

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA

F
Tesis
3124
C. 2

DINÁMICA NUTRIMENTAL EN HOJAS
DE ZARZAMORA 'TUPI'

TESIS:
QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:
DIANA ELIZABETH TRUJANO-FRAGOSO



Julio de 2009
Chapingo, Estado de México

DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Instituto de Horticultura



BIBLIOTECA

DINÁMICA NUTRIMENTAL EN HOJAS DE ZARZAMORA 'TUPI'

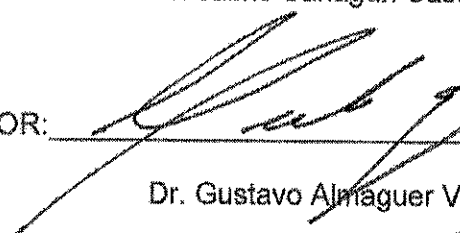
Tesis realizada por Diana Elizabeth Trujano-Fragoso, bajo la dirección del Comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

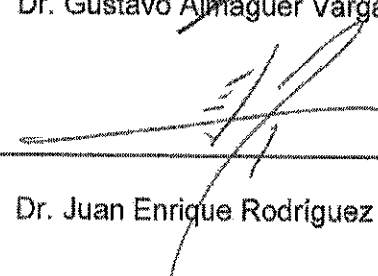
DIRECTOR:


Dr. Jaime Sahagún Castellanos

ASESOR:


Dr. Gustavo Almaguer Vargas

ASESOR:


Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por darme la oportunidad para realizar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme la beca para efectuar la Maestría en Ciencias en Horticultura.

Al Departamento de Fitotecnia, por las facilidades otorgadas para llevar a cabo la investigación, especialmente al Laboratorio de Nutrición de Frutales.

Al Ing. Isaí Gordillo Llaven, por su valioso apoyo durante todas las fases de esta investigación.

Al Dr. Claudio Pérez Mercado, por su asesoría y apoyo brindados en la fase de laboratorio.

Al Dr. Américo Jesús Florez Medina, por su apoyo en esta investigación.

A la Sra. Alma Rosa Chávez Castellanos productora del estado de Michoacán por las facilidades concedidas para realizar este experimento.

A mi familia y amigos por ser un soporte en todo momento.

Al Dr. Jaime Sahagún Castellanos, Dr. Enrique Rodríguez Pérez, Dr. Gustavo Almaguer Vargas por sus aportaciones en elaboración de esta tesis.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Vicente Trujano Ayala y Mariana Fragoso Rivera

Quienes siempre serán dignos de mi admiración, amor e infinito agradecimiento por sus esfuerzos al educarme, cuidarme y apoyarme siempre.

A mi hermana:

Quien también ha estado conmigo desde siempre y con quien he compartido momentos maravillosos.

Dra. Kenya Trujano Fragoso

A quien ha llegado a ser parte de mi vida:

Ing. Isaf Gordillo Llaven

DATOS BIOGRÁFICOS

Ing. Agr. Diana Elizabeth Trujano Fragoso, es texcocana. Nació en abril de 1983, en el Estado de México.

Realizó sus estudios profesionales (1998-2005) en la Universidad Autónoma Chapingo, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnica.

Como experiencia profesional brindó asesoría técnica a fruticultores en el estado de Michoacán durante 2005-2006.

A finales de 2006, fue seleccionada por el programa de Maestría en Ciencias en Horticultura del Departamento de Fitotecnica de la Universidad Autónoma Chapingo para realizar sus estudios de maestría.

Actualmente es productora agrícola en Los Reyes de Salgado, Michoacán, México, exportando frutillas de alta calidad.

DINÁMICA NUTRIMENTAL EN HOJAS DE ZARZAMORA 'TUPI'

