EXTRACCION DE NUTRIENTES POR COSECHA DEL CULTIVO DE NARANJA (*Citrus sinensis)* VARIEDAD VALENCIA EN CONDICIONES DEL VALLE DEL CAUCA

GERMAN SUAREZ GARCIA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE POSGRADOS
PALMIRA
2011

EXTRACCION DE NUTRIENTES POR COSECHA DEL CULTIVO DE NARANJA (*Citrus sinensis)* VARIEDAD VALENCIA EN CONDICIONES DEL VALLE DEL CAUCA

GERMAN SUAREZ GARCIA

Trabajo de grado para optar al título de
Magister en Ciencias Agrarias
Con Énfasis en Suelos

DIRIGIDO POR
JUAN CARLOS MENJIVAR FLORES
I.A. M.Sc. Ph.D

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE POSGRADOS
PALMIRA
2011

NOTA DE ACEPTACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE PALMIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
LINEA DE INVESTIGACIÓN SUELOS

En Palmira a los 05 días del mes de Diciembre de 2011, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores MARÍA SARA MEJÍA DE TAFUR y AUGUSTO RODRIGUEZ

Para calificar la Tesis de Grado de:

GERMAN SUAREZ GARCÍA

Titulada:

"Determinación de la extracción de nutrientes por cosecha del cultivo de naranja (*Citrus sinensis*) variedad Valencia en condiciones del Valle del Cauca" bajo la dirección de Juan Carlos Menjivar Flores, PhD.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los investigadores MARÍA SARA MEJÍA DE TAFUR y AUGUSTO RODRIGUEZ, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA X

REPROBADA ___

MARIA SARA MEJÍA DE TAFUR

AUGUSTO RODRIGUEZ

DEDICATORIA

A mis hijos, Camila y Nicolás a los cuales dedico con todo mi amor de padre.

A mi esposa, Jenni por su apoyo y especial comprensión en todos los momentos de dedicación a este proyecto.

A mi padre, Alvaro por su alegría al ver esta meta alcanzada.

A mi madre, motivo de mi existencia, por su gran fe y por esperar siempre lo mejor de sus hijos.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

- La Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, escuela de posgrados
- I.A. Juan Carlos Menjivar Flores. Ph.D., por la supervisión y dirección de éste trabajo.
- A los ingenieros Jorge Álvaro Rengifo, Héctor Fabio Espinosa y Fredy A. Monserrate quienes fueron siempre mi constante apoyo
- Karen Laura Marcel Bravo, Ronal Velez, estudiantes Universidad de Nariño por su colaboración en el trabajo de campo.
- Norvey Serrano, estudiante SENA, por su apoyo en la recolección de datos

Y a todas las demás personas que hicieron posible la realización de este proyecto.

La facultad y los jurados de tesis no se harán Responsables de las ideas emitidas por el autor.
Artículo 24, resolución 04 de 1974

CONTENIDO

RESUMEN 11

INTRODUCCION 13

1. OBJETIVOS 14

1.1. Objetivo General 14

1.2. Objetivos específicos 14

2. REVISION DE LITERATURA 15

2.1. Contexto General 15
2.1.1. Fenología de la parte aérea 15
2.1.2. Características de la Floración y Fructificación 17
2.1.3. Caída Fisiológica de los Frutos 18
2.1.4. Características del Sistema Radical 18

2.2. Funciones de los Nutrimentos en el Árbol 20
2.2.1. Clasificación de los nutrimentos 20

2.3. Absorción de nutrimentos por las raíces de la naranja 21

2.4. Remoción de nutrimentos por el fruto 22

2.5. Nutrición y calidad Interna del fruto 23

2.6. Los Nutrientes y su Efecto Sobre Algunas Características del Fruto de la Naranja 26
2.6.1. Extracción de nutrientes 26

2.7. Análisis Foliar y la Nutrición del Naranja 26

2.8. Utilidad del análisis foliar y de fruto 27

3. MATERIALES Y METODOS 28

3.1. Descripción General del Área de Estudio 28

3.2. Conducción del Experimento 28

3.3. Caracterización química del suelo 28
3.3.1. Aplicación de las diferentes dosis de fertilizantes 29

3.4. Diseño Experimental 30
3.4.1. Descripción de los Tratamientos 30

3.5. Variables de respuesta y Técnicas de Laboratorio para su Determinación 32
3.5.1. Productividad. 32

3.6 Remoción de nutrimentos por fruto y concentración de nutrimentos en tejido vegetal 32

3.7. Análisis Estadístico. 32

3.8. Toma de muestras foliares y de frutos y su correspondiente determinación nutrimental en laboratorio. 32
3.8.1. Muestreo foliar 33
3.8.2. Muestreo de fruto 33

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 35

4.1. Extracción de Nutrientes de Acuerdo al Tejido Cosechado y Hojas de la Naranja Valencia.35

4.2. Extracción de Nutrientes de Acuerdo al Tejido Cosechado y Hojas de la Naranja Valencia para Diferentes Niveles de Fertilización aplicados. 39

4.3. Relaciones entre Nutrientes de acuerdo a los Tejidos Cosechados, las Hojas de la Naranja Valencia y los Niveles de Fertilización Utilizados 40

4.4. Análisis de Extracción de Nutrientes por Tonelada de los Frutos por hectárea en la cosecha de naranja Valencia 44

4.5. Evaluación del Rendimiento, Tamaño de los Frutos y Acidez de Acuerdo al Nivel de Fertilización Utilizado 46

5. CONCLUSIONES 51

BIBLIOGRAFIA 53

LISTA DE TABLAS

pag.

Tabla 1: Nutrientes removidos en el fruto de naranja según diferentes autores..... 23
Tabla 2: Nutrientes removidos en el fruto de naranja variedad Valencia, en San Carlos, Costa Rica (Molina y Morales; 1994, datos sin publicar).....23
Tabla 3: Remoción de nutrientes por hectárea en el fruto de la naranja según Molina (1999) 23
Tabla 4: Resultado de análisis de suelo.....29
Tabla 5. Relación de micronutrientes y características físicas en el suelo del experimento.....29
Tabla 6: Descripción de los tratamientos del experimento.....30
Tabla 7: Promedios del porcentaje de acumulación de minerales en los diferentes tejidos de un huerto de 12 años de edad de naranja Valencia de acuerdo al nivel de fertilización utilizado.....40

LISTA DE FIGURAS

pag.

Figura 1: Ubicación del área de estudio.....31

Figura 2 – Resumen de los promedios de acumulación de minerales de acuerdo al tejido en un huerto de naranja valencia..... 36

Figura 3: Relaciones N/P, N/ K^+, K^+/Mg^{++}, Ca^{++}/Mg^{++} y $Ca^{++}+Mg^{++}/ K^+$ en los diferentes tejidos cosechados y hojas de la naranja valencia.....41

Figura 4: Promedios de extracción de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) en kilogramos por tonelada cosechada de naranja Valencia.....45

Figura 5: Rendimiento en toneladas por hectárea de acuerdo al tratamiento de fertilización utilizado en un huerto de 12 años de naranja valencia en Buga (Valle del Cauca).....46

Figura 6: Peso de los frutos en gramos de acuerdo al tratamiento de fertilización utilizado en un huerto de 12 años de naranja valencia en Buga (Valle del Cauca).....48

Figura 7: Porcentaje de acidez de los frutos de acuerdo al tratamiento de fertilización utilizado en un huerto de 12 años de naranja valencia en Buga (Valle del Cauca).....49

RESUMEN

El estudio se realizó en un cultivo comercial de Naranja *Citrus sinensis* Variedad Valencia, en la granja del Centro Agropecuario Buga; Ubicada a los 3º 54' 07" N y 76° 18' l4" W, a 969 m.s.n.m., con humedad relativa de 75 %, Temperatura de 23ºC, y precipitación de 1000 mm y evapotranspiración potencial de 1500 mm/año.

Se evaluó el efecto de cinco tratamientos de fertilización sobre el rendimiento en Kg.ha-1 de frutos, se midió y analizo la extracción de nutrientes (N, P, K^{+}, Ca^{++}, Mg^{++}) en tejido foliar, cáscara, pulpa, semilla y pedúnculo, se determinó el contenido acumulado de nutriente a partir de materia seca y se evaluaron las interacciones N/P, Cu^{++}/Mg^{++}, K^{+}/Mg^{++} $Ca^{++} + Mg^{++}/ K^{+}$ en cada uno de los tejidos.

Los tratamientos fueron: Sin fertilización, (T1). Fertilización tradicional de la finca, (T2). Fertilización normal sugerida por Molina E. (1999,) (T3). Fertilización a partir de la extracción sugerida por molina con dosis incrementada en 50%, (T4). Y Fertilización sugerida por: (Molina E. 1999) y balanceada mediante análisis químico del suelo (T5).

El diseño empleado fue bloques completos al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones, el tratamiento que mostró mayor productividad en el experimento fue el T4, Que correspondió a la extracción de 250,08 N; 19,80 P_2O_5; 130,08 K_2O; 20,81 Mg^{++}; 3,33 Zn; 0,53 B (Kg.ha-1). Sin embargo en el T1 (sin fertilización) los elementos según el análisis de suelos estaban en niveles suficientes para abastecer nutricionalmente el cultivo, a excepción del N, K^{+}, y Zn. Al incrementar la cantidad de N y K^{+} en el suelo, los rendimientos mostraron un incremento aunque no estadísticamente significativo.

Palabras claves: Fertilización, extracción de nutrientes, naranja Valencia, tejidos foliares, tejidos vegetales, pulpa.

SUMMARY

The study was conducted in a commercial crop of Orange *Citrus sinensis* variety Valencia, on the farm of the Agricultural Center of Buga, located at 3 º 54 '07 "N and 76 ° 18' l4" W, to 969 m.s.l, with relative humidity of 75%, temperature of 23 º C and rainfall of 1000 mm and potential evapotranspiration of 1500 mm / year.

The effect of five fertilization treatments was assessed on the fruit yield in kg / ha, removal of nutrients (N, P, K^{+}, Ca^{++}, Mg^{++}) was measured and analyzed in leaf tissue, skin, pulp, seed and peduncle. The aggregate content of nutrients from organic matter was determined and evaluated the interactions N/P, Cu^{++}/Mg^{++}, K^{+}/Mg^{++} $Ca^{++}+ Mg^{++}/K^{+}$ in each of the tissues.

The treatments were: no fertilization (T1).Traditional farm fertilization (T2). Normal fertilization suggested by Molina E. (1999,) (T3).Fertilization from the extraction suggested by Molina with increased dose in 50% (T4). Fertilization suggested by Molina E. (1999) and balanced by chemical analysis of soil (T5).

The design of a completely randomized block was used, with five treatments and three replications. The treatment showed greater productivity in the experiment was the T4, which corresponded to the extraction of 250.08 N, P2O5 19.80, 130.08 K2O, Mg++ 20.81, Zn 3.33, 0.53 B (kg/ha). However, in the T1 (without fertilization), the elements according to soil test levels were nutritionally sufficient to supply the crop, with the exception of N, K^{+}, and Zn. By increasing the amount of N and K^{+} in the soil, yields showed an increase, although not statistically significant.

Keywords: fertilization, removal of nutrients, Valencia orange, leaf tissues, plant tissues, pulp.

INTRODUCCION

Los cítricos (*Citrus spp*), se originaron hace unos 20 millones de años en el sudeste asiático. Desde entonces hasta ahora han sufrido numerosas modificaciones debidas a la selección natural y a hibridaciones tanto naturales como producidas por el hombre. La dispersión de los cítricos desde sus lugares de origen se debió fundamentalmente a los grandes movimientos migratorios y mutaciones espontáneas han dado origen a numerosas variedades de naranjas que actualmente conocemos. (www.infoagro.com/citricos/citricos.asp).

En Colombia, los cítricos han ganado participación en el sector frutícola con el 29,5 por ciento del total de hectáreas sembradas y el 35,4 por ciento de la producción de frutas en el país. Sin embargo, en el mercado internacional su presencia aún es marginal, pues existen problemas fitosanitarios y nutricionales que reprimen su aceptación. Cifras del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural señalan que las 35.452 hectáreas sembradas de naranja valencia representan el 16,1 por ciento de la producción nacional, generan 12.925 empleos directos y 29.728 indirectos. Como meta se proyecta sembrar 27.500 hectáreas más, cifra que permitiría cubrir el mercado interno e incursionar en otros países(Ministerio de Agricultura- Colombia, 2006).

Uno de los aspectos que más incide en el rendimiento de la naranja es la nutrición mineral, principalmente cuando los arboles entran en la etapa de producción de fruta. La fertilización del cultivo en nuestro país se realiza en forma empírica, ya que hasta el momento hay muy poca información que permita establecer con seguridad las dosis óptimas de fertilizantes, y las necesidades de nutrimentos específicos que la planta requiere. Esto sin duda alguna constituye una seria limitación para planificar el programa de fertilización del cultivo en forma eficiente y racional.

Este estudio evaluará la extracción de nutrientes por la planta de naranja Valencia, el cual permitirá generar información con respecto a la fertilización y ayudará a crear planes de manejo racional de la nutrición de la naranja en condiciones del Valle del cauca.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

Determinar el efecto de diferentes fuentes de fertilización sobre el rendimiento, extracción de nutrientes en los frutos y por tejidos en un huerto de 12 años del cultivo de naranja (*Citrus sinensis*) variedad "valencia" bajo diferentes tratamientos de fertilización en Buga (Valle del Cauca).

