



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Requerimientos nutricionales del ají *Capsicum annuum* L. y su relación con rendimiento bajo condiciones ambientales de Palmira, Valle del Cauca

Adriana Carolina Martínez Marulanda

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Palmira, Colombia

2015

Requerimientos nutricionales del ají *Capsicum annuum* L. y su relación con rendimiento bajo condiciones ambientales de Palmira, Valle del Cauca

Adriana Carolina Martínez Marulanda

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias Agrarias, Línea de Investigación en Suelos

Directora:

Ph.D. María Sara Mejía de Tafur

Línea de Investigación:

Nutrición de plantas

Grupo de Investigación:

Uso y manejo de suelos y aguas con énfasis en degradación de suelos

Universidad Nacional de Colombia
Facultad, de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia

2015

A **Dios**, por guiarme siempre por el camino correcto y por enseñarme que con sacrificio y motivación se cumplen los sueños.

A mis padres Luz Marina Marulanda Pérez y Hugo Martínez Peláez por su educación, enseñanzas y por formar una persona de bien y con grandes logros.

A mis hermanas Marcela y Johanna Martínez, a mis sobrinos Elías Barney y Juan Miguel Arboleda por su inmenso amor y a mis dos hermosos sobrinos que vienen en camino: Emiliana Cárdenas y Jacobo Flores.

A mi amor. Gracias por tu comprensión, apoyo y por brindarme lo mejor de ti.

Agradecimientos

Si yo pudiera enumerar cuanto debo a mis grandes profesores, no me quedaría mucho en propiedad, especialmente a la profesora María Sara Mejía de Tafur, quien fue artífice de la preparación de esta tesis. Su tiempo dedicado a este trabajo, su capacidad y su sencillez hizo todo verdaderamente grande, le aprendí que la felicidad del ser humano es el trabajo y ha sido mi impulso mayor para concluir con amor y disposición diaria esta tarea que hace meses inicie y de la mano de ella la doy por finalizada. Inmensas gracias profesora, ya que su saber fue el motor para la graduación de mi maestría. El todopoderoso la siga bendiciendo.

Al Ingeniero Agrónomo Miguel Hernández por su gran apoyo en el trabajo de campo y por su tiempo dedicado.

A la laboratorista de Fisiología Vegetal Dora Mónica Ibarra y al encargado de Casas de Malla Héctor por brindarme su ayuda en el momento que lo necesite.

Al personal del Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (CEUNP).

A todas las personas que de alguna manera colaboraron en la realización de este trabajo.

Resumen

El crecimiento y desarrollo de las plantas depende de una adecuada nutrición mineral, por lo que la absorción de nutrientes es la base para establecer programas adecuados de fertilización. Se realizó un ensayo en casas de malla de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, manejando variaciones en la concentración de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio, tomando como testigo la solución de Hoagland y Arnon bajo un diseño completamente al azar, con el objetivo de seleccionar los requerimientos nutricionales del cultivo de *Capsicum Annuum* L. variedad cayenne y determinar, en cada etapa fenológica, los periodos críticos y máxima extracción de cada uno de los macroelementos. De acuerdo a la acumulación de biomasa se determinaron dos fases de crecimiento. Las concentraciones de elementos nutritivos en cada etapa presentaron variaciones significativas. Para el ensayo de campo se seleccionaron los dos mejores tratamientos del estudio en casas de malla correspondientes al tratamiento completo (T1) y el tratamiento con altas concentraciones de macronutrientes (T2). Se tomó el plan de fertilización manejado en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (T3) y un tratamiento testigo (T4). De acuerdo a los resultados de número de frutos por planta, peso de frutos y rendimiento por hectárea, se seleccionó el T1 como el mejor para ser manejado como plan de fertilización en condiciones de campo, reduciendo de forma significativa el uso de fertilizantes y los costos de producción.

Palabras clave: Macroelementos, nutrición mineral, producción de biomasa, etapas fenológicas, fertilización.

Abstract

The growth and development of the plants depends on adequate mineral nutrition, and as such the adequate absorption of nutrients is the base to establish fertilization programs. A trial was conducted in screen houses of the National University of Colombia located in Palmira, using variations in the concentration of Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Calcium, and Magnesium, witnessing the solution of Hoagland and Arnon under a completely randomized design, with the objective of selecting the nutritional requirements to grow *Capsicum Annuum* L. variety cayenne and to determine, in each phonological stage, the critical periods and maximum extraction of each of the macro elements. According to the accumulation of biomass two phases of growth are determined. The concentration of nutritional elements in each stage present significant variations. For the field trial, the two best treatments were selected to be studied in screen houses for the corresponding complete treatment (T1) and treatment with high concentrations of macronutrients (T2). The fertilization plan was done in the Experimental Center of the National University of Colombia located in Palmira (T3) and a control of (T4) was noted. According to the results of number of fruits per plant, fruit weight and yield per hectare, the T1 was selected as the best to be handled as a fertilization plan under field conditions, significantly reducing fertilizer use and costs production.

Keywords: Macroelements, mineral nutrition, biomass production, phonological stage and fertilization.

Contenido

Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XV
Introducción	1
1. 1. Revisión de literatura	3
1.1 Generalidades del cultivo de ají <i>Capsicum annuum</i> L.....	3
1.2 Nutrientes esenciales	4
1.3 Requerimientos Nutricionales y diagnósticos.....	15
1.4 Requerimientos nutricionales de <i>Capsicum annuum</i> L.....	16
2. Materiales y métodos	19
2.1 Ensayo bajo cubierta.	19
2.2 Ensayo de campo.....	24
3. Resultados y discusión.	33
3.1 Ensayo bajo cubierta	33
3.1.1 Acumulación y distribución de biomasa a lo largo del ciclo del ensayo	33
3.1.2 Acumulación de biomasa total (raíz, tallo y hojas) en plantas de ají variedad cayena a los 20 días después del trasplante (ddt) como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg.....	34
3.1.3 Acumulación de biomasa total (raíz, tallo y hojas) en plantas de ají variedad cayena a los 40 días después del trasplante (ddt) como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg.....	40

3.1.4	Acumulación de biomasa total (raíz, tallo y hojas) en plantas de ají variedad cayena a los 70 días después del trasplante (ddt) como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg.	44
3.1.5	Respuesta del ají Acumulación de biomasa total (raíz, tallo y hojas) en plantas de ají variedad cayena a los 100 días después del trasplante (ddt) como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg.	47
3.1.6	Acumulación de biomasa total (raíz, tallo y hojas) en plantas de ají variedad cayena a los 140 días después del trasplante (ddt) como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg.....	50
3.1.7	Acumulación de biomasa en respuesta a cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento.	53
3.1.8	Peso de los frutos a los 140 ddt en los diferentes tratamientos.....	55
3.2	Ensayo de campo.....	57
3.2.1	Número promedio de frutos por planta en cada tratamiento.....	57
3.2.2	Numero de frutos por tratamiento en los diferentes muestreos.	57
3.2.3	Peso promedio de frutos en cada tratamiento.....	58
3.2.4	Peso de frutos por tratamiento en cada época de muestreo	59
3.2.5	Peso total acumulado de frutos en cada tratamiento.....	60
3.2.6	Rendimiento por hectárea.....	61
4.	Conclusiones	65
5.	Bibliografía	67

Lista de figuras

Figura 1-1. Curva general de respuesta a la concentración de un nutriente en las plantas.....	16
Figura 2-1. Aspecto general del semillero (<i>Capsicum annum</i> L.) poco antes del trasplante.....	20
Figura 2-2. Aspecto general del ensayo bajo cubierta utilizando como sustrato arena cuarcítica y diferentes soluciones nutritivas.....	20
Figura 2-3. Aspecto general del lote antes de establecer en experimento CEUNP.....	25
Figura 2-4. Tutorado de las plantas, mediante el sistema de encajonamiento.....	26
Figura 2-5. Tratamiento de la semilla con KNO_3	27
Figura 2-6. Mapa de experimento en el campo. El tratamiento indicado como CEUNP corresponde al tratamiento 3 y el testigo al tratamiento 4.....	28
Figura 2-7. Cosecha y pesaje de frutos de ají.....	31
Figura 3-1. Acumulación de biomasa en plantas de ají variedad cayena de 20-140 días después del trasplante.....	34
Figura 3-2. Respuesta del ají <i>Capsicum annum</i> L. variedad cayenne a diferentes concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg en la solución nutritiva, desde el trasplante hasta 20 ddt.....	39
Figura 3-3. Respuesta del ají <i>Capsicum annum</i> L. variedad cayenne a diferentes concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg de 20 a 40 ddt.....	43
Figura 3-4. Respuesta del ají <i>Capsicum annum</i> L. variedad cayenne a diferentes concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg entre 40 – 70 ddt.....	46
Figura 3-5. Respuesta del ají <i>Capsicum annum</i> L. variedad cayenne a diferentes concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg entre 70 – 100 ddt.....	49
Figura 3-6. Respuesta del ají <i>Capsicum annum</i> L. variedad cayenne a diferentes concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg entre 100 – 140 ddt.....	52
Figura 3-7. Acumulación de biomasa en respuesta a cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento.....	54
Figura 3-8. Peso de frutos de <i>Capsicum annum</i> L. en diferentes tratamientos.....	56

Figura 3-9. Promedio de número de frutos por planta en cada tratamiento a lo largo del ensayo.....	57
Figura 3-10. Peso promedio de frutos por planta en cada tratamiento a lo largo del ensayo.	59
Figura 3-11. Producción de frutos por planta en cada tratamiento.....	61
Figura 3-12. Rendimientos de ají variedad cayena (t.ha ⁻¹) en cada tratamiento.....	62

Lista de tablas

Tabla 1-1. Principales países productores de <i>Capsicum annuum</i> L.....	4
Tabla 1-2. Requerimientos nutricionales del ají. Tomado y modificado de Rodríguez, 2009.....	17
Tabla 2-1. Concentraciones de las diferentes soluciones nutritivas para cada tratamiento.....	21
Tabla 2-2. Sales grado reactivo empleadas para la preparación de las soluciones madre.....	22
Tabla 2-3. Volumen final de cada solución madre para la preparación de un litro de solución nutritiva completa.....	23
Tabla 2-4. Características químicas del suelo donde fue sembrado el experimento en CEUNP.....	25
Tabla 2-5. Concentración elementos nutritivos utilizados tomados como referencia del cultivo bajo cubierta para determinar las dosis en el ensayo de campo.....	29
Tabla 2-6. Nutrientes y dosis aplicados al cultivo de <i>Capsicum annuum</i> L. var. Cayena para una densidad de siembra de 25000 plantas por hectárea.....	29
Tabla 2-7. Fraccionamiento de los de los elementos nutritivos por etapas empleadas en CEUNP.....	30
Tabla 2-8. Fuentes de nutrientes empleados en el ensayo de campo y el contenido de nutrientes en cada uno de ellos.....	30
Tabla 2-9. Dosis de los nutrientes aplicados en cada tratamiento del ensayo de campo, los cuales fueron aplicados de manera fraccionada según la edad del cultivo.....	31
Tabla 3-1. Acumulación de biomasa total (raíz, tallo, hoja, flores y frutos) en plantas de ají variedad cayena en diferentes épocas como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg.....	36
Tabla 3-2. Comparación de promedios según Duncan al $P < 0,05$ de contenido de biomasa en raíz, tallo y hojas a los 20 días después del trasplante.....	37
Tabla 3-3. Comparación de promedios según Duncan al $P < 0,05$ de contenido de biomasa en raíz, tallo y hojas a los 40 días después del trasplante.....	41

Tabla 3-4. Comparación de promedios según Duncan al $P < 0,05$ de contenido de biomasa en raíz, tallo y hojas a los 70 días después del trasplante.....	45
Tabla 3-5. Comparación de promedios según Duncan al $P < 0,05$ de contenido de biomasa en raíz, tallo y hojas a los 100 días después del trasplante.....	48
Tabla 3-6. Comparación de promedios según Duncan al $P < 0,05$ de contenido de biomasa en raíz, tallo y hojas a los 140 días después del trasplante.....	51
Tabla 3-7. Concentración promedio adecuada de la solución nutritiva para el cultivo de <i>C. annuum</i> en todas las etapas de desarrollo.....	53
Tabla 3-8. Número de frutos por planta en cada cosecha por tratamiento.....	58
Tabla 3-9. Peso promedio de frutos (g/planta) de ají variedad Cayena, por tratamiento en cada una de las épocas de muestreo.....	60

Introducción

La nutrición mineral es conocida como el conjunto de procesos mediante los cuales las plantas toman minerales, utilizados para la formación de órganos, tejidos y energía en los diferentes procesos bioquímicos. Además del Carbono, Hidrogeno y Oxígeno que hacen parte estructural de las plantas y que componen en promedio el 96% de su biomasa, catorce nutrientes minerales son considerados esenciales para las mismas, siendo clasificados según su requerimiento, sus funciones bioquímicas o su forma de absorción (aniones y cationes), como son el Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre, requeridos en concentraciones mayores y el Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre, Boro, Cloro, Níquel y Molibdeno absorbidos en menor concentración (Taiz, 2010; Ascón Bieto y Talón, 2008; Buchanan, 2000; Poothong y Reed, 2014). Estos elementos son necesarios para que las especies vegetales completen de manera adecuada su ciclo de vida, constituyan de forma estructural órganos, tejidos, enzimas y cumplan funciones metabólicas en las cuales no pueden ser sustituidos (Mejía de Tafur, 2010). De igual forma ejercen influencias en el desarrollo, rendimiento y calidad de frutos (Escudero *et al.*, 2003) efectuando cambios en el patrón de crecimiento, morfología y anatomía de la planta, aumentando o disminuyendo la resistencia o tolerancia a patógenos y plagas (Marschner, 1995).

Se debe brindar a las plantas una nutrición adecuada a través de planes de fertilización, ya que el comportamiento de los cultivos se encuentra íntimamente relacionado con el balance de los niveles de nutrientes, siendo un factor determinante para alcanzar las características deseables de producción en cantidad como en calidad. En caso de desequilibrios entre los diferentes nutrientes, ocurrirá una reducción en el potencial productivo de la planta (Berrios *et al.*, 2007). Deben tenerse en cuenta las dosis, el tipo de fertilizantes y los momentos adecuados de aplicación para establecer un adecuado programa de fertilización, teniendo presente las funciones de los elementos nutritivos en cada etapa de desarrollo.

El sistema de producción de hortalizas, especialmente el Ají *Capsicum Annuum* L. variedad cayena ha presentado una dinámica creciente de siembra en los últimos años (Rodríguez, 2009). Colombia, especialmente el Departamento del Valle del Cauca posee óptimas condiciones climáticas y edafológicas para el cultivo concentrando la mayor cantidad del área cultivada (450 hectáreas), con una producción de 3.016 toneladas y una participación nacional del 56% en área sembrada, presentándose como actividad importante para la mayoría de agricultores al generar 650 fuentes de empleo al año (MADR, 2010) en el sector agrícola y agroindustrial.

El manejo inadecuado de la nutrición del cultivo ha causado en los últimos años un aumento de la productividad agrícola, a un alto costo ambiental (Pimentel, 2005, citado por Chirinda *et al.*, 2010), en donde se realiza una interpretación de las concentraciones de elementos nutritivos por medio de ensayos, donde un nutriente es adicionado hasta que se obtiene el máximo rendimiento posible (Duru., *et al* 1997). Para disminuir estos problemas medioambientales deben ser manejadas las curvas de crecimiento, para así establecer planes de fertilización ya que de esta forma se consigue entregar a las plantas los nutrientes esenciales en cantidades adecuadas, optimizando su rendimiento potencial (Berrios *et al.*, 2007).

Los estudios realizados en Colombia sobre requerimientos nutricionales en el cultivo de ají son escasos, lo cual hace que la fertilización se realice con base a estudios de otros países sin tener en cuenta condiciones ambientales, quedando en duda en si la cantidad y época de aplicación de los fertilizantes es la adecuada. Por esta razón el potencial productivo del cultivo no se está aprovechando en su totalidad teniendo como base las condiciones ambientales de cada sitio. Por tal razón se desean adoptar tecnologías eficientes y sostenibles medioambientalmente que permitan obtener altos rendimientos, realizando un trabajo de investigación enfocado a determinar la acumulación y distribución de biomasa en el cultivo, obtener los niveles críticos y rangos de concentración de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio en relación a las etapas fenológicas del cultivo; determinar en campo número, peso promedio de los frutos y rendimiento en cada tratamiento y realizar e implementar en campo un plan de fertilización adecuado para el cultivo de ají de acuerdo a los resultados de la fase de casas de malla.

1.1. Revisión de literatura

1.1 Generalidades del cultivo de ají *Capsicum annuum* L.

El ají *Capsicum annuum* L. originario del nuevo mundo y considerado una constante cultural de todos los pueblos Mesoamericanos, fue la primera especie domesticada, precediendo incluso al cultivo del maíz y el frijol. Descubierta y difundida por Cristóbal Colón (Heiser, 1976; citado por Bosland 1996), ha sido introducida a muchos países por sus propiedades nutritivas, condimentales y medicinales debido a la presencia en sus frutos de dos capsaicinoides, la Capsaicina (trans-8-metil-N-vainillil-6-nonenamida) y dihidrocapsaicina (8-metil-N-vanillylnonanamida) (Govindarajan *et al.*, 1987). Además de estos capsaicinoides, se han encontrado compuestos menores como nordihidrocapsaicina, homocapsaicina, homodihidrocapsaicina y nonivamida (Constant *et al.*, 1996; Giuffrida., *et al* 2013; Huang *et al.*, 2013).

El género *Capsicum*, con más de 30 especies entre comerciales y silvestres presenta alta variabilidad genética que se manifiesta en una amplia gama de colores, formas, aromas, sabores y grados de pungencia (Eshbaugh 1983; Thampi 2003; Moscone *et al.*, 2007) de las cuales cinco han sido domesticadas siendo *Capsicum annuum* L. la más cultivada a nivel mundial.

El ají se ha convertido en un ingrediente importante para platos orientales y mexicanos por ser una fuente rica de vitamina A y C y por su sabor y pungencia. (Jäger *et al.*, 2013). Es usado en gran variedad de salsas, condimentos, polvos, encurtidos y como fruta fresca en los supermercados, presentando una alta demanda por sus diversas características (Rodríguez, 2009). Así mismo presenta propiedades farmacéuticas y medicinales, actuando como estimulante en el tratamiento de problemas de presión arterial, previniendo los trastornos ocasionados por los coágulos en la sangre e incluso del endurecimiento de las arterias y ataques cardiacos. La Capsaicina tiene efectos antiinflamatorios y conirritantes, aliviando dolores musculares, disminuyendo y

aliviando dolores causados por las hemorroides y tratando externamente problemas de artritis, osteoartritis, reumatismo, neuralgias, dolores dentales y cicatrices quirúrgicas (López, 2003). Los usos y aplicaciones de esta especie vegetal han crecido de manera exponencial en los últimos años.

De acuerdo a información de la FAO (2014), la superficie cultivada de *Capsicum* en el mundo se encuentra alrededor de 1.914.685 Hectáreas, con una producción de 31.171.567 toneladas. Asia es el continente donde más se cultiva esta especie vegetal, siendo China, Turquía e Indonesia los principales productores (Tabla 1-1). El alto comportamiento de estos países en los indicadores de producción se debe a que esta especie vegetal percibida como especie nativa tiene un gran consumo desde tiempos antiguos, a las condiciones climáticas aptas para su desarrollo y al manejo adecuado de la nutrición. En relación a América Latina, donde los mayores productores son México, Argentina y Venezuela, Colombia ocupa el quinto lugar con 2484 hectáreas, 16365 toneladas de producción y rendimientos de 11 t/ha, registrando cada día tendencias hacia la especialización territorial produciendo cuatro variedades de ají: Tabasco, Jalapeño, Habanero y Cayena.