NUTRITIONAL DYNAMICS IN 'TUPI' BLACKBERRY LEAVES

Diana Elizabeth Trujano Fragoso¹ y Jaime Sahagún Castellanos²

RESUMEN

En 2007-2008 se estableció un experimento en una parcela comercial de zarzamora 'Tupi', en Los Reyes, Michoacán, México, para estudiar las dosis de fertilización: 440-198-264-22, 400-180-240-20 y 360-162-216-18. Se determinó el contenido de N, P, K y Ca de muestras compuestas (30 hojas completas) en cuatro etapas del cultivo, determinándose las unidades térmicas (UT) al momento del muestreo: crecimiento vegetativo (1430 UT), floración (3025 UT), amarre de frutos (3085 UT) y fin de cosecha (3745 UT). El aumento de la dosis de fertilización incrementó la concentración de N, P, K y Ca en las hojas y el rendimiento (aunque en menos del 1 %). Hubo correlación positiva de N, P y Ca principalmente con el K ($r = 0.52^{**}$, 0.54^{**} y 0.57^{**} , respectivamente). En las etapas de floración y amarre de fruto las hojas tuvieron mayor acumulación de los nutrientes evaluados. Bajo el manejo nutrimental de macroelementos empleado en este experimento, el K y Ca fueron los principales elementos que influyeron en rendimiento y calidad de fruto.

PALABRAS CLAVE: análisis foliar, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, etapas fenológicas.

ABSTRACT

In 2007-2008, an experiment was established in a commercial 'Tupi' blackberry field in Los Reyes, Michoacán, Mexico in order to study three fertilization doses: 440-198-264-22, 400-180-240-20 y 360-162-216-18. The concentration of N, P, K and Ca in composited samples (30 complete leaves) was recorded in four phenological stages, thereby enabling the determination of the associated heat units (HU) at the moment of sampling: vegetative growth (1430 HU), flowering (3025 HU), fruit development (3085 HU), and harvest end (3745 HU). Raising the fertilization dose increased both the N, P, K and Ca concentration in the leaves and the yield (less than 1 %). A positive correlation was observed between the elements analyzed, mainly with K ($r = 0.52^{**}$, 0.54^{**} y 0.57^{**}). During the flowering and fruit development stages, the leaves showed the greatest accumulation of the nutrients evaluated. K and Ca had the greatest influence on fruit yield and quality under the nutrimental management used in this experiment.

KEY WORDS: foliar analysis, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, phenological

¹ Tesista

² Director

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
 I. INTRODUCCIÓN	 1
OBJETIVOS.....	3
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos.....	3
 II. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 Fenología de la zarzamora.....	4
2.1.1 Crecimiento del primer año.....	4
2.1.2 Crecimiento del segundo año.....	5
2.1.2.1 Inflorescencias.....	6
2.1.2.2 Frutos.....	7
2.2 Requerimientos agroclimáticos de la zarzamora.....	9
2.2.1 Temperatura.....	9
2.2.2 Suelo.....	11
2.2.3 Requerimientos hídricos.....	11
2.2.4 Importancia de nutrición en <i>Rubus</i>	12
2.2.5 Manejo nutricional en <i>Rubus</i> spp.	15
2.3 Efecto de la fertilización en plantas del género <i>Rubus</i>	18
2.3.1 Nitrógeno.....	19
2.3.2 Potasio.....	23
2.3.3 Fósforo.....	25

2.3.4 Calcio.....	27
2.3.5 Otros elementos.....	28

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio.....	31
3.1.1 Ubicación.....	31
3.1.2 Material vegetal.....	31
3.1.3 Características del suelo en el área de estudio.....	32
3.2 Factores de estudio.....	33
3.2.1 Fórmulas de fertilización.....	33
3.2.2 Etapas fenológicas.....	34
3.3 Diseño de tratamientos.....	35
3.4 Unidad y diseño experimental.....	36
3.5 Caracteres evaluados.....	36
3.6 Análisis estadístico.....	41

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis nutrimental en planta completa al final de la cosecha..	50
4.2 Peso seco en órganos de zarzamora 'Tupi'.....	55
4.3 Extracción de nutrimentos por órgano de zarzamora 'Tupi' en la etapa fin de cosecha.....	56
4.4 Extracción total de N, P, K y Ca.....	59
4.5 Análisis de correlaciones.....	59