1.2. Objetivos específicos

- Determinar la extracción y translocación de nutrientes de tejido foliar a frutos de acuerdo al nivel de fertilización empleado
- Correlacionar la extracción de nutrientes en la planta de acuerdo al tejido analizado y las concentraciones de los elementos en suelo.
- Evaluar las relaciones entre los nutrientes en los diferentes órganos analizados y su influencia en el rendimiento total.
- Evaluar el rendimiento en tamaño de frutos y porcentaje de acidez de acuerdo al nivel de fertilización utilizado.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Contexto General

La Naranja (*Citrus spp*), pertenece a la familia *Rutaceae,* Género *Citrus*. Especie *Citrus sinensis* (L.). (Corporación Colombia Internacional. 2000)
Es un árbol de porte reducido (6-10 m), ramas poco vigorosas (casi tocan el suelo). Tronco corto, hojas limbo grande, espinas no muy acusadas, flores ligeramente aromáticas, solas o agrupadas con o sin hojas. Los brotes con hojas (campaneros) son los que mayor cuajado y mejores frutos dan. Fruto Hesperidio. Consta de: exocarpo (flavedo; presenta vesículas que contienen aceites esenciales), mesocarpo (albedo; pomposo y de color blanco) y endocarpo (pulpa; presenta tricomas con jugo).

2.1.1. Fenología de la parte aérea

La fenología de la naranja variedad valencia, se ajusta a modelos sigmoides, típicos de los seres vivos. En consecuencias, se aprecia un crecimiento vegetativo continuo durante todo el año, con una gran actividad entre enero y agosto de cada año, período durante el cual la proporción de follaje presente se mantiene por encima de 8%, con promedios mensuales de más de 41.000 hojas/árbol, máxima foliación en abril (9,14%) y mínima en enero (8%). Los cuatro meses últimos del año el crecimiento del vegetal está posiblemente, en estado de reposo, pues la proporción de follaje es inferior al 8%, la cual llega a ser mínima en noviembre (7,7 %), época en la que se reactiva la formación de hojas en el dosel. En el estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín (2004), se pudo apreciar un modelo continuo dinámico de formación de follaje, el que se caracteriza por tener, en promedio, diámetro de dosel de 4,6 m^2/árbol, área foliar de 115.250 cm^2/árbol, lo que representa un índice de área foliar (IAF) de 8, con el cual ha construido un volumen de copa de 33 m^3/árbol y una fitomasa entre 8 y 9 g/árbol.

Respecto a la evolución de floración promedia, se tiene que durante los últimos cuatro meses del año, al igual que en enero, la proporción de flores presentes en los árboles

es baja (inferior al 2%). A partir de febrero se observó una explosión de la floración, la cual se mantiene por encima del 10% entre marzo y agosto con el pico de mayo, cuando esta llega a estar próxima al 20%. Ello le representa al vegetal una fructificación continua a lo largo del año, con un período altamente productivo entre enero y agosto donde la fructificación mensual se sitúa en niveles superiores al 7%, con la máxima cantidad de frutos en abril, ya que se encontró, en los árboles, más de 17% de los frutos totales observados durante el año. Se anota que a partir de junio se presentan fluctuaciones en la fructificación, con una reducción importante en este mes y leves incrementos en agosto. Por otra parte, existe una interacción entre el brillo solar, la precipitación bimodal y el follaje, lo que origina formación de hojas entre marzo y abril; ello conduce a incrementos en la cantidad de hojas y oscilaciones armónicas y balanceadas en los procesos foliación – defoliación. Simultáneamente con el incremento del área foliar se apreció la mayor acumulación de materia seca con altas iluminaciones del año (más de 200 horas – luz por mes), lo cual puede estar incrementando el proceso fotosintético y por ende la construcción de esqueletos de carbono, de tal manera que se estimula la foliación, ya que la precipitación provoca incrementos en la cantidad de hojas y, la radiación previa, la formación de nueva fitomasa que se almacena con reserva para el posterior ciclo de crecimiento.

En abril, donde se presenta una explosión fructífera, juega un papel preponderante la humedad relativa, pues al favorecerse la foliación y el funcionamiento del follaje, se garantiza un aporte de fotoasimilados a los frutos en crecimiento y desarrollo. También ejerce influencia la temperatura media, sobre todo entre febrero y mayo; al igual que el brillo solar básicamente, el alto de enero.

En consecuencia, las condiciones climáticas de noviembre – enero, tales como el incremento de las temperaturas máxima; temperatura media y la evaporación y; la correspondiente disminución de la humedad relativa, tiene una influencia directa sobre el desarrollo del fruto. Tanto el peso fresco del fruto (PFF) como el volumen del jugo (VJ) mostraron fluctuaciones en tres períodos: de la semana 35 a la 37 (madurez fisiológica, MF); entre la 38 y la 40 y de la 41 a la 43, madurez de cosecha (MC). Así mismo, la evolución de los sólidos totales (SST) fue semejante al peso de fruto fresco (PFF) y al volumen de jugo (VJ), e inciden los mismos factores climáticos, ya comentados; pero, además con fuerte influencia del brillo solar, en la fase final de la

maduración. Adicional a ello, la acidez total titulable y el pH expresaron una relación inversa. Por tanto, las cualidades del clima comentadas, influyen en las cualidades químicas de la naranja variedad Valencia entre la madurez fisiológica (MF) y la madurez fisiológica (MF) y la madurez a cosecha (MC).

La recolección de este frutal en la cuenca media del valle geográfico del río Cauca, se realiza en todas las épocas del año. El ciclo de cosecha principal se incrementa desde diciembre, donde se recolecta el 9% del total anual, hasta enero con casi un 15% del total. Entre mayo y noviembre se recolecta, en promedio, un 6% mensual.

2.1.2. Características de la Floración y Fructificación

Los factores de control de la floración en la naranja más probables son carbohidratos, hormonas, nutrición y relaciones hídricas, los dos primeros tienen un importante aporte en el desarrollo de los frutos y se basan en:

-Rayado de ramas: produce un estímulo en el crecimiento del fruto. En algunas variedades se realiza durante la floración o después de la caída de pétalos, para mejorar el cuajado. Esta práctica tiene una influencia positiva sobre el contenido endógeno hormonal, atribuidos a los cambios provocados en el transporte y acumulación de carbohidratos. De este modo se mantiene la tasa de crecimiento de los frutos que consecuentemente, sufren la abscisión en menor proporción, mejorando así el cuajado y la cosecha final.

-Aplicación de auxinas de síntesis aumenta el tamaño final del fruto con aclareos mínimos o nulos. La época de aplicación, independientemente de las variedades, deben efectuarse después de la caída fisiológica de frutos, para aumentar el tamaño final del fruto; es decir para un diámetro del fruto entre 25 y 30 mm para las naranjas o durante el cambio de color, para facilitar el mantenimiento del fruto en el árbol sin merma de calidad, en cuyo caso se suele adicionar ácido giberélico.

El crecimiento del fruto sigue una curva sigmoide, caracterizada por tres estados bien diferenciados:

ESTADO I. El fruto presenta un crecimiento exponencial, hay una máxima división celular que le da un crecimiento en el grosor del pericarpio. Se forma los sacos de zumo.

ESTADO II. Dura varios meses, presenta un crecimiento lineal en el tiempo con un aumento del tamaño de las cédulas, hay diferenciación de las células, el fruto absorbe gran cantidad de agua y alcanza su tamaño definitivo. Termina con el cambio de color de la capa superficial de la cáscara

ESTADO III. Hay una reducida tasa de crecimiento, ocurren todos los cambios asociados a su maduración, el contenido de sólidos solubles aumenta.

2.1.3. Caída Fisiológica de los Frutos

Es un desorden probablemente relacionado con la competencia entre los frutos por los carbohidratos, agua, hormonas y otros metabólitos. El problema sin embargo se acentúa mucho por el estrés, especialmente el causado por altas temperaturas y falta de agua. Consiguientemente la caída fisiológica suele ser más severa donde las temperaturas de las hojas pueden alcanzar los 35-40ºC, y donde la escasez de agua crea problemas. Una hipótesis es que las altas temperaturas y la acusada falta de agua ocasionan el cierre de los estomas con la consiguiente disminución en la asimilación neta de CO_2. Entonces hay abscisión en los frutos porque estos mantienen un equilibrio de carbono negativo (Morín, 1980; Salisbury et al., 1992).

2.1.4. Características del Sistema Radical

La raíz es un órgano de primordial importancia para la nutrición de la planta. Su función no solo es como anclaje de la planta, sino que es un órgano importante para la absorción y transporte del agua y nutrimentos (Morín, 1980), define el espacio radical como el volumen de suelo que posee las características convenientes para el desarrollo y funcionamiento de las raíces de las plantas. El efecto que ejercen las propiedades físicas y químicas de los suelos, así como su manejo sobre la distribución, desarrollo y actividad fisiológica del sistema, en líneas generales, ha sido ampliamente establecido (Hénin et al., 1972).

Al referirse a los suelos apropiados para los cítricos Jacob et al., (1961) indican que deben ser profundos, bien aireados, hasta una profundidad de dos metros y que no presenten capas impermeables intercaladas. Avilan et al.; Serpa, (1969) estudiando el sistema radical de los cítricos en diferentes suelos del país, establecieron una relación positiva entre la profundidad que exploran las raíces y la productividad del árbol.

Minessy et al., (1971) determinaron que la profundidad del nivel freático es uno de los factores responsables en la diferencia de crecimiento observado en los cítricos, especialmente en lo referente al número de nuevos brotes y área foliar. Cambios en la profundidad del nivel freático de 171 cm a 51 cm para los naranjos y de 158 a 89 cm para los mandarinos, causaron severas reducciones en el número de brotes y el área foliar de las plantas. Además, las raíces reducen considerablemente su extensión, tanto en el sentido horizontal, como vertical, cambiando su dirección hacia la superficie del suelo en relación al nivel de la mesa de agua. Ford, estudiando el efecto de la mesa de agua alto sobre el crecimiento de naranjos dulces injertados sobre naranjo agrio, encontró que la formación de sustancias tóxicas, tales como el ácido sulfhídrico, son los mayores responsables de los daños ocasionados en las raíces bajo estas condiciones.

Estudios sobre la distribución radical de los cítricos realizados por Weert (1974), han evidenciado que la presencia de horizontes compactados influye acentuadamente sobre la distribución del sistema en el perfil del suelo. Wiersum (1957), probó que la capacidad de penetración de las raíces está directamente relacionada con el diámetro de las mismas, éstas penetran en una determinada capa del suelo con estructura porosa rígida si su diámetro es menor que el de los respectivos poros.

Molina (1999), indica que probablemente la textura constituye una de las propiedades del suelo que más influye en la distribución de las raíces. Por otro lado, Avilan et al. (1999), señalan que la secuencia textural es uno de los factores de mayor relevancia en la distribución del sistema radical.

Observaciones en relación al efecto de las altos poblaciones sobre la distribución del sistema radical, indican que éste sufre modificaciones en cuanto a su disposición en el perfil del suelo cuando se compare con la distribución que presenta el sistema en los

marcos de plantación tradicionales. A menor distancia entre plantas, mayor densidad de raíces por unidad de volumen de suelo a disposición (Kaufmann et al., 1972).

En relación a las características anatómicas y morfológicas del sistema radical de los cítricos el hecho más controversial está relacionado con la presencia o ausencia de pelos radicales Algunos investigadores han comprobado que los cítricos carecen de ellos (Molina, E. 1999), mientras otros como (Chandler, 1962) señalan que en el caso de las plántulas del naranjo 'Valencia', los pelos radicales son más cortos que en muchos otros vegetales.

El crecimiento de las raíces es un proceso fisiológico complejo porque los efectos directos de los factores ambientales y los mecanismos endógenos de las plantas están combinados. La periodicidad del crecimiento de raíces en los cítricos, especialmente el de elongación y su relación con el crecimiento de la parte aérea, han recibido poca atención. De igual forma, los aspectos concernientes a la magnitud y uniformidad del crecimiento, papal de las fitohormonas y ciclo de vida han sido tratados muy superficialmente (Molina, E. 1999).

Es importante conocer como se distribuyen las raíces de Naranja en los principales tipos de suelo y diferentes condiciones de cultivo de una región. Esto podría hacer más eficiente el riego y la aplicación de fertilizantes y abonos orgánicos. Además, permitiría analizar la conveniencia de establecer cultivos intercalados, así como minimizar los daños a las raíces por el laboreo del suelo.

Otro aspecto importante del sistema radical es la capacidad de intercambio catiónico, la cual es constante y puede ser considerada como una característica taxonómica.

2.2. Funciones de los Nutrimentos en el Árbol

2.2.1. Clasificación de los nutrimentos

Existe una clasificación de los nutrimentos basada en la cantidad en la que se les encuentra en la materia seca. Sin embargo, es necesario mencionar que esta clasificación no refleja la importancia de cada uno de ellos para el óptimo desarrollo y producción de las plantas. En el caso de la Naranja, en la categoría de

macronutrimentos se ha ubicado al N, P, K^{+}, Ca^{++}, Mg^{++} y S. Como micronutrimentos se encuentran el Fe^{++}, Cu^{++}, Mn^{++}, Zn, B, y Mo.

