).

La interceptación de la radiación es considerada la mayor limitante en el crecimiento y el desarrollo de la estructura de la parte aérea durante el ciclo del cultivo. Se puede esperar una reducción en la tasa de crecimiento cuando los niveles de radiación y temperatura disminuyen (Aikman y Benjamin, 1994 y Hole y Sutherland, 1990). El índice de área foliar y la disposición de las hojas afectan la interceptación de la radiación. A medida que el área foliar se desarrolla, la radiación interceptada por las hojas se incrementa (Gardner et al, 1985).

La producción de materia seca depende principalmente de la absorción de radiación fotosintéticamente activa (**RFA**). La RFA, calculada usando la radiación solar diaria y el área foliar, es utilizada para determinar el potencial de producción de materia seca diaria (Krzysiński y Knaflewski, 2004). La radiación directa contribuye con más del 90% de la materia seca durante la fotosíntesis. No obstante, la luz difusa reflejada de la superficie del suelo hacia las hojas en crecimiento puede actuar en el sistema natural de regulación del crecimiento y afectar el crecimiento de la parte aérea y la raíz, y además afectar la concentración de B-caroteno, ácido ascórbico y compuestos fenólicos solubles. (Antonious y Kasperbauer, 2002).

Un incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> provoca un aumento en la fotosíntesis y acumulación de materia seca (Benjamin et al, 1997 y Suojala, 2000). La biomasa total a cosecha de los cultivos resulta de la acumulación neta del CO<sub>2</sub> asimilado durante el ciclo de crecimiento. Debido a que la acumulación de materia seca se debe a la absorción de energía solar y dado que ésta última está distribuida uniformemente sobre una superficie, los factores primarios que afectan la biomasa total son la radiación solar absorbida y la eficiencia de utilización de esa energía para la fijación del CO<sub>2</sub> (Gardner et al, 1985).

Hole y Dearman (1991), compararon la fotosíntesis, la respiración y el crecimiento de dos cultivares de zanahoria al inicio del engrosamiento de la raíz (6 a 32 días después de la siembra) a 20°C. En ambos cultivares aproximadamente el 64% de la fotosíntesis neta fue dirigida hacia la parte aérea con 5% de pérdida por respiración y un 59% fue usado en el crecimiento de las hojas. De lo exportado a la raíz (36%), 19% fue usado en crecimiento de la raíz y 17% se perdió por respiración.

La temperatura óptima para el crecimiento de la zanahoria está comprendida entre 16 y 21°C (Benjamin et al, 1997). La temperatura afecta el crecimiento al controlar las tasas de las reacciones químicas y por lo tanto el uso de los asimilados (Suojala, 2000). Las altas temperaturas favorecen raíces de color más claro, más pequeñas y con forma más esférica, mientras que bajas temperaturas producen raíces pálidas y de mayor longitud. En algunas variedades se induce la floración prematura (Maroto, 1989 y Rosenfeld et al 2002), la cual debe evitarse ya que produce una migración de las reservas de la raíz hacia la parte aérea (Vigliola et al, 1986).

El crecimiento también es influenciado por la densidad de plantas, al determinar la cantidad de recursos disponibles (Benjamin et al, 1997). El aumento del número de semilla en cada hilera anticipa la competencia entre las hojas por la luz, esto puede ocasionar un aumento en la heterogeneidad de las raíces (Tirilly y Bourgeois, 2002). La diferencia de alturas en el follaje en una parcela de zanahoria refleja la competencia entre las plantas (Benjamin, 1984). Cuando el índice de área foliar alcanza un valor crítico y las plantas comienzan a interactuar se presenta una menor expansión de la hoja y la intercepción de la luz varía con la densidad de las plantas. La partición de materia seca entre la parte aérea y la raíz va depender del valor del índice de área foliar (Reid y English, 2000).

Conforme la densidad aumenta se produce una reducción en el tamaño de la planta (Li et al, 1996), lo que concuerda con Hole et al (1983), que encontraron que al incrementar la densidad se obtuvo una disminución en el peso total y un incremento en la relación de peso parte aérea/raíz. Cuando la densidad de siembra es menor la zanahoria tiende a crecer más rápido y de mayor tamaño (Wiebe, 1987).

Peach et al (2000), informan que la zanahoria compite por luz a una distancia de 20 cm en todas direcciones en la superficie y por los recursos del suelo 50 cm en todas direcciones en el suelo. Currah y Barnes (1979), encontraron que diferencias en el peso seco total de plantas de zanahoria se obtuvieron por la competencia por luz, agua y nutrimentos en los diferentes tratamientos de densidad y por la variación inicial del tamaño de la semilla, cuyo efecto persiste a través del ciclo de cultivo y provee la mayor parte del rango del peso total de las plantas antes de que la competencia se de.

## ***Nutrición del cultivo de zanahoria***

Los estudios de absorción de nutrimentos contribuyen en forma cuantitativa a dar solidez a los programas de fertilización, pues permiten determinar la cantidad de nutrimento que es absorbida por un cultivo para producir un rendimiento dado en un tiempo definido. La cantidad absorbida o requerida por una planta se obtiene del asocio del peso seco de los tejidos, con las concentraciones de nutrimentos totales presentes en esos tejidos (Bertsch, 2003).

Según Mejía y Lobo (1983), la raíz de la zanahoria tiene una capacidad de absorción de nutrimentos inicialmente muy lenta, pero máxima cuando la raíz inicia su proceso de engrosamiento. Lipinski y Alessandro, (2005) informan que la acumulación de nutrimentos es mayor en la raíz que en las hojas.

En el cultivo de zanahoria el nitrógeno (**N**) afecta directamente el desarrollo vegetativo de la planta, la acumulación de reservas, el contenido de caroteno y el desarrollo de la planta en general; siendo el amonio la forma nitrogenada preferentemente absorbida por la zanahoria (Venter, 1979, Wiebe, 1987, Heryati y Thalib, 1994, Tlustos et al, 2002 y Vadeagro, 2008).

El manejo del N en el cultivo de zanahoria está más influenciado por su abundancia en el suelo y el proceso de mineralización de la materia orgánica, que por la fertilización (Smolen y Sady, 2009). Thorup-Kristensen y Boogaard (1999) informan la poca capacidad de la zanahoria para absorber N. En los primeros estados de crecimiento el contenido de nitratos en las hojas es más alto que en la raíz, revirtiéndose la condición al final del ciclo (Lipinski y Alessandro (2005), Tlustos et al, 2002, Vereecke y Van Maercke, 1979 y Venter, 1979). La actividad de las hojas regula parcialmente el contenido de nitrato en la raíz (Blanc et al, 1979) cuyo contenido se diluye en la raíz conforme su peso aumenta.

El porcentaje de materia seca en las raíces es mayor entre menos N sea suministrado al cultivo (Smolen y Sady, 2009), mientras que niveles altos de N proporcionan niveles altos de fructuosa y glucosa y niveles bajos de sacarosa (Schaller y Schnitzler, 2000).

Herrera (1981) informa que la concentración de N decrece en el ciclo de cultivo, con un máximo a los 70 dds (3.71%); la zanahoria está en capacidad de absorber y acumular las mayores concentraciones de este elemento al principio de su ciclo, para luego consumirlos en los diferentes procesos fisiológicos de la planta.

Westerveld et al (2006) indican que la acumulación de N en el follaje tiene prioridad sobre la raíz hasta los 53 dds. El contenido total de N en las raíces no declinó durante el ciclo, mientras que en las hojas decrece alrededor de los 80 y 100 dds. El total de N absorbido por la planta al final del ciclo fue de 380 kg/ha. La mayor absorción de N y acumulación de materia seca ocurrió entre los 50 y 60 dds y la cosecha (40-140 kg/ha/d de materia seca y 0.4-3.3 kg/ha/d de N). Lo anterior coincide con lo informado por Soto (1981) quien encontró que a los 56 dds se alcanzó la mayor concentración de N (3.0-3.2%) para luego decrecer a las mínimas concentraciones (1.9-2.1%) entre los 98 y 112 dds, con un leve incremento a los 126 dds.

El fósforo (**P**) es un elemento absorbido en menor cantidad que el N, pero es fundamental para asegurar un buen desarrollo de la raíz y permitir una absorción equilibrada de otros nutrientes, sobre todo en el inicio del cultivo (Vadeagro, 2008). Ciampitti y García (2007) indican que la absorción de P en zanahoria es baja, menor de un kg de P por tonelada producida.

Herrera (1981) y Vereecke y Van Maercke, (1979) informan que la concentración de P tiende a disminuir conforme la planta envejece. Herrera (1981) indica que a los 90 dds alcanza su máxima concentración (0.33%), lo que difiere de Soto (1981), quien encontró dos puntos máximos, la máxima concentración a los 56 dds (0.23%), luego un incremento leve a los 112 dds.

Heryati y Thalib, (1994) observaron que la aplicación de P no afectó significativamente la altura de la planta y el peso seco de la parte aérea, pero si el peso seco de la raíz y la producción total. Lipinski y Alessandro (2005), encontraron que la concentración de P en las raíces fue tres veces superior al de la hoja.



El potasio (**K**) es fundamental en el llenado y acumulación de las reservas en la raíz (Vadeagro, 2008). La fertilización con K afecta la altura de la planta, el peso seco de la parte aérea y la raíz (Heryati y Thalib, 1994). Aproximadamente, se cosecha entre el 50-60% de K absorbido por el cultivo durante el ciclo (Ciampitti y García, 2007).

Lipinski y Alessandro, (2005); Tirilly y Bourgeois, (2002) y Morales, (1995), indican que la cantidad total de K extraído por la zanahoria supera ampliamente a otras hortalizas. La zanahoria tiene importantes necesidades en K, siendo este el nutrimento que absorbe del suelo en mayor cantidad, seguido por N y P. Aproximadamente el 60% del K se almacena en la raíz y es un 18 % en promedio mayor en la raíz que en las hojas (Lipinski y Alessandro, 2005).

Herrera (1981) observó que el K mostró una concentración creciente hasta un máximo a los 110 dds (6.70%). Soto (1981) informó que la concentración de potasio foliar presentó dos picos, a los 56 dds (2.88%) y entre los 98 y 112 dds (2.92%).

El calcio (**Ca**) es un elemento esencial en la estructura de la pared celular, por lo que proporciona dureza y peso sobre el material cosechado (Vadeagro, 2008). Herrera (1981) indicó que el Ca exhibió dos máximos de absorción, a los 80 dds y los 140 dds con su máxima concentración (1.51%). Por el contrario, Soto (1981) informó que la concentración de Ca foliar se incrementó lentamente hasta un máximo de 1.72% a los 126 dds.

El magnesio (**Mg**) en la planta es un activador de las enzimas que participan en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de ADN y ARN (Sierra et al, 2007). Soto (1981) indicó que el Mg alcanzó una concentración máxima a los 56 dds (0.33%). Por su parte Herrera (1981) informó que el Mg presentó dos máximos a los 70 dds (0.35%) y a los 130 dds (0.36%).

El azufre (**S**) es necesario en procesos metabólicos primarios como la fotosíntesis y en secundarios como la síntesis de aminoácidos y proteínas (IPNI, 2009 y Sierra et al, 2007). El comportamiento del S en las plantas es similar al N (Collacelli, 1999).

El boro (**B**) es absorbido por un flujo hídrico a través de las raíces, en la forma de ácido bórico no disociado, que sigue el flujo de la transpiración y es transportado únicamente en el xilema, ya que es en gran parte inmóvil en el floema (Rodríguez et al, 2002). El B participa en la síntesis de aminoácidos y proteínas, desarrollo y crecimiento de nuevas células en el meristemo de la planta (Sierra et al, 2007). La zanahoria tiene requerimientos relativamente altos de B, necesita sobre 0.5 ppm de B disponible en el suelo, y el valor crítico en el tejido seco es de 30-80 ppm (Morales, 1995).

El manganeso (**Mn**) tiene funciones en el sistema enzimático de la planta. Tiene un rol en varias reacciones metabólicas importantes incluyendo la conversión del N en forma de nitratos, una forma que la planta pueda utilizar. El Mn participa en la fotosíntesis al ayudar a la síntesis de la clorofila (IPNI, 2009) y acelera la germinación y madurez del cultivo (Sierra et al, 2007).

El Zinc (**Zn**) es necesario para la producción de clorofila y la fotosíntesis, está involucrado en la síntesis de ácido indolacético. El cobre (**Cu**) y el hierro (**Fe**) están asociados con enzimas que participan en reacciones de reducción y oxidación (transferencia de electrones) (Sierra et al, 2007).

Conforme las hojas envejecen el Ca aumenta y el Mg disminuye (Vereecke y Van Maercke, 1979). Herrera (1981) concluyó en su trabajo que la zanahoria presentó una baja concentración foliar de Ca y Mg y alta en K, producto del antagonismo del K sobre el Ca y Mg, lo que concuerda con lo observado por Bose et al (2008), quienes indican que una alta fertilización de Mg puede disminuir la absorción de K por parte de la planta y provocar una disminución en la cosecha debido al efecto antagónico entre estos elementos. Herrera (1981) observó en las absorciones foliares un comportamiento paralelo del N y Ca, el P y K, y el Ca con el Mg; e inverso entre N y K, y del P con el Ca.

Salo et al (2002), informaron de una producción de 90 ton/ha y una absorción total de nutrimentos por parte de la raíz y las hojas de 180-190kg N/ha, 23-30kg P/ha, 325-444kg K/ha. Por su parte Mejía y Lobo (1983) informaron que una cosecha de 40 ton/ha extrae del suelo 125kg de N, 55kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200kg de K<sub>2</sub>O y 150 kg de CaO.

En el Cuadro 1 se presentan datos de extracción de N, P, K y Ca del suelo por parte del cultivo de zanahoria.

**Cuadro 1.** Datos de extracción de N, P, K y Ca del suelo por parte de la raíz y el follaje del cultivo de zanahoria (Valadez, 1998).

Parte de la planta	Rendimiento (ton/ha)	Kg/ha			
		N	P	K	Ca
1. Raíz	33.6	67.2	22.4	72.8	
Follaje	15.7	78.4	11.2	140.0	
2. Raíz	44.8	103.0	37.3	94.1	24.6
Follaje	22.4	112.0	11.2	224.0	235.2
3. Raíz	33.6	37.0	30.2	113.1	
Follaje	6.7	24.6	7.8	33.6	
4. Raíz	20.0	112.0	28.0	112.0	

En el Cuadro 2 se reporta la cantidad en Kg de N, P y K que se requiere para producir una tonelada de zanahoria.

**Cuadro 2.** Cantidad estimada en Kg de N, P y K que se requiere para producir una tonelada de zanahoria, en forma total y por la cosecha (Bertsch, 2003).

Total (Kg/ton)			Cosecha (kg/ton)		
N	P	K	N	P	K
4	0.8	6	2	0.4	4

### III. Materiales y Métodos

El análisis de crecimiento y de absorción de nutrimentos de la zanahoria se realizó entre los meses de marzo a julio del 2009, en el distrito de Cipreses, cantón de Oreamuno y provincia de Cartago, coordenadas geográficas 9° 53' 5,6'' N, 83° 50' 39,0'' O, a una altitud de 1721 msnm, en la propiedad del Ing. Agr. Antonio Castro.

Los datos de clima durante el ciclo de cultivo se tomaron de las estaciones meteorológicas más cercanas al área del experimento, Dulce Nombre 9°50'N, 83°54'O a una altitud de 1345 msnm y San Juan de Chicoa 9°57'N, 83°51'O, a una altitud de 3090 msnm (Cuadro 3).

Previo a la siembra se realizó el análisis textural (Cuadro 4) y químico (Cuadro 5) del suelo en el Laboratorio de Recursos Naturales (características físicas) y Laboratorio de Suelos y Foliarés (características químicas) del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Además en el Laboratorio de Nematología de la Universidad de Costa Rica se realizó un análisis nematológico, donde se encontró 23 nematodos del género *Meloidogyne* en 100 cc de suelo.

El suelo es de origen volcánico, con características de Andisol, por lo que sus propiedades físicas son adecuadas para el cultivo de zanahoria. El Cuadro 5 muestra que el suelo no presentaba problemas de acidez, sin embargo mostró niveles bajos de los siguientes nutrimentos: Mg, K, P, Zn y Mn.

**Cuadro 3.** Valores promedio de las variables meteorológicas de marzo a julio del 2009 en décadas de días, en las estaciones meteorológicas de Dulce Nombre y San Juan de Chicao, informadas por el Instituto Meteorológico Nacional.