V. CONCLUSIONES.....	64
VI. LITERATURA CITADA.....	65
APÉNDICE.....	75

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
Cuadro 1. Producción en los Estados Unidos y origen de las importaciones de frambuesa y zarzamora.....	10
Cuadro 2. Valores de interpretación para el diagnóstico nutrimental en hojas de <i>Rubus idaeus</i>	14
Cuadro 3. Extracción de nutrimentos por 1000 kg de producción en frambuesa (<i>Rubus occidentalis</i> o <i>R. idaeus</i>).....	16
Cuadro 4. Características físico-químicas del suelo del lote experimental de zarzamora 'Tupi', Los Reyes, Michoacán.....	33
Cuadro 5. Dosis de fertilización empleadas en el presente estudio.....	34
Cuadro 6. Etapas fenológicas de zarzamora 'Tupi' consideradas en la recolección de hojas para su análisis foliar y unidades térmicas al momento del muestreo.....	35
Cuadro 7. Combinaciones de tres dosis de fertilización con cuatro etapas fenológicas.....	35
Cuadro 8 Métodos de análisis empleados en las muestras foliares y de suelo para determinación de nutrimentos.....	36
Cuadro 9. Comparaciones de medias de concentración de nutrimentos en hojas de zarzamora 'Tupi' con tres dosis de fertilización.	42
Cuadro 10. Comparaciones de medias de porcentaje de N, P, K y Ca en zarzamora 'Tupi' en cuatro etapas fenológicas del cultivo....	43

Cuadro 11. Comparaciones de medias de rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$) y variables evaluadas en frutos de zarzamora 'Tupi' con tres dosis de fertilización.....	48
Cuadro 12. Coeficientes de correlación entre variables.....	60

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro	Pág.
Cuadro 1A. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística para porcentaje de N, P, K y Ca en hoja de zarzamora 'Tupi' en cuatro etapas fenológicas bajo tres dosis de fertilización.	75
Cuadro 2A. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística de variables evaluadas en zarzamora 'Tupi' bajo tres dosis de fertilización.	76
Cuadro 3A. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística de variables evaluadas en zarzamora 'Tupi' bajo tres dosis de fertilización.	77
Cuadro 4A. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística de variables evaluadas en zarzamora 'Tupi' bajo tres dosis de fertilización.	78
Cuadro 5A. Comparaciones de medias de contenido de N, P, K y Ca en diferentes órganos de zarzamora 'tupi' bajo tres dosis de fertilización.	79
Cuadro 6A. Comparaciones de medias de extracción de N, P, K y Ca en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi' bajo tres dosis de fertilización.	80
Cuadro 7A. Comparaciones de medias de peso seco y extracción total de N, P, K y Ca en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi' bajo tres dosis de fertilización.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hojas de zarzamora 'Tupi' a) producidas por primocañas (pentafoiliadas); b) producidas por las floricañas (trifoliadas).....	6
Figura 2. Inflorescencias de zarzamora 'Tupi'.....	7
Figura 3. Frutos de zarzamora 'Tupi'.....	8
Figura 4. Dinámica nutrimental (N, P, K y Ca) en hojas de zarzamora 'Tupi'.....	44
Figura 5. Medias de contenido de N en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi'.....	51
Figura 6. Medias de contenido de K en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi'.....	52
Figura 7. Medias de contenido de P en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi'.....	53
Figura 8. Medias de contenido de Ca en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi'.....	54
Figura 9. Peso seco de órganos de plantas de zarzamora 'Tupi' en la etapa fin de cosecha, bajo 3 dosis de fertilización.....	56
Figura 10. Extracción de N, P, K y Ca ($\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) de raíz, tallos, hojas y frutos de plantas de zarzamora 'Tupi' en la etapa fin de cosecha.	57
Figura 11. Extracción total de N, P, K y Ca de plantas de zarzamora 'Tupi', en tres dosis de fertilización.....	59

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la zarzamora (*Rubus ulmifolius*) producida en México tiene una participación importante en los mercados internacionales. Sus principales mercados son Estados Unidos, Inglaterra, Holanda, Italia y Alemania (Anónimo, 2006a). En años recientes, la producción de esta fruta ha aumentado de 2,974 t, en el 2001, a 42,369 t en 2007 (Anónimo, 2008).

El estado de Michoacán, principal productor nacional de zarzamora, cuenta con una superficie sembrada de 3,063 ha y un volumen de producción de 42,369 t (Anónimo, 2007). Las condiciones climáticas, edáficas e hídricas óptimas presentes en el estado, la calidad y el buen manejo fitosanitario han contribuido en el desarrollo del cultivo de zarzamora. Igualmente, se considera como un cultivo altamente rentable y con rápido retorno de inversión y adicionalmente es generadora de un alto número de empleos (Anónimo, 2006b). El Municipio de Los Reyes de Salgado, Mich., es una zona productora importante en el estado, cuenta con una superficie cultivada de frambuesa (*Rubus ideaus*), fresa (*Fragaria vesca*), arándano (*Vaccinium corymbosum*), y principalmente zarzamora, cercana a las 3,500 hectáreas. Los Reyes produce más de diez millones de cajas de fruta de exportación; en

este municipio se localizan diversas empresas emparadoras comercializadoras de frutas del grupo de los “berries”, dedicadas primordialmente a la exportación de estos frutos, a los Estados Unidos y a la Unión Europea (Casillas, 2007).