Uno de los aspectos que más incide en el rendimiento de la naranja es la nutrición, principalmente cuando los árboles entran en la etapa de producción. En muchos sitios en América Latina, la fertilización de este cultivo se realiza en forma empírica, debido a que no existe información precisa que permita establecer con seguridad los requerimientos nutricionales del cultivo y las dosis óptimas de fertilizantes.

En los últimos años, el cultivo de cítricos se ha extendido a una gran variedad de suelos y condiciones climáticas, lo cual complica de cierta forma el diseño de los programas de fertilización. Al momento existen plantaciones sembradas en Ultisoles, Inceptisoles, Andisoles y Alfisoles, con una gran variedad de características químicas y físicas que afectan el rendimiento y calidad de la fruta. Se debe considerar además que, la mayoría de las plantaciones apenas empiezan a producir o están cerca de hacerlo. Muchos de los problemas nutricionales están empezando a manifestarse con el inicio de la etapa de producción. Esto necesariamente obliga a los productores a buscar soluciones concretas para satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo bajo diversas condiciones de clima y suelos. (Molina, E. 1999).

2.3. Absorción de nutrimentos por las raíces de la naranja

La habilidad de las plantas para absorber agua y minerales del suelo está relacionada con su capacidad para desarrollar un extenso sistema radical. El volumen de suelo en contacto con las raíces de la planta es importante para la absorción de nutrientes minerales. Un aspecto importante del crecimiento y desarrollo de la raíz es que éste es dinámico y altamente dependiente del ambiente del suelo. Las raíces crecen continuamente, sin embargo, dependen de la disponibilidad de agua y nutrientes en su microambiente para seguir su desarrollo. En regiones del suelo que son ricas en nutrientes minerales y humedad, el crecimiento y proliferación de las raíces son extensivos. Si las regiones del suelo son pobres en nutrientes, la proliferación de nuevas células es inhibida, inclusive, puede ocurrir la muerte del sistema radical. El

desarrollo del sistema radical depende de la actividad del meristemo apical de la raíz y la producción de meristemos laterales.

2.4. Remoción de nutrimentos por el fruto

Los cítricos absorben nutrientes durante todo el año, pero la absorción es más acentuada durante las etapas de floración y formación de fruta. El calcio (Ca^{++}) es el elemento más abundante en las partes vegetativas de la planta, seguido por el nitrógeno (N), potasio (K^+), magnesio (Mg^{++}), azufre (S) y fósforo (P). Sin embargo, el N y el K^+ son los más abundantes en el fruto. Cerca del 30% del N total en la planta y el 70% del K^+ se localizan en el fruto. Una de las formas prácticas de determinar los requerimientos nutricionales de los cítricos es mediante el cálculo de la remoción de nutrientes en los frutos cosechados. Es decir, los nutrientes que salen definitivamente del campo en la parte de la planta que es comercializada. La absorción de nutrientes depende de varios factores, entre los que se pueden mencionar la variedad, clima, suelo, edad de la planta y nivel de rendimiento. En las Tablas 1 y 2 se presentan las cantidades de nutrientes extraídas por la naranja según el reporte de varios autores. Se observa que una tonelada de naranja fresca extrae entre 1.18 y 1.90 kg de N, 0.17 y 0.25 kg de P, 1.77 y 2.03 kg de K^+. El N y el K^+ se acumulan gradualmente en el fruto hasta la maduración, consecuentemente son absorbidos durante todo el ciclo anual y deben ser suministrados de acuerdo a este comportamiento. El P y Mg++ se acumulan durante el primer período de desarrollo del fruto y posteriormente permanecen constantes.

En la Tabla 3 se presenta la extracción de nutrientes de una producción de 4 cajas de fruta por árbol por ciclo (40.8 kg/caja, aproximadamente 40 ton/ha). El K^+ es el elemento extraído en mayor cantidad, seguido por el N. La relación de extracción en el fruto es de 2: 1: 4 considerando NO_3: P_2O_5: K_2O. Estos valores brindan una idea de la cantidad de nutrientes que se deben suplir al suelo para sostener un rendimiento de 4 cajas por árbol. (Molina, E. 1999)

Tabla 1. Nutrientes removidos en el fruto de naranja según diferentes autores

Fuente	N	P	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	S
	Kg/Ton					
Chapman y Kelly (1993)	1.18	0.25	2.03	0.95	0.18	0.11
Smith y Reuter (1953)	1.25	0.15	1.77	0.45	0.19	
Labanauskas (1972)	1.85	0.17	1.79	0.78	0.17	
Bataglia et al. (1977)	1.9	0.17	1.5	0.53	0.13	0.14

Tabla 2. Nutrientes removidos en el fruto de naranja var. Valencia, en San Carlos, Costa Rica (Molina y Morales; 1994, datos sin publicar)

N	P	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	S
		Kg/Ton			
1.49	0.3	2.33	0.64	0.29	0.12

Tabla 3. Remoción de nutrientes por hectárea en el fruto de la naranja según Molina (1999)

Nutriente	Remoción ($Kg.ha^{-1}$)
N	60
P	12.3 P; 28.2 P2O5
K^+	96.0 K^+; 114.7 K20
Ca++	25.6
Mg++	11.6
S	4.8

2.5. Nutrición y calidad Interna del fruto

La condición nutrimental, tanto del árbol como del fruto, es un aspecto clave para que el fruto cosechado sea de máxima calidad comercial. Resulta claro que la calidad del

fruto depende de las condiciones climáticas, manejo del huerto, cultivar, etc.; sin embargo la calidad del fruto a la cosecha y durante su almacenamiento es difícil de mejorar; más bien solo es posible mantenerla. Por lo anterior, es mejor producir frutos de calidad, que intentar mejorarla después de la cosecha.

En general, distintos autores coinciden que el clima y el suelo de cada una de las regiones citrícolas del mundo, junto con el manejo de precosecha y postcosecha le imprimen a sus frutos características particulares. Por ejemplo, las mandarinas y naranjas cultivadas en clima tropical producen abundantes cosechas, sin embargo sus frutos son insípidos y pobres en color, como ocurre en Brasil cuya producción es principalmente destinada a la industria.

Entre los elementos del clima que influyen en la calidad de los frutos cítricos, en particular en las naranjas debemos mencionar:

- Alta temperatura: fruta dulce y precoz.
- Baja temperatura: acentúan la acidez.

Alta humedad: la cáscara resulta de un menor espesor. Más problemas fúngicos
Variación de la temperatura diurna y nocturna: cuanto mayor sea la amplitud térmica más intensa será la coloración de la cáscara y del jugo.

Los nutrientes del suelo no son menos importantes en el momento de definir la calidad de los frutos, así por ejemplo:

- El nivel de potasio del suelo se correlaciona con el contenido de vitamina C y ácido cítrico, pero en exceso puede tener efectos negativos sobre la calidad del jugo.
- El nitrógeno mejora el contenido de jugo, la acidez, los sólidos solubles y el color del jugo.
- El fósforo favorece la coloración de los frutos pero baja el contenido de sólidos solubles y la acidez del jugo.

- Una adecuada cantidad de magnesio, aumenta los sólidos solubles, azucares y vitamina C, adelantando la maduración.

- Entre los numerosos factores de manejo en pre cosecha que afectan la calidad podemos mencionar :

- Mal manejo de suelos puede producir : excesivo grosor y rugosidad de la cáscara, frutas pequeñas y problemas sanitarios

- Mal manejo del riego produce : frutas pequeñas y problemas sanitarios

- Mal manejo nutricional (fertilizantes): Problemas de coloración, fruta pequeña, limitada vida postcosecha y cáscara gruesa.

Otro factor determinante de la calidad de una fruta cítrica es su manejo durante la cosecha y postcosecha. La calidad óptima de los frutos, en el momento de cosecha, de ninguna manera es un certificado de garantía permanente ya que, por ejemplo, con un almacenaje inadecuado o prologado, los ácidos orgánicos disminuyen, sin embargo el sabor es notoriamente inferior (A. Alva, Mattos, et al., 2006).

- Almacenaje a Altas Temperaturas: se acelera el ablandamiento, transpiración, la pérdida de acidez, contenido de vitamina C, sabor, etc.

- Almacenaje a Bajas Temperaturas: inducen el desarrollo de desórdenes fisiológicos como "picado", escaldado, descomposición acuosa, etc.

La calidad de las naranjas se determina de acuerdo a las características externas del fruto, como son el peso, forma, tamaño, así como el contenido de jugo. También se aprecian sus características internas, tales como el contenido de azúcar (sólidos solubles totales, SST), acidez (ácido cítrico principalmente), la relación entre el contenido de azúcar y la acidez total (SSTI /Acidez), y el contenido de vitamina C, entre otras (Olarte-Ortíz et al., 2000). Las características internas y externas varían de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas de la región en la cual están siendo explotadas (Junior et al., 2010). La composición de la fruta depende de la variedad,

patrón, clima, altitud, estado nutricional de la planta, tratos culturales y estado de maduración.

2.6. Los Nutrientes y su Efecto Sobre Algunas Características del Fruto de la Naranja

2.6.1. Extracción de nutrientes

La absorción de nutrientes en cítricos se presenta durante todo el año, pero es más acentuada durante las etapas de floración y formación de frutas. En las partes vegetativas de la planta el Ca^{++} es el elemento más abundante, seguido por el N, K^{+}, Mg++, S y P. Sin embargo, el N y el K^{+} son los más abundantes en el fruto, cerca del 30% del N total en la planta y el 70% del K^{+} son absorbidos en el fruto. Uno de los medio más prácticos de determinar los requerimientos de nutrientes es mediante la estimación de la remoción de estos por los frutos, que constituye la parte de la planta que es extraída del sistema de producción y que por lo tanto, no es restituida. La absorción de elementos nutritivos en los frutos depende de varios factores, entre los que se puede mencionar la variedad, clima, suelo, edad de la planta y nivel de rendimiento. En las tablas 1 y 2, se aprecia los valores de extracción de nutrientes reportados por varios autores. Una tonelada de naranja fresca extrae entre 1.18 y 1.90 kg de N, 0.17 Y 0.25 kg de P, 1.77 Y 2.03 kg de K^{+}. Las cantidades de N y K^{+} aumentan continuamente en el fruto hasta la maduración; consecuentemente ellos son absorbidos regularmente durante todo el ciclo anual de desarrollo y deberían ser suministrados de acuerdo con ello. EI P Y Mg++ aumentan durante el primer periodo de desarrollo del fruto y posteriormente permanecen constantes. Los valores de extracción de P, K^{+} Y Mg++ encontrados en naranja Valencia en Costa Rica son superiores a los reportados por otros autores, en tanto que la extracción de N y S es muy similar.

2.7. Análisis Foliar y la Nutrición del Naranja

El análisis foliar, junto con la información del análisis de suelos y de otros factores limitantes, es una de las mejores herramientas para evaluar el estado nutricional de los cítricos y para orientar los programas de fertilización. El diagnóstico de las

necesidades nutricionales de las plantas mediante el análisis foliar se basa en el principio de que cada uno de los órganos de la planta requieren de una determinada concentración de cada uno de los nutrientes esenciales para mantener un adecuado crecimiento y producir buenos rendimientos. Si el contenido de uno o varios nutrientes se encuentra por debajo de cierto nivel crítico, la planta pude experimentar una reducción en el crecimiento y producción. El análisis foliar permite identificar deficiencias nutricionales, evaluar el estado nutricional de la planta y establecer recomendaciones de fertilización. El primer paso del diagnóstico foliar de los cítricos es el muestreo, que debe ser representativo del área que se desea estudiar. Se deben seguir ciertas normas básicas de muestreo para asegurar que los datos de análisis generados por el laboratorio sean confiables.

2.8. Utilidad del análisis foliar y de fruto

El análisis químico de hojas puede tener diversos usos. En ocasiones los datos del análisis foliar son insuficientes por si solos y se requerirá de información adicional. Algunos de los usos comerciales más comunes del análisis foliar son:

- Diagnostico de deficiencias, toxicidades o desbalances nutrimentales en la planta y/o en el suelo.
- Predicción de deficiencias nutrimentales.
- Recomendaciones de fertilización.
- Monitoreo de la respuesta a la aplicación de fertilizantes.
- Cálculo de la cantidad de nutrimentos removidos por la cosecha, con el propósito de restituirlos y mantener la fertilidad del suelo. En este caso deberán de ser incluidos análisis del fruto.
- Diagnóstico del estado nutrimental de un cultivo por regiones, zonas y tipos de suelo.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción General del Área de Estudio

El estudio se realizó en la granja del Centro Agropecuario de Buga del Sena Regional Valle, en suelos de textura franco arcillosa del orden mollisol. La finca está ubicada a los 3º 54' 07"N y 76° 18' l4"W, con 969 m.s.n.m, humedad relativa promedio de 75%, temperatura promedio anual de 23ºC y precipitación promedia anual de 1.000 mm, ubicada en el piso térmico cálido, con un clima clasificado como subhumedo tropical. La frecuencia de lluvias es bimodal con dos períodos lluviosos entre marzo a mayo y entre septiembre a noviembre. La evapotranspiración potencial alcanza valores de 1500 mm/año.

3.2. Conducción del Experimento

El estudio se realizó sobre un huerto establecido de Naranja variedad "Valencia" de 12 años de edad, el cual cuenta con 93 árboles en plena producción (Figura 1), a los cuales se les realizó el estudio en cuatro fases: a) Caracterización química del suelo (Noviembre de 2010), b) Toma de muestras foliares para ajuste de fertilización (Febrero de 2011), c) Aplicación de las diferentes dosis de fertilizantes (febrero de 2011), d) Análisis de tejidos foliares y frutos y su correspondiente determinación nutrimental en laboratorio (Febrero y mayo de 2011 respectivamente) y d) Análisis estadístico (agosto de 2011).