Tabla 1-1 Principales países productores de *Capsicum annuum* L.

País	Área sembrada (ha)	Producción (t)
China Continental	707.000	16.000.000
México	136.132	2.379.736
Turquía	96.000	2.072.132
Indonesia	242.196	1.656.615
Estados Unidos	30.880	1.064.800

1.2 Nutrientes esenciales

Hasta el momento se han encontrado diecisiete elementos esenciales para la nutrición de las plantas superiores, entre ellos están el C, el H y el O que representan entre el 90 y 95% de la materia seca. El carbono es absorbido con el CO₂ del aire por los estomas de

las hojas y fijado mediante la enzima RuBisCo (Ribulosa-1-5 bisfosfato carboxilasa-oxigenasa), el hidrógeno es tomado del agua y el oxígeno del O_2 del aire y del agua, y son tratados ampliamente cuando se estudia la fotosíntesis. Los otros elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas se encuentran en menor proporción en tejidos, órganos y enzimas vegetales y cumplen funciones importantes en los procesos metabólicos, se absorben en forma inorgánica y están disponibles como iones disueltos en el medio acuoso del suelo o de la solución nutritiva (Marschner, 1995; Mejía de Tafur 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

Se clasifican por su abundancia en los tejidos vegetales como elementos mayores (N, P, K, Ca, y Mg) y menores (Fe, S, Mn, entre otros); según las propiedades fisicoquímicas en metales (K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo y Ni) y no metales (N, S, P, B y Cl); por sus funciones bioquímicas en elementos que hacen parte de las cadenas carbonadas (N y S), los que almacenan energía (P, Si y B), los nutrientes necesarios en las reacciones REDOX (Fe^{2+} o Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{+} o Cu^{2+} , Ni^{2+} , Mo^{4+}), y aquellos que permanecen en forma iónica en las plantas (K^{+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Cl^{-} y Na^{+}). (Mejía de Tafur 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

Existe discrepancia entre la concentración de minerales en la solución del suelo y los requerimientos de las plantas. Los suelos y algunos sustratos tienen altas concentraciones de minerales que no requieren las plantas para su crecimiento y desarrollo y en ocasiones presentan déficit de algunos que son esenciales, por lo que los mecanismos de absorción de nutrientes de las plantas deben ser selectivos. (Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010)

Nitrógeno (N)

El Nitrógeno se presenta en varias formas, producto de una interconversión continua mediante procesos físicos y biológicos, lo que constituye el ciclo del N. Aunque la atmósfera tiene grandes cantidades de N_2 (78% con base en volumen), las plantas no lo pueden fijar a pesar de que entra por los estomas con todos los componentes del aire, ya que estas no poseen las enzimas para reducirlo, por este motivo el N_2 sale de las plantas tan rápido como entra. Para que el nitrógeno sea asimilado por las plantas, primero debe ser fijado al suelo, proceso que se realiza a través de microorganismos procariontes, algunos de los cuales se encuentran en las raíces de leguminosas o mediante la fijación

industrial; con la lluvia también se desplazan pequeñas cantidades de N de la atmósfera al suelo en forma de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-). El NH_4^+ se origina en las combustiones industriales, actividades volcánicas, incendios forestales; mientras que el NO_3^- proviene de la oxidación del N_2 por el O_2 o el O_3 en presencia de radiación ultravioleta o tormentas eléctricas. Los océanos liberan gotas diminutas, llamadas aerosoles; cuando el agua de esas gotas se evapora quedan sales suspendidas en la atmósfera, que pueden llegar a las costas con el agua lluvia (Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010)

Con la absorción y fijación de NH_4^+ y NO_3^- las plantas forman compuestos nitrogenados como las proteínas que hacen parte estructural de las mismas. Plantas, animales y microorganismos muertos y en descomposición así como el estiércol de los animales y las excreciones de las raíces vivas son fuente importante de nitrógeno a pesar de que la mayor parte de este no esté disponible para las plantas de manera inmediata, pero tiene gran importancia como reserva ya que de allí se pueden extraer NH_4^+ y NO_3^- . El ciclo del nitrógeno consta de varias etapas: mineralización, amonificación, nitrificación e inmovilización. La mineralización del N presenta una serie de procesos a través de los cuales los componentes orgánicos se transforman en NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- , en este proceso toman parte los microorganismos del suelo. La amonificación comprende los primeros procesos de transformación hasta que la materia orgánica llega a presentarse como NH_4^+ , a través de bacterias y hongos de suelo. Este proceso puede ocurrir con varios tipos microorganismos a diferentes temperaturas y pH (pH óptimo para los microorganismos nitrificadores: 6 y 6.5). En suelos húmedos, cálidos con pH casi neutro, el NH_4^+ es oxidado por bacterias a NO_2^+ y en pocos días a NO_3^- , lo cual se conoce como nitrificación (Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

El N es tomado de la solución del suelo o sustrato por las plantas en forma de nitrato (NO_3^-) y en forma de amonio (NH_4^+); la mayor parte del NH_4^+ se incorpora a los compuestos orgánicos en las raíces, mientras que el nitrato (NO_3^-) es móvil en el xilema y se puede almacenar en la vacuola de las raíces y demás órganos aéreos de la planta. La acumulación de nitratos en la planta es de importancia para el balance iónico (anión - catión) y en la osmoregulación. Sin embargo para cumplir con las funciones esenciales como nutriente vegetal, el NO_3^- (nitrato) se debe reducir a NH_4^+ (amonio) para ser incorporado a los esqueletos carbonados en la síntesis de amino ácidos, proceso que se denomina asimilación del amonio; este proceso es tan importante para vida de las

plantas como la misma reducción y asimilación del CO_2 en la fotosíntesis. Las plantas presentan dos sistemas para absorber el nitrato; uno, constituido por permeasas con gasto de energía metabólica, se satura a concentraciones externas inferiores a 1mM; el otro, funciona cuando la concentración externa es superior a 1mM, no presenta cinética de saturación lo cual indica que está constituido por canales iónicos (Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Ascón Bieto y Talón, 2000).

El N es muy importante en la composición de la planta, mucho más que cualquier otro nutriente mineral. En general, a medida que crece el contenido de N, disminuye el de carbohidratos y aumenta el contenido de N proteico y el N soluble, los cuales son abundantes en los tejidos foliares y órganos de almacenamiento que tienen altos contenidos de agua, pero son escasos en los granos y semillas. El cambio en composición refleja la competencia por los asimilados fotosintéticos entre las diferentes rutas metabólicas (Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

Las plantas con deficiencia de nitrógeno presentan clorosis uniforme en las hojas viejas debido a que este se mueve fácilmente a las jóvenes y a que los meristemos apicales demandan altas cantidades del elemento, la tasa de crecimiento se reduce por lo que las plantas se ven pequeñas y raquíticas, el crecimiento de la raíz disminuye por lo que aumenta la relación raíz/parte aérea; y se limita la ramificación debido al colapso de los cloroplastos. Para el buen crecimiento de las plantas debe haber un balance entre la tasa de producción de fotoasimilados y la tasa de asimilación del N. En condiciones adecuadas de luz, temperaturas y el suministro de agua, el requerimiento de nitrógeno es elevado, por lo que las especies C_4 demandan mayor cantidad de nitrógeno cuando las condiciones ambientales son óptimas, debido a las altas tasas de fotosíntesis (Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

La cantidad de nitrógeno en las plantas debe estar balanceada con respecto a otros nutrientes, ya que la síntesis de compuestos orgánicos nitrogenados depende de varios iones inorgánicos como el Mg^{2+} para la formación de la clorofila y el PO_4^{3-} para la síntesis de ácidos nucleicos. El K^+ influye considerablemente sobre la absorción y asimilación del NO_3^- . Para que se produzca la reducción adecuada del NO_3^- y la posterior asimilación por las plantas es necesaria la participación directa de P, Fe, S y Mo (Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

Fósforo (P)

Las plantas toman el P principalmente como anión monovalente fosfato H_2PO_4^- cuando el pH es menor de 7 y con menor rapidez como anión divalente HPO_4^{2-} cuando el pH es mayor de 7. En general se asimila mejor a pH entre 5.6 y 6.7; por fuera de estos dos límites se combina con el Fe, Al y Ca formando fosfatos no asimilables por las plantas. A diferencia de lo que ocurre con el nitrato y el sulfato el P no se reduce al ser tomado por las plantas, conservando su mayor forma oxidada. La mayor parte del fosfato se convierte a formas orgánicas cuando entra a la raíz o después de que es transportado por el xilema a tallos y hojas (Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

Después de la absorción a un pH fisiológico (5.5 – 6.5) en forma de H_2PO_4^- principalmente, mantiene la forma inorgánica de fosfato (P_i) o esterificado a grupos hidroxilo a una cadena carbonada C-O-P como simple éster fosfato o capturado en otro fosfato por un enlace rico en fosfato P~P como el adenosin trifosfato (ATP). Las tasas de intercambio entre el P_i y el P en el éster y el pirofosfato son muy altas por lo que el P_i tomado por las raíces es incorporado en pocos minutos a P pero luego pasa de nuevo al xilema como P_i . Otro tipo de enlace fosfatado que se caracteriza por la alta estabilidad es el diéster (C-P-C) en esta asociación el fosfato forma grupos de enlaces que conecta unidades a moléculas más complejas o estructuras de moléculas (Marschner, 1995).

El P es un elemento estructural cuya función está representada en los ácidos nucleicos que como unidades de la molécula de ADN, son transportadores de la información genética y como unidad de RNA, es la estructura responsable de la transducción (translación) de la información genética. En ambos casos el fósforo del DNA y el RNA forma un puente entre las unidades de ribonucleósido para formar las macromoléculas. El P es el responsable de la naturaleza ácida de los ácidos nucleicos; también está presente en los fosfolípidos de las biomembranas; en la transferencia de energía, a pesar de estar presente en pequeñas concentraciones, representa la maquinaria metabólica de las células.

El P inorgánico regula muchas reacciones enzimática, puede ser sustrato o producto terminal como en el $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i$. El almacenamiento del P_i es esencial para la regulación de rutas metabólicas en el citoplasma y los cloroplastos; en los tejidos de los

frutos de tomate el Pi pasa de la vacuola al citoplasma para activar la fosfofructoquinosa, de tal manera que el incremento de Pi en las vacuolas pueden iniciar la respiración que tiene que ver con la maduración del fruto.

Cuando las plantas tienen suministro adecuado de fósforo, las vacuolas de las células almacenan entre el 85 y el 95% del Pi que contienen, cuando presentan deficiencia, el Pi se encuentra en mayor proporción en el citoplasma y los cloroplastos de las hojas (Marschner, 1995).

Los fosfatos son asimilados por las células al ser incorporados al ATP. La asimilación de fosfatos inorgánicos corresponde al proceso oxidativo de la Fosforilación. Además de la asimilación del fosfato en la fosforilación, parte del P absorbido es asimilado por las hojas en la fase lumínica de la fotosíntesis y se conoce como la foto - fosforilación. El fosfato asimilado en ATP rápidamente se transfiere por reacciones metabólicas subsecuentes, en una amplia variedad de productos vegetales que incluye los glucofosfatos que participan en la fotosíntesis, respiración, además de formar parte de nucleótidos (RNA y DNA). Además para la incorporación en ATP, el fósforo inorgánico, puede ser asimilado en una de las reacciones de la glicólisis cuando el fosfato es incorporado en ácido 1,3 difosfafoglicérico. El fosfato se redistribuye con facilidad en la mayor parte de las plantas de un órgano a otro, se mueve desde las hojas viejas y se acumula en hojas jóvenes, flores y semillas en formación. Por lo que las deficiencias se presentan primero en las hojas viejas de las plantas (Buchanan, Gruijssem, y Jones, 2000; Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

Es componente de muchos glucofosfatos que participan en la fotosíntesis, la respiración y otros procesos metabólicos, ácidos nucleicos (RNA y DNA), nucleótidos, coenzimas, fosfolípidos presentes en las membranas, el ácido fítico, además tiene una función importante en el metabolismo energético donde están el ATP, el ADP, el AMP y el pirofosfato (PPi). El P es importante en procesos como la división celular y formación de grasas y albúmina, la floración, fructificación y formación de semillas, la maduración de cosechas, el desarrollo de raíces, especialmente de las laterales y fibrosas, el vigor de tallos herbáceos, lo que ayuda a evitar el volcamiento, la calidad de cosechas, especialmente en forrajes y la resistencia a ciertas enfermedades. En general los requerimientos de P para un óptimo crecimiento de los cultivos están en el rango de 0.3 - 0.5 % de la materia seca de las plantas durante el periodo de crecimiento.

La posibilidad de toxicidad de P aumenta cuando el contenido es superior al 1% en la materia seca; pero esto depende de la especie (Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

Cuando la planta es deficiente en P se inhibe el crecimiento por lo que presentan enanismo; las hojas se tornan verde oscuras, debido a que la concentración de proteína y clorofila no se ven muy afectados y en ocasiones aumenta. Sin embargo la eficiencia fotosintética por unidad de clorofila disminuye. Cuando la deficiencia se hace más severa las hojas se van tornando café oscuras y mueren. Algunas veces se acumulan pigmentos del grupo de las antocianinas en las hojas viejas. La madurez se retarda. En muchas especies el N y el P interactúan de manera estrecha para regular la madurez. El exceso de fósforo ocasiona con frecuencia incremento en el crecimiento de las raíces con relación al crecimiento de la parte aérea.

Potasio (K)

El K está presente en el citosol a una concentración de 100 – 200 mM (Leigh y Wyn-Jones, 1984), aquí no puede ser reemplazado por ningún otro catión (Na^{2+}). De otro lado, la concentración de K en la vacuola varía entre 10 – 200 mM y puede alcanzar los 500 mM en las células guardas de los estomas. La función del K^+ en la extensión de las células y en otros procesos que se derivan de la turgencia, están relacionados con la concentración de K en la vacuola. En la función osmótica puede ser reemplazado en diferentes grados por otros cationes como Na^+ Mg^{2+} , Ca^{2+} o por solutos orgánicos como los azúcares (Marschner, 1995).

Las plantas toma el potasio en forma de K^+ , lo cual depende de la actividad metabólica. Se caracteriza por presentar alta movilidad dentro de la planta en todo nivel, entre las células entre tejidos y el transporte de larga distancia vía xilema y floema. El K es el catión más abundante en el citoplasma y tiene mucho que ver con el potencial osmótico de células y tejidos por lo que tiene papel importante en las relaciones hídricas de las plantas. A diferencia del N y el P, el K y el S, no forma parte de la estructura química de la planta, aparece como constituyente del jugo celular, participa en la activación de enzimas y regula el funcionamiento de estas en los procesos de ósmosis, fotosíntesis y

transporte de fotoasimilados. El K promueve la utilización del N y reduce la incidencia de enfermedades en las plantas.

A diferencia del Ca^{2+} la concentración de K^+ en el apoplasta es generalmente baja. Para el transporte rápido del K^+ en las células o tejidos se requieren canales de K en las membranas, aun en los tilacoides. Los canales en las membranas se abren y se cierran a diferentes secuencias y longitudes en respuesta a signos ambientales y a cambios de potencial de las membranas lo que permite la entrada de iones como el K^+ que entra tres veces más rápido que aquellos catalizados por bombas y transportadores. De todas maneras los canales de K^+ son en principio similares a los de Ca^{2+} , pero la función es diferente. El ión potasio actúa directamente como soluto modificando el potencial osmótico en los compartimentos y por ende la turgencia y como transportador de cargas (Marschner, 1995; Ascón Bieto y Talón, 2000).

Entre las principales funciones del K^+ en las plantas está la activación de enzimas. Muchas enzimas son completamente dependientes o activadas por el K porque induce cambios estructurales en la proteína de la enzima. En las plantas con deficiencia de K se acumulan carbohidratos solubles, disminuye el contenido de almidón y se acumulan compuestos nitrogenados solubles. Este cambio en el metabolismo de los carbohidratos está relacionado posiblemente con el alto requerimiento de K^+ que tienen algunas enzimas reguladoras particularmente piruvato quinasa y fosfofructoquinasa. También la síntesis del almidón es altamente dependiente de cationes univalentes y el K es el más efectivo, la enzima cataliza la transferencia de glucosa a moléculas de almidón (Marschner, 1995).

Activa la bomba de protones ATPasa en la membrana lo cual facilita el transporte de K^+ de la solución externa a través de la membrana plasmática a las células de la raíz, esto hace que el potasio sea el mineral más importante en la expansión celular y en la osmoregulación. Es requerido en mayor concentración en la síntesis de proteínas que en la activación de enzimas. Es posible que el K^+ esté presente en varios pasos de los procesos de translocación incluyendo el enlace del RNA a los ribosomas. En las hojas, los cloroplastos cuentan con la mitad del RNA y las proteínas de la hoja, en las plantas C_3 la mayor parte de las proteínas de los cloroplastos corresponde a RuBP carboxilasa (Marschner, 1995). El K^+ es el ion dominante contrario al flujo de H^+ inducido por la luz, a través de la membrana tilacoidal, importante en el establecimiento del gradiente de pH en

la membrana, necesario en la síntesis de ATP (fotofosforilación), proceso análogo a la síntesis de ATP en las mitocondrias. La función del K^+ en la fijación del CO_2 se puede demostrar en cloroplastos aislados, en los que se observa que un aumento en la concentración externa de K a 100 mM, que corresponde a la concentración de este catión en el citosol de las células de las plantas, estimula la fijación de CO_2 en una tasa de más del triple (Marschner, 1995).

En la osmoregulación, el K es el soluto inorgánico más importante. El potencial osmótico en la estela de las raíces es el prerequisite para la presión de turgencia que empuja el transporte de los solutos al xilema y para el balance hídrico de las plantas. En principio, a nivel de células individuales o algunos tejidos, el mismo mecanismo es responsable de la extensión celular y varios tipos de movimientos (Ascón Bieto y Talón, 2000; Marschner, 1995). La expansión de las células tiene mucho que ver con la vacuola central de la célula que ocupa el 80 – 90 % de su volumen; hay dos requisitos para que la célula se extienda: un incremento en la extensibilidad de la pared y la acumulación de solutos para crear un potencial osmótico interno, en la mayoría de los casos la extensión celular se da por la acumulación de K^+ , que es requerido para estabilizar el pH en el citoplasma y aumentar el potencial osmótico en la vacuola.

Está asociado con los cambios de turgencia en las células guardas de los estomas lo que hace posible su movimiento. Un incremento en la concentración de K^+ en las células guardas, baja el potencial osmótico lo que da como resultado la absorción de agua de las células adyacentes, con el subsecuente aumento de turgencia de las células guardas y la apertura de los estomas (Ascón Bieto y Talón, 2000; Marschner, 1995).

La acumulación de K^+ en las células guardas inducida por la luz, se presenta en la membrana plasmática que está ligada a protones que bombean ATPasa, como ocurre en la absorción de K^+ en las células de las raíces. El cierre de los estomas se presenta por la oscuridad o por el incremento de ABA y está asociado con una rápida salida de K^+ . El potasio mantiene el pH alto en los tubos para la conducción de la sucrosa; además contribuye a regular el potencial osmótico en los tubos cribosos y por ende en el transporte al vertedero de los fotoasimilados. En la compensación de cargas, el K^+ es el catión dominante para el equilibrio de aniones inmóviles en el citoplasma, en los cloroplastos y algunas veces para aniones móviles en las vacuolas, el xilema y el floema (Ascón Bieto y Talón, 2000).