Variable	Mes														
	Marzo			Abril			Mayo			Junio			Julio		
	0-10	11-20	21-31	0-10	11-20	21-31	0-10	11-20	21-31	0-10	11-20	21-31	0-10	11-20	21-31
<b>Dulce Nombre</b>															
Brillo solar (horas)	4.9	8.1	8.1	9.6	8.1	4.8	4.6	5.1	4.4	4.6	5.1	6.6	4.0	4.4	6.2
Precipitación (mm)	41.9	1.7	1.0	0.0	1.4	11.7	32.4	25.9	76.5	86.4	71.7	126.5	53.9	33.4	50.9
Humedad (%)	92.9	83.4	81.5	72.6	82.1	86.2	86.9	86.3	86.3						
Temperatura max (°C)	20.9	23.1	24.8	24.9	25.5	24.1	24.9	24.1	25.7	25.4	25	25.2	24.4	23.7	24.6
Temperatura min (°C)	14.1	12.5	13	11	14.6	16.2	16.4	16.2	16.5	17.2	16.6	15.4	15.6	15.7	16.8
Temperatura prom (°C)	17.3	17.8	18.9	18.2	20.1	20.1	20.8	20.2	21.1	21.3	20.8	20.3	20	19.8	20.6
<b>San Juan de Chicao</b>															
Precipitación (mm)	13.2	0	0.2	0	0	3.8	5.2	25.7	69.2	43	88	97.3			
Brillo Solar (horas)	6.4	9.3	8.5	8.8	7.7	5.0	3.2	3.5	3.2	2.5	3.5	4.2	2.9	3.7	6.6

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2009.

**Cuadro 4.** Análisis de la textura del suelo del área experimental en la zona de Cipreses de Oreamuno, Cartago, marzo del 2009.

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Nombre Textural
58	34	9	Franco Arenoso

**Cuadro 5.** Análisis químico del suelo del área experimental en la zona de Cipreses de Oreamuno, Cartago, marzo del 2009.

Valor	pH H <sub>2</sub> O	Acidez	Ca cmol(+)/L	Mg	K	CICE %	SA %	P	Zn	Cu mg/L	Fe	Mn
Ref	5.5	0.5	4	1	0.2	5	10	10	3	1	10	5
campo	5.5	0.33	5.19	0.68	0.09	6.29	5	4	2.4	5	52	2

## ***Material experimental***

El Cuadro 6 enumera los híbridos de zanahoria utilizados en la presente evaluación.

**Cuadro 6.** Híbridos de zanahoria utilizados en el análisis de crecimiento y de absorción de nutrimentos.

Híbrido	Casa productora
Suprema	Isla Sementes
Esperanza	Seminis Vegetable Seeds, Inc.
Bangor	Bejo Zaden B.V
CLX-3193 F1	Clause
SirKana	Nunhems

Bangor, Esperanza y Sirkana fueron seleccionados por su comportamiento promisorio de la evaluación de híbridos y variedades de zanahoria realizada por Richmond (2009) en Cot, Cartago, mientras que CLX-3193 y Suprema son materiales nuevos.

## ***Manejo agronómico de la parcela experimental***

La parcela experimental se ubicó próxima a una plantación comercial de un productor de experiencia en el cultivo de zanahoria, por lo que se siguieron las prácticas agrícolas utilizadas por el productor. A continuación se detalla la preparación del terreno, la siembra, la protección del cultivo y manejo de la nutrición.

### **Preparación del terreno**

La preparación del terreno se realizó 15 días antes de la siembra. Se inició con la eliminación de las malezas con una chapeadora acoplada a un tractor. El terreno se encaló con hidróxido de calcio a una dosis de dos Tm/ha. Seguidamente se incorporó la cal en el terreno con un arado de cinceles. Finalmente se afinó el terreno con el rotador y se conformó la cama de siembra.

Para profundizar los pasillos que dividen las camas de siembra, se utilizó un arado con tracción animal, para finalmente obtener camas de siembra de un metro de ancho y 15 cm de alto. Previo a la siembra se emparejaron las eras, luego se hicieron los surcos de las camas con un rastrillo de tres dientes.

### **Siembra**

La semilla de la zanahoria fue colocada a mano, debido a las diferencias en el calibre de la semilla en cada híbrido. Dado que la zanahoria presenta una germinación muy variable, se procedió a colocar aproximadamente 55 semillas en cada hilera de siembra de un metro de longitud, con el objetivo de obtener al final 30 plantas por surco de siembra.

## Protección del cultivo

A la siembra se aplicó el nematocida Nemaicur 5 GR (Fenamifos) a una dosis de 43 kg/ha para el control de nematodos como *Meloidogyne*. También se realizó una aplicación en drench de los siguientes fungicidas: Proplant 72,2 SL (propamocarb) a 2.5ml/L + Carbendazina 50 SC (Carbendazina) a 2.5ml/L + Banrot (Etridiazole + Metilthiophanato) a 1gr/L, para el control de hongos de suelo como *Rizoctonia* sp, *Fusarium* sp, *Phytophthora* sp y *Pythium* sp.

Ocho días después de la siembra (dds) se realizó una aplicación de insecticida Cipermetrina 25 EC (Cipermetrina) a 0.625ml/L + Tamaron 60 SL (Metamidofos) a 1.25ml/L para el control de gusanos cortadores como *Agrotis* spp. A los 15 dds se aplicó Cipermetrina 25 EC (Cipermetrina) a 0.625ml/L + Vydate 24 SL (Oxamyl) a 5ml/L para control de gusanos cortadores y nematodos. A los 22 dds se aplicaron el insecticida Cipermetrina 25 EC (Cipermetrina) a 0.625ml/L + los fungicidas Banrot (Etridiazole + Metilthiophanato) a 1gr/L + Moncut 50 WP (Flutolanil) a 2.5gr/L para el control de gusanos cortadores y hongos de suelo respectivamente, adicionalmente se aplicó Vydate 24 SL (Oxamyl) a 5ml/L para el control de nematodos. Para el control de *Liryomiza* se realizaron dos aplicaciones de Vertimec 1,8 EC (Abamectina) a 0.5ml/L.

Para el control de los hongos que afectan el follaje, *Alternaria dauci* y *Cercospora carotae* se realizaron aplicaciones de fungicidas cada ocho días alternando de la siguiente manera:

1. Bellis 38 WG (Boscalid+Pyraclostrobin) a 1gr/L + Antracol 70 WP (Propineb) a 3.75gr/L.
2. Kal-sil 72 SC (Clorotalonil) a 2.5ml/L + Carbendazina 50 SC (Carbendazina) a 2.5ml/L.
3. Calidan 27,5 SC (Iprodione + Carbendazina) a 2.5ml/L + Bactericida Agri-Mycin 16,5 WP (Oxitetraciclina + Estreptomicina) a 1gr/L.
4. Kal-sil 72 SC (Clorotalonil) a 2.5ml/L + Carbendazina 50 SC (Carbendazina) a 2.5ml/L.

Se aplicó el herbicida Afalon 45 SC (Linuron) a 1.25ml/L para el control de malezas, ocho y quince días después de la primera fertilización.



## Nutrición del cultivo

El plan de fertilización aplicado por el productor se presenta en el Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Total de Kg/ha aplicados durante el ciclo de cultivo de zanahoria, en la zona de Cipreses de Oreamuno, Cartago, 2009.

Fertilización	Nitrógeno (Kg de N/ha)	Fósforo (Kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)	Potasio (kg de K <sub>2</sub> O/ha)
1°: 30 dds	61	123	61
2°: 60 dds	61	56	92
<b>Total</b>	<b>122</b>	<b>179</b>	<b>153</b>

No se observaron deficiencias nutricionales en el cultivo, sin embargo como complemento a la fertilización al suelo se hicieron aplicaciones foliares de N, P, K, Mg, Ca y elementos menores.

## *Unidad y diseño experimental*

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo de parcelas divididas. La parcela grande correspondió a los híbridos y la parcela pequeña a las épocas de muestreo, con cuatro repeticiones.

La unidad experimental consistió en una parcela de un metro cuadrado (1 m de largo x 1 m de ancho) con cinco surcos de siembra. Cada surco de siembra con aproximadamente 30 plantas. Se realizaron 10 muestreos en total en dos etapas, de la siguiente manera:

Primera etapa: se realizaron cinco muestreos cada ocho días de los 39 a 68 días después de la siembra (**dds**); cada muestreo incluyó un número de plantas equivalente a un metro cuadrado.

Segunda etapa: se realizaron cinco muestreos cada 15 días de los 81 a 139 dds; en este caso se muestrearon de 15 a 10 plantas de zanahoria.

En cada muestreo se seleccionaron las plantas que representaban el desarrollo fenológico propio de la época de muestreo y se eliminaron todas aquellas plantas con algún defecto (raíces bifurcadas, reventadas, hojas con incidencia de *Alternaria* y *Cercospora*).

## ***Análisis de acumulación de materia seca***

El análisis de crecimiento de los cinco híbridos de zanahoria se realizó mediante la metodología de análisis funcional (Rodríguez y Leihner, 2006).

El procesamiento del material se llevó a cabo en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. El material recolectado se lavó y se separó en complejo raíz – tallo y follaje. Cada órgano se colocó en bolsas de papel y se secaron en una estufa a 70°C por 48 horas hasta peso constante. El área foliar se determinó mediante un medidor de área foliar Li-Cor 3100 (Lincoln, Nebraska).

Con el peso seco de los componentes de la zanahoria (hojas y complejo raíz-tallo) se determinaron las curvas de distribución de materia seca a través del ciclo. Los datos fueron analizados en términos de planta.

## ***Análisis de concentración y absorción de nutrimentos***

La determinación de la concentración y absorción de nutrimentos, se realizó a las plantas cosechadas para el análisis de acumulación de materia seca. Las plantas de cada una de las etapas de desarrollo en sus dos tejidos se molieron para realizar el análisis de nutrimentos, el cual se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos y Foliares del Centro de Investigaciones Agronómicas de la UCR.

La cantidad consumida, absorbida o requerida por la planta se obtuvo del producto del peso seco de los tejidos y las concentraciones de nutrimentos totales presentes en esos tejidos según el análisis anteriormente descrito.

## ***Variables evaluadas***

### Análisis de crecimiento

- Peso seco total (g/planta)
- Peso seco de follaje (g/planta)
- Peso seco de raíz + tallo (g/planta)
- Área foliar (dm<sup>2</sup>/planta)

### Tasa de partición de asimilados

Partición=  $(d(\text{tejido})/dt)/(d(\text{total})/dt)$

### Variables de nutrición

Concentración foliar (%) de los nutrimentos en la planta en cada época de muestreo

Absorción (mg o µg/planta) de los nutrimentos por las plantas en cada época de muestreo

### Variables ambientales

Temperatura (°C), brillo solar (horas), precipitación (mm), humedad (%): determinados en las estaciones meteorológicas más cercanas al área experimental

## ***Análisis estadísticos de datos***

Los datos de área foliar y peso seco de la biomasa total, tallo + raíz y hojas expresados inicialmente en dm<sup>2</sup>/planta y g/planta respectivamente, se transformaron a logaritmo, para homogeneizar su varianza. Los datos fueron expresados por planta.

Se ajustaron modelos de regresión no lineal para el peso seco de cada grupo de tejidos y del total, así como el área foliar, utilizando el procedimiento NLIN de SAS. Se obtuvieron los parámetros que definen las funciones matemáticas que describen el crecimiento logrando el mejor ajuste de los datos, representando gráficamente cada modelo para cada variable evaluada.

Para las variables de peso seco total y de raíz se obtuvo la función logística no-lineal asintótica:

$$PS = \alpha / (1 + \exp(-\beta(x - \gamma)))$$

Este modelo explica como el tejido pasa por una fase de crecimiento acelerado, luego un crecimiento desacelerado y alcanza un momento de estabilidad. El significado de los parámetros es el siguiente:

- alfa indica el peso máximo que podría alcanzar el tejido,
- beta controla la velocidad del crecimiento y
- gamma muestra el momento en que el crecimiento pasa de ser acelerado a desacelerado.

Para el peso seco de hojas y área foliar se obtuvo la función tipo “campana”:

$$PS = \alpha * \exp(-\beta(x - \gamma)^2)$$

Este modelo describe un crecimiento acelerado que alcanza un máximo después del cual el crecimiento decrece. El significado de los parámetros es el siguiente:

- alfa indica el peso máximo que podría alcanzar el tejido,
- beta controla la velocidad del crecimiento y
- gamma muestra el punto en que el tejido alcanza el peso máximo.

Con la primera derivada de cada una de las funciones descritas, la cual corresponde a la tasa de crecimiento relativo (TCR) del cultivo, se obtiene la tasa relativa de partición de asimilados, la cual se define como el cociente entre la TCR de cada tejido y la TCR de la biomasa total:  $partición = TCR(\text{raíz o hojas}) / TCR \text{ biomasa total}$ . Se procedió a representar en una gráfica la tasa de partición de la raíz con respecto a las hojas.

Para probar la hipótesis de diferencias en el crecimiento debidas a los híbridos, se estimaron los parámetros del modelo no lineal con SAS para cada repetición e híbrido. Estos valores de los parámetros fueron sometidos a un ANDEVA convencional para probar el efecto de los híbridos.

## IV. Resultados y Discusión

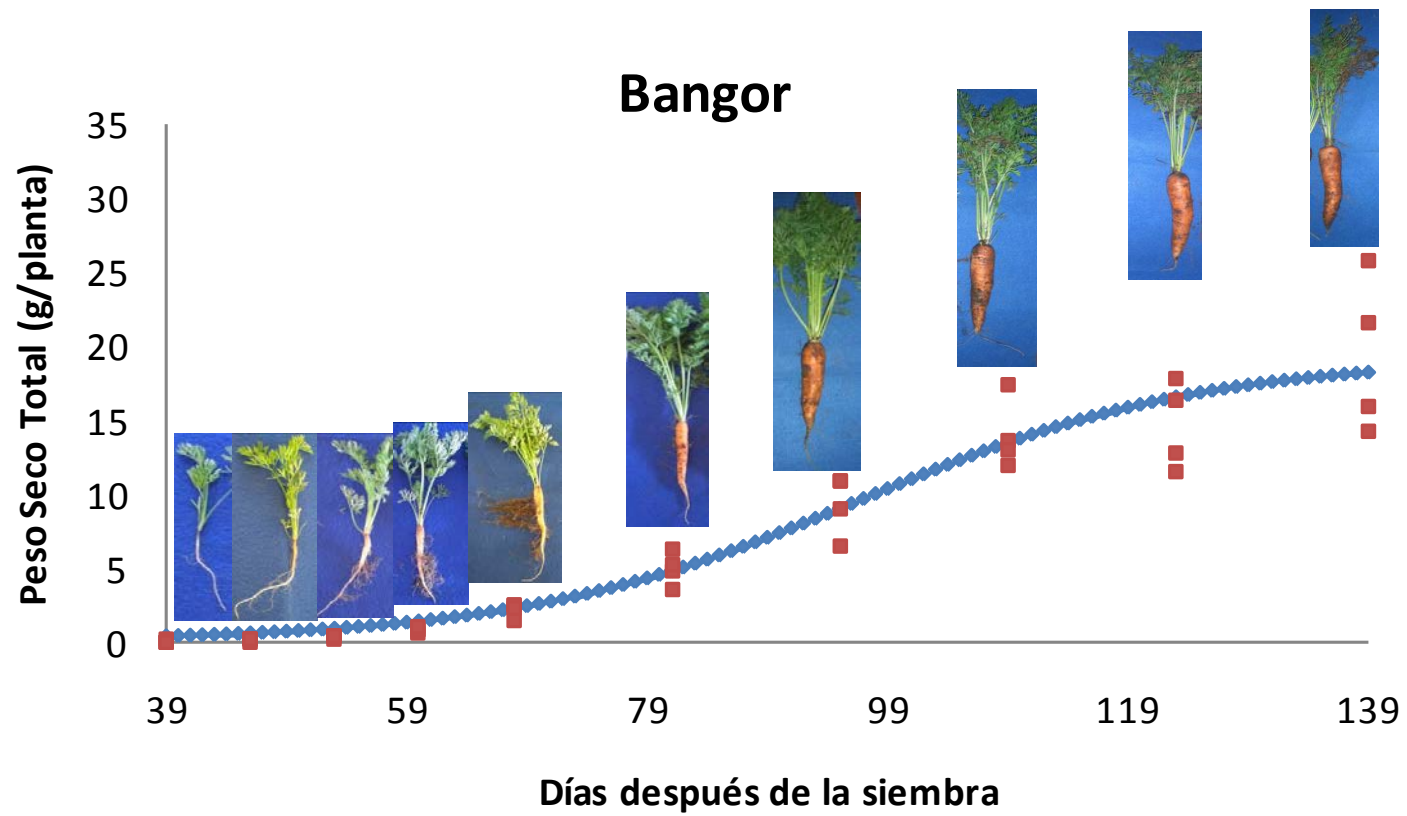
### *Fenología del cultivo de zanahoria*

En la Figura 1 se ilustra con fotografías el desarrollo fenológico del cultivo de zanahoria. Se utilizó el híbrido Bangor ya que actualmente es el material de mayor área de siembra en el país.