3.3. Caracterización química del suelo

La toma de muestra se realizó tres (3) meses antes de la aplicación de los nutrientes (diciembre de 2010), las muestras fueron secadas y estabilizadas, tamizadas a <2mm y homogeneizadas. La caracterización química de las muestras de suelo (ver tabla 4 y 5) comprendió determinación de pH en agua y en KCl 1mol/L (1:2,5), fósforo disponible extractor Bray-II, determinándose por espectroscopia de absorción molecular por

formación de complejo fosfomolíbdico, el potasio, calcio y magnesio extraídos por acetato de amonio 1 mol/L, potasio por fotometría de llama, calcio, hierro, cobre, manganeso y zinc por espectroscopía de absorción atómica, carbono orgánico fue por Walkey-Black y nitrógeno por el método de Kjeldhal y la textura por el método de Bouyoucos.

Tabla 4. Resultado de análisis de suelo

	Lab.	pH	CEa	MO	P	ationes intercambiables meq/100							
Mtra	Nº	V:V	dS/m	W.B	Bray II	Ca++	Mg++	K+	Na++	CIC	Ca++/Mg++	PSI	PMgI
		1:1		%	ppm								
1	6104	7.1	0.19	1.01	14.69	12.21	4.88	0.18	0.20	25.87	2.50	0.77	18.86
	Lab.	Cationes solubles meq/l					Aniones solubles (meq/litro)						
Mtra	Nº	Ca++	Mg++	K+	Na+	RAS	SO_4=	CO_3=	HCO_3=	Cl-			
1	6104	1.40	0.62	0.06	0.38	0.38	0.48	0.89	2.23	0.11			

Tabla 5. Relación de micronutrientes y características físicas en el suelo del experimento

Saturación de bases (%)					Micronutrimentos ppm				Textura Bouyoucos (%)			Clasif.
Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}	B	Cu^{++}	Fe^{++}	Mn^{++}	Zn^{++}	Arena	Limos	Arcillas	Tex.
69.8		1.0	1.14									
9	27.93	3	5	0.23	4.69	42.07	21.81	1.87	39.12	34	26.88	F

Elementos disponibles en cantidades óptimas, a excepción del Nitrógeno y Potasio y el Zinc, los cuales se encuentran en cantidades bajas. Se presenta una capacidad de intercambio catiónico alta lo que sugiere aparentemente una buena retención de nutrientes (ver Anexo 5).

3.3.1. Aplicación de las diferentes dosis de fertilizantes

La fórmula de fertilización utilizada se obtuvo teniendo como base los resultados del análisis físico-químico de los suelos, del análisis foliar y del rendimiento probable a alcanzar. Ver anexo 8. (Valoración e interpretación de análisis de suelos).

3.4. Diseño Experimental

Se empleo un diseño en bloques completos al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones, La unidad experimental correspondió a tres árboles de la variedad "Valencia" de 12 años de edad.

3.4.1. Descripción de los Tratamientos

Tabla 6: Descripción de los tratamientos del experimento

Trat.	Observación	N	P_2O_5	K_2O	Mg^{++}	Zn	B
		$Kg.ha^{-1}$					
1	En este tratamiento no se realizará fertilización.	0	0	0	0	0	0
2	Fertilización tradicional de la finca	88,4	25,2	160	18,32	0,07	0,14
3	Fertilización normal sugerida por Molina E. (1999).	166,72	13,72	86,72	13,88	2,2	0,36
4	Fertilización dosis alta (más 50%) (Molina E. 1999).	250,08	19,80	130,08	20,81	3,33	0,53
5	Fertilización sugerida por: (Molina E. 1999) y balanceada mediante análisis químico del suelo.	280	0	0	0	0	0

La dosis de nitrógeno se fraccionó en dos aplicaciones, la primera al inicio de la brotación y la segunda cuatro meses después, todo el P_2O_5 y Mg^{++} se aplico al inicio de la brotación, el K_2O, B y Zn se fraccionó en dos aplicaciones (inicio de brotación y luego 4 meses después), y el Mn y Cu del tratamiento 1 se dividió en 6 aplicaciones en el año. La forma de aplicación fue manual y en una zanja circular a 1.5 - 2 m del tronco del árbol.

Los fertilizantes utilizados fueron, Urea, KCl, Dap, sulfato de Mg^{++} y Borocinco. Los cálculos se muestran en el anexo 5.

Los bloques se estratificaron en sentido contrario a la pendiente del terreno.

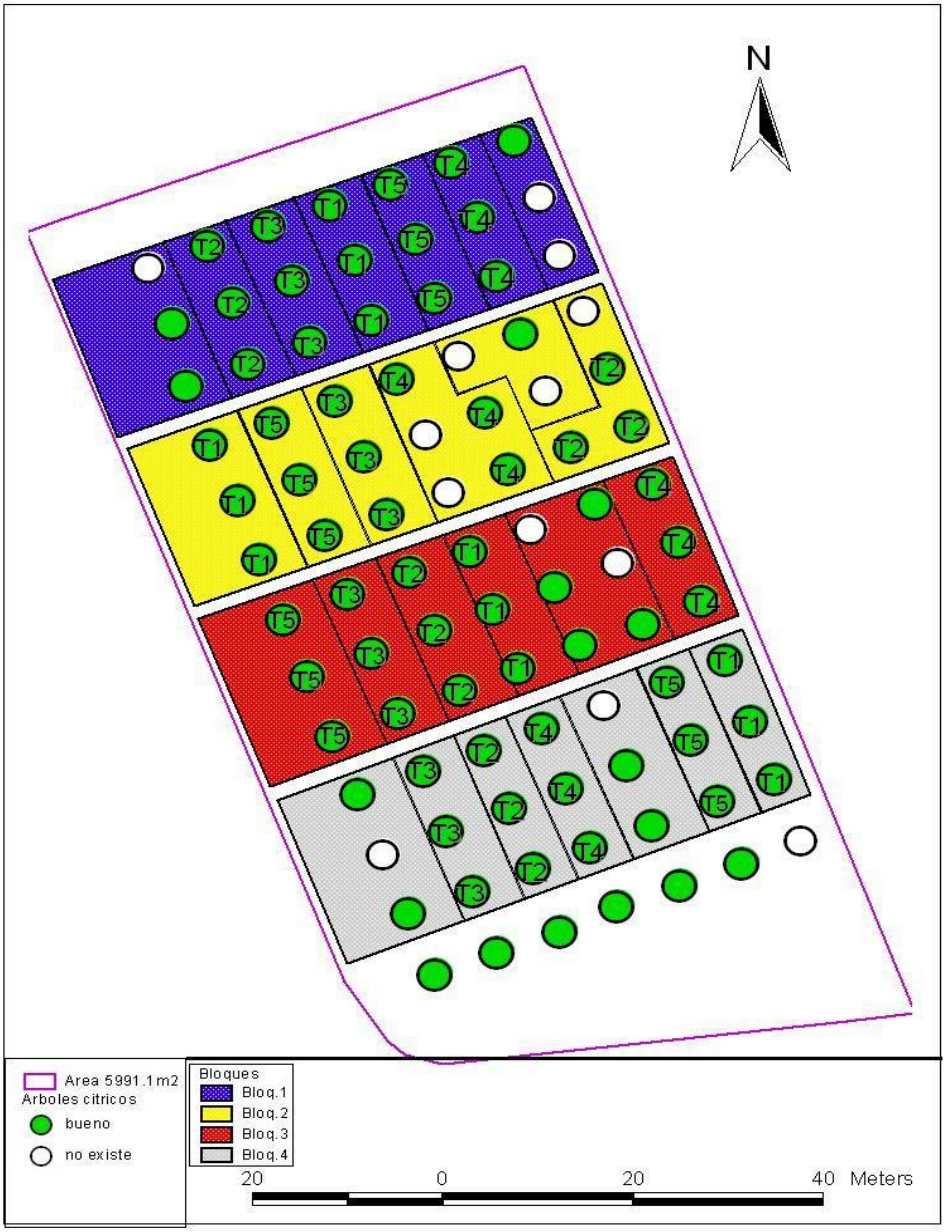

Figura 1. Ubicación del área de estudio

3.5. Variables de respuesta y Técnicas de Laboratorio para su Determinación

- Productividad. Rendimiento de fruto en $Kg.ha^{-1}$
- Extracción de nutrimentos mayores (N, K^{+}, P, Ca^{++}, S, Mg^{++}) y menores (Cl, Fe, Mn, Cu^{++}, Zn, B, Mo) por exocarpo, mesocarpo y endocarpo en el fruto.
- Concentración de nutrimentos mayores (N, K^{+}, P, Ca^{++}, S, Mg^{++}) y menores (Cl^{++}, Mn, $Fe^{+++,}$ Cu^{++}, Zn^{++}, B^{+++}, Mo^{++}) en tejido foliar.
- Relación entre nutrientes N/P, Cu^{++}/Mg^{++}, K^{+}/Mg^{++} Ca^{++} + Mg^{++}/ K^{+} en folia y fruto.

3.5.1. Productividad. Para determinar la productividad de cada tratamiento se tomó el peso total de la cosecha por tratamientos en base húmeda y seca y el resultado se determina en $Kg.ha^{-1}$

3.6. Remoción de nutrimentos por fruto y concentración de nutrimentos en tejido vegetal

La Determinación de Nitrógeno se realizó por el método Kjeldhal, Fósforo, Azufre y Boro se realizó por colorimetría con el método de Molibdato-Vanadato de amonio y Potasio, Calcio Magnesio, Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc por espectrofotometría de absorción atómica.

3.7. Análisis Estadístico.

Se realizó un análisis de varianza utilizando el programa SAS, en las variables que se encontraron diferencias significativas se les aplicó la prueba de comparación de medias de Duncan (P = 0.05), correlaciones y regresión.

3.8. Toma de muestras foliares y de frutos y su correspondiente determinación nutrimental en laboratorio.

3.8.1. Muestreo foliar

El muestreo se realizó tomando un árbol de cada tratamiento en cada uno de los bloques, rechazando aquellos que presentaban (Molina, Eloy. 2003):

- Anomalías vegetativas.
- Ataques de gomosis o podredumbre del cuello de la raíz (*Phytopthora sp.*).
- Afección intensa de virosis (tristeza, psoriasis, etc.)
- Incidencia fuerte de plagas.

Cada árbol eliminado se sustituirá por otro contiguo cuya apariencia sea normal.
Las hojas objeto de muestreo se tomaron de brotes vegetativos y terminales. Dichos brotes se situaron, aproximadamente, a la mitad de la altura del árbol y orientados en la dirección de los cuatro puntos cardinales. De cada uno de ellos se tomaron la hoja situada en segunda o tercera posición comenzando por el extremo.

De cada árbol se tomaron 4 hojas por árbol, el número normal de hojas que constituyó la muestra comprendió entre 100 y 200, aunque puede oscilar moderadamente fuera de estos límites en función de las características del muestreo (Serpa, 1969; Legaz et al., 1995).
En el laboratorio se lavaron las hojas, posterior al lavado se introdujeron en bolsas de papel perforadas y se secaron en horno eléctrico con aire forzado a una temperatura 60 a 65ºC por al menos 48 horas. Luego se molieron en un molino de acero inoxidable usando tamiz No. 40. Quedando listas para el análisis químico.

3.8.2. Muestreo de fruto

Se tomaron 24 frutos fisiológicamente maduros por réplicas, una semana antes de la cosecha, a una altura entre 1.5 – 2.5 m, a los mismos se les realizó análisis físico como: peso individual, diámetro del fruto, grosor de la corteza, acidez, SST, vitamina C y % de materia seca, además análisis químicos: % de N, P, K^{+}, Ca^{++} y Mg^{++}.

La determinación de materia seca se realizó en muestras de 10-15 g de pulpa sometidas a desecación en horno de microondas.

Luego de cosechados los frutos se separaron en sus diferentes partes:

Epidermis, pulpa, semilla y pedúnculo; de cada parte del fruto se obtuvo su peso fresco, siendo posteriormente deshidratado en un horno con aire forzado a 65°C por 72 horas hasta peso constante.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Extracción de Nutrientes de Acuerdo al Tejido Cosechado y Hojas de la Naranja Valencia.

Según el análisis de estadístico, se encontraron diferencias significativas ($p< 0.05$) para la acumulación de algunos los nutrientes en los diferentes tejidos de la planta. En la Figura 2, se representan los promedios de acumulación de minerales de acuerdo al tejido analizado.

En el caso del nitrógeno, el porcentaje promedio de acumulación en las semillas (2.1%) fue estadísticamente superior al promedio de acumulación en las hojas (1.94%) y estos fueron diferentes a los porcentajes de acumulación en la pulpa, cáscara y pedúnculo (0.88, 0.85 y 0.96, respectivamente), los cuales fueron estadísticamente similares. Así, los valores de nitrógeno en las hojas obtenidos (1,94%) fueron inferiores a los obtenidos por Alvarado et al. (1994), quienes determinaron que el valor de acumulación de nitrógeno se puede presentar en la hoja en un rango de 2,5 a 2,8 %. Incluso (Molina, 1999), menciona que porcentajes menores de nitrógeno en las hojas al 2.2% generan arboles de naranja valencia con deficiencias nutricionales, por lo cual se justica la aplicación de mayores tasas de fertilización nitrogenada en este tipo de huerto, permitiendo hacer un ajuste a los actuales esquemas de fertilización.