Después del N el K es el mineral que se requiere en mayor cantidad, entre 2 – 5 % del peso seco. Por ejemplo el trigo en prefloración requiere entre 2.9 y 3.8% de K; las hojas maduras del algodón entre 1.7 y 1.38%; las del tomate entre 3.0 y 6.0%; los cítricos entre 1.2 y 2.0%. Cuando el K es deficiente el crecimiento se retrasa, la translocación neta de K se da desde las hojas maduras y los tallos a los partes jóvenes de la planta, por esta razón cuando se presenta déficit severo, las hojas viejas y los tallos se tornan cloróticos y necróticos y se afecta la lignificación del sistema vascular, lo cual hace las plantas susceptibles al volcamiento. La deficiencia de K vuelve las plantas susceptibles al estrés hídrico debido a su función en la regulación estomática, y a la importancia del K en el potencial osmótico de las vacuolas. La menor susceptibilidad al estrés hídrico puede ser el resultado de una mayor concentración de K en los estomas, lo que permite mantener la tasa de fotosíntesis alta y menores niveles de ácido abscísico (ABA) en las plantas (Buchanan, Grissem, y Jones, 2000; Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010)

Las plantas con inadecuado suministro de K son más susceptibles a las heladas, lo que en el ámbito celular está relacionado en algunos aspectos con deficiencia de agua. Los cambios en la actividad enzimática y de compuestos orgánicos que se presentan cuando hay deficiencia de K, son en parte responsable de que las plantas sean más susceptibles al ataque de hongos. Estos cambios en la composición también afectan las características nutricionales y la calidad de las cosechas, lo cual se presenta principalmente en frutas carnosas y tubérculos que requieren mucho potasio. Cuando se presenta un exceso de potasio es frecuente que la planta lo absorba también en exceso esto ocasiona una interferencia en la absorción y la disponibilidad fisiológica del Mg y el Ca; así mismo si se presenta exceso de Ca o Mg la absorción de los elementos antes mencionados se afectará (Buchanan, Grissem, y Jones, 2000; Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010)

Calcio (Ca)

El Ca es tomado por las plantas divalente (Ca^{2+}) es poco móvil en la planta. Actúa como enlace entre los fosfolípidos y las proteínas de la membrana; provee enlaces intermoleculares estables pero reversibles, especialmente en las paredes celulares y en

la membrana plasmática. El Ca se puede suministrar en concentraciones altas y puede alcanzar más del 10% del peso seco de las hojas maduras sin presentar síntomas de toxicidad o deficiencia. Funciona como segundo mensajero en la conducción de señales entre los factores ambientales y la respuesta de las plantas en términos de crecimiento y desarrollo, esta función está relacionada con la división celular. Se localiza en la lámina media de la pared celular, en la superficie exterior de la membrana plasmática, en el retículo endoplasmático y en la vacuola. El contenido de Ca en las plantas varía entre el 0.1 y > del 5 % del peso seco; el requerimiento de las monocotiledóneas es menor que en las dicotiledóneas. La deficiencia se reconoce por la deformación de los tejidos los cuales muestran un aspecto torcido en las zonas meristemáticas hasta la muerte de las mismas. (Buchanan, Grissem, y Jones, 2000; Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010).

Magnesio (Mg)

El Mg tomado por la planta como ion divalente Mg^{2+} , la tasa de absorción la reducen fuertemente otros cationes como el K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} y Mn^{2+} así como el pH bajo. Es importante en la fotosíntesis ya que el Mg es el átomo central de la molécula de clorofila, en el metabolismo glucídico, ya que muchas de las enzimas que intervienen en este metabolismo requieren de Mg como activador. Además actúa como activador de las enzimas que intervienen en la síntesis de los ácidos nucleicos (DNA y RNA) a partir de los nucleótidos polifosfatados. Las reacciones se realizan con la intervención de un transportador de fosfato. Se cree que el Mg participa como transportador intermedio. Calvin en 1954, indicó que diversas coenzimas como el ATP o el ADP, pueden unirse a la superficie de la enzima mediante un complejo quelatador. En las hojas la principal función es ser el átomo central de la molécula de clorofila. Según el nivel nutricional de Mg entre el 6 y el 25 % del mismo se destina a la síntesis de la clorofila, el 5 - 10 % a la síntesis de pectatos de las paredes celulares o se precipita como sales solubles a la vacuola; el otro 60 - 90% es extractable con agua. (Buchanan, Grissem, y Jones, 2000; Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010)

La deficiencia de Mg reduce el crecimiento y los síntomas visuales aparecen cuando la proporción de Mg destinado a la clorofila excede el 20-25% del total suministrado. La

concentración de Mg en los tejidos vegetales está entre el 0.15 - 0.35% del peso seco (Marschner, 1995). El síntoma de deficiencia más conocido es la clorosis en los espacios internervales, que se hace visible inicialmente en las hojas basales y se extiende luego a las más jóvenes por la movilidad del elemento. A la clorosis siguen pigmentos antocianicos, hasta presentar manchas necróticas. Cuando hay deficiencia de Mg disminuyen las proteínas se reduce la tasa de fotosíntesis y disminuye la exportación de carbohidratos al vertedero especialmente perjudicial en cultivos de papa, la yuca y en cereales, porque se reduce el peso de los tubérculos y granos ya que el Mg juega un papel adicional en la regulación de la síntesis del almidón a través del efecto sobre el nivel de P. (Buchanan, Grissem, y Jones, 2000; Marschner, 1995; Mejía de Tafur, 2010; Taiz y Zeiger, 2010)

1.3 Requerimientos Nutricionales y diagnósticos

El nivel crítico de deficiencia de un elemento se puede determinar mediante una curva de respuesta que relaciona la concentración de un elemento determinado en la solución nutritiva o en el tejido vegetal indicador con el rendimiento relativo o la acumulación de biomasa total de la planta. La Figura 1-1 presenta el esquema general de respuesta, se observa bajo rendimiento en los segmentos A y B por lo que la planta respondería a la aplicación del elemento en estudio, el segmento C representa la concentración adecuada con una respuesta ligeramente positiva a la fertilización, en los segmentos D y E se presenta el mayor rendimiento sin respuesta a la aplicación del nutriente, lo que se denomina consumo de lujo y F indica toxicidad. Por tanto el rango adecuado para el mejor crecimiento de la planta está entre el nivel crítico de deficiencia y el inicio del nivel de consumo de lujo (D). De todas maneras las plantas responden a la ley del mínimo de Liebig la cual indica que el mineral nutritivo limitante determina el rendimiento del cultivo (Marschner, 1995, Taiz y Zeiger, 2010).

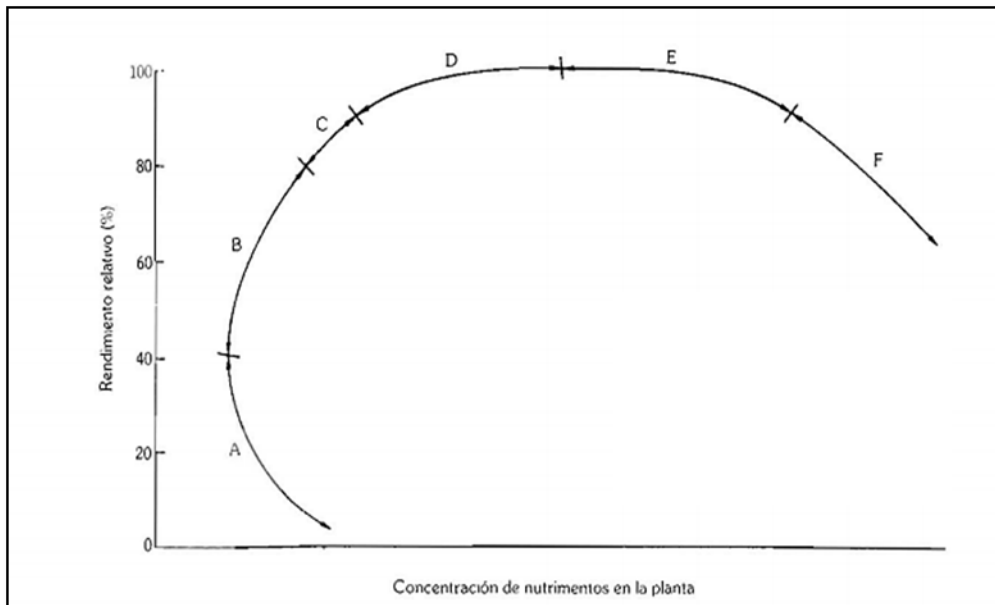


Figura 1-1. Curva general de respuesta a la concentración de un nutriente en las plantas. Tomado y modificado de Marschner, 1995, Taiz y Zeiger, 2010.

1.4 Requerimientos nutricionales de *Capsicum annuum* L.

Las hortalizas, entre ellas el ají *Capsicum annuum* L requieren de una adecuada aplicación de fertilizantes, especialmente Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio y Magnesio para expresar todo su rendimiento y calidad. (Medina, 2010). Este cultivo tiene alto potencial productivo el cual puede alcanzar dependiendo del cultivar, ecosistema donde es sembrado y manejo del cultivo, en promedio 9 t/ha; sin embargo con la implementación de sistemas de manejo, entre ellas la fertilización adecuada, se han encontrado rendimientos de 25 t/ha de ají, (MADR, 2006). Trabajos realizados por Rodríguez *et al.*, 2010 indican que el ají variedad cayena responde bien a la fertilización completa aún en molisoles de Vijes, Valle del Cauca, Colombia, lo cual indica que para obtener los máximos rendimientos es necesario adelantar investigaciones orientadas a buscar técnicas de cultivo que permitan incrementar el rendimiento de manera eficiente y eficaz, entre ellas la nutrición adecuada del cultivo, para ello es necesario conocer los

requerimientos nutricionales de la planta. Cuando la fertilización se practica sin realizar un diagnóstico se presentan desbalances nutricionales por aplicar de forma inadecuada los nutrientes esenciales, causando baja rentabilidad y aumento de los costos de producción (Finck, 1988).

Se deben manejar varios aspectos para establecer un plan de fertilización en el cultivo de ají. Como primera instancia se deben conocer los requerimientos nutricionales de acuerdo a cada etapa fenológica (Tabla 1-2) y conocer las condiciones químicas y físicas del suelo óptimas para el desarrollo del cultivo. Estos aspectos son importantes para tener éxito en la fertilización.

Tabla 1-2 Requerimientos nutricionales del ají. Tomado y modificado de Rodríguez, 2009.

Etapas	Relación			Unidades de nutrientes/ha			Unidades de nutrientes/ha por riego		
	N	P	K ⁺						
Trasplante + 20 días	2	1	1	31,25	16,66	16,66	3,12	1,66	1,66
Desarrollo + 30 días (55)	3	1	2	46,86	16,66	33,32	3,12	1,11	2,22
Fructificación 55+30 días (85)	2	3	2	31,24	49,98	33,32	2,08	3,33	2,22
Producción 85+62 días (147)	1	1	4	15,62	16,66	66,66	0,50	0,53	2,15
TOTAL	8	6	9	125	100	150			

- Fase vegetativa; N (10 %) – P (100 %) – K⁺ (10 %)
- Fase reproductiva; N (40 %) – K⁺ (40 %).
- Fase cuajado y maduración; N (50 %) – K⁺ (50 %).
- Aplicaciones foliares de Ca⁺⁺, se inician con la floración y durante el máximo de la floración.

Azofeifa *et al.*, 2008 menciona que el Ají requiere N, P y K en grandes concentraciones y el Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B y Cu en cantidades menores. El requerimiento nutricional del cultivo puede presentar variabilidad debido a las condiciones de crecimiento, desarrollo, genotipos, potencial de rendimiento, entre otros

Debido a las pocas investigaciones realizadas acerca del manejo nutricional del cultivo en las condiciones locales, es importante adelantar estudios en este sentido, por tanto el presente trabajo tiene como objetivo determinar los requerimientos nutricionales del ají y su respuesta a la fertilización bajo condiciones de campo en CEUNP, municipio de Candelaria, Valle del Cauca, Colombia. Se deben ajustar las prácticas de fertilización que favorezcan la expresión del rendimiento del cultivo y permitan mayor eficiencia en los recursos suelo, planta, ambiente y fertilizante.

2. Materiales y métodos

2.1 Ensayo bajo cubierta.

El cultivo bajo cubierta fue desarrollado en la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, departamento del Valle del Cauca, la cual se encuentra ubicada a una altitud de 994m.s.n.m, condiciones de humedad del 56- 76% y un rango de temperatura entre 32- 41°C (IDEAM, 2014). Se localiza a los 3° 30' 45.13'' latitud Norte y 76° 18' 30.25'' de longitud oeste.

Se utilizaron semillas de ají, *Capsicum annuum* L. variedad Cayena producida por la Empresa Hugo Restrepo y CIA y purificada a través de diferentes selecciones por el Programa de Mejoramiento Genético, Agronomía y Producción de Semillas de Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira con la finalidad de fortalecer su calidad, pureza genética y productividad. Es una variedad que presenta uniformidad con mayor producción por planta y buenos estándares de calidad para el mercado nacional e internacional (Muñoz, 2009).

Los semilleros fueron establecidos en paneles utilizando como sustrato arena de río previamente esterilizada. Para el riego se utilizó solución nutritiva con las concentraciones correspondientes a cada tratamiento (Figura 2-1). Las plántulas fueron trasplantadas 20 días después de la siembra (Figura 2-2).



Figura 2-1. Aspecto general del semillero (*Capsicum annuum* L.) poco antes del trasplante.



Figura 2-2. Aspecto general del ensayo bajo cubierta utilizando como sustrato arena cuarcítica y diferentes soluciones nutritivas.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 16 tratamientos y 4 repeticiones, realizando 5 muestreos escalonados a los 20, 40, 70, 100 y 140 días después del trasplante. Las épocas de los muestreos se seleccionaron teniendo como referencia las etapas fenológicas del cultivo de acuerdo a las investigaciones de Estrada (2009).

Como sustrato se empleó arena cuarcítica de dos granulometrías (0.8-1.5 mm y 2.0-2.5 mm) la cual permite tener un buen control de la nutrición y un equilibrio adecuado de la relación aire/agua para evitar los problemas de falta de aireación por riegos excesivos.

Los tratamientos fueron definidos a partir de la fórmula establecida por Hoagland y Arnon en 1952 para tomate (Salisbury y Ross, 1994; Marschner 1995; Ascón Bieto y Talón, 2008) la cual fue tomada como testigo, a partir de la cual se realizaron variaciones en las concentraciones de cada elemento. Para la concentración alta de cada elemento se tomó la concentración de Hoagland y Arnon más el 50% de la misma, la concentración media corresponde al 25% de la concentración alta y la baja a un cuarto de la concentración media (Tabla 2-1)

Tabla 2-1. Concentraciones de las diferentes soluciones nutritivas para cada tratamiento.

Tratamiento	Solución	N	P	K	Ca	Mg	S
		mmol/L					
1	Completa	15	1,0	6,03	5,0	4,0	4,0
2	N alto	22,5	1,0	6,03	5,0	4,0	4,0
3	N medio	5,6	1,0	6,03	5,0	4,0	4,0
4	N bajo	1,4	1,0	6,03	5,0	4,0	4,0
5	P alto	15	1,5	6,03	5,0	4,0	4,0
6	P medio	15	0,3	6,03	5,0	4,0	4,0
7	P bajo	15	0,09	6,03	5,0	4,0	4,0
8	K alto	15	1,0	9,0	5,0	4,0	4,0
9	K medio	15	1,0	2,24	5,0	4,0	4,0
10	K bajo	15	1,0	0,56	5,0	4,0	4,0
11	Ca alto	15	1,0	6,03	7,5	4,0	4,0
12	Ca medio	15	1,0	6,03	1,87	4,0	4,0
13	Ca bajo	15	1,0	6,03	0,46	4,0	4,0
14	Mg alto	15	1,0	6,03	5,0	6,0	4,0
15	Mg medio	15	1,0	6,03	5,0	1,5	4,0
16	Mg bajo	15	1,0	6,03	5,0	0,37	4,0

La preparación de las soluciones nutritivas se hizo a partir de soluciones madre o concentradas para lo cual se utilizaron sales de grado reactivo (Tabla 2-2) y luego diluidas hasta lo indicado en la Tabla 2-3.

Tabla 2-2. Sales grado reactivo empleadas para la preparación de las soluciones madre.

Sal grado reactivo	Pureza de la sal (%)	Concentración de la solución madre (M)
Ca (NO₃)₂·4H₂O	99	1
KNO₃	99	1
MgSO₄·7H₂O	99,5	1
KH₂PO₄	99,5	1
NH₄NO₃	99	1
KCl	99	1
CaCl₂	92	1
H₃PO₄	85-90	0,1
MgCl₂·6H₂O	99	1
(NH₄)₂ SO₄	90	1

La Tabla 2-3 presenta el volumen de cada solución madre para la preparación de un litro de solución diluida en cada uno de los 16 tratamientos.

Tabla 2-3. Volumen final de cada solución madre para la preparación de un litro de solución nutritiva completa. (Varela *et al*, 2002).

Reactivos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
	mL de solución madre/litro de solución completa															
1,0 M Ca (NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	5	5			5	5	5	5	5	5						
1,0 M KNO ₃	5	5			5	5	5				5	5	5	5	5	5
1,0 M MgSO ₄ ·7H ₂ O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
1,0 M KH ₂ PO ₄	1	1	1	1							1	1	1	1	1	1
1,0 M NH ₄ NO ₃		3,75	2,8	0,7				2,5	2,5	2,5	5	5	5	1	1	1
1,0 M KCl			5	5	1	1	1	9	2,25	0,56						
1,0 M CaCl ₂			5	5							7,5	1,87	0,46	5	5	5
0,1 M H ₃ PO ₄					15	3	0,9	10	10	10						
1,0 M MgCl ₂ ·6H ₂ O														6	1,5	0,37
1,0 M (NH ₄) ₂ SO ₄														4	4	5
0,1 % Quelato de Fe	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
*Oligoelementos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

*La disolución de oligoelementos tiene la siguiente composición: 1,8 g MnCl₂·4H₂O, 3,0 g H₃BO₃, 0,3 g ZnSO₄, 0,1 g CuSO₄·5H₂O y 0,06 g MoO₃

El pH de las soluciones nutritivas fue ajustado en un rango de 5,5-6,5, adicionando Ácido Clorhídrico (HCl) o Hidróxido de Sodio (NaOH) para su respectivo control. El manejo de la conductividad eléctrica se realizó adicionando agua destilada (CE>3) o solución nutritiva (CE<3), según fuera el caso.

Las plantas fueron cosechadas en la época establecida previamente, cada parte de la planta fue separada (raíz, tallo, hojas, flores y frutos) empacadas en bolsas de papel previamente marcadas con el respectivo tratamiento y repetición y llevadas a la estufa 70°C hasta peso constante para su secado. Posteriormente se tomaron los datos de peso de cada parte de la planta y el peso total por repetición utilizando una balanza marca Mettler Toledo.

El nivel crítico de los elementos nutritivos en estudio (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio) se determinó mediante la construcción de curvas de calibración,

relacionando la biomasa total con la concentración de cada uno de los elementos nutritivos, tomando como dato base el 95% del rendimiento máximo, a partir del cual se traza una línea recta paralela al eje de las x. Los puntos que cortan la curva de respuesta corresponden al nivel crítico o rango de concentración de cada elemento nutritivo requerido por la planta para un buen rendimiento (Howeler, 1983; Marschner, 1995).

Los análisis se realizaron mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.13. Se hicieron análisis de varianza, ANOVA, prueba de comparación múltiple de promedios Duncan.

2.2 Ensayo de campo

El ensayo de campo fue establecido en el Campo Experimental de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, (CEUNP), ubicado en el municipio de Candelaria (vereda El Carmelo) en el departamento del Valle del Cauca, a 980 m.s.n.m, temperatura promedio de 24 °C, humedad relativa del 75% y coordenadas 3° 24' latitud norte y 76° 26' longitud oeste (Silva, 2011).