A los 22 dds se observó un 50% de la germinación y a los 32 dds el establecimiento del cultivo y la aparición de las primeras hojas verdaderas. Se observó que la germinación y el establecimiento de las plántulas de zanahoria es un proceso lento, donde el tiempo de emergencia varía inclusive dentro de un mismo híbrido. Lo que concuerda con Reid y English (2000), que informan que la germinación de la semilla y emergencia de la zanahoria puede ser extremadamente variable. Algunos factores que pueden afectar la germinación son la preparación del terreno, la profundidad de siembra y el nivel de humedad del suelo.

Según las etapas de crecimiento descritas por Bertsch (1998), se observa la etapa I de crecimiento, de los 39 dds a los 60 dds donde se presenciaron los primeros estados de desarrollo de la parte aérea y la raíz, Figura 1. Durante estas primeras semanas la raíz crece en términos de longitud y el desarrollo foliar es lento.

La zanahoria presenta un aumento constante en el diámetro de la raíz después de los 61 dds y hasta los 97 dds, así como un aumento en el número de hojas, lo que coincide con la fase II de crecimiento. Posteriormente la tasa de crecimiento se desacelera después de los 98 dds hasta los 123 dds, lo que corresponde a la etapa III de crecimiento. El tamaño de las raíces y el follaje tiende a estabilizarse antes de la cosecha a partir de los 124 dds, lo que concuerda con la etapa IV de crecimiento, Figura 1.



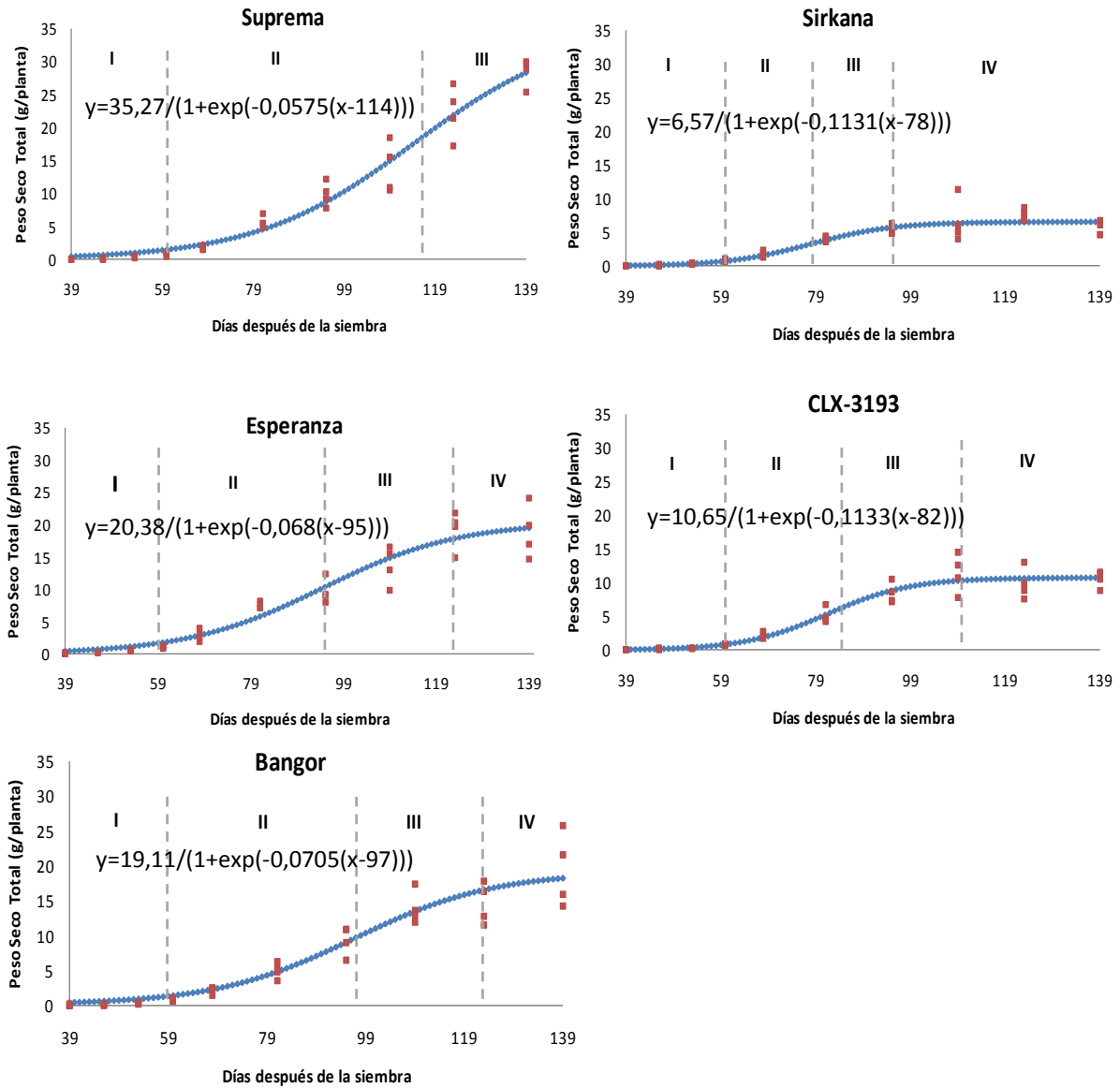
**Figura 1.** Etapas fenológicas del cultivo de zanahoria, híbrido Bangor. Oreamuno, 2009

## ***Análisis de crecimiento funcional***

En las Figuras 2, 3, 4 y 5 se presenta la acumulación de materia seca total, de las hojas, de las raíces, y el área foliar, de los cinco híbridos de zanahoria. La curva de crecimiento es expresada por la línea continua que logra el mejor ajuste de todos los datos obtenidos en las diferentes épocas de muestreo.

El análisis de crecimiento se llevó a cabo mediante el enfoque funcional. Durante los primeros 50 días después de emergencia (dde) la raíz de zanahoria crece más rápidamente en términos de longitud, más que en términos de aumento del peso de la raíz (Plant Protection, 2005), por esta razón los muestreos se realizaron cada ocho días hasta los 68 dds (47 dde), luego se efectuaron cada 15 días.

La Figura 2 muestra que el aumento de biomasa total de los híbridos de zanahoria durante el ciclo es descrito por medio de una curva sigmoideal. El crecimiento es dividido en fases según la velocidad de acumulación de la materia seca y en concordancia con las etapas sugeridas por Bertsch (1998), se observa la fase I de los 39 dds a los 59 dds, periodo caracterizado por un lento aumento del peso y un bajo desarrollo vegetativo, lo que coincide con lo informado por Suojala (2000) y Plant Protection (2005).



**Figura 2.** Acumulación de materia seca total de cinco híbridos de zanahoria, según el modelo logístico no lineal  $y = \alpha / (1 + \exp(-\beta(x - \gamma)))$ . Oreamuno, 2009.



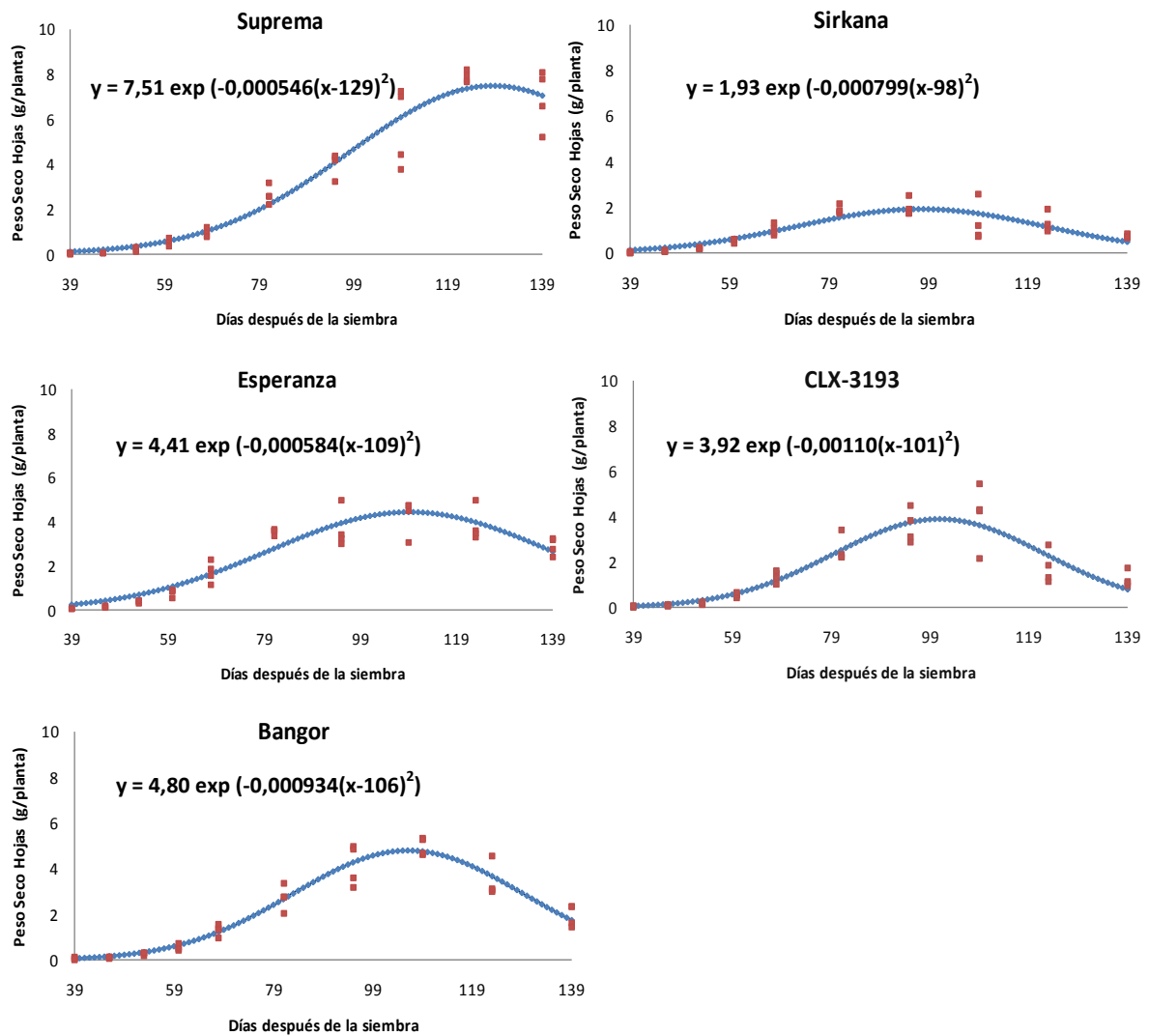
En la Figura 2 se observa la fase II de crecimiento acelerado, va de los 60 dds hasta los 114 dds en Suprema (valor de  $\gamma$ ), 95 dds en Esperanza, 82 dds en CLX-3193 y 78 dds en Sirkana; luego el crecimiento pasa a ser desacelerado, lo que corresponde a la fase III, que termina a los 123 dds en Esperanza y Bangor, 109 dds en CLX-3193 y 95 dds en Sirkana. Posteriormente se presenta la fase IV de estabilidad, donde la tasa de ganancia de peso de la raíz tiende a estabilizarse al aproximarse la cosecha, coincidiendo con lo indicado por Plant Protection (2005). En el caso del híbrido Suprema, no se logra definir la fase IV, indicando que podría tratarse en este caso de un material de producción más tardía.

No se evalúa la etapa V sugeridas por Bertsch (1998), debido a que al final del ciclo el producto es cosechado antes de alcanzar su madurez fisiológica, respectivamente, por lo que no se presencia una fase final de senectud y muerte.

Hole et al (1983), al estudiar la zanahoria en condiciones de invernadero encontraron que el crecimiento tanto de la parte aérea como la raíz fue exponencial hasta los 60 dds, para decrecer posteriormente, lo que no concuerda con los datos observados en la Figura 2, donde según el valor de  $\gamma$ , los cinco híbridos mostraron un crecimiento acelerado de la biomasa total que concluye entre los 78 y los 114 dds, según el híbrido. El valor de alfa ( $\alpha$ ) indica que Suprema logra un peso máximo de la biomasa total de 35,27 g/planta, Esperanza de 20,38 g/planta, Bangor de 19,11 g/planta, CLX-3193 de 10,65 g/planta y Sirkana de 6,57 g/planta.

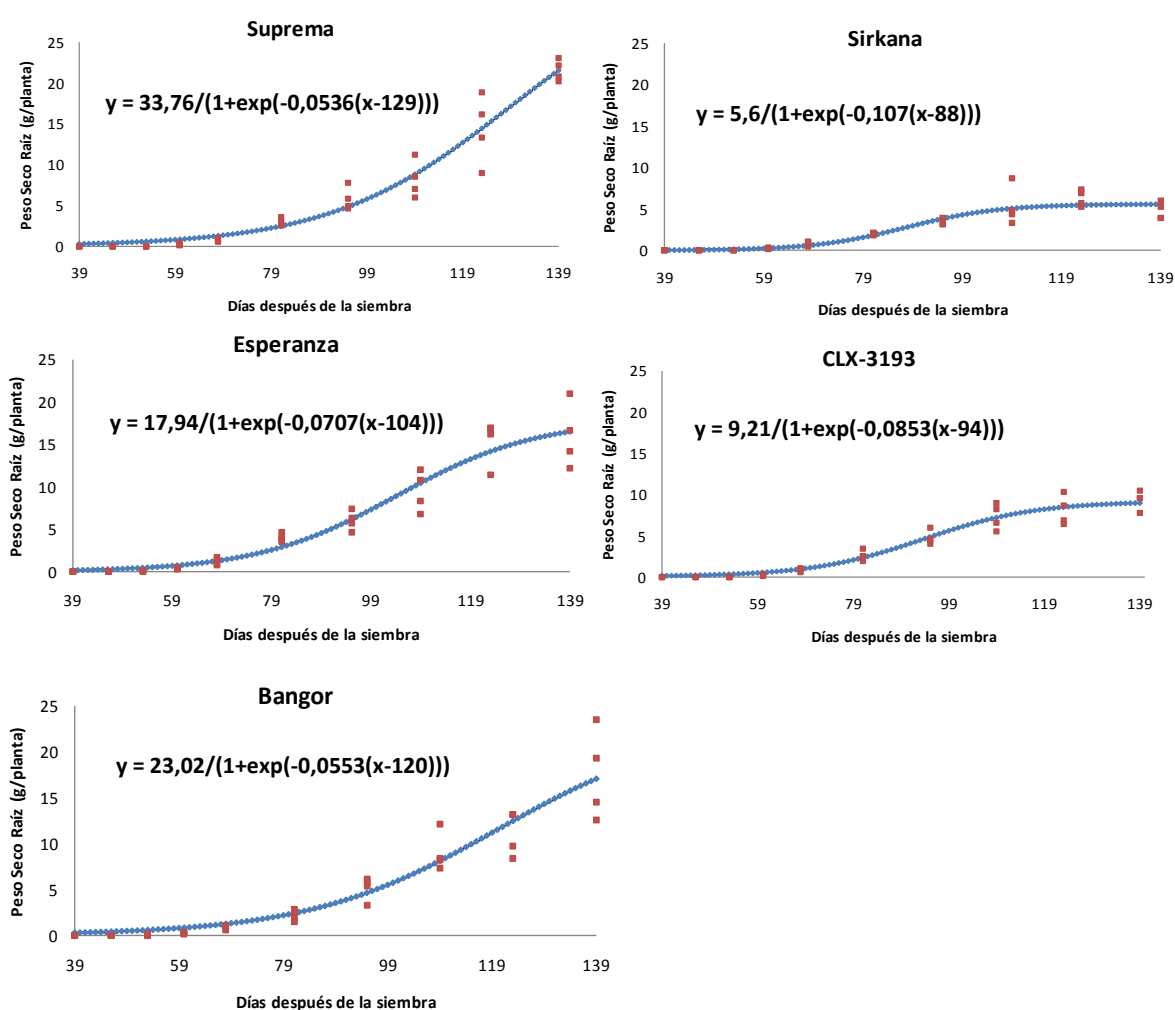
Los híbridos Suprema, Esperanza y Bangor tuvieron una mayor acumulación de materia seca comparados con Sirkana y CLX 3193. En el presente caso, las diferencias en crecimiento entre estos dos grupos puede deberse a las características genéticas de los materiales.