Por su parte, los porcentajes promedios de acumulación de fósforo fueron de 0.32% en las semillas, los cuales fueron superiores estadísticamente a los de las hojas (0.23%), los que a su vez fueron superiores a los de la pulpa (0.16%) y finalmente los porcentajes promedio de fósforo en el pedúnculo y la cáscara fueron los menores (0.11 y 0.09%, respectivamente).

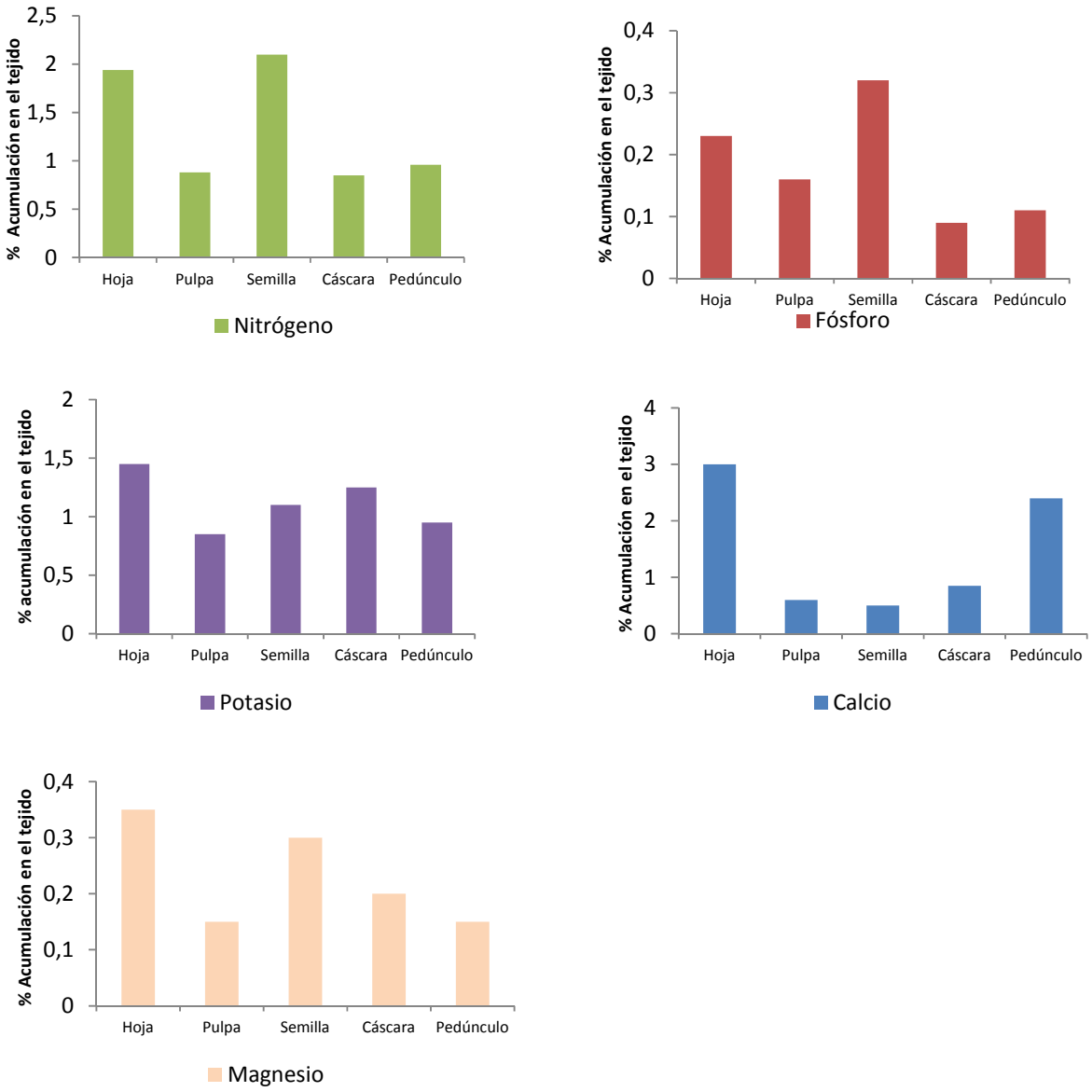

Figura 2 – Resumen de los promedios de acumulación de minerales de acuerdo al tejido en un huerto de naranja valencia.

En el caso del fósforo, al igual que en el nitrógeno, los porcentajes de acumulación fueron superiores en las hojas comparados con los demás tejidos analizados, lo que concuerda con Molina (2009), que encontró mayores contenidos de este nutriente en tejidos vegetativos en comparación con los frutos. Este patrón de acumulación, puede asociarse principalmente al aumento de la tasa fotosintética en las hojas necesaria para el adecuado desarrollo de los arboles en producción de naranja valencia (Olarte-

Ortíz et al., 2000). Igualmente, los contenidos altos de nitrógeno y fósforo en las semillas encontrado en este estudio, se puede asociar al transporte y acumulación de proteínas estructúrales, adicionalmente a la composición de ácidos nucléicos y ribonucléicos que hacen parte de la información genética transmitida mediante las semillas, elementos todos, necesarios para el desarrollo de una nueva planta a partir de los cotiledones de estas semillas(Correa, 1992; Raggio et al., 1993).

En el caso del potasio los mayores promedios se encontraron en las hojas (1.45 %), seguidos por el porcentaje promedio de la cáscara y la semilla (1.23 y 1.11%, respectivamente), mientras que los promedios del pedúnculo y la pulpa fueron similares pero inferiores a los demás con 0.95 y 0.87 %, respectivamente.

Este patrón de acumulación del potasio, está en concordancia con lo encontrado en otros estudios (Morín, 1980). Esta situación, puede estar relacionada a la alta movilidad del elemento en la planta a todos los niveles a lo largo de tejidos floemáticos como xilemáticos, jugando un papel importante en procesos de activación de enzimas, síntesis de proteínas, funcionamiento estomático, fotosíntesis, procesos relacionados con la turgencia de las células y transporte de metabólitos (A. Alva, Mattos, et al., 2006). Así mismo, los contenidos altos de potasio en la cáscara están asociados al incremento del grosor de la misma (Menesatti et al., 2010).

Así mismo, el nivel de potasio encontrado en las hojas del huerto de naranja valencia en el presente estudio, se puede clasificar como alto de acuerdo a Molina (1999). Permitiendo así, sustentar un ajuste en el nivel de fertilización potásica, en el cual esta se pueda disminuir hasta cierto punto sin afectar las funciones, ni el rendimiento de la planta, tal y como se mostró en los T3 y T4 del experimento (Ver discusión más adelante).

Cuando fueron analizados los contenidos de calcio los tejidos vegetativos tuvieron una acumulación diferente a los del fruto, es decir, fueron mayores los contenidos de calcio de las hojas (3.05%), seguidos por los del pedúnculo (2.41%) y en un tercer grupo se encontraron los promedios de la cáscara, pulpa y semilla (0.87, 0.62 y 0.53 %, respectivamente).

Este comportamiento, se encuentra en concordancia con lo encontrado por Molina (2009), el cual plantea que los contenidos en las hojas y tejidos verdes de la planta son mayores, debido entre otras a la baja movilidad del elemento dentro de las plantas y por otra parte, debido a que el calcio promueve el desarrollo del sistema radical, forma parte de las paredes celulares y desempeña un papel importante en la división celular y el crecimiento vegetativo (Molina, 1999; Undurraga et al., 2006; Torres et al., 2009; Menesatti et al., 2010). Adicionalmente, los contenidos obtenidos en las hojas del huerto de naranja valencia del presente estudio (3.0%) son clasificados como óptimos para el adecuado funcionamiento de la planta y formación de frutos (Molina, 1999; Undurraga et al., 2006).

Adicionalmente, aunque los contenidos de calcio de la cáscara no fueron estadísticamente superiores a los contenidos de la pulpa y semillas, se hubiera esperado que esta situación se presentará, debido por una parte a que el calcio juega un rol fundamental en la constitución de las paredes celulares del fruto, uniendo moléculas de pectina con polisacáridos y proteínas, formando estructuras complejas de tipo pecticocelulósico que fortalecen y dan rigidez a los tejidos vegetales, adicionalmente, en la lámina media confiere firmeza a los frutos, al unirse al complejo de proteínas y pectinas formando pectatos cálcicos que actúan como cementantes de las células, protegiéndolas de la desintegración y reblandecimiento de las paredes celulares (Casero, 1995; Duarte et al., 1995). Por otra parte, se hubieran esperado menores contenidos de calcio en la pulpa y semillas debido a que su concentración en el floema es muy baja, y su marcada inmovilidad dificulta su incorporación a órganos de baja transpiración como son ápices y frutos (Himelrick et al., 1983).

Sin embargo, los contenidos de calcio en la cáscara de todos los tratamientos del presente estudio se encuentran en las proporciones adecuadas (0.7 a 1.2 %), debido por un lado, a que no se presentaron deficiencias o daños en el fruto asociados a este tipo de desorden nutricional, y a que al comparar con valores de referencia para otros cítricos como el limón en el que (Undurraga et al., 2006) encontraron valores adecuados entre 0.63 a 0.67 %, los valores encontrados superaron a los de referencia.
En el presente estudio, los promedios de porcentaje de acumulación de calcio resultaron superiores estadísticamente en las partes vegetativas de la planta (hojas y

pedúnculo), mientras en los tejidos del fruto los mayores contenidos de calcio fueron los de la cáscara, sin llegar a ser estadísticamente superiores a los de la pulpa y semilla.

Finalmente, en el caso del Magnesio, los contenidos de las hojas (0.36%) fueron superiores estadísticamente a los de las semillas (0.26%) y estos a su vez a los de la cáscara (0.18%), luego se encontraron los promedios de la pulpa y la semilla con 0.13 y 0.12, respectivamente.

Este contenido alto del magnesio esta posiblemente asociado a que el mineral hace parte fundamental de la molécula de clorofila y debe estar presente en los tejidos verdes de las plantas (Salisbury et al., 1992). Adicionalmente a las hojas, el contenido de magnesio en las semillas debe ser importante debido a la función de transferencia de la información genética que cumplen estas y debido a que este elemento participa en la síntesis de proteínas, nucleoproteínas y acido ribonucleico, siendo además un elemento muy móvil en la planta(Kass, 1996; Molina, 1999).

Estos resultados muestran que en general los porcentajes promedio de nutrientes en las hojas y las semillas estuvieron dentro de los más altos para todos los nutrientes. Mientras que los contenidos de nutrientes de la pulpa, cáscara y pedúnculo, a excepción del contenido de calcio en el pedúnculo, siempre estuvieron dentro de los porcentajes más bajos de acumulación de minerales. Es decir, dentro de las partes cosechadas del cultivo se destacan los contenidos de minerales en las semillas.

4.2. Extracción de Nutrientes de Acuerdo al Tejido Cosechado y Hojas de la Naranja Valencia para Diferentes Niveles de Fertilización aplicados.

En la Tabla 6, se presentan los porcentajes promedio de extracción para cada nutriente discriminados por tejido y tratamiento de fertilización (Anexo 1). Los análisis mostraron que no existía diferencias estadísticas significativas en los porcentajes de extracción de ningún nutriente debidas a los niveles de fertilización empleados.

Estos resultados concuerdan con los de Rodríguez et al. (2005), los cuales evaluando el rendimiento y acumulación de minerales de acuerdo al cambio en un plan de fertilización, no encontraron efectos estadísticos significativos en un primer año, mientras que en otros estudios, cuando fueron evaluados los efectos de diferentes niveles de fertilización sobre la extracción de nutrientes en naranja valencia durante varios años, los efectos resultaron estadísticamente significativos (Lovatt, 1999; Cantarella et al., 2003; A. Alva, Mattos, et al., 2006). Por lo cual, puede ser recomendado realizar una evaluación de los efectos de la fertilización en un periodo de tiempo más amplio, es decir, en varias cosechas aplicando el mismo nivel de fertilización.

Tabla 7 – Promedios del porcentaje de acumulación de minerales en los diferentes tejidos de un huerto de 12 años de edad de naranja Valencia de acuerdo al nivel de fertilización utilizado

	Nitrógeno (%)					Fósforo (%)					Potasio (%)					Calcio (%)					Magnesio (%)				
TEJIDO	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**
Hoja	1,9	2,1	1,8	2,1	1,9	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	1,4	1,6	1,4	1,3	1,5	3,1	2,6	3,2	3,5	2,7	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3
Pulpa	0,7	0,9	0,9	0,9	1,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Semilla	2,0	2,3	1,9	2,1	2,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0	1,0	1,3	1,2	1,0	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Cáscara	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,3	1,2	1,0	1,4	1,3	0,8	0,8	1,2	0,7	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Pedúnculo	1,1	1,0	0,9	0,9	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	3,6	2,3	1,8	2,0	2,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1

4.3. Relaciones entre Nutrientes de acuerdo a los Tejidos Cosechados, las Hojas de la Naranja Valencia y los Niveles de Fertilización Utilizados

Fueron analizados estadísticamente las relaciones N/P, N/ K^+, K^+/Mg^{++}, Ca^{++}/Mg^{++} y $Ca^{++}+Mg^{++}/ K^+$ de acuerdo al nivel de fertilización y a los diferentes tejidos en los que fueron cuantificados los contenidos de minerales. En el Anexo 2 se muestran los análisis de varianza por cada una de las relaciones mencionadas anteriormente, en dicho análisis se pudo observar que la fertilización fue un factor que no presentó diferencias estadísticas significativas, así los p-valores para el factor de tratamiento, en este caso niveles de fertilización, fueron de 0.29, 0.18, 0.74, 0.79 y 0.81 para las relaciones de N/P, N/ K^+, K^+/Mg^{++}, Ca^{++}/Mg^{++} y $Ca^{++}+Mg^{++}/ K^+$ (Ver p-valor para cada

relación en los análisis de varianza), por lo que la separación de medias de las relaciones de acuerdo al nivel de fertilización no es presentado en los presentes resultados.