Se realizó el muestreo de suelos antes de iniciar la siembra para determinar sus características físico- químicas. Las muestras se tomaron a una profundidad de 20-30 cm. (Tabla 2-4) En el laboratorio se realizaron los análisis determinando el pH por el método del Potenciométrico (1:1), CIC por el método del cloruro de Sodio (Titulación), Fósforo por el método Bray II (espectrometría), Boro por Olsen Modificado, Aluminio por el método Cloruro de Potasio 1N, Materia orgánica por el método de Walkley and Black, elementos menores por el método de Acetato de Amonio 1N Neutro y EDTA 0.01 M y las bases por el método del acetato de Amonio 1N. La textura fue tomada al tacto (Tabla 2-4).

Tabla 2-4 Características químicas del suelo donde fue sembrado el experimento en CEUNP.

pH	MO	N	Ca	Mg	K	Na
1:1	%		meq/100g de suelo o cmol(+)			
7,3	1,39	0,09	2,09	7,07	0,34	0,38
CIC	P	Cu	Zn	Mn	Fe	B
meq/100g		ppm				
23,5	3,78	0,23	0,39	12,6	1,38	0,50

Con el fin de obtener condiciones adecuadas para el cultivo, el suelo fue subsolado para romper las capas endurecidas y luego se hizo un arado convencional de acuerdo a las condiciones del suelo para luego hacer los surcos e instalando un acolchado plástico para prevenir la invasión de malezas y usar de forma eficiente el agua y los fertilizantes (Figura 2-3).



Figura 2-3. Aspecto general del lote antes de establecer en experimento CEUNP.

Cuando se presenta un crecimiento vigoroso de ramas y hojas y formación prolífica de frutos hacia los costados laterales, la planta tiende a volcarse y los tallos a partirse debido al peso de los frutos, por tanto se debe hacer tutorado, el cual se hizo con el sistema de encajonamiento, que consiste en la ubicación de tutores cortos (1m) cada 4 plantas y posterior amarre a través de cuerdas de fibra color verde que se atraviesan lateralmente por cada lado del surco formando un “cajón” de soporte. Esta cuerda o hilos laterales se colocan cada 20-25 cm de altura o cada nueva ramificación de la planta (Figura 2-4).



Figura 2-4. Tutorado de las plantas, mediante el sistema de encajonamiento.

Se utilizó semilla de ají *Capsicum annuum* L. Variedad cayena, la cual fue tratada con Nitrato de Potasio (KNO_3) a una concentración de 5 g/L durante 30 minutos para estimular la germinación (Figura 2-5). En los semilleros se utilizó turba como sustrato, ubicando una semilla por alveolo y realizando riego diariamente para mantener la humedad.



Figura 2-5. Tratamiento de la semilla con KNO_3

Las plántulas fueron trasplantadas a los 20 dds y sembradas en surcos con una distancia de 1.27 m entre ellos y las plantas fueron sembradas cada 0.5 m. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA), con 4 tratamientos y 3 repeticiones (12 unidades experimentales) con un área total de 288 m². Cada parcela constaba de 4 surcos con 27 plantas cada uno tomando 6 plantas de evaluación por cada unidad experimental (Figura 2-6).

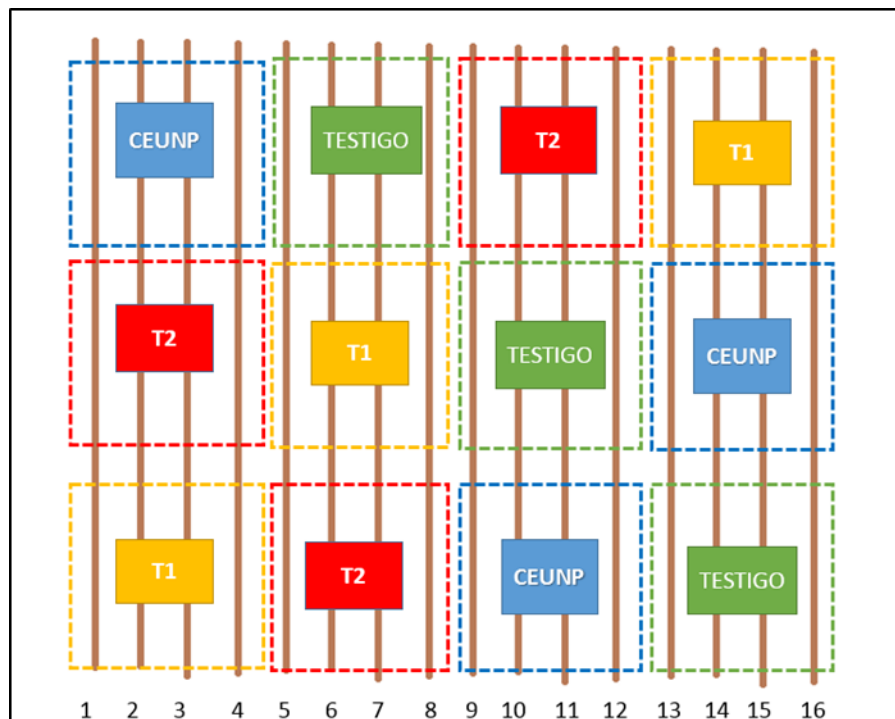


Figura 2-6. Mapa de experimento en el campo. El tratamiento indicado como CEUNP corresponde al tratamiento 3 y el testigo al tratamiento 4.

Los tratamientos 1 y 2 fueron tomados de los resultados en el ensayo bajo cubierta (Tabla 2-5). El tratamiento 3 corresponde a la fertilización utilizada por el programa de Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia en CEUNP (Tabla 2-6) y el tratamiento 4 se tomó como testigo, al cual no se le realizó ninguna aplicación de fertilizantes durante todo el ensayo. En todos los casos se fraccionó la dosis de fertilizantes de acuerdo con la edad del cultivo, empleando el plan de fertilización utilizado en CEUNP (Tabla 2-7).

Como fuente de nutrientes se emplearon los fertilizantes indicados en la Tabla 2-8, fraccionando su aplicación en 6 etapas: 10, 25, 45, 70, 85, 90 y 100 días después del trasplante, ya que la fertilización escalonada permite que haya una mejor absorción de nutrientes por parte de la planta.

Tabla. 2-5. Concentración elementos nutritivos utilizados tomados como referencia del cultivo bajo cubierta para determinar las dosis en el ensayo de campo.

Tratamiento	Solución	ppm					
		N	P	K	Ca	Mg	S
1	Completo	210	31	234	200	96	128
2	Alta	315	46,5	351	300	144	128

Tabla 2-6. Nutrientes y dosis aplicados al cultivo de *Capsicum annum* L. var. Cayena para una densidad de siembra de 25000 plantas por hectárea.

Nutriente	Cantidad por ciclo (Kg/ha)
Nitrógeno	200
Fosforo	150
Potasio	400
Calcio	60
Magnesio	40
Azufre	60
Elementos menores	50

Tabla. 2-7. Fraccionamiento de los de los elementos nutritivos por etapas empleadas en CEUNP.

Elemento	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6
	10 ddt	25 ddt	45 ddt	70 ddt	85/90 ddt	100 ddt
%						
Nitrógeno	10	20	30	20	10	10
Fosforo	30	25	20	15	10	---
Potasio	10	15	20	20	20	15
Calcio	10	10	20	20	20	20
Magnesio	10	10	20	20	20	20
Azufre	10	20	30	20	10	10
Elementos Menores	40	30	30	---	---	---

Tabla. 2-8. Fuentes de nutrientes empleados en el ensayo de campo y el contenido de nutrientes en cada uno de ellos.

Fuente de nutrientes	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S
%						
DAP (Fosfato diamónico)	18	46	0	0	0	0
KCL (Cloruro de Potasio)	0	0	60			
NPK (+ potasio)	13	3	43	0	0	0
K ₂ NO ₃ (Nitrato potásico)	13	0	44			
UREA	46	0	0	0	0	0
K ₂ SO ₄ (Sulfato de potasio)	0	0	15	0	0	18
CaNO ₃ (Carbonato de Calcio)	15	0	0	0	26	0
Triple 15	15	15	15	0	0	0
MgSO ₄ (Sulfato de Magnesio)	0	0	0	16,4	0	43
MgNO ₃ (Nitrato de Magnesio)	11	0	0	16	0	0

La Tabla 2-9 presenta las dosis de los nutrientes en cada uno de los tratamientos definidos en el ensayo de campo, definidos según los resultados del experimento realizado bajo cubierta con soluciones nutritivas y de acuerdo con el análisis de suelos del lote donde se estableció el ensayo de campo. Los tratamientos 1 y 2 corresponden a los requerimientos definidos en el ensayo bajo cubierta, el tratamiento 3 al plan establecido en CEUNP y el tratamiento 4 corresponde al testigo absoluto o sin fertilización.

Tabla. 2-9. Dosis de los nutrientes aplicados en cada tratamiento del ensayo de campo, los cuales fueron aplicados de manera fraccionada según la edad del cultivo.

Tratamientos	Elementos Nutricionales (gramos/planta)				
	N	P	K	Ca	Mg
T1	2	3	46	2	0
T2	3	5	56	3	0
T3	12	9	24	36	2,4
T4	0	0	0	0	0

Los frutos fueron cosechados maduros cuando presentaron 1/3 de madurez al iniciar el cambio en un 20-30%. Una vez cortados se pesaron en fresco para determinar en cada muestreo el peso por fruto y el rendimiento en cada uno de los tratamientos. (Figura 2-7)



Figura 2-7 Cosecha y pesaje de frutos de ají.

Se realizó un análisis de varianza, (ANDEVA) y la prueba de DUNCAN al 5% para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el peso de frutos, número de frutos por planta y el rendimiento por muestreo y total por planta en cada tratamiento.

3.Resultados y discusión.

3.1 Ensayo bajo cubierta

3.1.1 Acumulación y distribución de biomasa a lo largo del ciclo del ensayo

La biomasa seca es el criterio más apropiado para medir el crecimiento y la magnitud del sistema de asimilación de la planta (Taiz y Zeiger, 2010). La Figura 3-1 presenta la acumulación de biomasa de los 20 – 140 ddt. En ella se observa la fase de crecimiento exponencial donde la planta joven cuenta con un sistema radical reducido. Esta fase termina a los 40 ddt para comenzar la fase lineal donde el crecimiento es rápido, el poder de asimilación de la planta aumenta a medida que sus órganos se desarrollan. Lo anterior coincide con lo indicado por Estrada *et al*/2010, al afirmar que la época crítica del ají se encuentra a los 40 ddt, y que a partir de esta fecha se presenta un crecimiento acelerado, además de coincidir con el inicio de floración y por tanto mayor requerimiento de agua y nutrientes. A los 140 ddt (planta adulta) se presenta una fase de estabilización, donde después del inicio de la fructificación ocurre una disminución del crecimiento hasta estabilizarse (Rylski 1986).

El cultivo de *Capsicum annuum* L. presentó una curva de crecimiento sigmoideal. La distribución de la biomasa está ligada a la fenología de la planta, especialmente, a la floración y la fructificación.

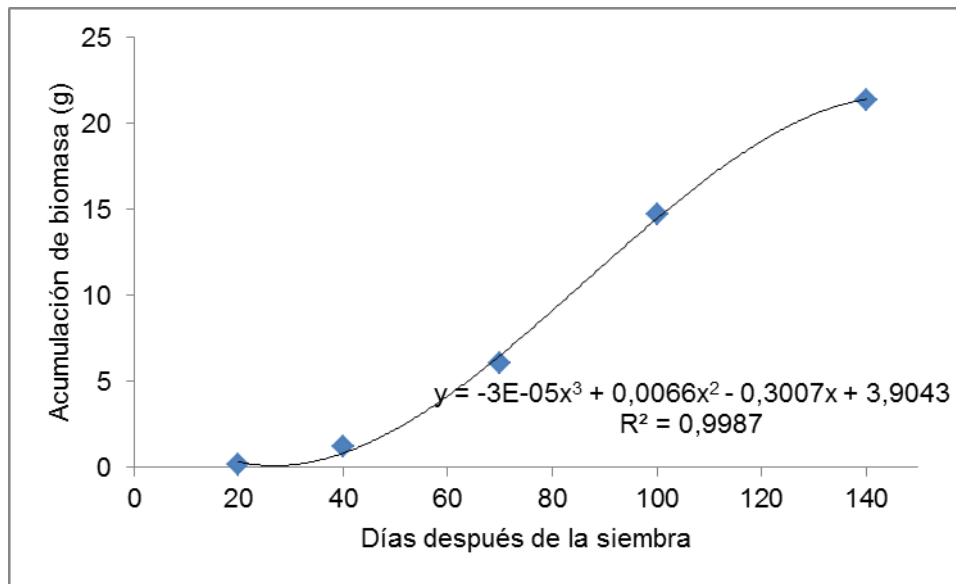


Figura 3-1. Acumulación de biomasa en plantas de ají variedad cayena de 20-140 días después del trasplante.

3.1.2 Acumulación de biomasa total (raíz, tallo y hojas) en plantas de ají variedad cayena a los 20 días después del trasplante (ddt) como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg.

La distribución de biomasa seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción del cultivo. Las hortalizas de fruto como el ají se caracterizan por un crecimiento indeterminado, presentando desarrollo vegetativo en una primera fase muy corta de desarrollo inicial (Peil *et al*, 2005).

A los 20 ddt el cultivo de ají se encuentra en un periodo de inicio de ramificación, presentando un diámetro de tallo de 1 cm en promedio. El análisis de varianza mostró diferencias significativas de acumulación de biomasa entre tratamientos ($Pr > F = 0,0001$) (Tabla 3-1). Los valores más altos fueron encontrados en los tratamientos de Calcio Medio (0,319 g) y bajo (0,321 g), seguidos de K medio (0,297), K alto (0,241 g), Mg bajo (0,237 g), Mg medio (0,241 g), Ca alto (0,225 g) y N alto (0,205 g). Los valores más bajos de biomasa fueron reportados en N bajo (0,054 g), P medio (0,063 g) y P bajo (0,034 g).

Se confirma lo indicado por Mejía de Tafur, 2010, de que el Fósforo es importante en procesos como la división celular, desarrollo de raíces, vigor de tallos y es un componente de muchos glucofosfatos que participan en la fotosíntesis y otros procesos metabólicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

La producción de biomasa seca presento mayores valores cuando la concentración de la solución nutritiva fue completa para el N (15 mM) y P (1 mM), media para el K (2,24 mM) y Mg (1,5 mM) y baja para el Ca (0,46 mM). De igual forma se presentó mayor acumulación de biomasa en hojas (0,0885 g), seguida de raíces (0,0636 g) y tallos (0,0366 g) (Tabla 3-2). Lo anterior indica que en esta etapa del cultivo las plantas acumulan mayor biomasa cuando la solución nutritiva tiene concentraciones de N y P iguales a las de la solución de Hoagland utilizada como testigo y que se puede diluir el K el Mg y el Ca.

Tabla 3-1. Acumulación de biomasa total (raíz, tallo, hoja, flores y frutos) en plantas de ají variedad cayena en diferentes épocas como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg

Tratamientos	Biomasa total (g)				
	20 ddt	40 ddt	70 ddt	100 ddt	140 ddt
Completo	0,142	1,4084	10,016	20,522	26,510
N alto	0,205	1,4343	8,360	20,715	34,724
N medio	0,115	0,8120	2,950	10,373	15,658
N bajo	0,054	0,2823	0,779	2,153	2,316
P alto	0,163	1,4300	9,077	21,922	28,911
P medio	0,063	0,4751	2,314	10,898	9,734
P bajo	0,034	0,1117	0,310	1,471	6,473
K alto	0,241	1,5516	7,351	13,876	30,975
K medio	0,297	1,6455	6,430	16,046	24,786
K bajo	0,198	0,7159	3,267	9,021	7,294
Ca alto	0,225	2,4138	10,166	28,580	25,948
Ca medio	0,319	1,6323	11,072	15,884	29,775
Ca bajo	0,321	1,7669	9,682	23,111	35,611
Mg alto	0,168	1,5535	6,742	17,038	23,144
Mg medio	0,241	1,3473	3,860	14,740	18,792
Mg bajo	0,237	1,0178	5,093	9,093	21,457
Promedio	0,19	1,22	6,09	14,72	21,38
DMS	0,1040	0,6426	1,42	3,464	12,59
Pr>F	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Tabla 3-2. Comparación de promedios según Duncan al $P < 0,05$ de contenido de biomasa en raíz, tallo y hojas a los 20 días después del trasplante.

Acumulación de biomasa 20 días después del trasplante						
Tratamiento	Raíz		Tallo		Hojas	Grupo
Completo	0,04800	dc	0,02700	cde	0,06700	efgh
N alto	0,07175	abc	0,04225	abc	0,09100	cdef
N medio	0,03325	dc	0,02500	cde	0,05675	fghi
N bajo	0,01950	d	0,01150	de	0,02275	hi
P alto	0,06125	bcd	0,02975	bcde	0,07175	defg
P medio	0,02000	d	0,01375	de	0,02875	ghi
P bajo	0,01475	d	0,00575	e	0,01300	i
K alto	0,07300	abc	0,04825	abc	0,11975	abcd
K medio	0,11475	a	0,05150	abc	0,13025	abc
K bajo	0,07125	abc	0,03600	bcd	0,09050	cdef
Ca alto	0,07375	abc	0,04475	abc	0,10625	bcdef
Ca medio	0,10000	ab	0,05583	a	0,16300	a
Ca bajo	0,11275	a	0,06525	a	0,14300	ab
Mg alto	0,04775	dc	0,03800	abcd	0,08175	cdef
Mg medio	0,07375	abc	0,04525	abc	0,12150	abcd
Mg bajo	0,08200	abc	0,04625	abc	0,10875	bcde
Promedio	0,0636		0,0366		0,0885	
DMS	0,0440		0,0240		0,0437	
Pr>F	0,0001		0,0001		<,0001	

Rangos de concentración de N, P, K, Ca y Mg.

En el Valle del Cauca existen condiciones agroclimáticas apropiadas para la producción comercial del cultivo de ají cayenne, logrando altos rendimientos por área. Sin embargo, hay muy poca información sobre los requerimientos nutricionales durante el ciclo de la planta y sobre los rangos adecuados de concentración de los diferentes elementos nutritivos (Barrientos 1988). La absorción de nutrientes es un fenómeno que se presenta día a día y cada proceso metabólico de la planta requiere diferentes cantidades de estos nutrientes (Bertsch, 1993). La duración y los cambios en peso de cada etapa fenológica del cultivo y su relación con las concentraciones de los elementos nutritivos en los tejidos de la planta permitirán obtener las necesidades nutricionales del cultivo. Al conocer estos

rangos de concentración de cada elemento nutritivo se podrán obtener incrementos en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

El buen manejo de las soluciones nutritivas es una de las prácticas más importantes para la obtención de plantas de buena calidad. Si se maneja una concentración adecuada de cada nutriente en la solución esto permitirá acelerar el crecimiento de la parte aérea y radical de las plantas de ají mejorando diferentes aspectos como la productividad, resistencia a plagas, enfermedades y calidad de las cosechas (Monsalve *et al*, 2009). Una concentración demasiado baja reduce el crecimiento, mientras que concentraciones altas pueden producir excesos de salinidad y afectar el crecimiento y calidad de las plantas.