La acumulación del peso seco de las hojas se observa en la Figura 3, en orden decreciente Suprema alcanza un peso seco máximo de 7,51 g/planta (valor de  $\alpha$ ), Bangor de 4,80 g/planta, Esperanza de 4,41 g/planta, CLX-3193 de 3,92 g/planta y Sirkana de 1,93 g/planta. La curva describe un crecimiento acelerado que alcanza el máximo a los 98 dds en Sirkana (valor de  $\gamma$ ), a los 101 dds en CLX-3193, a los 106 dds en Bangor, a los 109 dds en Esperanza y a los 129 dds en Suprema, lo que concuerda con Stanhill (1977) y Suojala (2000), que indican que el peso del follaje alcanza su máximo entre los 90 y 130 dds. Los híbridos Suprema, Esperanza, Bangor y CLX-3193 alcanzan su máxima acumulación en la etapa III, mientras que Sirkana lo obtiene al inicio de la fase IV.



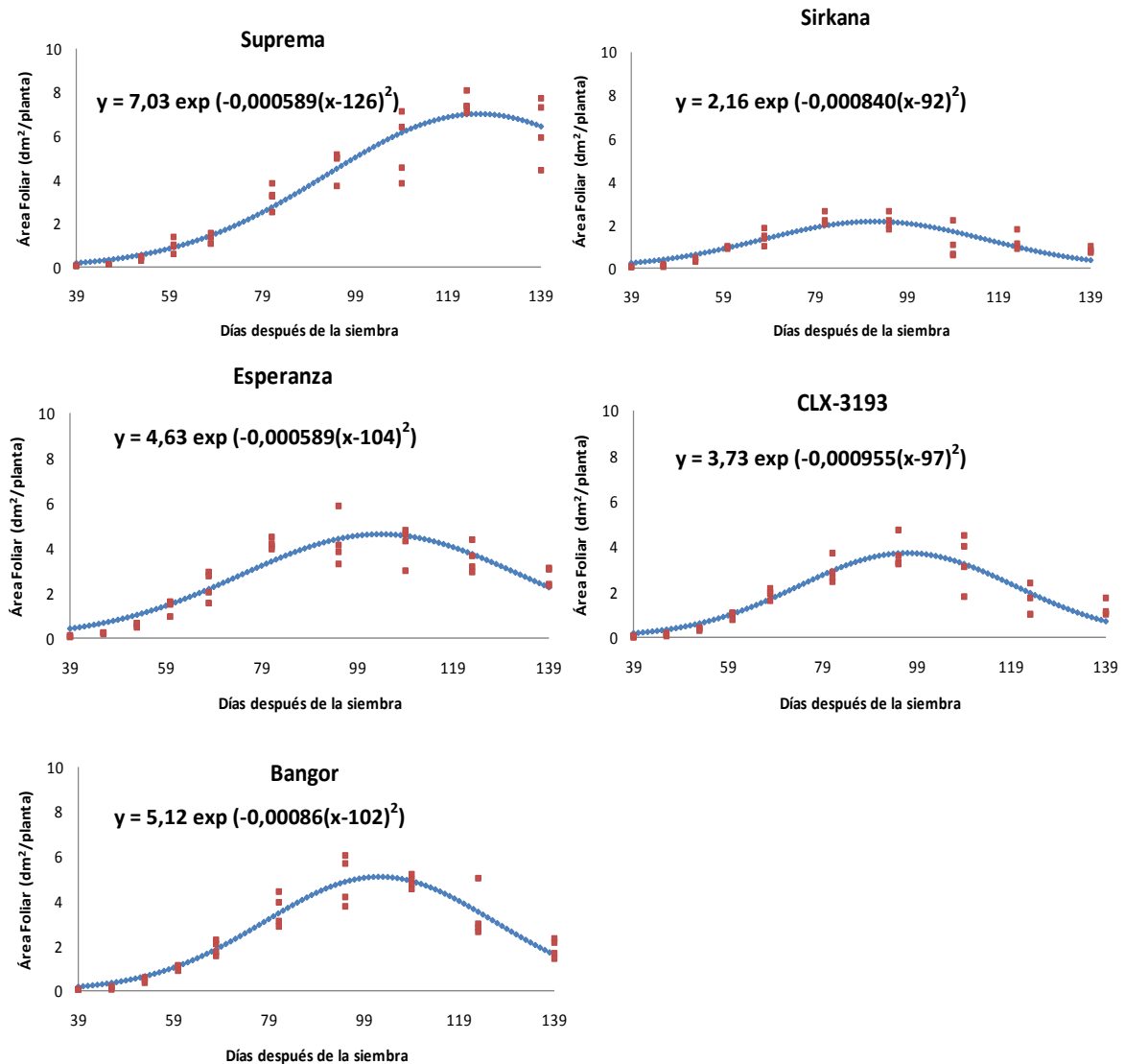
**Figura 3.** Acumulación de materia seca de las hojas de cinco híbridos de zanahoria, según el modelo no lineal tipo campana  $y = \text{alfa} \cdot \exp(-\text{beta}(x-\text{gamma})^2)$ . Oreamuno, 2009.

La Figura 4 muestra las curvas de peso seco de las raíces. En la fase I los híbridos Sirkana y CLX-3193 manifiestan un bajo crecimiento radical, mientras que los otros genotipos muestran una acumulación de asimilados ligeramente superior. En la etapa II, todos los materiales tienen un crecimiento exponencial, pero que es de menor magnitud en Sirkana y en CLX-3193, comportamiento que se mantiene en la etapa III y IV. Suprema mostró un crecimiento acelerado de la raíz hasta los 129 dds (valor de  $\gamma$ ), Bangor a los 120 dds, Esperanza a los 104 dds, CLX-3193 a los 94 dds y Sirkana a los 88 dds. El peso seco máximo de las raíces (valor de  $\alpha$ ) es de 33,76 g/planta en Suprema, 23,02 g/planta en Bangor, 17,94 g/planta en Esperanza, 9,21 g/planta en CLX-3193 y 5,6 g/planta en Sirkana. El rendimiento aproximado en orden decreciente fue de 39 ton/ha para Suprema, 31 ton/ha para Bangor, 30 ton/ha para Esperanza, 16 ton/ha para CLX-3193 y 10 ton/ha para Sirkana.



**Figura 4.** Acumulación de materia seca de la raíz de cinco híbridos de zanahoria, según el modelo logístico no lineal  $y = \alpha / (1 + \exp(-\beta(x-\gamma)))$ . Oreamuno, 2009.

En la Figura 5 se presenta el comportamiento del área foliar, el cual es similar al del peso seco de las hojas. El tiempo para alcanzar máxima área foliar (valor de  $\gamma$ ) varía entre los híbridos, Sirkana a los 92 dds, CLX-3193 a los 97 dds, Bangor a los 102 dds, Esperanza a los 104 dds y Suprema a los 126 dds. Igualmente varían los máximos valores de área foliar (valor de  $\alpha$ ), Suprema de 7,03 dm<sup>2</sup>/planta, Bangor de 5,12 dm<sup>2</sup>/planta, Esperanza de 4,63 dm<sup>2</sup>/planta, CLX-3193 de 3,73 dm<sup>2</sup>/planta y Sirkana de 2,16 dm<sup>2</sup>/planta.



**Figura 5.** Área foliar de los cinco híbridos de zanahoria, según el modelo no lineal tipo campana  $y = \alpha \cdot \exp(-\beta(x-\gamma)^2)$ . Oreamuno, 2009.

Stanhill (1977) y Suojala (2000) informan que el peso seco de hojas y área foliar correlaciona con el peso seco de las raíces. En el presente caso hay claros ejemplos de esto; el mayor peso seco y área foliar de Suprema también correlaciona con el mayor peso seco de las raíces; mientras que Sirkana exhibió el menor peso y área foliar y obtuvo también el menor peso seco de la raíz (Figuras 3, 4 y 5).

Currah y Barnes (1979) y Benjamin (1984), indican que el peso seco de la raíz depende de la actividad fotosintética de la parte aérea, la cual está estrechamente relacionada a la magnitud de las hojas (peso seco). Esto se debe posiblemente a que conforme se desarrolla el área foliar, se incrementa la radiación interceptada por las hojas (Gardner et al, 1985). No obstante, la relación del peso entre la parte aérea y la raíz es afectada por varios factores ambientales; se puede esperar una reducción en la tasa de crecimiento cuando los niveles de radiación y temperatura disminuyen (Aikman y Benjamin, 1994 y Hole y Sutherland, 1990).

Al analizar en detalle para los cinco híbridos la evolución de las variables de peso seco y área foliar se puede establecer dos grupos, por un lado Suprema, Esperanza y Bangor, y por otro CLX-3193 y Sirkana. En el primer grupo, Suprema obtuvo los mayores valores y la desaceleración del crecimiento ocurrió más tarde en comparación con los otros híbridos; mientras que en el segundo grupo Sirkana presentó los menores valores y alcanzó la desaceleración del crecimiento más temprano.

Las diferencias de peso seco de la parte aérea y de la raíz observadas en los cinco híbridos se pueden atribuir a factores como el genotipo (Hole et al, 1983), las características de la semilla, factores de suelo y ambiente (Finch-Savage et al, 2001). La emergencia de las plántulas es un factor clave para entender la acumulación de materia seca de las plantas de zanahoria (Benjamin, 1984); la diferencia en el tiempo de germinación genera ventajas competitivas para las plántulas que emergen primero, ya que se afecta la densidad de siembra y la habilidad para competir por espacio, radiación, agua y nutrientes. Lo anterior es confirmado por Benjamin (1987), que atribuye las diferencias en el tamaño de las raíces a la madurez, a la variación en el tiempo de emergencia y al tamaño de la plántula.

Otra causa que pudo ocasionar diferencias entre los híbridos fue la presencia de *Alternaria dauci* y *Cercospora carotae* a partir de los 99 dds. Estas enfermedades mostraron mayor severidad en los híbridos Sirkana y CLX-3193, mientras que el híbrido Suprema presentó mayor resistencia y logro alcanzar los mayores valores en todas las variables de crecimiento analizadas. Mientras que Sirkana y CLX-3193 obtuvieron los menores valores, sin embargo Sirkana mantuvo bajas tasas de acumulación de materia seca desde las primeras etapas de crecimiento, incluso antes de los 99 dds.

## ***Tasa de partición de la materia seca***

La tasa relativa de partición de asimilados con respecto a la biomasa total de los cinco híbridos de zanahoria se muestra en la Figura 6. Se denomina sumidero a los tejidos que acumulan asimilados, mientras los tejidos que producen asimilados son llamados fuente; el rol de un tejido como fuente o sumidero puede cambiar a lo largo del ciclo de una planta (Rodríguez y Leihner, 2006).

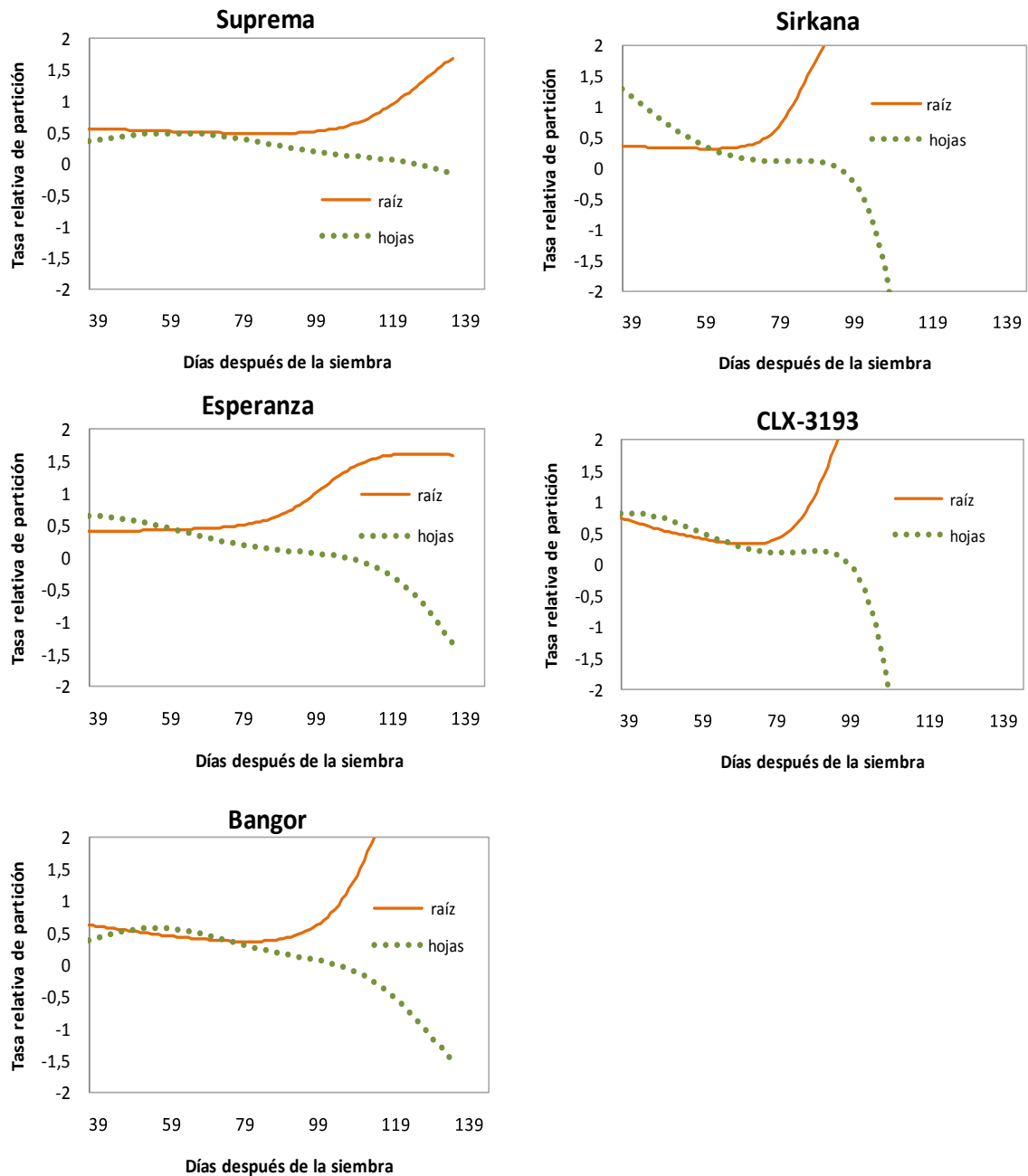
Durante las primeras etapas de crecimiento de la zanahoria, tanto el follaje como la raíz se desarrollan simultáneamente y en sincronía. Inicialmente la parte aérea domina el crecimiento y son las hojas la principal fuente y sumidero de la planta, debido a su capacidad asimilatoria y a que consume gran cantidad de energía en la construcción del aparato fotosintético que permita el posterior desarrollo radical.

Cuando el sistema foliar alcanza un desarrollo apropiado disminuye la partición de asimilados hacia el follaje, con el consiguiente incremento en la movilización de asimilados hacia la raíz, lo que concuerda con los indicado por Hole et al, 1983; Tirilly y Bourgeuis, 2002 y Krzysiński y Knaflewski, 2004. Con el inicio del engrosamiento, las raíces se convierten en el principal sumidero de la planta y las hojas en la fuente.

En el caso de los cinco híbridos de zanahoria, las raíces siempre presentan valores positivos de partición de asimilados confirmando su naturaleza de sumidero. Por el contrario, las hojas que inician con valores positivos terminan con valores negativos indicando su naturaleza de fuente de asimilados.

La figura 6 muestra la relación alométrica entre la parte aérea y la raíz de la zanahoria. No obstante, la relación entre el peso seco de la raíz y la parte aérea difiere con el estado de crecimiento, diferencias que pueden ser asociadas a los cambios fisiológicos que ocurren con el inicio del proceso de engrosamiento de la raíz (Stanhill, 1977; Currah y Barnes, 1979).

El punto de inflexión en las curvas de la Figura 6 marca el inicio del transporte de una mayor proporción de asimilados a la raíz; momento a partir del cual el peso seco de las hojas obtiene valores negativos, mientras que el peso seco de la raíz presenta una partición acelerada, sugiriendo que las hojas en vez de acumular asimilados los envían hacia la raíz.



**Figura 6.** Tasa relativa de partición de asimilados con respecto a la biomasa total de cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009.



Los híbridos Esperanza y Sirkana alcanzan el punto de inflexión a los 63 dds, Suprema a los 65 dds, el híbrido CLX-3193 llega a este punto a los 68 dds y Bangor es el híbrido que más tarde alcanzó este punto, a los 77 dds.