Por otra parte, cuando fue tenido en cuenta el factor tejido en el análisis de varianza de las relaciones, se pudieron observar diferencias estadísticas altamente significativas (p-valores< 0.001) para las relaciones de nutrientes en los tejidos cosechados y las hojas de la naranja valencia. De esta forma, se encontró evidencia estadística para separar los promedios de estas en los diferentes tejidos de la planta.

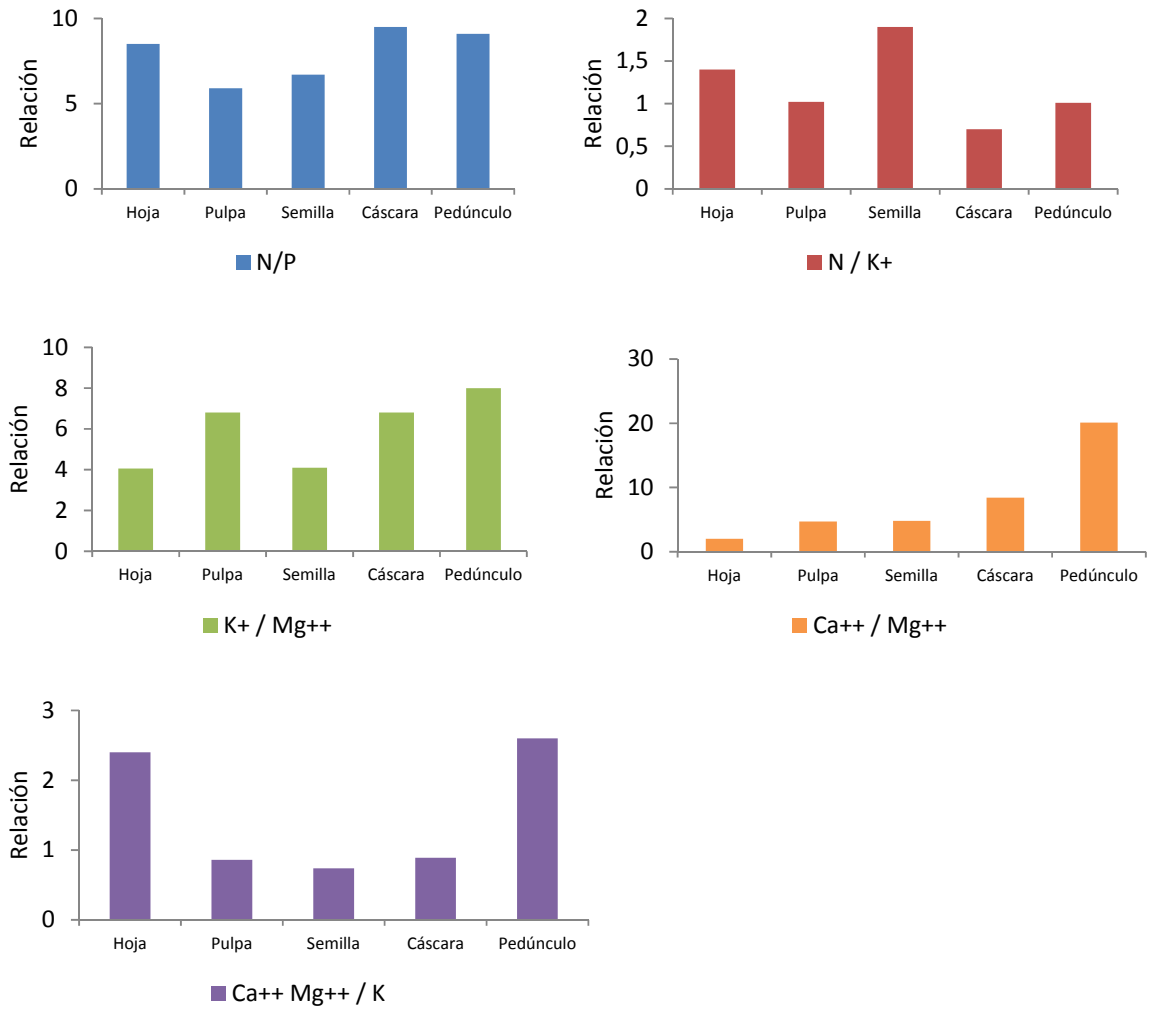

Figura 3– Relaciones N/P, N/ K^+, K^+/Mg^{++}, Ca^{++}/Mg^{++} y $Ca^{++}+Mg^{++}/ K^+$ en los diferentes tejidos cosechados y hojas de la naranja valencia.

Así por ejemplo, las relaciones N/P para la cáscara, pedúnculo y hojas (9.5, 9.1 y 8.5 respectivamente) resultaron superiores y diferentes estadísticamente a los promedios de la semilla y la pulpa (6.7 y 5.9 respectivamente) (Columnas N/P, Figura 3). En este caso y tal como se discutió en términos de las concentraciones esperadas en cada tejido, la relación fue alta en los tejidos vegetativos y menor en las semillas y pulpa. Esto, tal y como se discutió anteriormente, tiene que ver con las funciones inherentes al crecimiento vegetativo y funcionamiento general de la planta que cumplen los órganos verdes de la misma. Por el contrario, la relación N/P en las semillas fue baja, debido a que el contenido de fósforo en estas debe ser elevado por sus funciones en términos de la transmisión de información genética contenida en ácidos nucléicos, los cuales contienen altas cantidades importantes de fósforo y nitrógeno por lo que la relación debe tener una menor magnitud (Kass, 1996; Molina, 1999).

En cuanto a la relación N/ K^+ el promedio de la relación en la semilla fue superior a los demás (1.9), seguidos por los valores de la relación de las hojas (1.4), luego siguen los promedios de la pulpa (1.02) y el pedúnculo (1.01) y finalmente, los menores promedios de la relación N/ K^+ fueron para la cáscara (0.7) (Columna N/ K^+, Figura 3). Esta relación fue alta especialmente en las semillas debido a la gran concentración de nitrógeno discutido con anterioridad.

Por su parte, los promedios de la relación K^+/Mg^{++} fueron superiores para el pedúnculo (8.0), seguidos por los de la pulpa y semilla (6.8 y 4.1) y los menores fueron los promedios de las relaciones para las semillas y hojas (4.1 y 4.05). Destacándose principalmente las menores concentraciones en las semillas y hojas, esto se debe fundamentalmente a la gran movilidad de los elementos en la planta y la abundancia de ambos en estos tejidos, lo cual, se encuentra asociado a que las hojas son el principal tejido fuente de fotoasimilados y las semillas uno de los más importantes vertederos para las plantas, por lo que los tejidos deben contar con suficientes cantidades de ambos elementos (Salisbury et al., 1992).

Los valores de la relación Ca^{++}/Mg^{++} fueron muy superiores para el pedúnculo (20.1), seguidos por los de la cáscara (8.4), la semilla (4.8) y la pulpa (4.7), y los menores promedios se encontraron en las hojas (2.0) (Columna Ca^{++}/Mg^{++}, Figura 3). En este

caso, se destacan que la relación Ca^{++}/Mg^{++} en las hojas para varios autores (E. Malavolta, Leão, et al., 2006) debe estar en el orden de 10 a 1 para un adecuado funcionamiento, en este caso la relación es de 2.5 a 1, por lo que un incremento en las fertilizaciones de calcio podría ser una buena práctica para el ajuste de la fertilización, aunque de acuerdo a los análisis de suelos y la naturaleza neutra de los mismos, se pensaría no generan problemas en términos de su disponibilidad.

Finalmente, los promedios para la relación $Ca^{++}+Mg^{++}/K^{+}$ fueron superiores para el pedúnculo y las hojas (2.6 y 2.4 respectivamente) y menores para la cáscara, pulpa y semillas (0.89, 0.86 y 0.74 respectivamente). Esta relación es mayor para los tejidos vegetativos y menor para los asociados al fruto. Esta situación se asocia indudablemente a los contenidos propios y las funciones de cada órgano, lo que fue discutido en el punto anterior.

Estos resultados, muestran que los mayores valores en todas las relaciones, a excepción de la relación N/K^{+}, se presentaron en los pedúnculos, siendo un indicio de la cantidad de concentración de nutrientes como N, K^{+} y Ca^{++} en este tejido. Por otra parte, las relaciones de nutrientes en las hojas estuvieron dentro de los mayores para la relación N/P y $Ca^{++}+Mg^{++}/K^{+}$, en contraposición a las demás relaciones en donde estuvieron dentro de los rangos bajos. Por su parte las relaciones de nutrientes en la pulpa estuvieron dentro de las de menor promedio en comparación con lo demás tejidos. Mientras que las relaciones en las semillas estuvieron en promedios intermedios a excepción de la relación N/K^{+}, en donde fue alta, mostrando la alta concentración de casi todos los nutrientes, especialmente de N en las semillas.

Estos resultados en términos de las relaciones pueden ser indicadoras de relaciones estándares y de referencia para otros huertos de naranja valencia, debido a que los contenidos nutricionales de cada uno de ellos es adecuado según los parámetros indicados por Molina (1999) y se mantienen con respecto a las misma concentraciones en el suelo.

4.4. Análisis de Extracción de Nutrientes por Tonelada de los Frutos por hectárea en la cosecha de naranja Valencia

Según el análisis de varianza para la extracción de nutrientes de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K^+), Calcio (Ca^{++}) y Magnesio (Mg^{++}) en kilogramos por tonelada cosechada. Es decir, la cantidad de nutrientes, sin discriminar el tejido, del fruto en la cosecha. En estos análisis de varianza se encontró que cuando fueron analizados los promedios de extracción de cada nutriente debida a cada tratamiento, no hubo diferencias estadísticas significativas. Así, se presentaron p-valores para la separación de medias de los tratamientos de 0.40 para la extracción de N, 0.46 para la extracción de P, 0.68 para la extracción de K^+, 0.35 para la extracción de Ca^{++} y 0,54 para la extracción de Mg^{++}.

Aunque las diferencias en la extracción promedio de nutrientes para los diferentes tratamientos de fertilización no fue estadísticamente significativa, se destaca que existe una tendencia hacia la mayor acumulación en todos los minerales en el tratamiento 3, y una menor extracción en el tratamiento 1 (Ver Figura 4).

Los mayores porcentajes de extracción de nutrientes en el fruto se encontraron en el T3, mientras los menores contenidos se encontraron cuando no se fertilizó, sin que esta diferencia fuera estadísticamente significativa, posiblemente por las razones anteriormente expuestas en cuanto al efecto a largo plazo de las fertilizaciones aplicadas en el huerto. Sin embargo, la tendencia confirma mayores niveles de extracción de nutrientes en el fruto con la recomendación de (Molina, 1999) en huertos de naranja valencia. Aunque como se ha nombrado anteriormente, estos resultados deben ser tomados con precaución debido a la falta de evidencia estadística que permita hacer una afirmación sobre los mejores tratamientos.