El nivel crítico de nutrientes en las plantas de ají se obtuvo mediante curvas de calibración relacionando la producción de biomasa (g) vs el contenido del elemento en cada tratamiento manejado (Howeler, 1983). Al realizar el análisis de la Figura 3-2 utilizando la metodología indicada por Howeler 1983, observamos que el nivel crítico de deficiencia a esta etapa para el N está en 20,60 mM, para P de 1,20 mM, la curva de K no presenta relación de acuerdo al R^2 , pero se podría decir que alrededor de 2 mM es adecuado, el Ca 1,15 mM y el Mg 1,32 mM. Por tanto, para la primera etapa del cultivo las anteriores son las concentraciones adecuadas a utilizar en el fertirriego bajo cubierta. Lo anterior indica que hasta 20 ddt las plantas requieren mayor concentración de N y P en la solución nutritiva que las propuestas por Hoagland y Arnon, 1952 y menor concentración para K, Ca y Mg. Utilizar las concentraciones indicadas anteriormente permite economía de fertilizantes con beneficios ambientales y económicos.

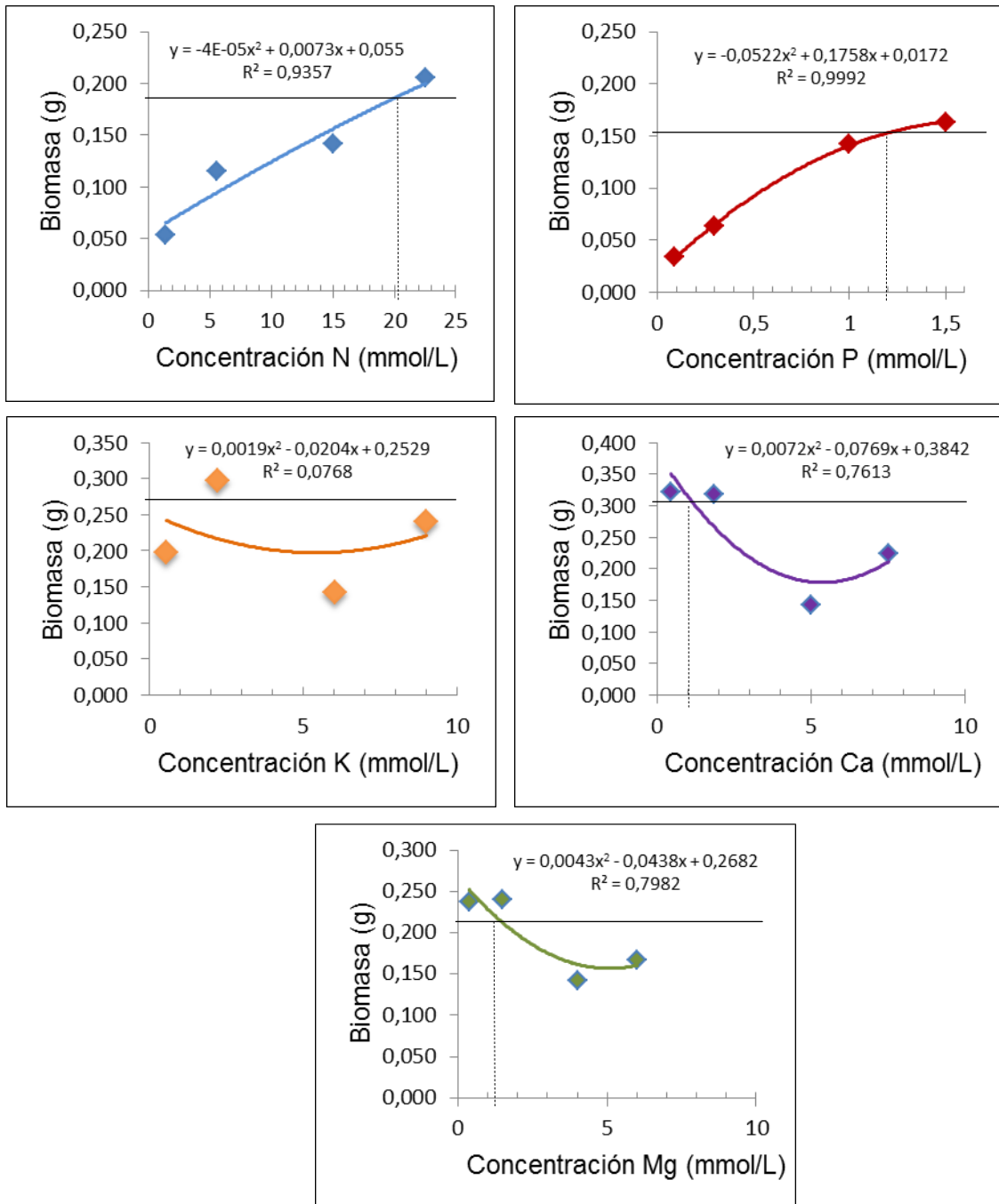


Figura 3-2. Respuesta del ají *Capsicum annuum* L. variedad cayenne a diferentes concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg en la solución nutritiva, desde el trasplante hasta 20 ddt

Según estudios de Azcón Bieto y Talón, 2008, en la etapa de crecimiento del cultivo los nutrientes más importantes para la adecuada nutrición son el nitrógeno, fósforo y potasio. Entre los diecisiete elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, el Nitrógeno es considerado el más importante por ser el que se encuentra en mayor proporción, de 2-5% con respecto a su materia seca (Marschner, 1995). Las funciones del N son de tipo estructural y osmótico, se relacionan con la síntesis de moléculas esenciales para el crecimiento y desarrollo como ácidos nucleicos (RNA y ADN), aminoácidos, proteínas, clorofilas, fosfolípidos, alcaloides y vitaminas (Cárdenas *et al*, 2004).

El fósforo también presenta gran importancia en esta fase fenológica debido a que hace parte esencial de muchos glucofosfatos que participan en la fotosíntesis, la respiración, forma parte de los ácidos nucleicos (Salisbury *et al*, 1994), participa en la formación de ATP y ADP y representa la maquinaria metabólica de las células (Mejía de Tafur, 2010). De igual forma este elemento nutritivo ayuda al crecimiento radical y al establecimiento de la planta después del trasplante o siembra (Upendra *et al*, 2003).

3.1.3 Acumulación de biomasa total (raíz, tallo y hojas) en plantas de ají variedad cayena a los 40 días después del trasplante (ddt) como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg.

Los valores de biomasa en esta etapa de crecimiento mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($P > F = 0,0001$) (Tabla 3-1). El nivel más alto de biomasa seca se encontró en el tratamiento de Ca alto (2,4138 g). No se presentaron diferencias significativas ante las concentraciones alta, media y baja de N y Mg; media y baja de P y Ca y alta y media de K. Se encontraron los valores más bajos en los tratamientos N bajo (0,2823 g) y P bajo (0,1117 g). El ají en esta etapa comenzó a responder a mayores concentraciones de K y Ca. Se afirma que en la fase reproductiva el cultivo de ají tiene un alto consumo de estos dos elementos para la formación de los botones florales.

De acuerdo a la producción de biomasa, se pueden manejar concentraciones de N de 15 mM, P (1,5 mM), K (2,24 mM), Ca (7,5 mM) y Mg (4 mM). Se presentó mayor acumulación de biomasa en Hojas (0,5259 g), seguido de raíz (0,3818 g) y tallos (0,3328 g) (Tabla 3-3).

Tabla 3-3. Comparación de promedios según Duncan al $P < 0,05$ de contenido de biomasa en raíz, tallo y hojas a los 40 días después del trasplante.

Acumulación de biomasa 40 días después del trasplante						
Tratamiento	Raíz		Tallos		Hojas	
Completo	0,416	bcdef	0,3994	bc	0,593	bcd
N alto	0,4575	bcde	0,3269	bc	0,6499	bc
N medio	0,2631	defgh	0,1881	cde	0,3608	de
N bajo	0,1077	gh	0,0735	de	0,1011	fg
P alto	0,4099	bcdef	0,3881	bc	0,6320	bc
P medio	0,1568	fgh	0,1003	de	0,2180	efg
P bajo	0,0371	h	0,0282	e	0,0464	g
K alto	0,5158	abcd	0,41311	bc	0,7951	ab
K medio	0,5421	abc	0,4589	b	0,6418	bc
K bajo	0,2118	efgh	0,1921	bcd	0,3411	def
Ca alto	0,7347	a	0,7434	a	0,9293	a
Ca medio	0,4899	abcd	0,4749	b	0,6640	bc
Ca bajo	0,6615	ab	0,3976	bc	0,7078	abc
Mg alto	0,4295	bcde	0,467	b	0,6769	abc
Mg medio	0,3740	cdef	0,3902	bc	0,5822	bcd
Mg bajo	0,3021	cdefg	0,2827	bcd	0,4745	cd
Promedio	0,3818		0,3328		0,5259	
DMS	0,2334		0,1960		0,2327	
Pr>F	<,0001		<,0001		<,0001	

Rangos de concentración de N, P, K, Ca y Mg.

El rango adecuado para la concentración de N en la solución nutritiva estuvo entre 13,50- 22 mM; para el P 0,99- 1,50mM; K 4,70 – 9,00 mM; Ca 7,15 mM y Mg 4,93 mM (Figura 3-3). El Ca y Mg no presentaron rangos adecuados y por tanto se tomó la concentración a la cual presentó mayor acumulación de biomasa.

El calcio es importante en esta etapa de crecimiento debido a que se usa en la síntesis de nuevas paredes celulares, particularmente en la lámina media que separa las nuevas células divididas; se requiere para un normal funcionamiento de las membranas vegetales y ha sido implicado como segundo mensajero en diferentes respuestas de las plantas tanto en señales ambientales como hormonales (Taiz y Zeiger, 2010). El potasio (K) es uno de los elementos más importantes que requiere el cultivo para un mejor desarrollo, ya que ayuda a la planta a mejorar su estructura celular, asimilación de carbono, fotosíntesis, síntesis de proteínas, formación de almidón, translocación de proteínas y azúcares, absorción de agua por las plantas y el desarrollo normal de raíces (Fuentes, 2014)

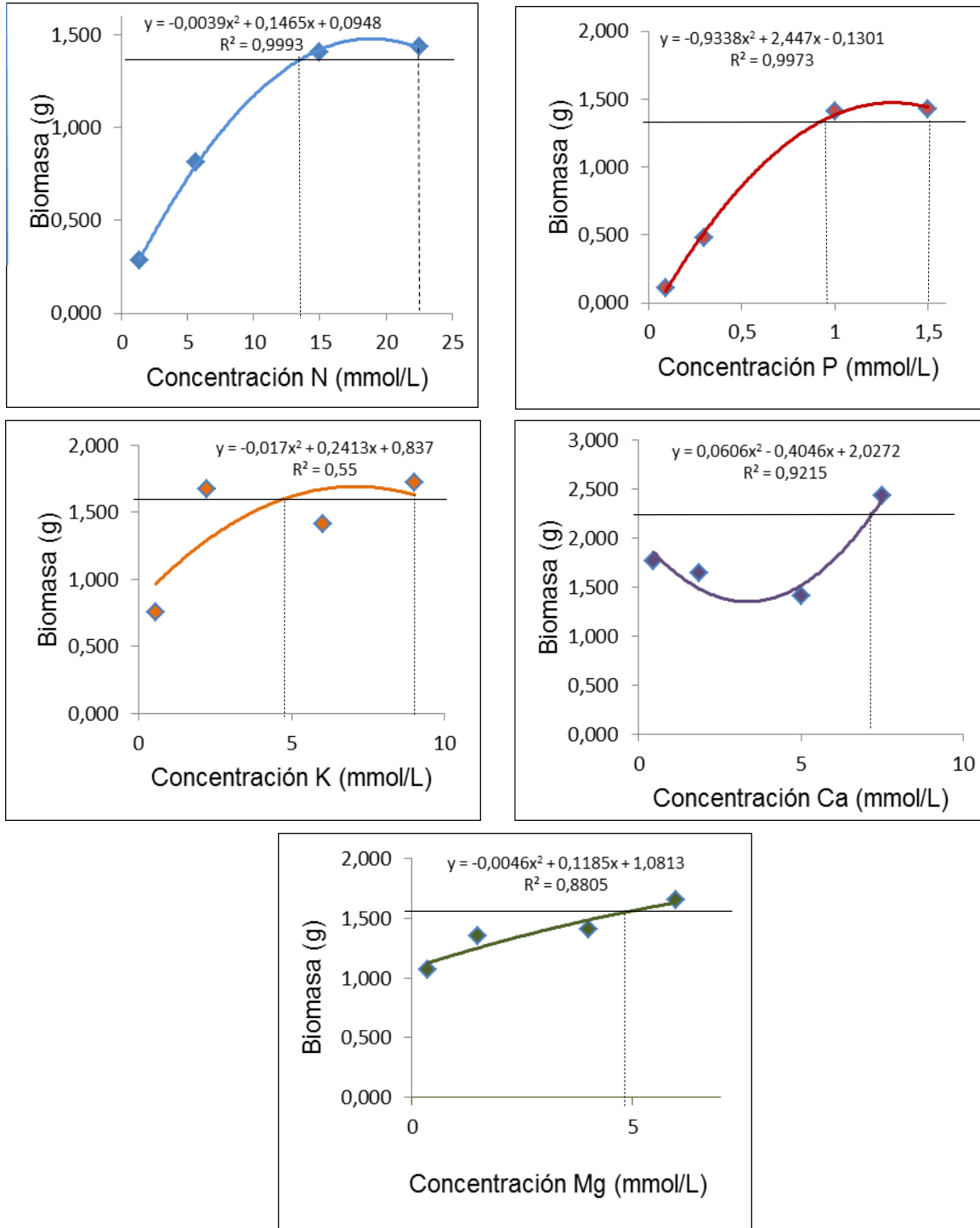


Figura 3-3. Respuesta del ají *Capsicum annum* L. variedad cayenne a diferentes concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg de 20 a 40 ddt.

3.1.4 Acumulación de biomasa total (raíz, tallo y hojas) en plantas de ají variedad cayena a los 70 días después del trasplante (ddt) como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en esta etapa de crecimiento ($Pr > F = 0,0001$) Tabla 3-1. El tratamiento Ca medio obtuvo el peso más alto en biomasa (11,072 g), teniendo un comportamiento estadísticamente similar con la solución completa (10,016 g), Ca alto (10,166 g) y Ca bajo (9,682 g). Los tratamientos que obtuvieron un menor valor de biomasa fueron el P bajo (0,310) y N bajo (0,779 g), como se viene presentando desde la etapa de ramificación.

De acuerdo a estos resultados, se podría manejar una concentración completa de N (15 mM), P (1,0 mM), K (6,03 mM), Ca (0,46 mM) y Mg (4,0 mM) para esta fase de crecimiento. Los tallos tuvieron el valor más alto de biomasa (2,030 g), seguido de hojas (1,663 g), raíz (1,639 g), frutos (1,051 g) y flores (0,084 g) (Tabla 3-4)

Rangos de concentración de N, P, K, Ca y Mg.

De acuerdo a la Figura 3-4, el rango de concentración adecuado para el N es de 15,70-20,10 mM, P de 0,99- 1,45 mM, K 4,25- 7,40 mM y Ca 2,90- 4,80 mM. Las concentraciones de Magnesio no presentaron relación con el contenido de Biomasa. En esta etapa el cultivo requiere grandes cantidades de nitrógeno para que su crecimiento no se vea afectado, grandes concentraciones de fosforo para llevar a cabo procesos de división celular, y floración (Mejía de Tafur, 2010). Salisbury *et al.* (1994) expresan que el P se requiere en las primeras etapas de crecimiento de la planta debido a que participa en procesos energéticos para la formación de ATP y ADP.

Tabla 3-4. Comparación de promedios según Duncan al $P < 0,05$ de contenido de biomasa en raíz, tallo y hojas a los 70 días después del trasplante.

Acumulación de biomasa 70 días después del trasplante										
Tratamiento	Raíz		Tallos		Hojas		Flores		Frutos	
Completo	2,429	c	3,1985	c	2,5568	a	0,1462	c	1,6863	b
N alto	2,140	d	2,9015	d	2,2348	c	0,1067	d	0,9765	e
N medio	1,110	h	1,3957	i	1,2817	e	0,0403	g	0,1053	i
N bajo	0,268	k	0,2268	l	0,2838	h	,	,		
P alto	2,768	b	2,8095	e	2,4315	b	0,1207	d	0,9465	e
P medio	0,723	j	0,6248	k	0,9308	g	0,0355	g	,	
P bajo	0,108	l	0,0730	m	0,1295	i	,	,		
K alto	1,439	g	2,2893	f	1,8263	d	0,059	f	1,7375	b
K medio	1,525	fg	1,9818	h	1,7193	d	0,0782	e	1,1263	d
K bajo	0,803	j	0,8733	j	0,9425	g	0,0422	g	0,6065	g
Ca alto	3,570	a	3,3718	b	2,6448	a	0,1717	b	0,4073	h
Ca medio	2,426	c	3,3368	b	2,2978	c	0,1102	d	2,9013	a
Ca bajo	2,401	c	3,6608	a	2,6590	a	0,1987	a	0,7625	f
Mg alto	1,590	f	2,1100	g	1,7413	d	0,0187	h	1,2828	c
Mg medio	0,967	i	1,3728	i	1,0958	f	0,0415	g	0,3825	h
Mg bajo	1,960	e	2,2587	f	1,8283	d	0,0047	h	0,7383	f
Promedio	1,639		2,030		1,663		0,084		1,051	
DMS	0,1102		0,0851		0,1029		0,01520		0,07501	
Pr>F	<,0001		<,0001		<,0001		<,0001		<,0001	

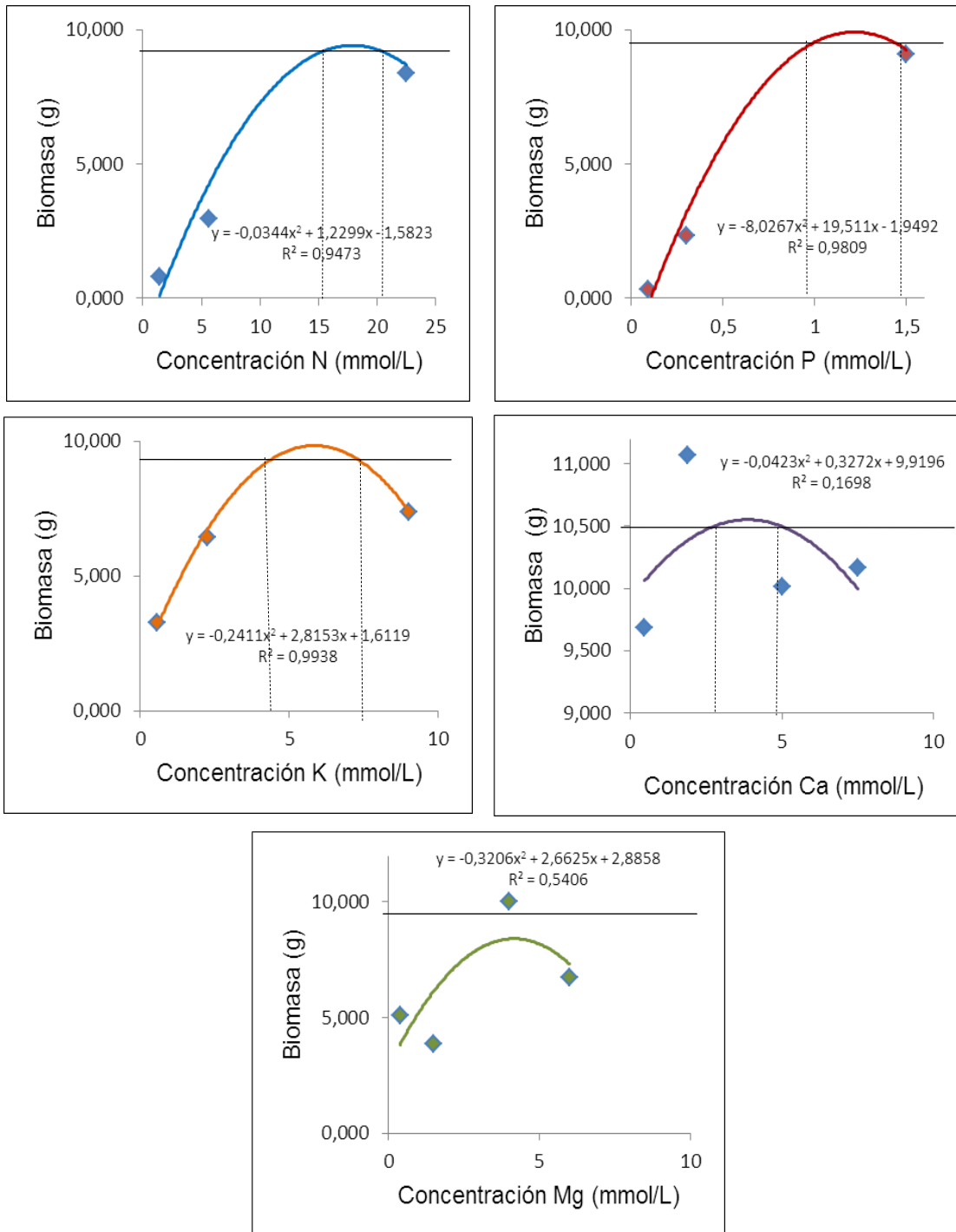


Figura 3-4. Respuesta del ají *Capsicum annum* L. variedad cayenne a diferentes concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg entre 40 – 70 ddt.