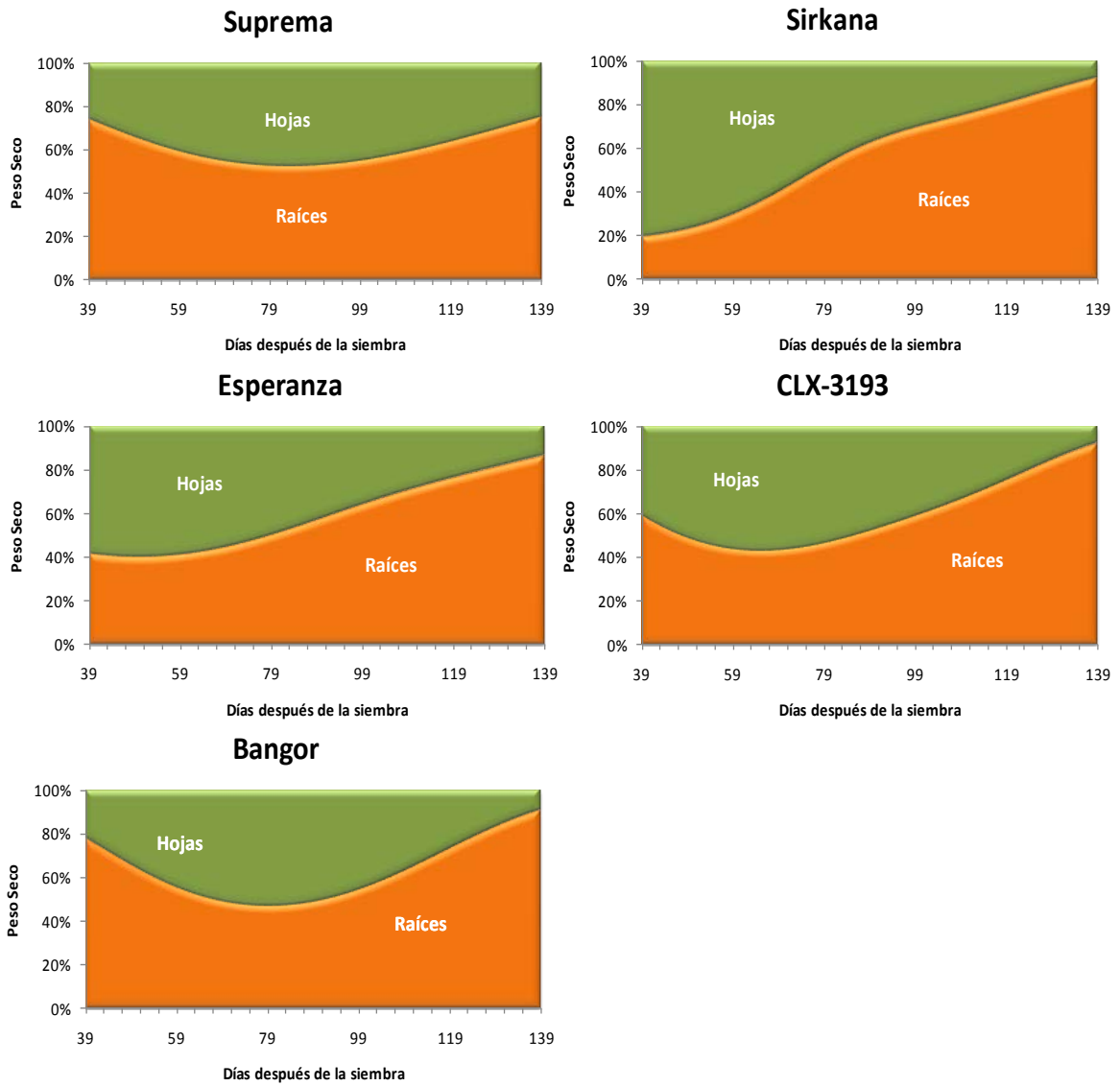
El híbrido Suprema alcanza los mayores valores de producción de materia seca total y de cada órgano de la planta, mientras que el híbrido Sirkana obtiene los menores valores (Figuras 1, 2 y 3), sugiriendo que la producción y translocación de asimilados es mayor en el híbrido Suprema que para Sirkana. Esto se debe probablemente a que el follaje de Suprema es de mayor magnitud y se mantiene por un periodo de tiempo más prolongado. Tirilly y Bourgeuis, (2002) indican que el engrosamiento de la raíz continua mientras haya follaje activo presente.

Mediante el análisis de la partición de asimilados se puede establecer dos grupos de híbridos, Esperanza, Suprema y Bangor, y Sirkana y CLX-3193. En el segundo grupo la duración del tiempo de partición de asimilados es menor, lo que se refleja en una caída más abrupta de la acumulación de materia seca en las hojas (Figura 6).

En la Figura 7 se presenta la distribución de materia seca de las hojas y las raíces, en términos porcentuales, durante el ciclo de cultivo de los cinco híbridos de zanahoria.

El crecimiento del follaje domina en los primeros estados de crecimiento, con la excepción de los híbridos Suprema y Bangor que presentan una fuerte proporción de materia seca en la raíz en los primeros estados de crecimiento, sin embargo a mitad del ciclo se intensifica el desarrollo foliar. Sirkana manifiesta una alta inversión porcentual de asimilados en el follaje en los primeros estados de desarrollo y el único híbrido con un crecimiento porcentual sostenido de las raíces.

La raíz es un importante sumidero de asimilados, acumulando el 40% de la materia seca producida por la planta a las nueve semanas después de la siembra. Por su condición de sumidero el sistema radicular es el que controla la producción de materia seca en la planta de zanahoria (Benjamin y Wren, 1978). Se observa al final del ciclo que las raíces obtienen el mayor porcentaje del peso seco de la biomasa total en todos los híbridos, entre un 70% y 95% de peso seco de la biomasa total, Figura 7.



**Figura 7.** Porcentaje de distribución de la materia seca de hojas y raíces de los híbridos de zanahoria en función del tiempo. Oreamuno, 2009.

## Comparación entre Híbridos

En el Cuadro 8 se muestra el análisis de varianza para cada parámetro que definen las funciones matemáticas de los modelos no lineales de regresión de cada variable e híbrido.

Este estudio permite establecer clara y estadísticamente dos grupos de híbridos que se han venido estableciendo a lo largo de todo el análisis anterior. Es claro que Suprema, Esperanza y Bangor constituyen un grupo que presenta valores coincidentes entre si para todos los parámetros y variables analizadas. Por ejemplo, los mayores peso seco (alfa), unas velocidades de crecimiento similares (beta) y un punto de inicio de desaceleración del crecimiento (gamma) en momentos similares, mientras que CLX-3193 y Sirkana presentan tendencias diferentes.

**Cuadro 8.** Análisis de varianza de los parámetros que definen las funciones matemáticas de los modelos no lineales de regresión que corresponden a cada variable e híbrido de zanahoria. Oreamuno, 2009.

Parámetro	Híbrido	Variable							
		PSR		PSH		PST		AF	
<b>Alfa</b>	Suprema	26,395	a	7,6545	a	53,86	7,2293	a	
	Esperanza	17,994	b	4,4341	b	20,42	4,6616	bc	
	Bangor	16,952	b	4,8224	b	26,29	5,1541	b	
	CLX-3193	9,928	c	4,0287	b	10,76	3,9107	c	
	Sirkana	5,614	c	2,0098	c	6,54	2,2541	d	
<b>%CV</b>		<b>15</b>		<b>12</b>		<b>92</b>		<b>12</b>	
<b>Beta</b>	Suprema	0,0659	b	0,0005560	b	0,05980	b	0,0004818	b
	Esperanza	0,0711	b	0,0005913	b	0,07013	b	0,0005973	ab
	Bangor	0,0695	b	0,0009510	ab	0,07210	b	0,0008793	ab
	CLX-3193	0,0884	ab	0,0011843	a	0,11790	a	0,0010143	a
	Sirkana	0,1077	a	0,0009120	ab	0,12300	a	0,0010010	a
<b>%CV</b>		<b>14</b>		<b>23</b>		<b>22</b>		<b>28</b>	
<b>Gamma</b>	Suprema	187,7	c	199,950	a	193,48	a	197,600	a
	Esperanza	174,7	b	180,225	b	164,83	ab	174,825	b
	Bangor	179,8	bc	177,075	bc	176,88	ab	173,275	b
	CLX-3193	166,2	a	171,800	bc	152,78	ab	167,875	bc
	Sirkana	158,8	a	167,875	c	148,33	b	162,275	c
<b>%CV</b>		<b>2</b>		<b>2</b>		<b>11</b>		<b>3</b>	

PSH: Peso seco de hojas                      AF: Área foliar  
PSR: Peso seco de raíz                      PST: peso seco total

## ***Concentración de los nutrimentos en la planta de zanahoria***

En los Anexos 1, 2 y 3 se presentan los valores de concentración foliar y radical de los diferentes nutrimentos y en la Figura 8 su presentación gráfica. En la presente sección se presenta y discute la tendencia general observada en los todos los híbridos, más que destacar el comportamiento de los nutrimentos en cada genotipo. Para señalar la existencia de una tendencia se tomó en consideración una variabilidad de  $\pm 10\%$  para los elementos mayores y un  $\pm 15\%$  para los menores, que se estima es la variabilidad inherente al proceso de análisis dentro del laboratorio (Corrales et al, 2005 ).

La concentración de K en el follaje y la raíz presentó dos picos, a los 60 dds, donde logra la máxima concentración, y a los 123 dds en la raíz y entre los 95 y 109 dds en el follaje, Figura 8. Esta tendencia coincide con Soto quien también (1981) encontró dos picos de concentración a los 56 dds (2.88%) y entre los 98 y 112 dds (2.92%).

Lo anterior no concuerda con lo informado por otros autores. Pérez (1975) informa que el K foliar aumenta con la edad de la planta hasta alcanzar su máxima concentración a los 130 dds (5.50%), Brenes (1982) indica una concentración máxima de K foliar a los 100 dds (7.22%). Herrera (1981) observa que el K foliar mostró una curva ascendente hasta alcanzar el máximo a los 110 dds (6.70%).

La mayor concentración de N foliar se da en los primeros estados de crecimiento y tiende a disminuir con el tiempo, y la concentración foliar es siempre mayor que en las raíces durante todo el ciclo de cultivo (Figura 8), la concentración de N radical tiende a estabilizarse o aumentar levemente después del inicio del engrosamiento de las raíces, lo que podría asociarse a la partición de asimilados y a la función de sumidero que asumen las raíces.

Los datos observados en N foliar coinciden con lo informado por Pérez (1975), Herrera (1981) y Brenes (1982), quienes informan que el N foliar obtuvo la mayor concentración a los 70 dds y decreció según el ciclo vegetativo de la planta. Al contrario Soto (1981) encontró dos picos de alta concentración de N foliar, a los 56 dds (mayor concentración de nitrógeno, 3.1%) y a los 126 dds.

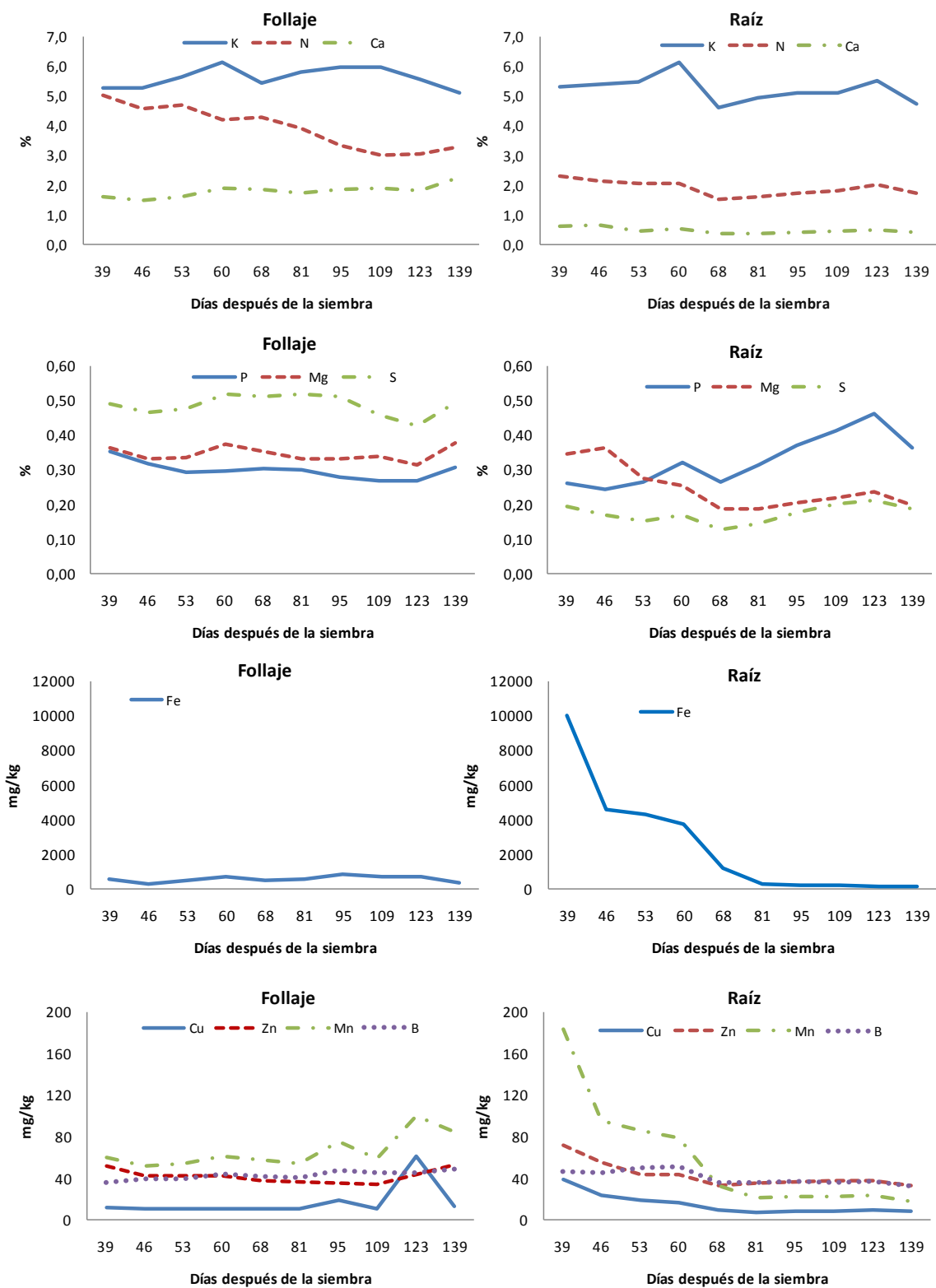
La concentración de Ca foliar presenta una tendencia creciente con el tiempo, coincidente con su condición inmóvil en los tejidos por lo que tiende a acumularse en las hojas (Bertsch, 1998), mientras se presenta un decrecimiento en la concentración radical. La concentración de Ca radical fue muy inferior a la del follaje, Figura 8. El comportamiento de la concentración del Ca foliar coincide con lo informado por Pérez (1975), Brenes (1982) y Soto (1981). Pero discrepa de Herrera (1981) que indica la presencia de dos picos, a los 80 dds y a los 140 dds donde alcanzó su máxima concentración (1.51%), valor mucho más bajo que el alcanzado en este estudio.

La concentración de P foliar presenta en general una tendencia a la estabilidad, mientras que se incrementa en las raíces, logrando inclusive alcanzar concentraciones mayores que el follaje al final del ciclo, Figura 8. Nuevamente, el comportamiento del P puede asociarse a la partición de asimilados, donde destaca la raíz como importante sumidero para este elemento.

Lo anterior no concuerda con lo informado por Pérez (1975), Herrera (1981) y Brenes (1982), quienes informan que la mayor concentración foliar se da a los 80 dds, 90 dds (0.33%) y 110 dds (0.22%) respectivamente; mientras Soto (1981) indica que hay dos puntos de máxima concentración foliar a los 56 dds (0.23%) y los 112 dds.

La concentración de Mg foliar fue constante durante el ciclo, mientras que decreció en las raíces, Figura 8. Lo que no coincide con lo indicado por Pérez (1975) y Brenes (1982), quienes informan de dos máximos de concentración foliar, uno en los primeros días de cultivo y otro a los 100 dds. Por otro lado, Herrera (1981) y Soto (1981) presentan información contrastante con la época de mayor concentración de Mg foliar, a los 130 dds (0.36%) y 56 dds (0.33%), respectivamente.

La falta de coincidencia con lo informado por otros autores en los diferentes nutrimentos puede deberse posiblemente a que los estudios fueron realizados bajo diferentes condiciones de ambiente, de suelo, de manejo de cultivo y con otras variedades de zanahoria. Otra razón, es que en el presente estudio se trabajó con cinco materiales lo cual permite ver una tendencia general del cultivo obviando el comportamiento particular de cada híbrido y teniendo un mejor criterio al tener en cuenta la variación inherente al análisis propiamente dicho.



**Figura 8.** Promedio de la concentración de los nutrientes de los cinco híbridos de zanahoria en el follaje y la raíz. Oreamuno, 2009.