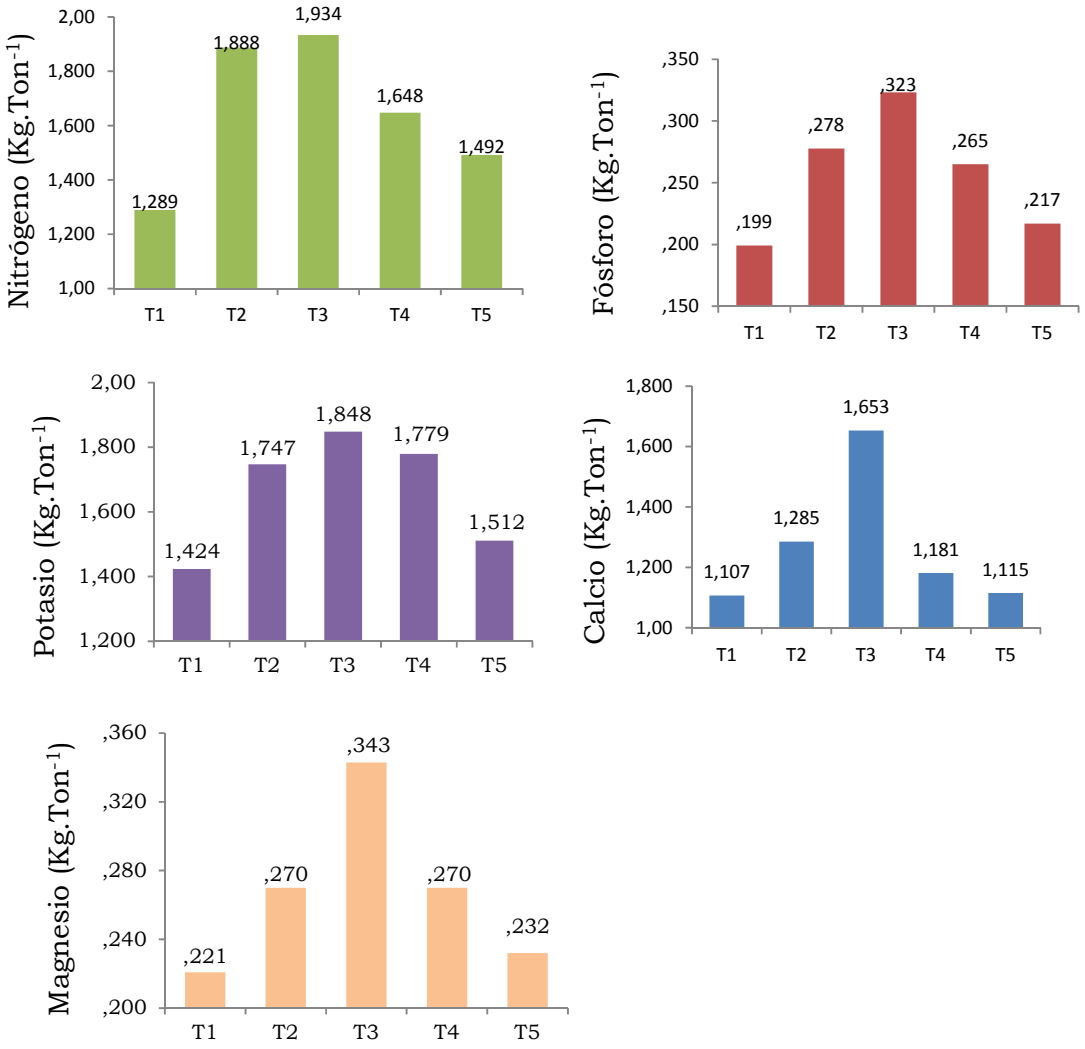

Figura 4 – Promedios de extracción de los nutrientes nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en kilogramos por tonelada cosechada de naranja Valencia

Aunque en términos generales, las mayores extracciones se encontraron en el T3, los mayores rendimientos fueron encontrados en el T4 seguidos por el rendimiento del T3, con porcentajes similares de acidez de ambos tratamientos. Así, esta situación podría estar confirmando que al ajustar la fertilización de forma integral, es decir, de todos los elementos nutricionales, tienen un efecto sobre una mayor acumulación de minerales en los frutos y sobre el rendimiento, como lo han encontrado otros estudios (Reitz et al., 1960; A. Alva et al., 1998; Molina, 1999; Guevara et al., 2000; Opazo et al., 2001; Pérez-Zamora, 2004; Torres et al., 2009).

4.5. Evaluación del Rendimiento, Tamaño de los Frutos y Acidez de Acuerdo al Nivel de Fertilización Utilizado

El análisis de varianza muestra que existen diferencias estadísticas para el rendimiento, tamaño de frutos y acidez de los mismos por efecto de los tratamientos de fertilización empleados. Más como se observa en la Figura 5, es evidente un aumento en el rendimiento conforme aumenta el nivel de fertilización de T1 a T4 y luego disminuye en T5.

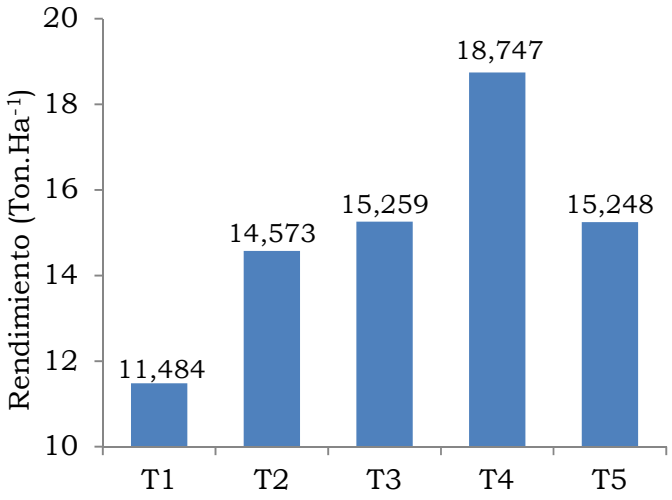

Figura 5 – Rendimiento en toneladas por hectárea de acuerdo al tratamiento de fertilización utilizado

Estos resultados están en contraposición a los encontrados por varios autores, los cuales han reportado incrementos significativos en el rendimiento de los frutos como respuesta a un aumento en las tasas de fertilización (Reitz et al., 1959; A. Alva et al., 1998; A. Alva, Mattos, et al., 2006; Molina, 1999; J. A. Quaggio et al., 2011). Especialmente, cuando las aplicaciones de fertilizantes han sido continúas en el tiempo y los efectos se han cuantificado durante varios años (R. Koo, 1962; Lovatt, 1999; Guevara et al., 2000).

Sin embargo, estos resultados concuerdan con los encontrados por Rodríguez et al., (2005), los cuales evaluaron el efecto del cambio en el plan de fertilización de arboles de naranja valencia en un suelo inceptisol en argentina, encontrando que los efectos

sobre el rendimiento no fueron estadísticamente significativos en el primer año de aplicaciones, aunque al igual que en este estudio, encontraron una tendencia hacia los mayores rendimientos cuando se incrementaron las fertilizaciones, situación similar a la descrita en este estudio. Por lo cual, podría ser recomendable evaluar los efectos sobre el rendimiento en las siguientes cosechas.

Adicionalmente, el mayor rendimiento se encontró en el T4 cuando se aplicaron 250 $Kg.ha^{-1}$ de N, 20 $Kg.ha^{-1}$ de P_2O_5, 130 $Kg.ha^{-1}$ de K_2O y 21 $Kg.ha^{-1}$ de Mg^{++}, superando al rendimiento obtenido con la fertilización tradicional aplicada en la finca (T2), la cual tuvo menores contenido de nitrógeno y magnesio y mayor de fósforo y potasio. La fertilización tradicional, consistió de 88, 25, 160 y 18 $Kg.ha_{-1}$ de N, P_2O_5, K^2O y Mg^{++}, respectivamente. Es decir, en la finca se han aplicado menores contenidos de nitrógeno y magnesio y mayores de fósforo y potasio, con relación a la fertilización recomendada (Molina, 1999).

El incremento en el rendimiento debido al cambio en la fertilización del T4 con relación al T2, podría explicarse debido a que el nitrógeno y el magnesio han sido reportados como nutrientes de gran importancia en el rendimiento de naranja valencia (Morín, 1980). De igual forma, varios autores han señalado que al disminuir las tasas de aplicación de fósforo y potasio, hasta ciertos niveles, no se ha afectado los rendimientos significativamente (Reitz et al., 1959), incluso, en arboles de 12 años de edad como los encontrados en el presente ensayo, los mayores rendimientos se obtuvieron con menores tasas de aplicación de nitrógeno, tasas medias de aplicación de fósforo y ninguna aplicación de potasio, aunque en los mismos arboles se habían realizado aplicaciones altas de potasio y fósforo (Sarooshi et al., 1991).

Así, aunque Sarooshi et al. (1991) plantea una aplicación nula de fertilizante en arboles de cierta edad y luego de aplicaciones continuas de potasio en años anteriores, otros trabajos han mostrado que altos niveles de aplicación de fertilización potásica han resultado en aumentos significativos en el rendimiento (Reitz et al., 1960; A. Alva, Mattos, et al., 2006). Esto podría implicar que se debe tener en cuenta un ajuste de la fertilización de acuerdo a la edad del huerto y que dicho ajuste debe incluir un balance entre los diferentes nutrientes, lo cual será discutido en las siguientes secciones.

En cuanto al análisis de los promedios del peso en gramos de los frutos (Figura 6), la tendencia, que al igual que en el caso del rendimiento no fue estadísticamente significativa y fue contraria a la mostrada para el rendimiento. Es decir, el peso promedio fue mayor para el T1 y fue disminuyendo hasta el T3, para luego aumentar en el T4 y T5. Así, los menores pesos fueron encontrados cuando se incrementaron los niveles de fertilización de nitrógeno y magnesio y con la reducción de las fertilizaciones potásicas, de los cuales el nitrógeno, ha sido demostrado en varios estudios que interviene sobre el desarrollo general de la planta y el magnesio, aunque no tiene efecto sobre el desarrollo o apariencia de la planta, interviene sobre el número y tamaño de los frutos, resultando que con altas concentraciones de magnesio son generados mayor cantidad de naranjas de menor tamaño (Morín, 1980; Molina, 1999; Opazo et al., 2001; Torres et al., 2009). Adicionalmente, los altos contenidos de potasio en los frutos han sido correlacionados positivamente con el tamaño de los frutos(Morgan et al., 2005).

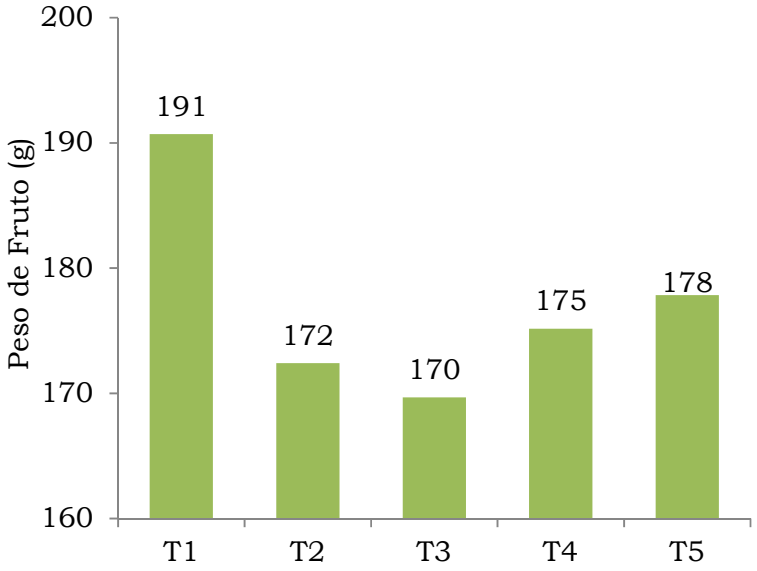

Figura 6– Peso de los frutos en gramos de acuerdo al tratamiento de fertilización utilizado

Finalmente, los promedios en la acidez de los frutos (Figura 7), tuvieron un comportamiento similar al del rendimiento, es decir aumentando desde el T1 hasta el T4 y luego disminuyó en el T5. Así, al aumentar el nivel de fertilización disminuyó el

peso promedio de los frutos, pero aumentó el rendimiento y la acidez, lo que podría estar indicando, que con el aumento del nivel de fertilización se incrementa el número de frutos, aunque como se ha dicho estos resultados deben ser tomados con cautela debido a que no existe la evidencia estadística para concluir sobre estos resultados.

Al igual que el comportamiento del rendimiento, el comportamiento de la acidez tuvo una tendencia hacia el aumento del porcentaje de la misma con el aumento en la fertilización potásica, lo cual ha sido ampliamente soportado (R. Koo, 1962; Guevara et al., 2000; Opazo et al., 2001; A. Alva, Mattos, et al., 2006; J. A. Quaggio et al., 2011). Esto puede deberse entre otras cosas al efecto antagónico de un elemento de alta movilidad en la planta en contraposición a otros como el calcio, nitrógeno y fósforo, los cuales están asociados a la constitución de elementos que colaboran en la estabilización del pH del fruto (Opazo et al., 2001; A. Alva, Mattos, et al., 2006).

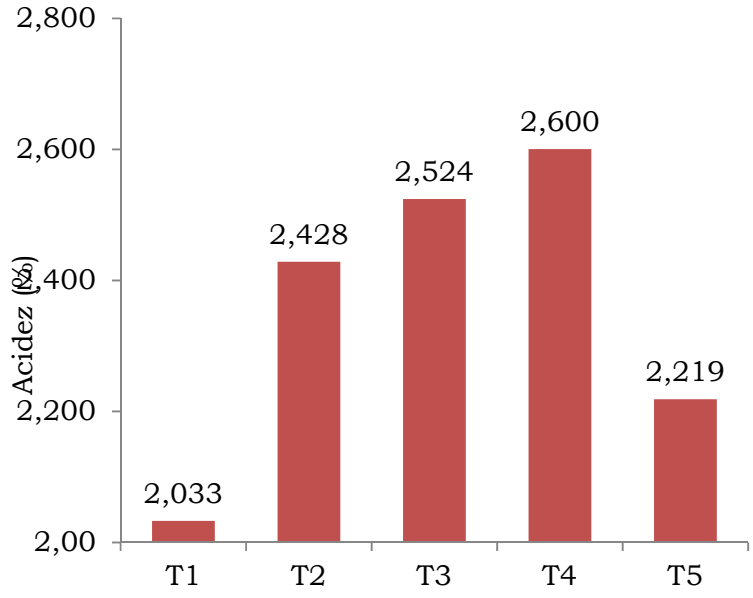

Figura 7 – porcentaje de acidez de los frutos de acuerdo al tratamiento de fertilización utilizado

Adicionalmente, se debe destacar que los menores rendimientos y porcentajes de acidez se encontraron en el T1 y T5, situación esperada debida por una parte a que en el T1 no fue realizada fertilización y en el T5, fue realizada únicamente una fertilización nitrogenada alta. Y por otra parte, puede estar indicando que existe un efecto residual

de la aplicación de fertilizantes, tal y como se ha reportado anteriormente (Boman, 2001; E. Malavolta, Casale, et al., 2006; Fidalski et al., 2007).