3.1.5 Respuesta del ají Acumulación de biomasa total (raíz, tallo y hojas) en plantas de ají variedad cayena a los 100 días después del trasplante (ddt) como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg.

Los análisis de crecimiento en el cultivo de ají son importantes para comprender mejor los procesos fisiológicos que determinan la productividad, fundamentando de forma racional las prácticas de manejo del cultivo: nutrición, riego, podas, estrategias de protección, entre otras (Barrientos 1988). El análisis de varianza mostró diferencias significativas en esta etapa de crecimiento ($P > F = 0,0001$) Tabla 3-1, la cual coincide, según Estrada 2009, con el inicio de cosecha. El tratamiento Ca alto obtuvo el peso más alto en biomasa (28,580 g), siendo el más representativo estadísticamente. Los tratamientos completo, N alto, P alto y Ca bajo no presentaron diferencias entre sí. Los tratamientos N bajo (2,153 g) y P bajo (1,471 g) fueron los más bajos en producción de biomasa seca. En esta etapa fenológica del cultivo podrían manejarse concentraciones de N de 15 mM, P (1,0 mM), K (6,03 mM), Ca (7,5 mM) y Mg (4,0 mM). Los frutos tuvieron el valor más alto de biomasa (5,993 g) seguido de tallos (3,879 g), hojas (2,848 g), raíz (2,541 g) y flores (0,015 g) (Tabla 3-5).

A esta edad del cultivo los tratamientos con Ca siguen mostrando una producción de biomasa mayor debido a que este elemento nutritivo funciona como segundo mensajero en la conducción de señales entre factores ambientales y la respuesta de las plantas en crecimiento y desarrollo, la cual está relacionada con la división celular (Mejía de Tafur, 2010). Se sigue observando que el Nitrógeno y el Fósforo son esenciales para el crecimiento y desarrollo del cultivo en todas las etapas fenológicas.

Rangos de concentración de N, P, K, Ca y Mg.

El rango de concentración de N para esta fase de crecimiento fue de 12,40- 22,60 mM y P de 0,93- 1,50 mM, K 3,50- 7,40 mM, para Ca el nivel fue de 7,10 mM y Mg 2,90- 5,10 mM (Figura 3-5). Los frutos provenientes de plantas con deficiencia de K no alcanzan un tamaño adecuado, ni buen sabor y color, por lo que en esta etapa es esencial manejarlo en concentraciones adecuadas (Tjalling, 2006). Cuando se maneja un contenido alto de potasio, el cultivo muestra una eficiencia mayor del uso del agua, es decir, consume

relativamente menos agua que cultivos deficientes de potasio para producir la misma cantidad de biomasa.

Tabla 3-5. Comparación de promedios según Duncan al $P < 0,05$ de contenido de biomasa en raíz, tallo y hojas a los 100 días después del trasplante.

Acumulación de biomasa 100 días después del trasplante										
Tratamientos	Raíz		Tallos		Hojas		Flores		Frutos	
Completo	3,9410	b	6,0180	d	4,5515	c	,		6,0115	i
N alto	3,3235	d	5,2383	f	4,6255	b	0,0095	c	7,5180	d
N medio	1,9840	j	3,0665	j	1,8028	l	0,0195	ab	3,5000	m
N bajo	0,6743	n	0,7423	n	0,6225	m	0,0195	ab	0,0940	o
P alto	3,9728	b	6,6758	b	4,2970	d	,		6,9765	g
P medio	1,7853	k	2,5360	l	2,0248	j	,		4,5520	j
P bajo	0,5098	o	0,4928	o	0,4463	n	0,0223	a	,	
K alto	3,0147	f	5,4567	e	3,7260	e	0,0163	b	7,2183	e
K medio	2,1195	i	3,2868	i	0,2999	i	,		7,6413	c
K bajo	1,2180	m	1,8830	m	1,8690	k	,		4,0508	k
Ca alto	4,1358	a	6,5645	c	4,9660	a	,		12,9133	a
Ca medio	3,1508	e	0,5408	o	3,3413	f	,		8,8515	b
Ca bajo	3,7538	c	7,6060	a	4,6475	b	,		7,1040	f
Mg alto	2,6713	h	4,4175	h	3,1535	h	0,0143	bc	6,7810	h
Mg medio	2,7970	g	4,8320	g	3,2000	g	0,019	ab	3,8915	l
Mg bajo	1,6078	l	2,7120	k	1,9870	j	0		2,7858	n
Promedio	2,541		3,879		2,848		0,015		5,993	
DMS	0,0376		0,0509		0,0398		0,00484		0,0542	
Pr>F	<,0001		<,0001		<,0001		0,0006		<,0001	

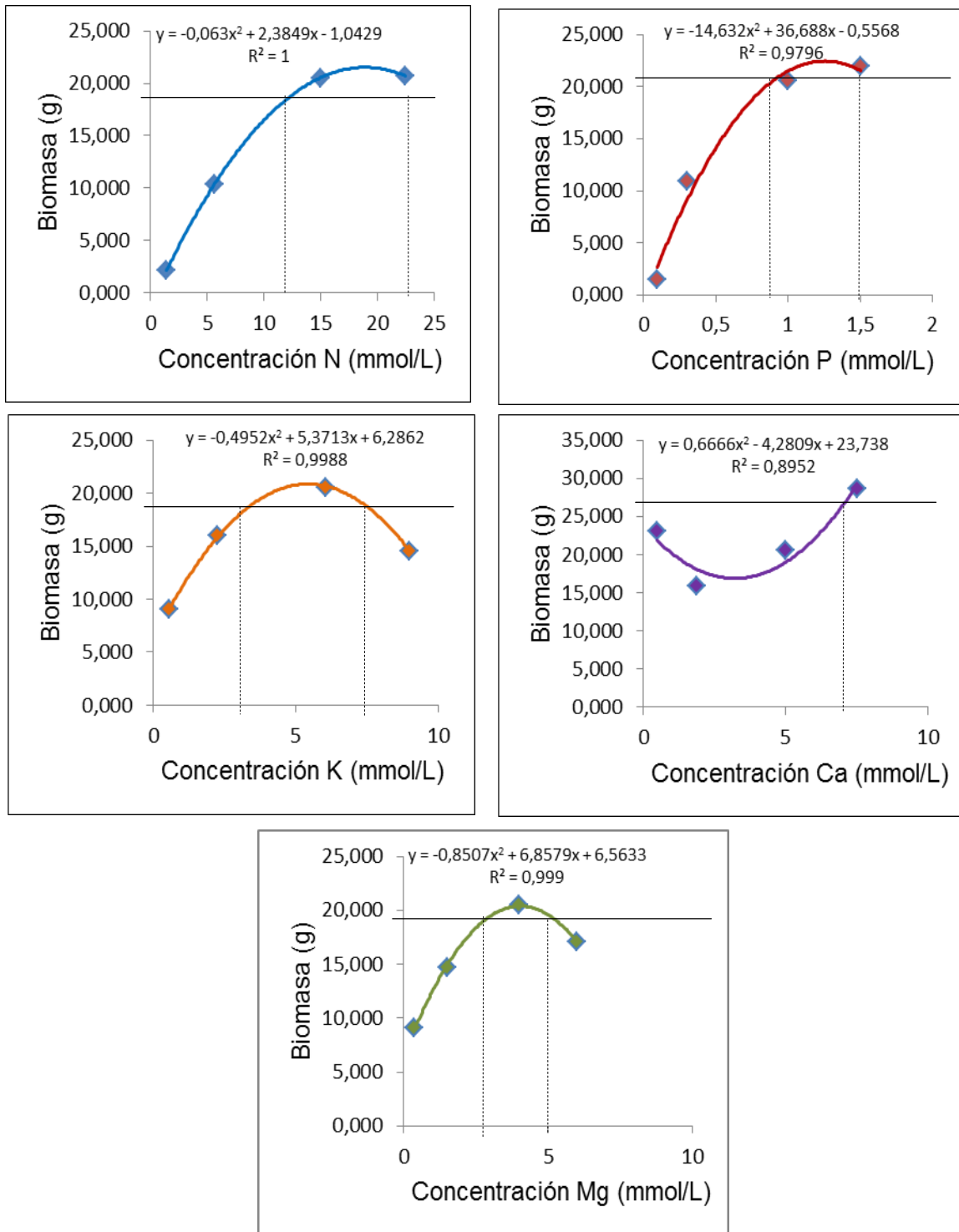


Figura 3-5. Respuesta del ají *Capsicum annum* L variedad cayenne a diferentes concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg entre 70 – 100 ddt.

Este elemento nutritivo también se encuentra involucrado en procesos de maduración del fruto tal como la síntesis del pigmento licopeno, que es responsable del color rojo (Iley y Ozaki, 1967). Mejora el número de frutos, el peso por fruto y el grosor de estos (Pimpini, 1967).

3.1.6 Acumulación de biomasa total (raíz, tallo y hojas) en plantas de ají variedad cayena a los 140 días después del trasplante (ddt) como respuesta a diferentes niveles de N, P, K, Ca y Mg.

El análisis de varianza mostro diferencias significativas en esta etapa de crecimiento ($Pr>F=0,0001$) (Tabla 3-1). Los tratamientos más significativos estadísticamente fueron el N alto (34,724 g) y Ca bajo (35,611 g). El tratamiento que obtuvo el valor más bajo de biomasa fue el de N bajo (2,316 g) Tabla 3-1. De acuerdo a los resultados se podrían manejar las siguientes concentraciones de elementos nutritivos: N (15 mM), P (1,0 mM), K (6,03 mM), Ca (5,0 mM) y Mg (4,0 mM). Los frutos obtuvieron el valor más alto de biomasa (10,641 g), seguido de tallos (4,5109 g), hojas (3,1925 g), raíz (3,0297 g) y flores (0,0075 g) (Tabla 3-6).

Tabla 3-6. Comparación de promedios según Duncan al $P < 0,05$ de contenido de biomasa en raíz, tallo y hojas a los 140 días después del trasplante.

Acumulación de biomasa 140 días después del trasplante										
Tratamiento	Raíz		Tallos		Hojas		Flores		Frutos	
Completo	4,9925	a	4,712	bc	3,5105	abcd	0	b	13,295	abcd
N alto	4,0970	ab	6,243	abc	5,1855	a	0	b	19,199	a
N medio	3,2335	abcd	4,490	bcd	2,3468	cde	0,0035	b	5,584	bcdef
N bajo	0,8255	f	0,800	f	0,5418	e	0,00175	b	0,148	f
P alto	3,9045	ab	6,132	abc	4,5825	ab	0	b	14,293	ab
P medio	1,8888	cdef	1,954	def	1,9498	de	0	b	3,941	cdef
P bajo	1,3630	def	1,108	f	1,2085	e	0	b	2,793	ef
K alto	4,3418	ab	7,255	ab	4,5873	ab	0,03375	ab	14,757	ab
K medio	2,9948	bcde	3,885	cde	3,2193	bcd	0	b	14,688	ab
K bajo	1,1848	ef	1,559	ef	1,2005	e	0,005	b	3,345	def
Ca alto	2,7745	bcde	5,160	abc	4,1990	abc	0	b	13,814	abc
Ca medio	3,6663	abc	7,290	ab	3,8328	abcd	0	b	14,987	ab
Ca bajo	4,0043	ab	7,620	a	4,4900	ab	0	b	19,497	a
Mg alto	2,8928	bcde	4,743	bc	3,1650	bcd	0	b	12,344	abcde
Mg medio	2,6058	bcdef	4,159	cde	3,3688	abcd	0,00325	b	8,655	bcdef
Mg bajo	3,7055	abc	5,065	abc	3,6923	abcd	0,07275	a	8,921	bcdef
Promedio	3,0297		4,5109		3,1925		0,0075		10,641	
DMS	1,681		2,426		1,637		0,0451		8,76	
Pr>F	<,0001		<,0001		<,0001		0,1540		0,0003	

Rangos de concentración de N, P, K, Ca y Mg.

El rango de concentración para el N fue de 19,50- 22,30 mM (alta), P 1,18- 1,50 mM (alta), K 5,10- 9,0 mM (alta), Ca 0,80 mM (bajo) y Mg no presenta relación con el contenido de biomasa (Figura 3-6). De Lima y Malavolta (1997) indican que una deficiencia de N en esta fase fenológica disminuye el tamaño de las células y aumenta el grosor de sus paredes; la división y expansión celular también disminuyen, reduciendo el tamaño de todas las partes morfológicas de la planta, principalmente hojas y frutos. El fósforo se requiere en concentraciones altas, ya que si se presenta una deficiencia se pueden afectar varios procesos, incluyendo la síntesis proteica y de ácidos nucleicos, manifestándose por tanto un crecimiento retardado en la planta (Davies *et al.*, 2002).

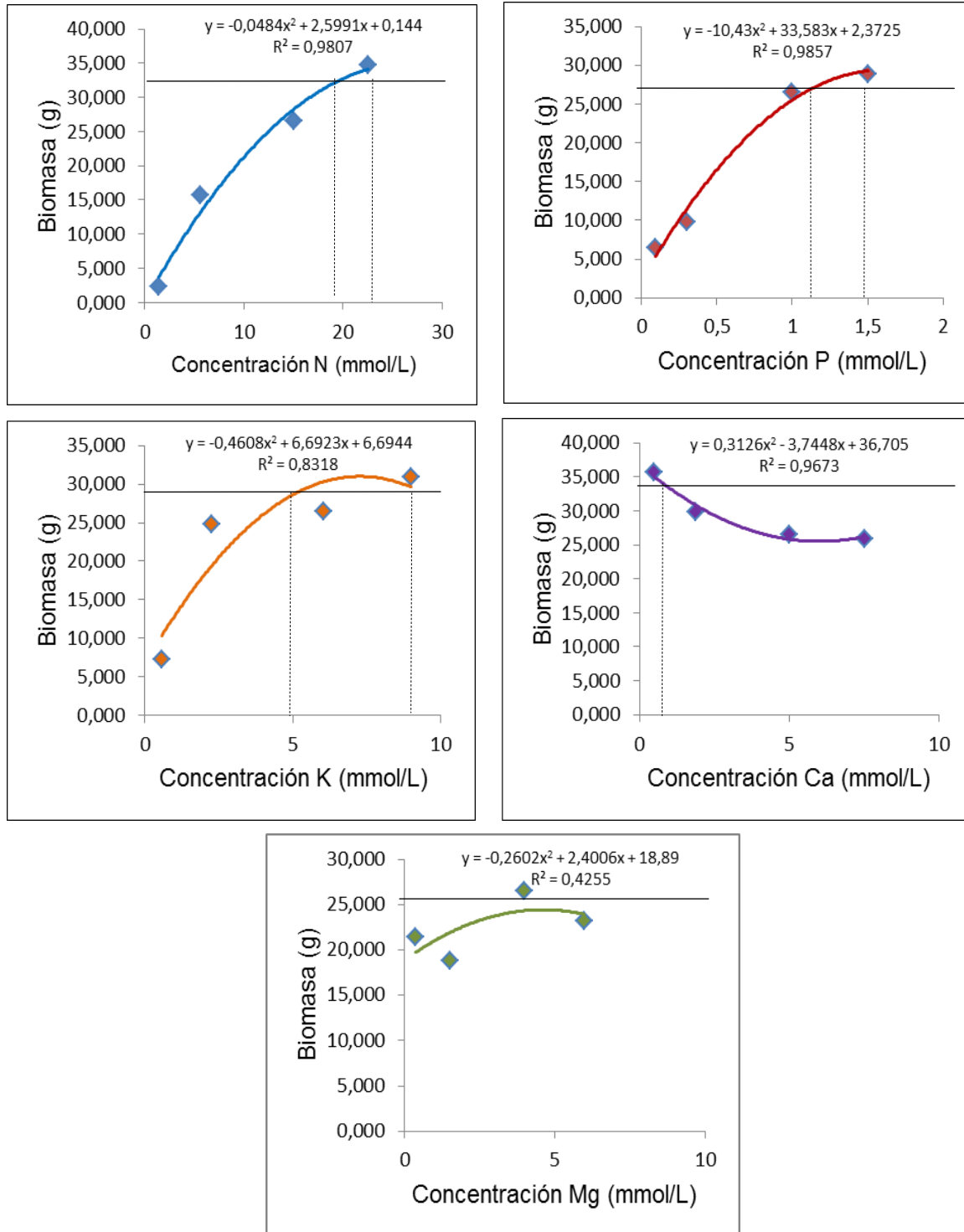


Figura 3-6 Respuesta del ají *Capsicum annum* L. variedad cayenne a diferentes concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg entre 100 – 140 ddt.

La Tabla 3-7 presenta los rangos de concentración promedio que podrían ser adecuados para el cultivo del ají, variedad cayena cuando se cultiva en soluciones nutritivas.

Tabla 3-7. Concentración promedio adecuada de la solución nutritiva para el cultivo de *C. annuum* en todas las etapas de desarrollo.

Elemento	Requerimiento nutricional del cultivo	
	mm/L	ppm
N	12,40– 22,60	174 – 316
P	1,0 – 1,5	31 – 47
K	2,0 – 9,0	78 – 351
Ca	0,80– 7,15	32 – 286
Mg	1,32 – 5,10	32 - 122

3.1.7 Acumulación de biomasa en respuesta a cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento.

El crecimiento de la planta es definido como un proceso fisiológico complejo e irreversible en términos de incremento en materia seca en función del tiempo, que involucra procesos de división, expansión y diferenciación celular. Se presentan cambios morfológicos con el aumento de la edad de la planta y con el contenido de nutrientes (Salisbury y Ross, 1995; Taiz y Zeiger, 2010; Azcón- Bieto y Talón, 2008).

La Figura 3-7 muestra la acumulación de biomasa a lo largo del ensayo (20-140 ddt) para cada nutriente evaluado (N, P, K, Ca y Mg). Se observa que al manejar dosis altas de nitrógeno, fósforo y potasio la planta aumenta su crecimiento. Para el Calcio hay mejor comportamiento cuando se manejan dosis bajas, y para el magnesio cuando la solución es completa. Un manejo adecuado de nutrientes es esencial para el desarrollo de la biomasa del cultivo, ya que si el suministro de nutrientes es bajo, los rendimientos del cultivo pueden reducirse.