La concentración de S foliar presentó un aumento entre los 60 y 95 dds y la concentración radical aumento con el tiempo, sin embargo fue de mayor magnitud en el follaje, Figura 8.

En la Figura 8 se observa que la concentración radical de todos los microelementos decreció con el tiempo, mientras que se incrementó en el follaje para el caso de B, Mn, y Cu. Solo el Zn presentó una disminución con el tiempo. Lo que concuerda con lo indicado por Soto (1981) que informa que para el Zn, la concentración foliar disminuye progresivamente y obtiene la máxima concentración a los 56 dds (52 ppm), valor similar al de este estudio.

La concentración de Fe en las hojas fue menor que en las raíces y fue fluctuante con el tiempo. El Cu y Mn presentaron una concentración foliar estable y al final del ciclo de cultivo presentaron dos picos, a los 95 dds y a los 123 dds donde lograron la máxima concentración. Lo anterior concuerda con lo informado por Soto (1981) que indica que la concentración foliar de Mn presentó dos picos, a los 70 dds (99 ppm) y a los 126 dds (94 ppm). Durante las primeras etapas de crecimiento la concentración de Cu y Mn es superior en las raíces, Figura 8.

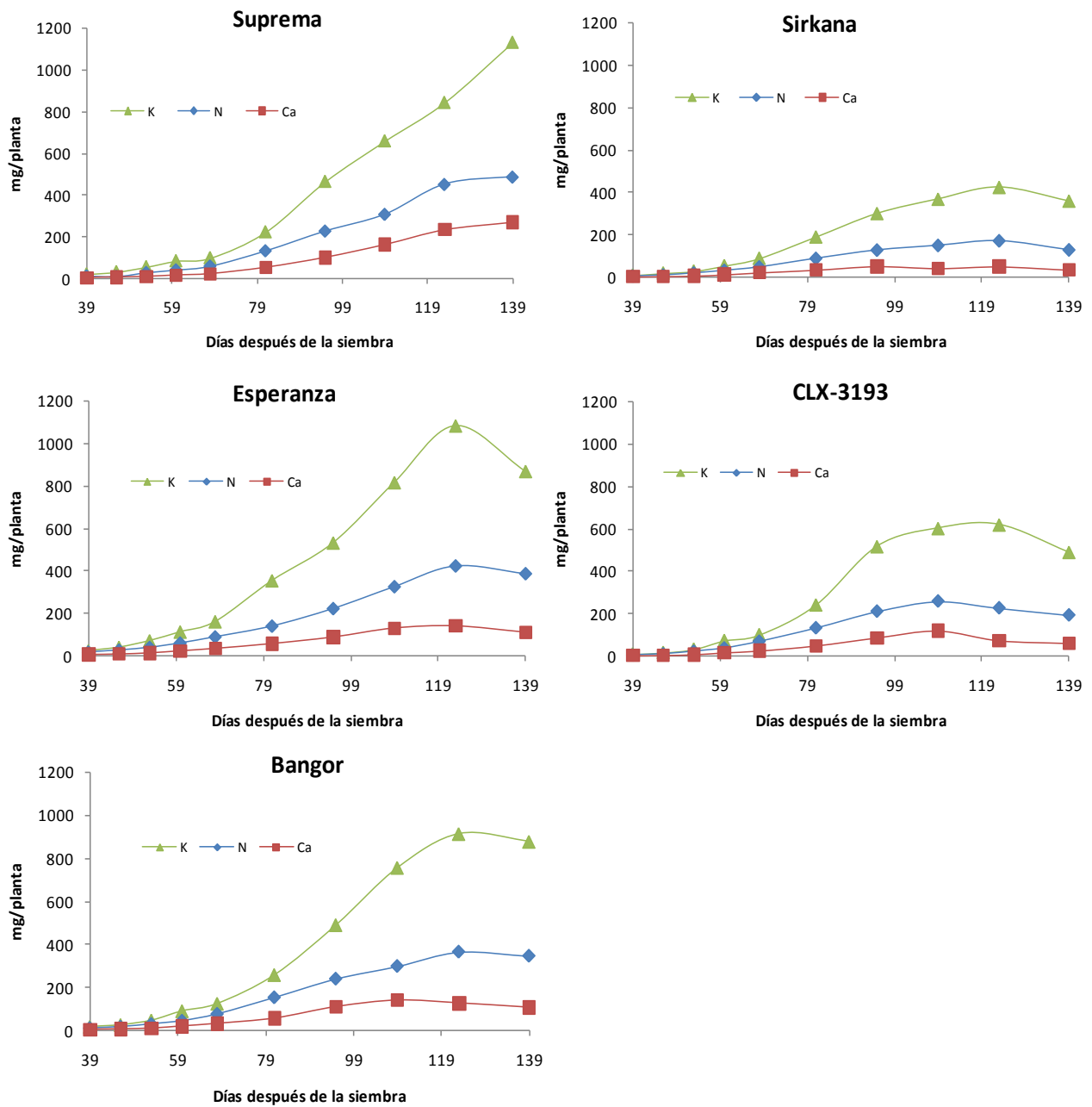
## ***Curvas de absorción de nutrimentos***

En las Figuras 9, 10, 11 y 12 se presentan las curvas de absorción de los diferentes nutrimentos. Las curvas de absorción de nutrimentos se obtienen a partir de la concentración de nutrimentos y del peso seco acumulado en los órganos de la planta; si bien ambos factores son importantes en la elaboración de las curvas, es evidente que la principal variable es el peso seco de los órganos.

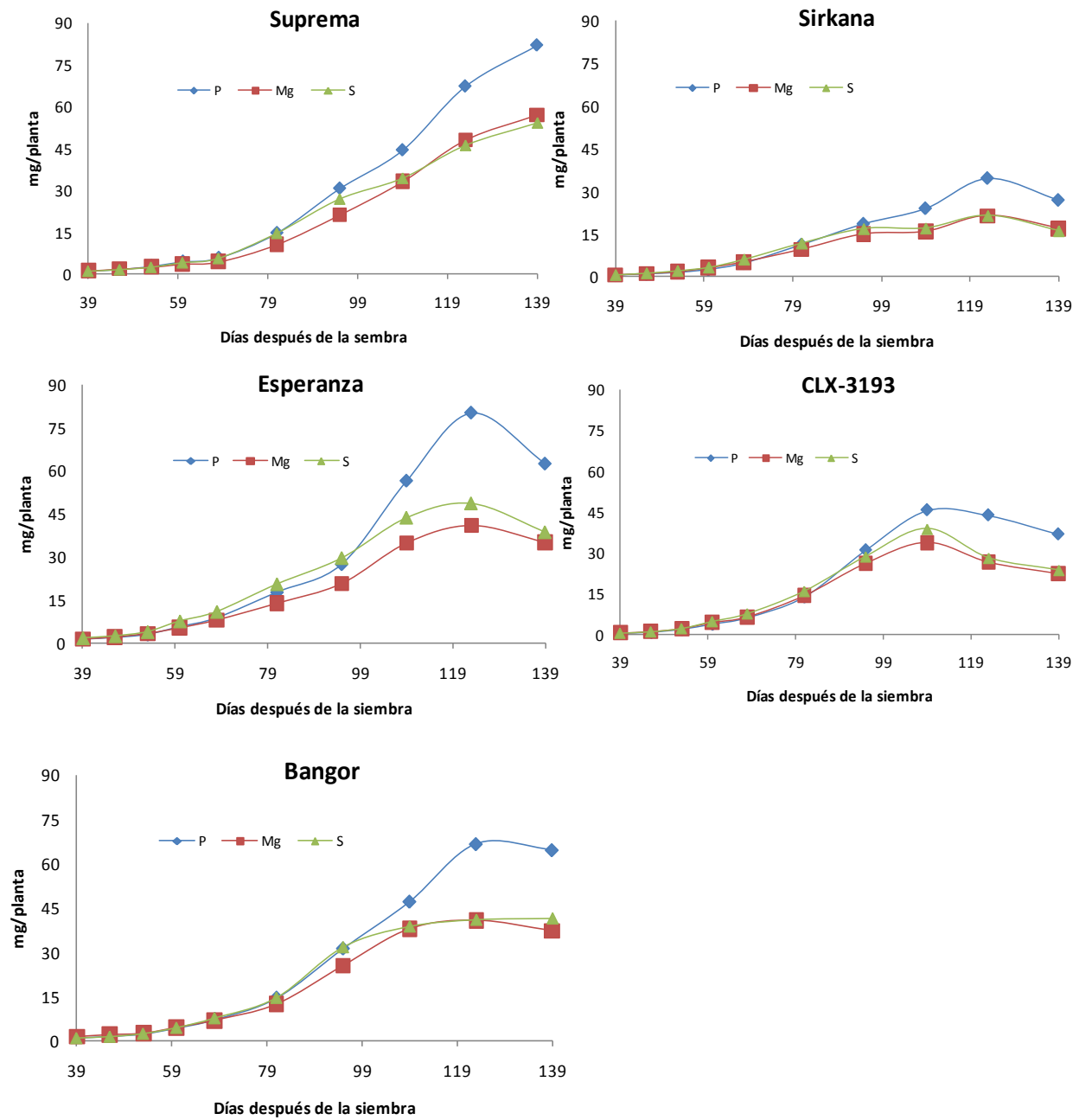
En las Figuras 9, 10, 11 y 12 se observa que en el estado I de crecimiento la tasa de absorción de los elementos es baja y que hay un incremento significativo en la fase II y III en concordancia con la acumulación de asimilados por la planta. En la etapa IV, dependiendo del híbrido y del nutrimento, se da una estabilización o decrecimiento de la tasa de absorción. Lo anterior concuerda con Mejía y Lobo (1983) quienes indican que la raíz de la zanahoria tiene una capacidad de absorción de nutrimentos inicialmente muy lenta, pero máxima cuando la raíz inicia su engrosamiento.

Las Figuras 9 y 10 muestran que los híbridos de zanahoria absorben en orden jerárquico: potasio, nitrógeno, calcio, fósforo y el azufre y magnesio en similares proporciones, lo que concuerda con Lipinski y Alessandro, (2005); Tirilly y Bourgeois, (2002) y Morales, (1995).

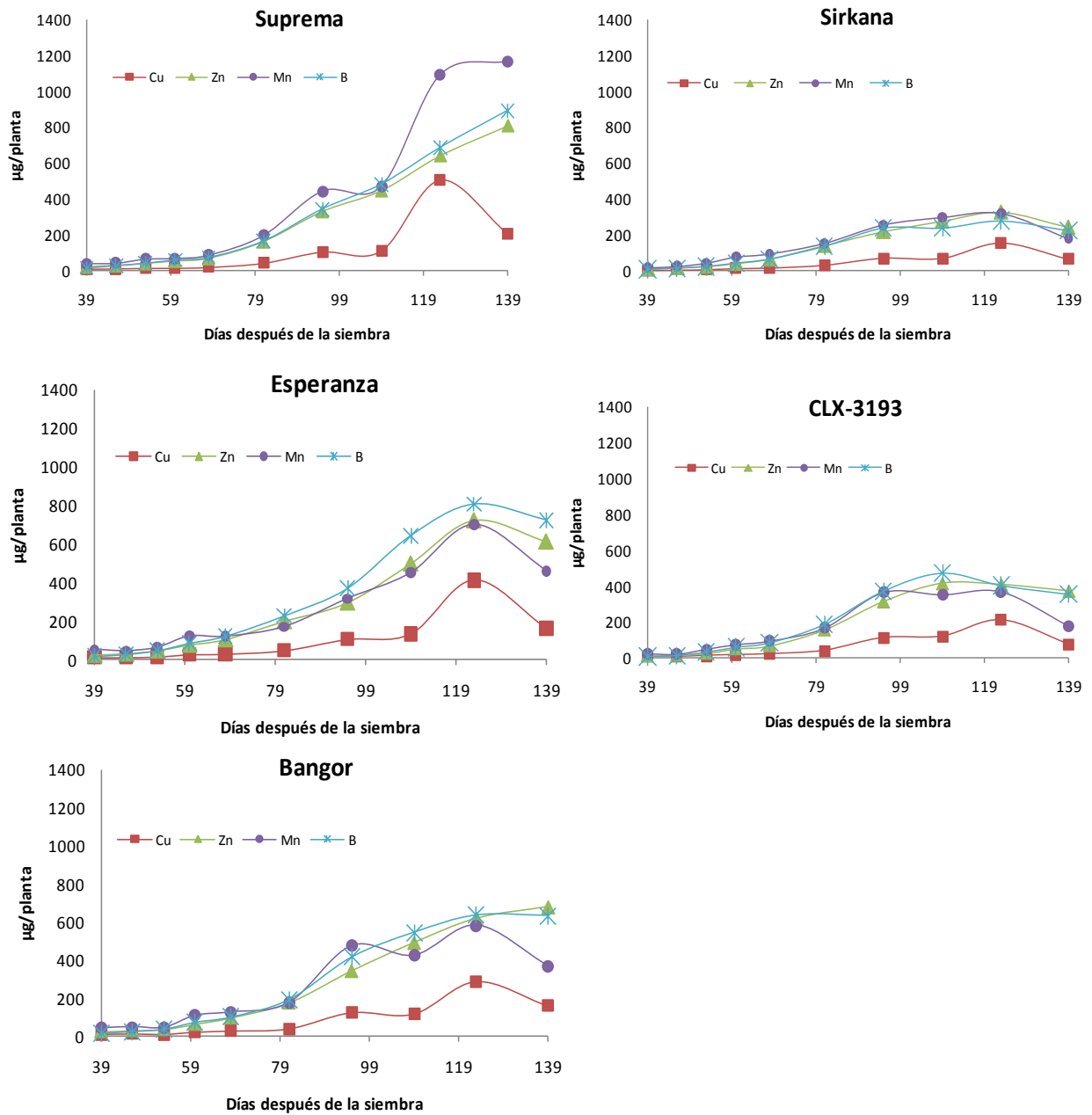




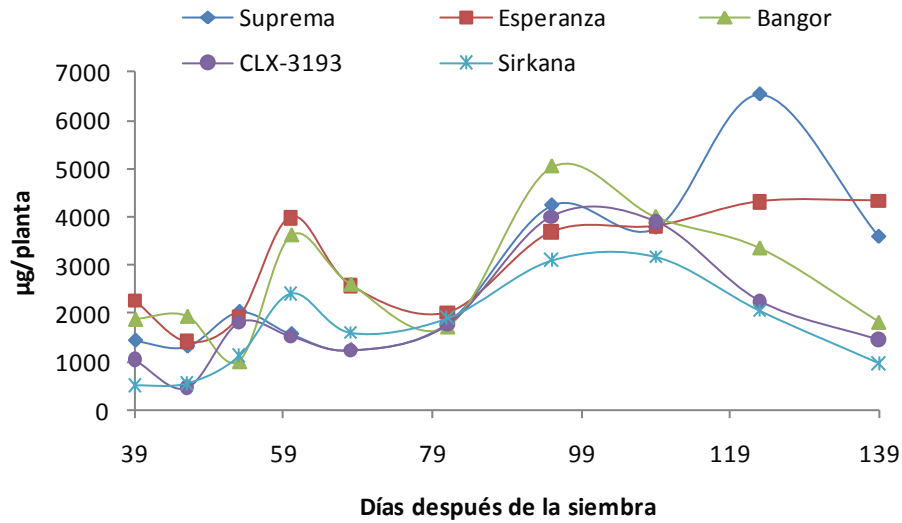
**Figura 9.** Curvas de absorción de los nutrientes K, N y Ca de cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009.



**Figura 10.** Curvas de absorción de los nutrientes P, Mg y S de cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009.



**Figura 11.** Curvas de absorción de nutrientes Cu, Zn, Mn y B de cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009.



**Figura 12.** Curvas de absorción de Fe de cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009.

En la Figura 9 se observa que el K en los diferentes híbridos presentó la mayor absorción entre los 123 dds y los 139 dds, en la etapa IV de crecimiento. El N empieza a incrementar a partir de los 69 dds y entre los 109 dds y los 139 dds, logra la máxima absorción (etapa IV de crecimiento), disminuye hasta el final del ciclo excepto para el híbrido Suprema que la absorción no disminuye. Sirkana y CLX 3193 son los híbridos con menor absorción y cuya estabilidad se alcanza en el menor tiempo.

La absorción de Ca se incrementa a partir de los 60 dds, la mayor absorción se observó entre los 109 dds y los 139 dds, con la excepción de Sirkana que la alcanza a los 95 dds. La mayor absorción ocurrió en la etapa IV, Figura 9.

La absorción de Ca en Sirkana mostró un comportamiento distinto a los otros híbridos, logró dos picos de absorción, uno a los 95 dds donde obtiene la máxima absorción y otro a los 123 dds, Figura 9.