La creciente demanda de zarzamora de alta calidad en los mercados nacional e internacional ha creado la necesidad de tener producción casi durante todo el año (Anónimo, 2006a). En México los sistemas de producción se han modificado para extender la época productiva de la zarzamora de octubre, hasta junio del año siguiente lo cual obliga a estudiar los requerimientos nutrimentales del cultivo.

Una medida importante para aumentar la productividad y al mismo tiempo preservar el ambiente, fomentando el manejo sustentable de los recursos, es mejorar la eficiencia en la utilización de nutrimentos; es decir, elegir nutrimentos (fuente, dosis y oportunidades de aplicación) con base en estudios de diagnóstico nutrimental, tanto en planta como en suelo en distintas etapas del cultivo.

OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

- Determinar el contenido nutrimental de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en hojas de zarzamora 'Tupi', en cuatro etapas fenológicas y tres dosis de fertilización y si es posible identificar posibles periodos críticos de demanda de N, P, K y Ca.

1.2 Objetivos específicos

- Elaborar en un primer estudio una aproximación del estándar nutricional en el cultivo de zarzamora 'Tupi'.
- Determinar la dinámica del contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en hojas de zarzamora 'Tupi'.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Fenología de la zarzamora

Para determinar la dinámica nutrimental de un cultivo es importante conocer la fenología del mismo. El género *Rubus* es un grupo muy complejo de plantas, con variaciones morfológicas, de hábito de crecimiento, resistencia a enfermedades, productividad, forma y calidad de frutos (Moore, 1984), que pueden estar influidas por la especie, la variedad, e incluso a la respuesta de las plantas al medio donde se desarrollen por algunas prácticas del manejo agronómico (Thompson *et al.*, 2007).

2.1.1 Crecimiento del primer año

La corona (tallo) y sistema de raíces en zarzamora son perennes, mientras que los brotes (“cañas”) son bianuales (Monasterio-Hueun, 1995). En las especies de zarzamora que crecen en climas templados, el crecimiento del primer año comienza con la activación de las yemas latentes, generalmente subterráneas, de la zona basal caulinar y del sistema radical (Monasterio-Hueun, 1995; Campos, 2009). Las yemas subterráneas comienzan a brotar bajo la tierra y poco después empiezan a emerger brotes que detienen su crecimiento, las

hojas forman rosetas en o sobre la superficie del suelo e inicia la primera dormancia invernal (Campos, 2009)

2.1.2 Crecimiento del segundo año

Al final de la primera dormancia, ya en el segundo año, se reanuda el crecimiento de las plantas de zarzamora, los brotes que emergieron durante el primer año alcanzan gran longitud en poco tiempo, después de haber emergido y producen hojas compuestas (Moore y Skirvin, 1990). Estos brotes vegetativos o brotes principales se conocen como primocañas y usualmente no producen flores, los brotes fructificantes son conocidas como floricañas.

La etapa de iniciación floral es desencadenada por la disminución de la temperatura y la presencia de días cortos (Himelrick y Galleta, 1990). Se detiene el crecimiento, se forman rosetas secundarias, en los meristemos axilares se forman primordios florales, las yemas comienzan su dormancia y las hojas senescentes se caen (Campos, 2009).

Las plantas de zarzamora necesitan bajas temperaturas, para que la dormancia termine. El requerimiento de horas frío en plantas de zarzamora varía entre cultivares; las variedades con espinas como 'Tupi', requieren acumular de 200 a 600 horas frío por debajo de 7° C. Las variedades sin espinas requieren acumular de 700 a 1100 horas frío, para que el periodo de dormancia termine. Una vez del cual, inicia la brotación de las yemas de las floricañas y la aparición de flores y frutos (Himelrick y Galleta, 1990).



BIBLIOTECA

En contraste con las primocañas, las floricañas no incrementan su longitud pero producen ramas laterales con inflorescencias terminales. Las hojas de las floricañas son frecuentemente más simples (trifoliadas) y pequeñas, con diferente forma que las hojas producidas por las primocañas, las cuales por lo general son pentafoiliadas (Figura 1) (Moore y Skirvin, 1990).