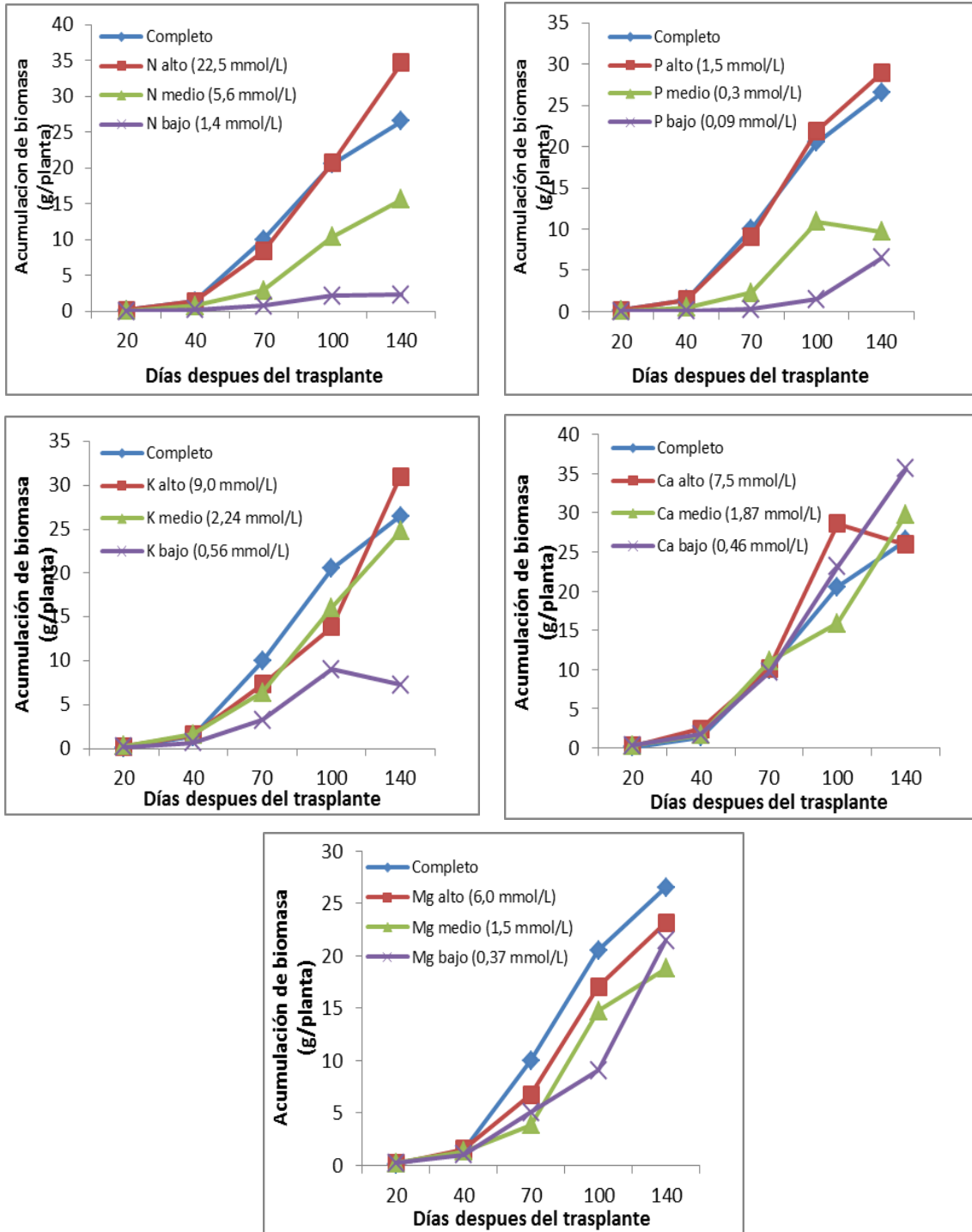


Figura 3-7. Acumulación de biomasa en respuesta a cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento.

Se puede notar que la absorción de nutrimentos estuvo relacionada con la curva de crecimiento de la planta, de tal forma, que a mayor acumulación de materia seca, mayor absorción de nutrimentos.

3.1.8 Peso de los frutos a los 140 ddt en los diferentes tratamientos

Las hortalizas, como la mayoría de los cultivos, necesitan de una adecuada nutrición mineral que pueda garantizar la expresión genética de las diferentes especies y/o variedades. Una nutrición inadecuada influye desfavorablemente sobre los rendimientos y/o sobre la calidad de la cosecha. En algunos casos pueden producir retrasos indeseables en el ciclo productivo (Suniaga *et al*, 2008). El ají presenta características muy particulares: es de rápido crecimiento con un alto índice de acumulación de biomasa. Para lograr altos rendimientos es necesario utilizar sistemas de producción que garanticen un adecuado y oportuno aprovisionamiento de agua y nutrientes. El alto potencial de producción del ají hace que requiera grandes cantidades de nutrientes para compensar la alta producción de biomasa.

De acuerdo a la Figura 3-8, los tratamientos N alto y Ca bajo presentaron altos valores de peso de frutos (229,36 g y 217,90 g). Los tratamientos Completo, P alto, K alto, K medio, Ca alto, Ca medio y Mg alto tuvieron un comportamiento similar. Los valores más bajos en peso de frutos se encontraron en P bajo (30,06 g), P medio (46,46 g), K bajo (47,16 g) y N bajo (1,80 g). La fertilización con N, P, K, Ca y Mg en dosis adecuadas tiene efectos positivos sobre el peso de los frutos de ají.

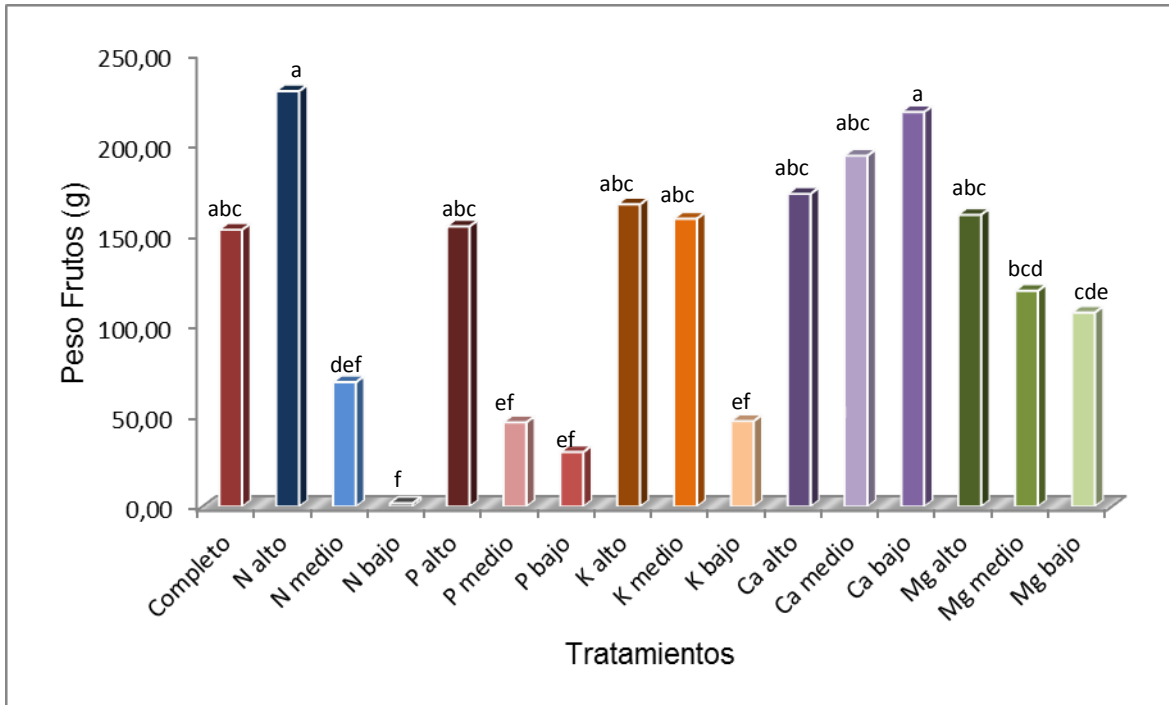


Figura 3-8. Peso de frutos de *Capsicum annuum* L. en diferentes tratamientos.

3.2 Ensayo de campo

3.2.1 Número promedio de frutos por planta en cada tratamiento.

Se observa, de acuerdo al análisis de varianza y prueba de promedios de Duncan diferencias significativas en el número de frutos por tratamiento durante las 7 cosechas. Los tratamientos 1 y 3 tuvieron un comportamiento similar, obteniendo 8 frutos por planta, seguido del tratamiento 2 y 4 (Figura 3-9) (DMS=1,384).

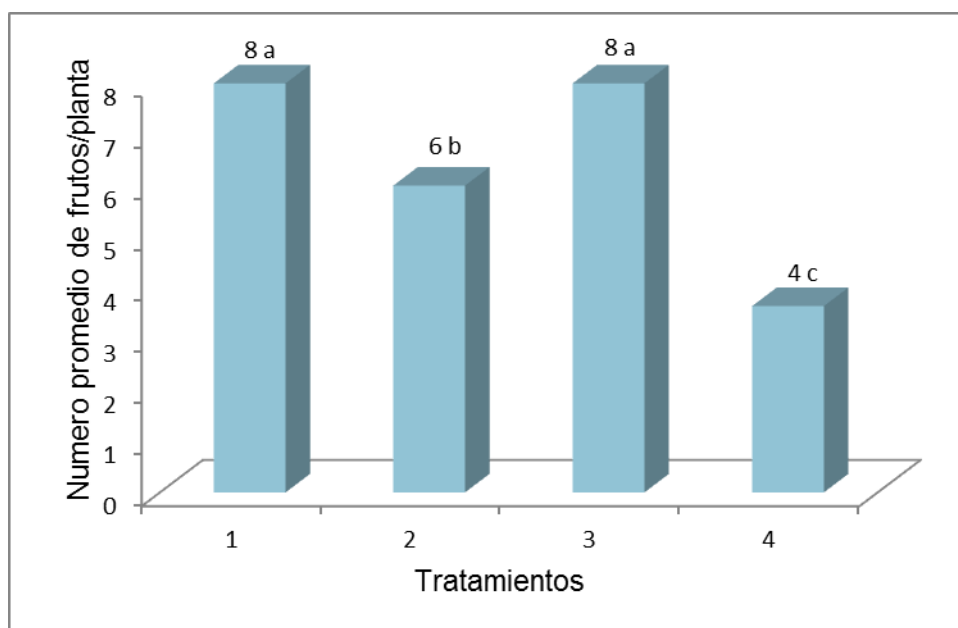


Figura. 3-9. Promedio de número de frutos por planta en cada tratamiento a lo largo del ensayo.

3.2.2 Numero de frutos por tratamiento en los diferentes muestreos.

La Tabla 3-8 presenta el número de frutos por tratamiento en cada uno de los muestreos. De acuerdo a los resultados del análisis de varianza y prueba de promedios de Duncan, se presentan diferencias significativas en cada muestreo. A los 86, 93, 107, 114 y 121 ddt los tratamientos 1, 2 y 3 tuvieron un comportamiento similar en número de frutos por planta. A los 134 y 141 ddt los tratamientos 1 y 3 no presentaron diferencias en número

de frutos por planta. El tratamiento 4 fue el que presentó los valores más bajos en número de frutos en todo el ensayo debido a su condición.

Tabla 3-8. Número de frutos por planta en cada cosecha por tratamiento.

ddt	T1		T2		T3		T4		DMS	Pr>F
86	8	a	6	ab	8	a	5	b	2,868	0,0589
93	7	a	5	ab	6	ab	4	b	2,837	0,1034
107	7	ab	7	ab	10	a	5	b	3,843	0,0876
114	6	a	5	ab	7	a	3	b	2,721	0,0352
121	11	a	7	a	9	a	3	b	3,983	0,0008
134	10	ab	6	b	14	a	5	b	6,368	0,0354
141	6	a	4	b	5	ab	2	c	1,736	<,0001

*Datos con letras iguales son estadísticamente iguales (prueba de Duncan, $p=0,05$).

3.2.3 Peso promedio de frutos en cada tratamiento.

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Duncan, se presentan diferencias altamente significativas en el peso promedio de frutos en cada tratamiento en las 7 cosechas realizadas. Se observa que el tratamiento 3 fue el más representativo aportando una cantidad de nutrientes suficiente para las plantas, seguido del tratamiento 1, 2 y por último el tratamiento 4 (Figura 3-10). (DMS=34,81) (Pr <,0001)

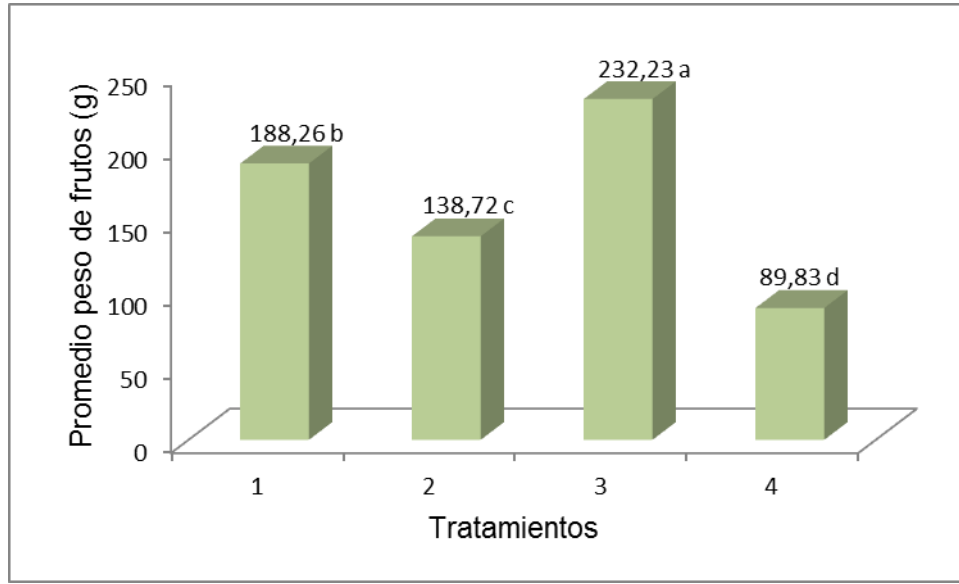


Figura. 3-10. Peso promedio de frutos por planta en cada tratamiento a lo largo del ensayo.

3.2.4 Peso de frutos por tratamiento en cada época de muestreo

En relación a la producción de frutos por muestreo, se observan diferencias significativas por efecto de los tratamientos de fertilización empleados. A los 86 ddt los tratamientos 1, 2 y 3 no presentaron diferencias significativas entre ellos, el tratamiento 4 que corresponde al testigo (cero fertilizantes) presentó la menor producción (Tabla 3-9.).

A los 93 ddt los tratamientos 1, 2, y 3 presentaron un comportamiento similar en relación a la variable evaluada. El tratamiento 4 presentó relación con el tratamiento Completo y Alto. A los 107 días el tratamiento CEUNP mostró el valor más alto de peso de frutos, en comparación con los otros tratamientos. A los 114 días después del trasplante los tratamientos Completo y CEUNP mostraron los valores más altos en peso de frutos, tendencia que continuó en el muestreo de los 134 y 141 días. A los 121 días los tratamientos 1,2 y 3 tuvieron un comportamiento similar en producción de frutos.

En estos resultados se observa una tendencia similar a la presentada en la tabla 3-8 en el sentido de que el tratamiento 3, que corresponde a las dosis de fertilización empleada por el programa de Hortalizas en CEUNP presenta la mayor producción.

Tabla 3-9. Peso promedio de frutos (g/planta) de ají variedad Cayena, por tratamiento en cada una de las épocas de muestreo.

ddt	T1	T2	T3	T4	DMS	Pr>F				
86	236,33	a	163,94	a	253,33	a	75,72	b	87,68	0,0005
93	175,72	a	129,22	ab	163,33	ab	94,17	b	69,35	0,0929
107	170,17	b	166,06	b	283,50	a	113,56	b	109,4	0,0223
114	150,61	ab	119,28	b	206,72	a	92,22	b	75,43	0,0230
121	225,22	a	157,06	a	233,33	a	63,39	b	93,4	0,0016
134	190,72	ab	127,00	b	300,33	a	122,94	b	141,2	0,0503
141	169,06	a	108,50	b	185,06	a	66,78	b	56,29	0,0002

*Datos con letras iguales son estadísticamente iguales (prueba de Duncan, $p=0,05$).

El peso de los frutos se encuentra asociado por la cantidad de asimilados provenientes de las hojas, la temperatura del ambiente, la temperatura interna del fruto y la luminosidad (Pineda, 2000). Las diferencias en el peso se atribuyen a la composición genética y al ambiente, ya que el componente varietal influye de manera significativa en la velocidad de crecimiento, el tamaño final y la forma del fruto. (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

3.2.5 Peso total acumulado de frutos en cada tratamiento.

La Figura 3-11 presenta el acumulado de la producción de frutos por tratamientos. De acuerdo a los resultados del análisis de varianza y prueba de promedios de Duncan, se observa que el tratamiento 1 (completo) y el tratamiento 3 (plan de fertilización adelantado en CEUNP por el programa de Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia) presentaron los mejores valores en peso total de frutos durante todo el ensayo de campo, siendo similares estadísticamente, seguidos del tratamiento 2. El tratamiento 4 (testigo) presentó el menor peso ya que no se realizó aplicación de fertilizantes. Estos resultados destacan la importancia de un adecuado suministro de nutrientes en las cantidades necesarias para cubrir las demandas nutricionales durante todo el ciclo productivo (Guerrero 1994), siendo un beneficio para el agricultor al disminuir costos de producción (DMS=1894) ($Pr>F$ 0,0012).

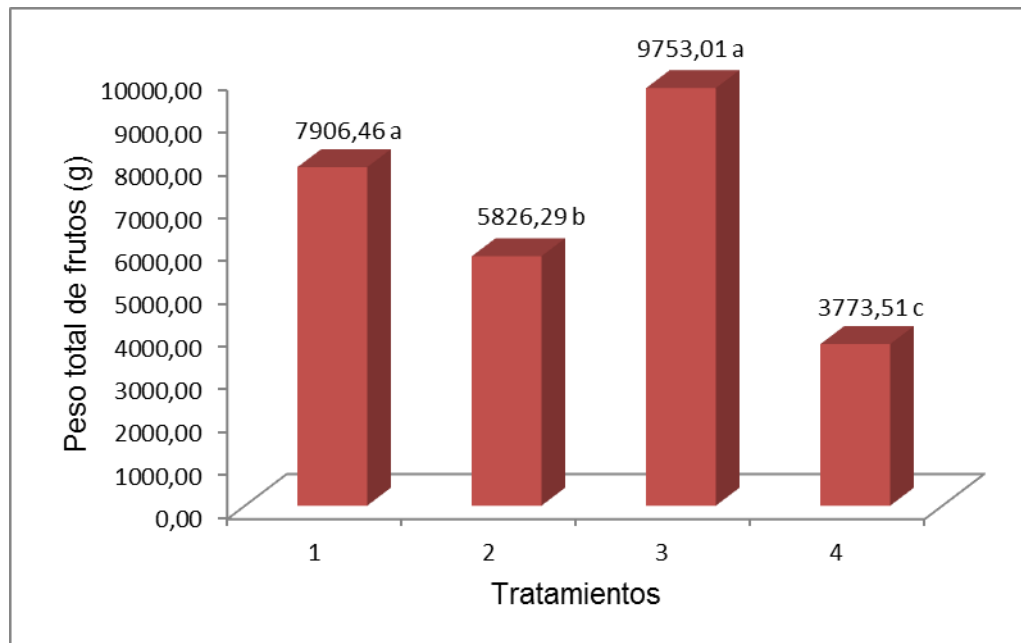


Figura. 3-11. Producción de frutos por planta en cada tratamiento.