El híbrido Suprema presentó una mayor absorción de K, N y Ca, mientras que Sirkana obtuvo los menores valores de absorción.

La absorción de P fue baja durante todo el ciclo de cultivo, lo que concuerda con Ciampitti y García (2007), que observaron que la absorción de P en zanahoria es baja. La máxima absorción se obtuvo entre los 109 dds y los 139 dds, en la IV etapa de crecimiento, Figura 10.

El Mg y el S mostraron un patrón de absorción similar, la absorción de ambos se incrementa a partir de los 68 dds, la máxima absorción se da entre los 109 dds y los 139 dds, en la etapa IV de crecimiento, Figura 10.

Nuevamente el híbrido Suprema presentó una mayor absorción de P, Mg y S, mientras que Sirkana obtuvo los menores valores de absorción.

En cuanto a la absorción de los micronutrientes se puede observar que todos los híbridos consumen cantidades parecidas de Zn, B y Mn, aunque proporcionales al peso seco total alcanzado por cada híbrido. Solo de Cu se consume menores cantidades, aproximadamente la mitad, Figura 11.

Los híbridos Esperanza y CLX-3193 absorben principalmente B, Suprema y Bangor lo absorben en segundo lugar, reflejando la exigencia del cultivo de este micronutriente, lo que concuerda con Morales (1995). Sirkana y Bangor absorbieron mayoritariamente Zn. El Mn tiene un comportamiento diferente a los demás micronutrientes en los híbridos Suprema, CLX-3193 y Bangor, el Mn presenta dos picos de absorción, a los 95 dds y a los 123 dds donde obtiene la máxima absorción. Suprema a diferencia de todos los híbridos absorbe principalmente Mn (Figura 11).

El Cu se absorbe en menor cantidad que los otros micronutrientes y su máxima absorción se dio a los 123 dds (Figura 11). Los requerimientos y la velocidad de absorción de cobre por parte de los cultivos son bajos, posiblemente como resultado de la interacción con otros nutrimentos (IPNI, 2009). El híbrido Suprema presentó una mayor absorción de Cu, Zn, Mn y B, mientras que Sirkana obtuvo los menores valores de absorción.

La absorción de Fe (Figura 12), es contraria a la de todos los otros elementos, es irregular pese a que el peso seco siempre aumenta, la absorción sube y baja porque los cambios en concentración son muy fuertes.

Los cultivos de raíces y tubérculos exhiben una competencia por asimilados entre las partes aérea y radical, los efectos de la nutrición mineral sobre el producto cosechado pueden ser un reflejo de las limitaciones del sumidero impuestas ya sea por una deficiencia o un exceso de los nutrimentos durante periodos críticos del crecimiento (Bose et al, 2008).

Bajo las condiciones en que se llevó a cabo el experimento, el híbrido Suprema mostró los valores más altos para todas las variables de crecimiento y de absorción analizadas, mientras que Sirkana alcanzó los valores más bajos tanto en las variables de crecimiento como en los valores de absorción de todos los nutrimentos. Lo anterior refleja una interacción entre la absorción de los nutrimentos y el crecimiento de la zanahoria, además de una posible influencia de la genética.

## V. Conclusiones

Los cinco híbridos presentaron una curva de acumulación de materia seca de tipo sigmoideal, con cuatro fases bien definidas: una primera etapa de crecimiento lento, luego una fase de crecimiento acelerado, seguido por una fase donde la tasa de crecimiento se desacelera y por último un periodo de estabilidad, dichas etapas fisiológicas concuerdan con la fenología del cultivo.

La raíz de la zanahoria comienza a engrosar según el híbrido entre los 63 dds y los 77 dds, durante la etapa II de crecimiento, el inicio del engrosamiento determina una partición de asimilados a la raíz, lo que conduce al aumento en su diámetro. Antes de que ocurra este engrosamiento, la planta dedica los primeros días a desarrollar su sistema fotosintético en comparación con el desarrollo radical, durante esta etapa la raíz crece aceleradamente en términos de longitud.

Se puede clasificar los híbridos en dos grupos basados en el comportamiento de las variables de peso seco, área foliar, partición de asimilados y la absorción de nutrimentos: Grupo 1. Suprema, Esperanza y Bangor, y Grupo 2. CLX-3193 y Sirkana.

Los híbridos de zanahoria absorben en orden jerárquico potasio, nitrógeno, calcio, fósforo y el azufre y magnesio en similares proporciones. De los micronutrientes el boro es el micronutriente que más absorbe y el Cu el de menor absorción.

Se muestra que la absorción de nutrimentos es influenciada por el aumento del peso seco de los diferentes órganos de la planta, siendo baja al inicio y máxima cuando la raíz de zanahoria está engrosando. Se observa una concordancia de la concentración y absorción de nutrimentos con la partición de asimilados de las hojas hacia la raíz.

Las diferencias en las variables de crecimiento y absorción de nutrimentos que se presentaron entre los cinco híbridos pueden deberse a la interacción de factores como el genotipo, el ambiente, las características de la semilla, el tiempo de emergencia, el manejo de la plantación, la densidad de siembra y la diferencia en la susceptibilidad a enfermedades como *Alternaria dauci* y *Cercospora carotae*.

El análisis de crecimiento mediante el enfoque funcional es una buena herramienta para mostrar el crecimiento de las plantas, ya que se obtienen valores para cada punto de la curva de crecimiento lo que refleja mejor el crecimiento real de las plantas.



## **VI. Recomendaciones**

Se recomienda realizar y validar el análisis de crecimiento y absorción de nutrimentos de zanahoria en otras zonas del país dedicadas a la producción de este cultivo, como en la zona oeste de Zarcero, ya que al presentar condiciones ambientales diferentes (suelo y clima), las curvas de crecimiento y absorción pueden presentar diferencias a las mostradas.

Realizar estudios para mejorar las estrategias de fertilización basados en las curvas de crecimiento y absorción de nutrimentos descritas y establecer las épocas y dosis de fertilización apropiadas, tomando en consideración las prácticas agrícolas que se realizan actualmente en el cultivo.

Efectuar estudios sobre el efecto de los micronutrimentos en el desarrollo y crecimiento del cultivo. En el presente trabajo se observó la alta absorción de B, indicando su importancia en el cultivo, por lo que se recomienda incluir este nutrimento en los programas de fertilización.

Se recomienda el uso de el análisis de crecimiento mediante el enfoque funcional, siempre y cuando las condiciones del experimento así lo permitan, así como obtener la información de temperatura para determinar los grados día del cultivo.

## VII. Literatura Citada

- AIKEN, R. M. Y SMUCKER, A. J. M. 1996. Root system regulation of whole plant growth. Annual Review Phytopathology. 34:325-346.
- AIKMAN, D. P Y BENJAMIN, L. R. 1994. A model for plant and crop growth, allowing for competition for light by the use of potential and restricted projected crown zone areas. Annals of Botany 73:185-194.
- ANTONIOUS, J. F Y KASPERBAUER, M. J. 2002. Color of light reflected to leaves modifies nutrient content of carrot roots. Crop Science. 42:1211–1216.
- BARNES, A. 1979. Vegetable plant part relationships. II. A quantitative hypothesis for shoot/storage root development. Annals of Botany 43:487-499.
- BENJAMIN, L. R. 1984. Role of foliage habit in the competition between differently sized plants in carrots crops. Annals of Botany 53:549-557.
- BENJAMIN, L.R. 1987. Variation in plant size and the timing of carrot production. Acta Horticulturae. 198:297-304.
- BENJAMIN, L.R; MCGARRY, A Y GRAY, D. 1997. The root vegetables: beet, carrot, parsnip and turnip. In: The physiology of vegetable crops. Editado por Wien, H.C. CAB Internacional. 553-580 pp.
- BENJAMIN, L. R. Y WREN, M. J. 1978. Root development and source-sink relations in carrot, *Daucus carota*. Journal of Experimental Botany 29:425-433.
- BERTSCH, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de las Ciencias del Suelo. 306 p.

- BERTSCH, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de las Ciencias del Suelo. 157 p.
- BLANC, D; MARS, S Y OTTO, C. 1979. The effects of some exogenous and endogenous factors on the accumulation of nitrate ions by carrot root. *Acta Horticulturae* 93:173-185.
- BLOKSMA, J Y HUBER, M. 2002. Life processes in crops: on growth and differentiation. *Food Quality and Health (FQH)*. Louis Bolk Institut. 24 p.
- BOLAÑOS, A. 2001. Introducción a la Olericultura. EUNED. San José, Costa Rica. 351 p.
- BOSE, P; SANYAL, D Y MAJUMDAR, K. 2008. Balancing sulfur and magnesium nutrition for turmeric and carrot grown on red lateritic soil. *Better Crops*. 92(1):23-25.
- BRENES, A. 1982. Respuesta de la zanahoria (*Daucus carota* L.) a la fertilización potásica en la zona de Fraijanes, Alajuela, Costa Rica. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado de Licenciado en Fitotecnia. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 76 p.
- CIAMPITTI, I.A Y GARCÍA, F.O. 2007. Requerimientos Nutricionales, Absorción y Extracción de Macronutrientes y Nutrientes Secundarios. II. Hortalizas, Frutales y Forrajeras. IPNI, Buenos Aires, Argentina. *Archivo Agronómico* número 12.
- COLACELLI, N. A. 1999. Suelos: el azufre como nutriente para las plantas. *Revista Producción*, Edición de Julio. Página 10.
- CORRALES, M; BERTSCH, F. Y BEJARANO, J. A. 2005. Los laboratorios de análisis de suelos y foliares en Costa Rica: informe del comité de laboratorios de análisis de suelos, plantas y aguas. *Agronomía Costarricense* 29 (3): 125-135.

- CURRAH, I. E Y BARNES, A. 1979. Vegetable plant part relationships. I. Effects of time and population density on the shoot and storage root weights of carrot (*Daucus carota* L.). *Annals of Botany* 43:475-486.
- FINCH-SAVAGE, W. E; PHELPS, K; STECKEL, J. R. A; WHALLEY, W. R Y ROWSE, H. R. 2001. Seed reserve-dependent growth responses to temperature and water potential in carrot (*Daucus carota* L. ). *Journal of Experimental Botany* 52(364):2187-2197.
- FOURCAUD, T.; ZHANG, X.; STOKES, A.; LAMBERS, H. Y KORNER, C. 2008. Plant growth modeling and applications: The increasing importance of plant architecture in growth models. *Annals of Botany* 101:1053-1063.
- GARDNER, F. P.; PEARCE, R. B Y MITCHELL, R. L. 1985. Carbon fixation by crop canopies. En: *Physiology of Crop Plants*. Ames, Iowa State University Press. 31-57 pp.
- HERRERA, W. 1981. Respuesta de la zanahoria (*Daucus carota* L.) a la fertilización nitrogenada en Fraijanes de Alajuela y variación estacional del nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en el tejido foliar. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado de Licenciado en Fitotecnia. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 60 p.
- HERYATI, B. A Y THALIB, H. 1994. Response of carrot to N, P, K fertilizer. *Acta Horticulturae* 369:431-435.
- HOLE, C. C Y DEARMAN, J. 1991. Carbon economy of carrots during initiation of storage root in cultivars contrasting in shoot: root ratio at maturity. *Annals of Botany* 68:427-434.
- HOLE, C. C Y SUTHERLAND, R. A. 1990. The effect of photon flux density and the duration of the photosynthetic period on growth and dry matter distribution in carrot. *Annals of Botany* 65:63-69.

- HOLE, C. C.; BARNES, A.; THOMAS, T. H.; SCOTT, P. A. Y RANKIN, W. E. F. 1983. Dry matter distribution between the shoot and the storage root of carrot (*Daucus carota* L.). I. Comparison of varieties. *Annals of Botany* 51:175-187.
- HUNT, R. 2003. Growth analysis, individual plants. De: Thomas, B.; Murphy, D. J. y Murraay, D. (eds.) 2003. *Encyclopedia of applied plant sciences*. Academic Press, London. 588-596 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INEC). 2009. Estadísticas económicas: Comercio Exterior. Instituto Nacional de Estadística y Censos. San José, Costa Rica (en línea). Consultado en Setiembre del 2009. Se encuentra disponible en: <http://www.inec.go.cr>
- INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (IPNI). 2009. Nutrición de los cultivos (en línea). Consultado en Noviembre del 2009. Se encuentra disponible en: <http://www.ipni.net>
- KRZESIŃSKI, W Y KNAFLEWSKI, M. 2004. Preliminary Model of Carrot Growth. *Acta Horticulturae* 654:235-242.
- LI, B.; WATKINSON, A. R. Y HARA, T. 1996. Dynamics of competition in populations of carrots (*Daucus carota* L.). *Annals of Botany* 78:203-214.
- LIPINSKI, V.M Y ALESSANDRO, S. 2005. Respuesta de zanahoria Beatriz INTA a la fertilización nitrogenada y fosfatada. Estación Experimental Agropecuaria La Consulta. INTA, Argentina. Informe anual de progresos. 217-221 pp.
- MAROTO, J.V. 1989. *Horticultura herbácea especial*. 3° Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 566 p.
- MEJÍA, V.E Y LOBO, M. 1983. *Hortalizas: Manual de asistencia técnica No. 28*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 483-488 pp.

- MORALES, J. P. 1995. Cultivo de zanahoria. Fundación de Desarrollo Agropecuario, Inc. Boletín Técnico N°23. Santo Domingo, República Dominicana. 31 p.
- PEACH, L.; BENJAMIN, L. R Y MEAD, A. 2000. Effects on the growth of carrots (*Daucus carota* L. ), cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata L. ) and onion (*Allium cepa* L. ) of restricting the ability of the plants to intercept resources. *Journal of Experimental Botany* 51:605-615.
- PÉREZ, G. J. 1975. Nivel crítico de potasio en la zanahoria (*Daucus carota* L. ). Tesis presentada para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 74 p.
- PLANT PROTECTION. 2005. Zanahoria. Programa Leonardo da Vinci de la Comisión Europea. (en línea). Consultado 14 setiembre 2007. Formato HTML. Disponible en [http://www.plantprotection.hu/modulok/spanyol/root\\_veg/growth\\_root.htm](http://www.plantprotection.hu/modulok/spanyol/root_veg/growth_root.htm)
- REID, J. B. Y ENGLISH, J. M. 2000. Potential yield in carrots (*Daucus carota* L.): theory, test and an application. *Annals of Botany* 85:593-605.
- RICARDO, C. P. P. Y SOVIA, D. 1974. Development of tuberous roots and sugar accumulation as related to invertase activity and mineral nutrition. *Planta (Berl.)* 118:43-55.
- RICHMOND, F. J. 2009. Evaluación agronómica de 12 cultivares comerciales de zanahoria (*Daucus carota* L.) en Cot, Cartago. Tesis presentada para optar el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 91 p.
- RODRIGUEZ, M.J; DE LA FUENTE, M. Y MUÑOZ, E. 2002. Toxicidad del boro en las plantas. *Revista Encuentros en la Biología, Universidad de Málaga, España.* Noviembre, 82:5-6.
- RODRÍGUEZ, W Y LEIHNER, D. 2006. Análisis del crecimiento vegetal. Volumen 7 de la Serie: Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Primera Edición. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 37p.

- ROJAS, M Y ROVALO, M. 1985. Fisiología vegetal aplicada. Tercera Edición. McGraw-Hill. Mexico. 302 p.
- ROSENFELD, H. J; DALEN, K. S Y HAFFNER, K. 2002. The growth and development of carrot roots. *Gartenbauwissenschaft*. 67(1):11–16.
- SALO, T. ; SUOJALA, T. Y KALLELA, M. 2002. The effect of fertigation on yield and nutrient uptake of cabbage, carrot and onion. *Acta Horticulturae* 571:235-241.
- SCHALLER, R. G. Y SCHNITZLER, W. H. 2000. Nitrogen nutrition and flavour compounds of carrots (*Daucus carota* L.) cultivated in mitscherlich pots. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80:49-56.
- SIERRA, A; SIMONNE, E Y TREADWELL, D. 2007. Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de hortalizas. Servicio de Extensión Agrícola de Florida. Universidad de Florida. 20p.
- SMOLEN, S. Y SADY, W. 2009. The effect of various nitrogen fertilization and foliar nutrition regimes on the concentrations of nitrates, ammonium ions, dry matter and N-total in carrot (*Daucus carota* L.) roots. *Scientia Horticulturae* 119: 219-231.
- SOTO, J. A. 1981. Efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo sobre el rendimiento y calidad de la zanahoria (*Daucus carota*) en Fraijanes (Poasito) de Alajuela, Costa Rica. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 67 p.
- SRIVASTAVA, L.M. 2002. *Plant Growth and Development: Hormones and Environment*. Elsevier Science. USA. 772 p.
- STANHILL, G. 1977. Allometric growth studies of the carrot crop. I. Effects of plant development and the cultivar. *Annals of Botany* 41:533-540.