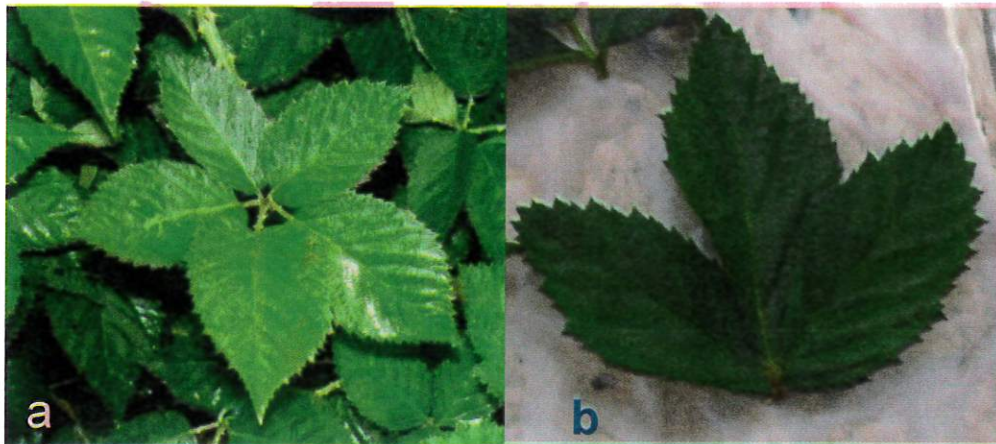


Figura 1. Hojas de zarzamora 'Tupi' a) producidas por primocañas (pentafoiliadas); b) producidas por las floricañas (trifoliadas).

Durante la floración y fructificación comienzan a brotar nuevas yemas subterráneas de la raíz, las cuales emitirán nuevos brotes principales (primocañas), que remplazarán a los que mueran después de la fructificación, y así se repite el ciclo bienal de las plantas de zarzamora (Campos, 2009).

2.1.2.1 Inflorescencias

Las flores son blancas o rosadas, de 5 sépalos y 5 pétalos. Emergen en racimos simples, dando lugar a una inflorescencia (panícula) de forma oblonga o piramidal. Los sépalos son grises glabros ó tomentoso-blanquecinos, el color

de los pétalos varía desde el blanco a rosa, con una longitud de 10 a 15 milímetros y de forma ovada (Figura 2) (Webb *et al.*, 1988).



Figura 2. Inflorescencias de zarzamora 'Tupi'.

2.1.2.2 Frutos

El fruto de zarzamora es carnosos está constituido por pequeñas drupeolas reunidas alrededor de un eje común (polidrupas), por lo que botánicamente se considera un fruto agregado. Al principio es rojizo y de púrpura a negruzco cuando madura (Sudzuki, 1985) (Figura 3).

Los frutos de zarzamora (*Rubus fruticosus*) varían tanto en su forma, contenido de nutrimentos (selenio, potasio, calcio, hierro, zinc y aminoácidos esenciales), características organolépticas, calidad poscosecha de frutos; dependiendo la variedad y el estado de madurez (Wu WenLong *et al.*, 2007; Perkins-Veazle y Collins, 1996).

Los frutos maduros de zarzamora 'Tupi' contienen mayor cantidad de azúcares (6.2 %) y humedad (49.5 %), comparados con los frutos maduros de la variedad 'Brazos' y 'Cherokee' (Andrade *et al.*, 2008).



Figura 3. Frutos de zarzamora 'Tupi'.

El rendimiento de zarzamora, además del manejo agronómico, depende de otros factores, tales como: la localidad de producción y la variedad. El peso de los frutos puede ser de 4 g a más de 10 g·fruto⁻¹ (Moore y Clark, 1996).

El manejo poscosecha (temperatura de almacenamiento, humedad relativa y tiempo de almacenamiento) influye significativamente en las características del fruto, tales como firmeza, pérdida de peso, cambios de color, relación azúcares-acidez, contenido de ácido ascórbico, etc. En zarzamora, la pérdida de peso en frutos se incrementa en función del tiempo de almacenamiento; después de 6 días a 2 °C más 2 días al ambiente el fruto registró pérdidas de peso entre 2.15 y 2.93 %; después de someter los frutos de zarzamora a dichas condiciones, los frutos presentaban altas pérdidas de humedad y baja turgencia de los tejidos. Los sólidos solubles totales se incrementan (de 11.46 hasta 16.08° Brix), la ganancia de azúcares se atribuye a la hidrólisis de materiales de la pared celular (Piña-Dumoulin *et al.*, 2001).