3.2.6 Rendimiento por hectárea.

En la Figura 3-12, se presentan diferencias significativas en rendimiento por hectárea en los tratamientos evaluados. Los tratamientos 1 y 3 presentaron los mayores rendimientos, siendo estadísticamente similares, seguidos del tratamiento 2. El tratamiento 4 tuvo el menor valor de rendimiento.

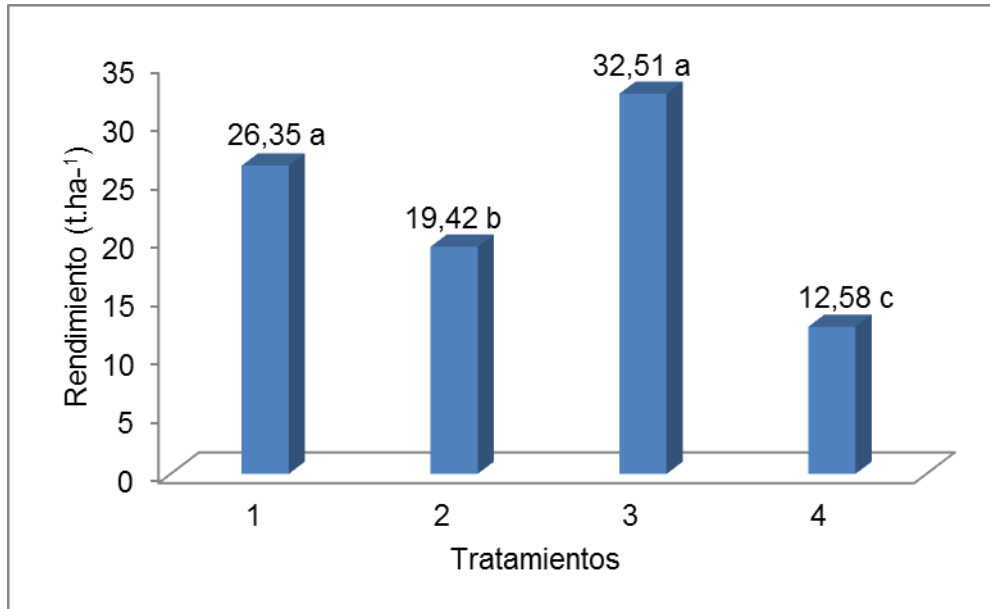


Figura. 3-12. Rendimientos de ají variedad cayena (t.ha⁻¹) en cada tratamiento.

De acuerdo a los resultados, se puede tomar la decisión de manejar el tratamiento 1 (completo) como plan de fertilización en el centro experimental de la Universidad Nacional de Colombia, presentándose menos gasto de fertilizantes.

En los cultivos agrícolas se deben manejar cantidades adecuadas de los nutrientes esenciales a través de una buena fertilización para que las plantas puedan realizar funciones fisiológicas importantes como la toma, transporte, transformación y producción de alimentos. Los suelos se deben tomar como medios nutritivos que aportan ciertas concentraciones de nutrientes bajo condiciones climáticas específicas, siendo importante manejar un diagnóstico integral previo para utilizar las dosis adecuadas en el tiempo adecuado, de acuerdo a los requerimientos nutricionales del cultivo, evitando un aumento de los costos de producción (Finck, 1988). Una fertilización integral permite al agricultor tener mayores ganancias, buena sanidad vegetal, calidad en el producto y equilibrio con el medio ambiente. (Fassbender y Bornemisza, 1994).

La implementación inadecuada de prácticas agrícolas ocasionan día a día problemas estructurales profundos en la base de los recursos naturales: escasez y contaminación del recurso hídrico, procesos de salinización y degradación de suelos, pérdida de

biodiversidad y emisión de gases efecto invernadero (GEI). Ju *et al.*, 2007, afirman que la aplicación de fertilizantes de síntesis industrial en sistemas agrícolas intensivos ha aumentado dramáticamente en los últimos años, especialmente en sistemas de producción de hortalizas. Debido a su alto valor económico y a las dificultades presentadas en el manejo adecuado de los nutrientes, los agricultores utilizan grandes cantidades de insumos para obtener los máximos rendimientos posibles.

4. Conclusiones

- El manejo adecuado de nutrientes bajo condiciones controladas es esencial para el desarrollo de la biomasa del cultivo. Si el suministro de nutrientes es bajo los rendimientos del cultivo pueden reducirse.
- En condiciones de campo el tratamiento 1 (completo) fue el seleccionado como plan de fertilización en el centro experimental de la Universidad Nacional de Colombia, presentándose una producción similar al plan de fertilización manejado en CEUNP pero con menos gasto de fertilizantes.
- Para realizar un buen plan de fertilización se deben tener en cuenta aspectos importantes del cultivo como los requerimientos nutricionales según la etapa de producción y el análisis de suelos.
- Los factores físico-químicos del suelo y factores del medio ambiente (intensidad de luz, temperatura y humedad del suelo) influyen en la capacidad de absorción de nutrientes. Por esa razón no solo es necesario conocer los requerimientos nutricionales de la planta, sino también adecuarlos a las condiciones del suelo y a las condiciones de clima de cada zona.

5. Bibliografía

- Alberto, J., Engleman, M. Latinoamericana, T. 2005. Leaf Area, Net Assimilation Rate, Yield and Plant Density in Sunflower. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 23 (3): 303-310.
- Asher, C.J. y Edwards, D.G. 1983. Modern solution culture techniques. *Encyclopedia of plant physiology*. Berlin. Springer- Verlag. 15A: 94-119
- Azcón Bieto, J. Talón, M. 2008. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, Interamericana. Madrid: McGraw-Hill. Segunda edición 651 p.
- Azofeifa, A. y Moreira, M.A. 2004. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. hot) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): 57-67.
- Azofeifa, A. y Moreira, M.A. 2008. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. hot) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(1): 19-29.
- Barcelo, J., Rodrigo, G. Sabater, B. y Sánchez, R. 1982. *Fisiología vegetal*. Pirámide: México. 809 p.
- Barrera, J.A., Hernández, M. Sarrillo, M.P. Bardales, X.I. Álvarez, A. Bucheli, P.E. 2007. La cadena productiva del ají en el departamento de Vaupés, una alternativa sostenible. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, instituto amazónico de investigaciones científicas – Sinchi. Bogotá- Colombia. 134 p.
- Barrientos, E. 1988. Evaluación de necesidades de N, P y Mg en chile dulce, *Capsicum annuum* L, asociado con café, *Coffea arabica*, en siembra nueva. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia. 49 p
- Berrios, M., Arredondo, C. Tjalling, H. 2007. Guía de manejo de nutrición vegetal de especialidad pimiento. SQM S.A. 103 p.
- Bertsch, F. 1993. Curvas de absorción de nutrimentos en aráceas. En: Taller sobre aplicaciones de la biotecnología en raíces, tubérculos y pejíbaye. CIA. UCR. San José, Costa Rica.
- Biodisol. 2008. Sitio web de energías renovables y alternativas, el medio ambiente y la conciencia social. Recuperado el 13 de Febrero de 2013, de <http://www.biodisol.com/biocombustibles/fao-anuncia-incremento-mundial-del-uso-de-fertilizantes/>

- Bosland, P.W. 1996. Capsicums: Innovative Uses of an Ancient Crop. (J. Janick, Ed.), Recuperado el 10 de Febrero de 2012, de <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/v3-479.html>.
- Buchanan, B. Gruiissem, W. Jones, R. 2000. Biochemistry and Molecular Biology of Plants. American Society of plant Physiologists. Rockville, M. D. USA. 1367 p.
- Cabrera, R.I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Rev. Chapingo S. Hortic. 5(1):5-11.
- Cárdenas, R., Sánchez, J.M. Farias, R. Peña, J. 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura. Revista Chapingo Serie Horticultura 10(2): 173-178.
- Chirinda, N., Olesen, J. E. Porter, J. R. Schjøning, P. 2010. Soil properties, crop production and greenhouse gas emissions from organic and inorganic fertilizer-based arable cropping systems. Agriculture, Ecosystems & Environment. 139(4): 584-594.
- Constant, H. L. Cordell, G. A. West, D. P. 1996. Nonivamide, a constituent of Capsicum oleoresin. Journal of Natural Products, 59(4): 425-426.
- Davies, T. J., Ying, Q. Xu, Z. Li, J. Gordon W.R. 2002. Expression analysis of putative high-affinity phosphate transporters in Chinese winter wheat. Plant Cell Environ. 25: 1325- 1340
- De Lima, O.F, Malavolta, E. Yabico, H. 1997. Influencia de estresses nutricionais no teor e producao de esteviosideo durante o desenvolvimento da Stevia. Pesq. Agrop. Bras. 32(5): 489-494.
- Duru, M., Thélier-Huché, L. 1997. N and P-K status of herbage: use for diagnosis of grasslands, in: INRA (Eds.) Diagnostic Procedures for Crop N Management and Decision Making. 125-138.
- Escudero, A., Mediavilla, S. 2003. Dinámica interna de los nutrientes. Revista Ecosistemas. 1: 1-9.
- Eshbaugh, W. H. 1983. Thegenus Capsicum (Solanaceae) in Africa. Bothalia, Vol. 14: 845-848
- Estrada, E. I. 2003. Mejoramiento genético y producción de semillas de hortalizas en Colombia. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 261 p
- Estrada, E.I, Baena, D. Ramírez, J.A. Muñoz, E. Pereira, M.A. 2009. Mejoramiento de la productividad del ají cultivares Cayena, Tabasco y habanero, mediante la estabilización genética y fenotípica de un núcleo de semilla fundamental. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 12 p.
- FAO. 2014. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- FAO. 2006. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Departamento de agricultura y protección del consumidor. Enfoques/2006, más frutas y hortalizas. Recuperado el 10 de febrero de 2012 de, <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0606sp2.htm>

- FAO.2011. El Estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. ¿Cómo afecta la volatilidad de los precios internacionales a las economías nacionales y la seguridad alimentaria?. 56 p.
- FAO.2011. Resumen el estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y a agricultura. Como gestionar los sistemas en peligro. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. 47 p.
- Finck, A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Editorial Reverte. Costa Rica. Pág. 432.
- Fuentes, J.M. 2014. Evaluación de cuatro niveles de potasio (KCl) sobre el rendimiento y calidad del plátano (*musa paradisiaca*, musaceae), en aldea san isidro, Malacatán, San Marcos. Universidad Rafael Landívar. 60 p.
- Gasca, R., Castro, R. Pérez, M. Rodríguez, J.E. 2007. Extracción de N, P, K, Ca y Mg en Chile Manzano (*Capsicum pubescens* R y P). Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Memoria XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, “Impulsando una horticultura Sustentable”. Zacatecas, México. 236 p.
- Giuffrida, D. Dugo, P. Torre, G. Bignardi, C. Cavazza, A. Corradini, C., et al. 2013. Characterization of 12 Capsicum varieties by evaluation of their carotenoid profile and pungency determination. Food Chemistry, 140(4): 794–802.
- Govindarajan VS, Rajalakshmi D, Chand N.1987.Capsicum--production, technology, chemistry, and quality. Part IV. Evaluation of quality. Crit Rev Food Sci Nutr. 25(3):185-282.
- Guerrero, R., 1994. Fertilidad de los suelos Diagnóstico y control. Fundamentos técnicos para la fertilidad de cultivos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá. 247 – 281.
- Heiser, C.B. 1976. Peppers *Capsicum* (Solanaceae). In: N.W. Simmonds (ed.), The evolution of crops plants. Longman Press, London. 265-268.
- Hernández, T., Martínez, R. Galvis, A. Bugarín, R. 2003. La demanda nutrimental del Chile (*Capsicum annuum* L.). Universidad Autónoma de Chapingo. 89 p.
- Howeler, R.H. 1983. Análisis de tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales: Algunos cultivos tropicales. Cali. CIAT.28 p.
- Huang, X. F. Xue, J. Y. Jiang, A. Q. Zhu, H. L. 2013. Capsaicin and its analogues: structure-activity relationship study. Current Medicinal Chemistry, 20(21): 2661–2672.
- IDEAM. (2014). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado el 20 de marzo de 2014, de <http://institucional.ideam.gov.co/JSP/1772>.
- Iley, J. Ozaki, H.Y. 1967. Nitrogen-potash ratio study with plastic mulched pepper. Proc Fla St Hort Soc 79: 211-216.
- Jäger, M. Jiménez, A. Amaya, K. 2013. Guía de oportunidades de mercado para los ajíes nativos de Perú. Bioersity international.90 p.

- Ju, X.T., Kou, C.L. Christie, P. Dou, Z.X. Zhang, F.S. 2007. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution* 145: 497-506.
- Leigh, R.A.; Wyn Jones, R.G. 1986. Celular compartmentation in plant nutrition: The selective cytoplasm and the promiscuous vacuole. p. 249 – 279 In: *Advances in plant nutrition* Tinker, B. ; Lauchli, A. (eds), New York: Praeger Scientific.
- LEÓN, L. A. 1994. Evaluación de la fertilidad del suelo. In: Silva M., F. (Ed.). *Fertilidad de suelos; diagnóstico y control*. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 155–186.
- López, G.O. 2003. Chilli, la especia del nuevo Mundo. Universidad Nacional Autónoma de México. Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. *Ciencias* (069). 66-75
- López-Pérez, L., Cárdenas-Navarro, R. Lobit, F. Martínez Castro, O. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(2): 171–174.
- Lu, H.J., Ye, Z.Q. Zhang, X.L. Lin, X.Y. Ni, W.Z. 2011. Growth and yield responses of crops and macronutrient balance influenced by commercial organic manure used as a partial substitute for chemical fertilizers in an intensive vegetable cropping system. *Physics and Chemistry of the Earth* 36: 387–394
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia). 2006. *Apuesta Exportadora Agropecuaria*.
- MADR. Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural. 2010. *Agenda de investigación de cadenas productivas*. Boletín informativo. Dirección de desarrollo tecnológico y protección sanitaria-proyecto transición de la agricultura. 1-4 p.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Second Edition. Academic Press. San Diego. 889 p.
- Medina, N., Borges, G.J. Soria, F.L. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and* 219-228.
- Mejía de Tafur, M. S. 2010. *Conceptos sobre Fisiología de Absorción y Funciones de los Minerales en la Nutrición de Plantas*. Universidad Nacional de Colombia, 110 p.
- Monsalve, J., Escobar, R. Acevedo, M. Sánchez, M. Coopman, R. 2009. Efecto de la concentración de nitrógeno sobre atributos morfológicos, potencial de crecimiento radical y estatus nutricional en plantas de *Eucalyptus globulus* producidas a raíz cubierta. *Revista Bosque Valdivia*. 30(2): 88–94.
- Moscone, E.A., Scaldaferrro, M.A. Grabiele, M. Cecchini, N.M, Sánchez García y Jarret, R. Daviña J. R. Ducasse, D.A. Barboza, G.E. Ehrendorfer, F. 2007. The evolution of chili peppers (*Capsicum* – Solanaceae): a cytogenetic perspective. *Acta Hort. (ISHS)* 745: 137-170.

- Muñoz e. 2009 www.agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/.../aji-mas-productivo.html
- Pardey, R.C. 2008. Caracterización y evaluación de accesiones de *Capsicum* del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira y determinación del modo de herencia de la resistencia a potyvirus (PepDMV). Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias. 118 p.
- Peil, R., Gálvez, J. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. R. bras. Agrociência. 11(1): 5-11.
- Pimentel, D., 2005. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. Environ. Develop. Sustain. 7: 229–252.
- Pimpini, F. 1967. Experiments with the mineral fertilisation of sweet peppers. Progragric, Bologna 13: 915-932.
- Pineda, H. 2000. Evaluación del comportamiento agronómico de diez cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en las condiciones de Roldanillo (Valle del Cauca). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 73 p.
- Poothong, S., Reed, B.M. 2014. Modeling the effects of mineral nutrition for improving growth and development of micropropagated red raspberries. Scientia Horticulturae 165: 132–141.
- Rada, O., Chaverra, Y. Morante, D.F. Mosquera, O. 2011. La gestión tecnológica: una herramienta para el desarrollo de la cadena productiva del ají en el Valle del Cauca. Revista Entramado. Unilibre Cali. 13: 12-30.
- Ramírez, F. 2000. Manejo nutricional y fertilización balanceada en el cultivo de páprika. Manejo del cultivo de páprika. Arequipa.
- Ramos, F., De Luna, A. 2006. Evaluación de tres Variedades de Chile (*Capsicum annuum* L.) en cuatro Concentraciones de una solución hidropónica bajo invernadero. Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Edición N° 34, 6-11.
- Rodríguez, E. 2009. Efecto de la fertilización química, orgánica y biofertilización sobre la nutrición y rendimiento de ají (*Capsicum* spp.) Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 149 p.
- Rúgeles, L., Ávila, J. Morales, A. Huertas, A. Guaitero, B; Bonilla, C. 2010. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena de hortalizas en Colombia: Salsa de ají. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo lozano y Universidad Nacional de Colombia. Proyecto Transición de la Agricultura. Bogotá, 194 p.
- Rylski I. 1986. Pepper (*Capsicum annuum*) In: Handbook of fruit set and development. CRC. UK. p. 341-353.

- Sadzawca A., Carrasco M. Demanet R. Flores H. Mora M. Neman A. 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda edición, Instituto de Investigaciones agropecuarias. Chile. 120 p.
- Sainju, U.M., Dris, R. Singh, B. 2003. Mineral nutrition of tomato. Food, Agriculture & Environment Vol.1 (2): 176-183.
- Salamanca S., R. 1990. Suelos y fertilizantes. Universidad Santo Tomás, Bogotá. 345 p.
- Salisbury, B.F. Ross, C.W. 1994. Fisiología Vegetal. Editorial Iberoamérica. México. 759 p.
- Silva, A.F. 2011. Estimación de parámetros genéticos en el contenido de Capsaicina y rendimiento en una cruce de pimentón cultivar serrano y ají Cayenne (*Capsicum annuum*) por medio del análisis de medias generacionales. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias coordinación general de Posgrados Palmira. 73 p.
- Sonnentag, O., Talbot, J. Chen, J.M. Roulet, N.T. 2008. Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland. Agric. Forest. Meteorol. 144:200-212.
- Suniaga, J., Rodríguez, A. Rázuri, L. Romero, E. Montilla, E. 2008. Fertilización, mediante fertirriego, durante diferentes etapas del ciclo de cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de bosque seco premontano. Agricultura. 15: 56-65
- Taiz, L. Zeiger, E. 2010. Plant Physiology 5 th ed. Sinauer Associates Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. USA.
- Thampi, PSS. 2003. A glimpse of the world trade in Capsicum. En: Krishna De, A. (Eds.). Capsicum: The Genus Capsicum. CRC Publisher. 16-24
- Tjalling, H. 2006. Guía de manejo nutrición vegetal de especialidad tomate. SQM S.A. 84 p.
- Varela, J.C. 1998. Descripción de la práctica de inducción de laboratorio para el análisis de tejido del lulo *Solanum quitoense* Lamark e interpretación de sus resultados. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 78 p.
- Varela, J.C., Velásquez, J.C. Mejía de Tafur, M.S. 2002. Respuesta fisiológica del lulo *Solanum quitoense*. Lam a diferentes concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en la solución nutritiva. Acta agronómica. 51(1/2): 53-59
- Vásquez, H., Núñez, E.R. Sánchez, G.P; Etchevers, B.J. Martínez, H.J. 2003. Absorción de N, P y K en Chile Serrano (*Capsicum annuum* L.) desarrollado en hidroponía. Colegio de postgraduados *campus* San Luis Potosí. 70 p.
- Yepis, O., Fundora, O. Pereira, C. Crespo, T.1999. La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de tomate. Scientia Gerundensis. 24: 5-12