Así, cuando solamente fue aplicado la dosificación más alta de nitrógeno en el T5 (280 $Kg.ha^{-1}$ de nitrógeno), sin una fertilización adicional de otros nutrimentos, debido al balance realizado con relación al análisis de suelos (Anexo 7), los rendimientos volvieron a decrecer. Esto puede estar evidenciando que el manejo de la fertilización de un huerto de naranja debe darse en función de un balance entre diversas fuentes de fertilización (Molina, 1999; E. Malavolta, Casale, et al., 2006), además que no basta con hacer un balance en términos de la oferta de nutrientes disponibles en el suelo y los que el cultivo normalmente extrae, sino que se debe tener en cuenta la rapidez y asimilabilidad de los nutrientes disponibles en el suelo en determinados momentos (Junior, Quaggio, et al., 2010) y en este caso especifico en huertos de naranja de 12 años de edad en donde gran parte de los tejidos radiculares pueden estar lignificados (Morín, 1980).

Estos comportamientos, en términos de la fertilización deben ser tomados con precaución, debido a que las tendencias mostradas en cuanto al rendimiento, acidez del fruto y tamaño de los mismos, no fueron estadísticamente significativas. Sin embargo, más adelante en esta discusión se realizará un análisis de la eficiencia de fertilización, en base a lo que se tomará una decisión sobre la fertilización adecuada para huertos de naranja de la edad y en las condiciones agroecológicas en que se está desarrollando el huerto de estudio.

5. CONCLUSIONES

- Fue establecido el patrón de extracción de nutrientes en naranja valencia de acuerdo al tejido de la planta en un suelo mollisol de pH 7.1. En este tipo de suelos, las mayores concentraciones de nitrógeno, fósforo y magnesio, se encontraron en las semillas, seguidas de las hojas. Las mayores concentraciones de potasio fueron encontradas en las hojas seguidas de la cáscara, finalmente, los mayores contenidos de calcio fueron encontrados en las partes vegetativas de la planta, es decir las hojas y el pedúnculo, aunque dentro de las estructuras del fruto los mayores contenidos se encontraron en la cáscara. Cada uno de los patrones de acumulación fueron asociados de forma coherente a procesos fisiológicos y de desarrollo de las plantas.

- Los niveles de fertilización empleados no tuvieron un efecto significativo sobre el patrón de acumulación de los nutrientes en los tejidos del fruto ni en las hojas. Es decir, los diferentes tejidos extrajeron los nutrientes en proporciones similares cuando los arboles fueron fertilizados de forma diferente. Así, se propone evaluar el efecto de estos tratamientos de fertilización a más largo plazo, de acuerdo a literatura encontrada en el mismo sentido.

- Fueron estudiadas las relaciones entre nutrientes en cada tejido y de acuerdo al nivel de fertilización, encontrando que existen diferencias en las relaciones entre los diferentes tejidos y no debidas a los niveles de fertilización. Así, los rangos de las relaciones, pueden ser indicadoras de relaciones estándares y de referencia para otros huertos de naranja valencia, debido a que los contenidos nutricionales de cada uno de ellos es adecuado según los parámetros indicados, por Molina (1999) y estas relaciones se mantienen con respecto a las encontradas en el suelo.

- En este estudio el rendimiento, tamaño de los frutos y porcentaje de acidez de la naranja de acuerdo al nivel de fertilización fueron estadísticamente similares. Sin embargo, los rendimientos, muestran una tendencia hacia el aumento

cuando se incrementó la fertilización nitrogenada y de magnesio y se disminuyó la fosfórica y potásica (T4), con relación a la fertilización tradicional de la finca (T2) y una disminución del rendimiento cuanto solo se aplicó nitrógeno (T5). Aunque estos resultados deben tomarse con precaución debido a que las diferencias no fueron significativas, además deberían evaluarse en un mayor lapso de tiempo, los mejores rendimientos se encontraron en el T4 con 250 $Kg.ha^{-1}$ de N, 20 $Kg.ha^{-1}$ de P_2O_5, 130 $Kg.ha^{-1}$ de K_2O y 21 $Kg.ha^{-1}$ de Mg^{++}. Adicionalmente, El porcentaje de acidez tuvo un comportamiento similar al del rendimiento, siendo mayores en el T4, mientras que el tamaño del fruto tuvo comportamientos contrarios, siendo menor en el T3 y mayores en el T1, esto se puede relacionar con la acción conjunta del nitrógeno, potasio y magnesio sobre el rendimiento y calidad de los frutos.

BIBLIOGRAFIA

Alva, A, Mattos, D., Paramasivam, S., Patil, B., HUATING, DOU y Sajwan, K.S. (2006), Potassium management for optimizing citrus production and quality.

Alva, A, Paramasivam, S. y Graham, WD (1998), Impact of nitrogen management practices on nutritional status and yield of Valencia orange trees and groundwater nitrate. *Journal of environmental quality*, 27(4): 904–910.

Alvarado, A., Araya, R., Bornemisza, E. y Hernández, R.L. (1994), ESTUDIO NUTRICIONAL EN ONCE VARIEDADES Y UNA SELECCION LOCAL DE CITRICOS EN LA ZONA ATLANTICA DE COSTA RICA. L ELEMENTOS MAYORES Y SECUNDARIOS1. *Agronomía costarricense*, 18(1): 13–19.

Avilan N, R. y SUCRE, RE (1999) Distribución radical del banano bajo diferentes sistemas de manejo de suelos.. *Fruits. 37 (2): 103-110. Francia.*

Boman, B.J. (2001), Foliar nutrient sprays influence yield and size of 'Valencia'orange, 83–88, en: *Proc. Fla. State Hort. Soc.*

Casero, T. (1995), La nutrición cálcica en frutales. *Fruticultura Profesional*, 71: 45–55.

Chandler, WH (1962), Frutales de hojas perenne.

Correa, Jaime (1992), *Especies vegetales promisorias de los países del Convenio Andrés Bello: F.* Secretaria Ejecutiva del Convenio Andrés Bello.

Corporación Colombia Internacional (2000). Inteligencia de mercados. Bogota. Julio-Septiembre 2000

Duarte, AM y Guardiola, JL (1995), Aplicaciones del calcio en citricultura. *Levante Agrícola*, 34(331): 11–14.

Fidalski, J. y Auler, P.A.M. (2007), Nitrogen fertilization and rainfall on nutrition and yield of"Valencia"orange. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(2): 141–146.

Ford, HW (1972), Eight years of root injury from water table fluctuations, 65–68, en: *Proc. Fla. State Hort. Soc*.

Guevara, A. y Del Castillo, A. (2000), Efecto de la fertilización potásica sobre laproducción y calidad del naranjo Valencia lateplantado en un suelo Ferrítico Rojo. available at http://www.bibliociencias.cu/gsdl/collect/tesis/index/assoc/HASH01c6.dir/doc.pdf

Hénin, S., Gras, R., Monnier, G., de Laburu, C.R. y Taracena, J.G.C. (1972), *El perfil cultural: El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas*. Mundi-Prensa.

Himelrick, DG y McDuffie, RF (1983), The calcium cycle: uptake and distribution in apple trees. *HortScience*, 18(2): 147–150.

Jacob, A., v Uexküll, H. y de Alva, L.L.M. (1961), *Fertilización: Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales*. Internationale Handelmaatschappij Voor Meststoffen NV.

Junior, D.M., Quaggio, JA, Cantarella, H. y Boaretto, RM (2010), MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO PARA CITRICOS DE ALTO RENDIMIENTO. *Informaciones Agronómicas - IPNI*, 77.

Kass, D (1996), *Fertilidad de Suelos*. EUNED.

Kaufmann, MR, Boswell, SB y Lewis, LN (1972), Effect of tree spacing on root distribution of 9-year old« Washington» navel oranges..

Koo, R (1962), The use of leaf, fruit, and soil analysis in estimating potassium status of orange trees, 67–72, en: *Proc. Fla. State Hort. Soc*.

Legaz, F., Serna, MD, Ferrer, P., Cebolla, V. y Primo-Millo, E. (1995), Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. *Procedimiento de Toma de Muestras. Generalitat Valenciana. Conselleria DAgricultura, Pesca I Alimenticio*.

Ministerio de Agricultura- Colombia (2006), PLAN FRUTICOLA NACIONAL.

Lovatt, C.J. (1999), Timing citrus and avocado foliar nutrient applications to increase fruit set and size. *HORTTECHNOLOGY-ALEXANDRIA VA-*, 9: 607–612.

Malavolta, E., Casale, H. y Piccin, C. (2006), Síntomas de Desórdenes Nutricionales en la Naranja.

Malavolta, E., Leão, H.C., Oliveira, S.C., Lavres Junior, J., Moraes, M.F., Cabral, C.P. y Malavolta, M. (2006), Repartition of nutrients in citrus flowers, leaves and branches. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28(3): 506–511.

Menesatti, P., Antonucci, F., Pallottino, F., Roccuzzo, G., Allegra, M., Stagno, F. y Intrigliolo, F. (2010), Estimation of plant nutritional status by Vis-NIR spectrophotometric analysis on orange leaves [Citrus sinensis (L) Osbeck cv Tarocco]. *Biosystems Engineering*, 105(4): 448–454.

Minessy, FA, Barakat, MA y El-Azab, EM (1971), Effect of some soil properties on root and top growth and mineral content of Washington Navel orange and Balady mandarin. *Plant and Soil*, 34(1): 1–15.

Molina, Eloy (1999), Fertilización y Nutrición de Naranja en Costa Rica, , en: San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. available at http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_291.pdf

Molina, Eloy (2003), Análisis Foliar y su Interpretación, en: San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. available at http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_291.pdf

Morgan, K.T., Rouse, R.E., Roka, F.M., Futch, S.H. y Zekri, M. (2005), LEAF AND FRUIT MINERAL CONTENT AND PEEL THICKNESS OF 'HAMLIN'ORANGE, 19–21, en: *Proc. Fla. State Hort. Soc*.

Morín, C (1980), *Cultivo de Citricos*. Bib. Orton IICA / CATIE.

Olarte-Ortíz, O., Almaguer-Vargas, G. y Espinoza, J.R.E. (2000), EFECTO DE LA FERTILIZACION FOLIAR EN EL ESTADO NUTRIMENTAL, LA FOTOSINTESIS, LA CONCENTRACION DE CARBOHIDRATOS Y EL RENDIMIENTO EN NARANJO 'VALENCIA LATE'. *Terra Latinoamericana*, 18: 339–347.

Opazo, A. y others (2001), Efecto de diferentes fertilizantes potásicos en el contenido foliar de nutrientes, producción y calidad de fruta en naranjo cv. Valencia. *Agricultura Técnica*, 61(4): 470–478.

Pérez-Zamora, O. (2004), Concentración nutrimental en hojas, rendimiento, eficiencia de producción, calidad de jugo e índices nutrimentales de naranjo valencia injertado en portainjertos de cítricos. *Agrociencia*, 38(2): 141–154.

Quaggio, J.A., Mattos Junior, D. y Boaretto, R.M. (2011), Sources and rates of potassium for sweet orange production. *Scientia Agricola*, 68(3): 369–375.

Raggio, Fundación Rómulo, Plantarum, Domus y Tecnológicas, Instituto para Investigaciones Científicas y (1993), *Phyton*. Fundacion Romulo Raggio.

Reitz, H.J. y Koo, R.C.J. (1959), Effect of nitrogen and potassium fertilization on yield and fruit quality of Valencia orange on calcareous soil, 12–16, en: *Proc. Fla. State Hort. Soc*.

Reitz, H.J. y Koo, R.C.J. (1960), Effect of nitrogen and potassium fertilization on yield, fruit quality, and leaf analysis of Valencia orange., 244–52, en: *Proceedings. American Society for Horticultural Science*.

Rodríguez, V, Martínez, G.C., Mazza, S.M., Piccoli, A.B. y Ortiz, M.L. (2005), Efecto de una nueva formulación de fertilizante sobre la productividad de naranja Valencia late. *Comunicaciones Cientificas y Tecnológicas*. available at http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/5-Agrarias/A-015.pdf

Salisbury, F.B. y Ross, C.W. (1992), Plant physiology. *Belmont: Wadsworth*.

Sarooshi, R, Weir, RG y Coote, BG (1991), Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertiliser rates on fruit yield, leaf mineral concentration and growth of young orange trees in the Sunraysia district. *Aust. J. Exp. Agric.*, 31(2): 263-272. available at [2 Noviembre 2011].

Serpa, D. (1969), Áreas de vida de los cítricos en la región Central de Venezuela. *Trabajo de Ascensos, Maracay, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía*.

Torres, P., Aular, J., Rengel, M., Montaño, J. y Rodríguez, Y. (2009), Correlación entre la calidad de la fruta del naranjo y los macronutrimentos, considerando el balance de los nutrimentos a través de relaciones binarias. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(1): 29–34.

Undurraga, M., Olaeta, J, Retamales, A y Brito, A (2006), Efecto de Inmersiones en Calcio Sobre Peteca en Limones Amarillos y Plateados, Cosechados Después de una Lluvia y Almacenados en Refrigeración. *Agricultura Técnica*, 66(1): 3–12.

Weert, R. (1974), Influence of mechanical forest clearing on soil conditions and the resulting effects on root growth. *Tropical Agriculture (Trinidad and Tobago)*.

Wiersum, LK (1957), The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. *Plant and soil*, 9(1): 75–85.