- SUOJALA, T. 2000. Pre and postharvest development of carrot yield and quality. University of Helsinki. Department of Plant Production. Section of Horticulture. Publication no. 37. Helsinki. 43 p.
- TAÍZ, L Y ZEIGER, E. 1991. Plant Physiology. Benjamin Cummings Publishing. California, USA. 565 p.
- THORUP-KRISTENSEN, K Y BOOGAARD, R VAN DEN. 1999. Vertical and horizontal development of the root system of carrots following green manure. *Plant and Soil* 212(2):145-153.
- THORUP-KRISTENSEN, K. 2001. Root growth and soil nitrogen depletion by onion, lettuce, early cabbage and carrot. *Acta Horticulturae* 563:201-205.
- TIRILLY, Y Y BOURGEUIS, C.M. 2002. Tecnología de las hortalizas. Editorial Arcribia, S.A. Zaragoza, España. 591 p.
- TLUSTOS, P; PAVLIKOVA, D; BALIK, J Y VANEK, V. 2002. The uptake of nitrogen released from slow release N fertilizers by radish, lettuce and carrot. *Acta Horticulturae* 571:127-134.
- VADEAGRO, 2008. Edifarm Internacional Centroamérica. Tomo I, cuarta edición. Impreso por Noción. Quito, Ecuador. 227-236 pp.
- VALADEZ, A. 1998. Producción de Hortalizas. Editorial Limusa, S.A. México. 109-115 pp.
- VALDÉS, J.J. 2005. Plan de exportación de zanahoria hacia Puerto Rico, Empresa Agrícola Comercial Paski. Práctica dirigida para optar el grado de Licenciatura en Administración Aduanera y Comercio Exterior. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica,. 126p.
- VENTER, F. 1979. Nitrate contents in carrots (*Daucus carota* L.) as influenced by fertilization. *Acta Horticulturae* 93:163-172.



- VENUS, J. C. Y CAUSTON, D. R. 1979. Plant growth analysis: a re-examination of the methods of calculation of relative growth and net assimilation rates without using fitted functions. *Annals of Botany* 43:633-638.
- VEREECKE, M Y VAN MAERCKE, D. 1979. Subtractive fertilization experiment on carrots (*Daucus carota* L.) in relation to soil and leaf analysis, yield and quality. *Acta Horticulturae* 93:197-208.
- VIGLIOLA, M. I; KRAMAROVSKY, E; LIMONGELLI, J.C; MUNDT, C.A; CHIESA, A; RINGEISEN, J.G; LOZANO, J.F; VALLEJO, H; SANCHO, H.R; BARÓN, C; SOUTO, S.M Y DAORDEN, M.E. 1986. *Manual de Horticultura*. Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 235p.
- WESTERVELD, S.M; MCKEOWN, A.W; MCDONALD, M.R. 2006. Seasonal nitrogen partitioning and nitrogen uptake of carrots as affected by nitrogen application in a mineral and an organic soil. *HortScience* 41(5):1332-1338.
- WIEBE, H. J. 1987. Effects of plants densities and nitrogen supply on yield harvest date and quality of carrots. *Acta Horticulturae* 198:191-198.

## **VIII. Anexos**

**Anexo 1. Concentración porcentual de N, P y K por órgano en cinco híbridos de zanahoria, Oreamuno 2009.**

Híbrido	Época (dds)	%					
		N		P		K	
		Hojas	Raíz	Hojas	Raíz	Hojas	Raíz
Esperanza	39	4,93	2,16	0,33	0,27	5,34	5,48
	46	4,46	2,13	0,27	0,25	5,05	6,14
	53	4,16	1,88	0,25	0,26	6,22	5,81
	60	4,10	1,93	0,28	0,35	5,92	6,46
	68	4,11	1,58	0,29	0,31	5,87	5,04
	81	3,19	1,71	0,25	0,37	6,66	5,84
	95	2,94	1,71	0,23	0,30	6,66	4,42
	109	2,79	1,91	0,26	0,43	6,06	5,25
	123	2,78	2,19	0,27	0,49	6,21	5,92
	139	3,29	1,80	0,30	0,33	5,61	4,37
Sirkana	39	4,88	2,24	0,37	0,24	5,63	4,31
	46	4,27	2,07	0,35	0,25	6,27	5,41
	53	4,50	2,03	0,28	0,26	5,26	5,04
	60	4,27	2,12	0,27	0,31	6,07	5,49
	68	4,07	1,54	0,32	0,28	6,03	4,97
	81	3,96	1,46	0,35	0,32	6,15	5,13
	95	3,54	1,53	0,31	0,33	5,59	5,04
	109	3,21	1,82	0,33	0,36	7,56	4,67
	123	3,51	2,36	0,34	0,56	5,58	6,58
	139	3,64	1,97	0,37	0,45	5,64	5,95
Suprema	39	5,04	2,25	0,36	0,24	5,51	5,53
	46		2,08	0,35	0,23	5,54	5,33
	53	4,70	1,97	0,30	0,29	6,21	5,97
	60	4,05	1,94	0,31	0,30	6,29	5,68
	68	4,23	1,19	0,28	0,22	4,70	4,00
	81	4,45	1,40	0,33	0,30	5,10	4,54
	95	3,59	1,68	0,28	0,40	5,39	5,12
	109	2,88	1,50	0,21	0,36	4,53	4,37
	123	2,97	1,61	0,23	0,35	4,12	3,75
	139	2,72	1,37	0,25	0,30	4,75	3,71
CLX-3193	39	4,84	2,30	0,29	0,28	4,68	5,24
	46	4,69	2,10	0,29	0,22	4,87	4,73
	53	5,17	2,16	0,33	0,29	5,16	5,00
	60	4,35	2,10	0,32	0,36	6,02	6,88
	68	4,47	1,69	0,31	0,26	4,97	4,27
	81	3,72	1,64	0,26	0,31	5,20	4,66
	95	3,05	1,96	0,27	0,43	6,48	5,62
	109	3,15	1,97	0,28	0,49	5,18	5,72
	123	2,87	1,88	0,24	0,45	6,25	5,60
	139	3,54	1,82	0,32	0,38	4,48	5,03
Bangor	39	5,30	2,53	0,41	0,27	5,23	6,01
	46	4,82	2,23	0,32	0,26	4,56	5,31
	53	4,89	2,27	0,30	0,23	5,36	5,50
	60	4,15	2,13	0,30	0,29	6,43	6,21
	68	4,53	1,65	0,32	0,26	5,51	4,78
	81	4,22	1,71	0,30	0,27	5,81	4,43
	95	3,63	1,83	0,31	0,39	5,75	5,35
	109	3,00	1,92	0,26	0,43	6,45	5,58
	123	3,12	2,01	0,26	0,46	5,59	5,71
	139	3,21	1,70	0,29	0,35	5,00	4,65

**Anexo 2.** Concentración porcentual de Ca, Mg y S por órgano en cinco híbridos de zanahoria, Oreamuno 2009.

Híbrido	Época (dds)	%					
		Ca		Mg		S	
		Hojas	Raíz	Hojas	Raíz	Hojas	Raíz
Esperanza	39	1,49	0,62	0,32	0,30	0,53	0,19
	46	1,25	0,61	0,27	0,32	0,44	0,16
	53	1,51	0,43	0,31	0,24	0,45	0,14
	60	1,72	0,53	0,33	0,23	0,59	0,16
	68	1,76	0,40	0,34	0,19	0,56	0,13
	81	1,60	0,43	0,30	0,19	0,57	0,16
	95	1,74	0,32	0,31	0,14	0,55	0,13
	109	1,91	0,44	0,34	0,19	0,56	0,18
	123	1,80	0,49	0,32	0,20	0,51	0,20
	139	1,88	0,37	0,39	0,15	0,52	0,15
Sirkana	39	1,66	0,65	0,38	0,36	0,53	0,17
	46	1,53	0,82	0,36	0,45	0,52	0,19
	53	1,45	0,47	0,33	0,32	0,49	0,16
	60	1,71	0,50	0,38	0,27	0,46	0,17
	68	1,96	0,41	0,39	0,24	0,55	0,14
	81	1,74	0,37	0,36	0,22	0,56	0,17
	95	1,81	0,41	0,30	0,24	0,50	0,19
	109	1,24	0,39	0,27	0,22	0,37	0,21
	123	1,67	0,55	0,34	0,32	0,44	0,30
	139	1,97	0,44	0,40	0,27	0,45	0,25
Suprema	39	1,56	0,55	0,32	0,29	0,49	0,17
	46	1,55	0,62	0,29	0,32	0,46	0,16
	53	1,55	0,47	0,28	0,26	0,46	0,14
	60	1,76	0,54	0,31	0,21	0,50	0,13
	68	1,67	0,34	0,25	0,14	0,43	0,09
	81	1,91	0,42	0,28	0,18	0,54	0,11
	95	1,87	0,51	0,26	0,22	0,47	0,16
	109	1,99	0,47	0,24	0,21	0,36	0,14
	123	2,31	0,44	0,26	0,20	0,37	0,13
	139	2,73	0,36	0,29	0,17	0,37	0,13
CLX-3193	39	1,48	0,65	0,37	0,39	0,41	0,23
	46	1,55	0,58	0,39	0,35	0,48	0,17
	53	1,70	0,51	0,42	0,32	0,52	0,18
	60	2,05	0,62	0,47	0,31	0,58	0,23
	68	1,81	0,29	0,42	0,16	0,53	0,14
	81	1,59	0,35	0,38	0,20	0,48	0,16
	95	1,76	0,41	0,41	0,22	0,49	0,21
	109	2,31	0,48	0,45	0,24	0,55	0,26
	123	1,44	0,47	0,34	0,22	0,41	0,22
	139	2,46	0,45	0,42	0,21	0,59	0,21
Bangor	39	1,84	0,70	0,42	0,39	0,49	0,20
	46	1,48	0,68	0,34	0,38	0,42	0,17
	53	1,77	0,40	0,34	0,23	0,46	0,14
	60	2,13	0,56	0,37	0,25	0,47	0,16
	68	2,03	0,45	0,36	0,20	0,49	0,13
	81	1,81	0,30	0,33	0,15	0,44	0,12
	95	2,09	0,43	0,38	0,20	0,54	0,19
	109	2,08	0,50	0,39	0,24	0,46	0,21
	123	1,74	0,50	0,30	0,24	0,41	0,21
	139	2,25	0,39	0,38	0,18	0,53	0,19

**Anexo 3.** Concentración de Fe, Cu, Zn, Mn y B (mg/kg) por órgano en cinco híbridos de zanahoria, Oreamuno 2009.

Híbrido	Época (dds)	mg/kg									
		Fe		Cu		Zn		Mn		B	
		Hojas	Raíz	Hojas	Raíz	Hojas	Raíz	Hojas	Raíz	Hojas	Raíz
Esperanza	39	383	12254	11	41	52	68	55	211	34	51
	46	324	4427	9	21	39	51	45	85	35	43
	53	245	3758	9	16	41	40	41	71	37	46
	60	803	4155	11	17	42	42	58	77	42	53
	68	605	1240	10	9	39	32	49	30	43	40
	81	366	347	8	8	34	36	40	20	39	41
	95	655	182	17	6	33	27	60	13	41	34
	109	521	144	11	8	32	34	59	18	46	42
	139	445	191	11	8	50	29	74	16	49	36
Sirkana	39	787	13799	13	45	58	74	69	236	35	51
	46	419	7270	11	28	52	67	60	141	39	53
	53	477	7060	10	24	43	50	62	130	37	59
	60	799	7048	10	25	43	50	63	131	39	59
	68	586	1727	11	9	43	39	72	39	41	40
	81	890	286	13	6	44	39	75	19	41	39
	95	1149	234	22	7	41	36	94	19	48	38
	109	1153	231	13	9	47	38	82	30	43	32
	139	284	149	15	10	70	37	88	24	44	36
Suprema	39	596	5031	11	28	51	64	55	118	34	36
	46	219	3205	10	21	44	53	45	81	41	44
	53	656	3141	10	17	46	44	54	77	39	45
	60	615	1462	9	10	41	36	47	48	42	40
	68	365	692	8	8	34	27	49	28	37	27
	81	530	265	11	7	37	33	60	26	41	30
	95	684	304	15	9	35	39	71	32	44	34
	109	369	174	8	7	27	32	41	25	37	29
	139	271	78	14	5	38	25	101	21	50	25
CLX-3193	39	567	11815	10	42	41	76	57	212	35	47
	46	232	2845	10	18	38	48	56	69	41	40
	53	557	5964	12	24	37	46	55	108	45	59
	60	676	2269	12	15	41	48	68	62	48	56
	68	490	715	11	7	33	29	56	28	42	35
	81	474	246	9	7	29	35	45	22	40	36
	95	807	200	18	9	30	41	66	24	47	40
	109	816	128	13	10	30	42	55	21	50	40
	139	496	118	14	7	58	36	76	13	47	35
Bangor	39	489	7182	14	36	59	75	65	141	38	44
	46	332	5018	10	27	41	59	51	102	38	45
	53	368	1599	11	11	43	37	56	43	39	40
	60	757	3902	11	17	45	41	67	78	48	50
	68	431	1694	11	11	41	37	61	40	45	36
	81	460	209	9	6	37	32	51	16	44	31
	95	904	256	19	9	39	38	86	23	55	39
	109	475	215	9	9	35	40	55	20	50	38
	139	202	86	12	8	47	35	84	13	51	32

**Anexo 4.** Peso seco de hojas, raíz y de la biomasa total y área foliar de los cinco híbridos de zanahoria. Oreamuno, 2009.

Hibrido	Época (dds)	Peso Seco (g/planta)			Área Foliar (dm <sup>2</sup> /planta)
		Hojas	Raíz	Total	
Esperanza	39	0,2460	0,1769	0,4543	0,3870
	46	0,4248	0,2883	0,7215	0,6421
	53	0,6926	0,4681	1,1368	1,0056
	60	1,0666	0,7552	1,7697	1,4865
	68	1,6286	1,2884	2,8688	2,1651
	81	2,7625	2,9146	5,7868	3,3963
	95	3,9135	6,1527	10,3274	4,4146
	109	4,4097	10,4797	14,8135	4,5551
	123	3,9521	14,1880	17,7974	3,7311
	139	2,6345	16,5317	19,4287	2,2387
Sirkana	39	0,1253	0,0301	0,0788	0,2055
	46	0,2318	0,0632	0,1714	0,3674
	53	0,3965	0,1320	0,3668	0,6049
	60	0,6273	0,2721	0,7585	0,9173
	68	0,9626	0,6009	1,6023	1,3347
	81	1,5523	1,8241	3,8354	1,9517
	95	1,9199	3,8283	5,7296	2,1392
	109	1,7360	5,0750	6,3759	1,6868
	123	1,1476	5,4735	6,5271	0,9570
	139	0,4873	5,5768	6,5607	0,3345
Suprema	39	0,0947	0,2763	0,4585	0,2040
	46	0,1828	0,4006	0,6813	0,3532
	53	0,3343	0,5799	1,0093	0,5841
	60	0,5797	0,8373	1,4884	0,9221
	68	1,0184	1,2688	2,3010	1,4682
	81	2,1919	2,4540	4,5304	2,7488
	95	4,0713	4,8066	8,7441	4,5181
	109	6,1049	8,7819	14,9686	6,1717
	123	7,3904	14,4087	21,9563	7,0066
	139	7,0746	21,5069	28,4058	6,4578
CLX-3193	39	0,0579	0,0851	0,0857	0,1519
	46	0,1422	0,1535	0,1875	0,3144
	53	0,3138	0,2752	0,4058	0,5926
	60	0,6218	0,4880	0,8573	1,0170
	68	1,1905	0,9180	1,8970	1,6813
	81	2,5329	2,3139	5,1762	2,9323
	95	3,7686	4,8397	8,7570	3,7202
	109	3,6431	7,2311	10,2016	3,2459
	123	2,2881	8,5041	10,5582	1,9477
	139	0,7931	9,0178	10,6382	0,6870
Bangor	39	0,0716	0,2567	0,3193	0,1631
	46	0,1644	0,3760	0,5175	0,3352
	53	0,3447	0,5496	0,8333	0,6329
	60	0,6593	0,8003	1,3280	1,0986
	68	1,2369	1,2220	2,2174	1,8608
	81	2,6644	2,3750	4,7224	3,4647
	95	4,2773	4,5967	8,9485	4,8889
	109	4,7615	8,0826	13,4266	4,9244
	123	3,6753	12,4284	16,5050	3,5406
	139	1,7462	17,0277	18,1798	1,6072