Según estudios bromatológicos, un fruto de zarzamora puede contener 84 % de agua, 35 mg de calcio, 17 mg de fósforo, 1.2 mg de hierro, 1 mg de sodio y 170 mg de potasio, 24 mg de ácido ascórbico, además de proteínas, vitaminas e hidratos de carbono (Westwood, 1982).

2.2 Requerimientos agroclimáticos de la zarzamora

2.2.1 Temperatura

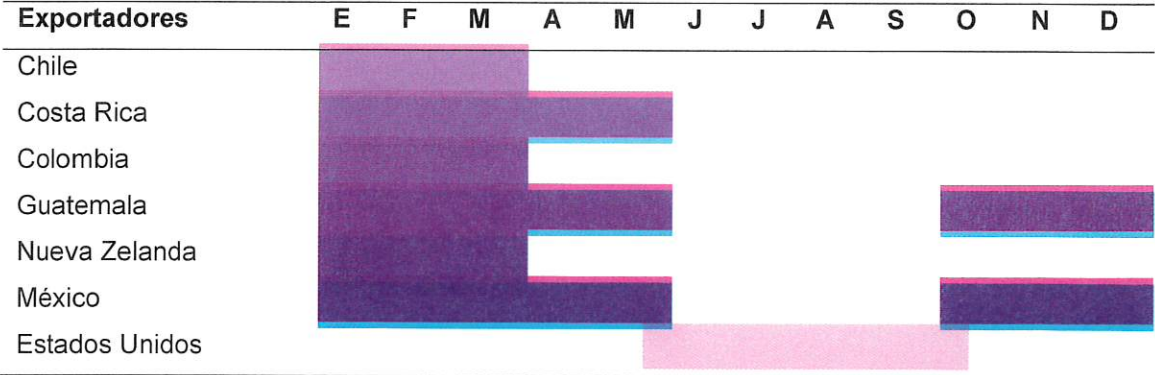
Aunque la zarzamora requiere climas más frescos que frambuesa, uno de los factores que limitan el cultivo de zarzamora son las bajas temperaturas que se presentan en invierno (menores a -10° C), o de heladas que coinciden con la etapa de floración. El requerimiento fisiológico de horas frío en zarzamora no está bien establecido y se ha observado que tal requerimiento es distinto entre

cultivares. En general las variedades sin espinas soportan temperaturas más bajas que las variedades con espinas (Moore y Skirvin, 1990).

La zarzamora es sensible al calor y deficiencias de agua (Moore y Skirvin, 1990). Algunas especies y cultivares de zarzamora no crecen bien en regiones con temperaturas altas (superiores a 34° C en verano) (Stafne *et al.*, 1999) o con inviernos cálidos. En estas áreas se emplean variedades con bajo requerimiento de frío o con adaptación a estas condiciones (Moore, 1984).

En algunas zonas productoras de México con inviernos benignos, se realiza producción forzada de zarzamora, mediante el desfaseamiento de la iniciación del crecimiento y desarrollo de las plantas, empleando técnicas de poda, defoliación, estimulantes de la brotación, compensadores de frío, manejo del riego y fertilización (Sánchez, 2008). Mediante estas prácticas los productores tienen producción durante los meses en que la frutilla alcanza un precio competitivo en el mercado internacional (Cuadro 1) (Sánchez, 2008).

Cuadro 1. Producción en los Estados Unidos y origen de las importaciones de frambuesa y zarzamora.



Fuente: Sánchez, 2008.

2.2.2 Suelo

La zarzamora puede adaptarse a distintos tipos de suelo, desde arenosos, hasta suelos arcillosos, mientras haya buen drenaje y aireación. Se desarrollan bien en suelos profundos, de textura limosa, moderadamente fértil y con alto contenido de materia orgánica, fácilmente arable, con buena retención pero buena permeabilidad (Moore y Skirvin, 1990); se desarrollan bien en suelos con pH de 5.5 a 7.0 (Anónimo, 1992).

Un suelo pesado o mal drenado con encharcamientos por lo general es improductivo y acorta la vida productiva del cultivo. Igualmente puede propiciar enfermedades en la raíz como *Phytophthora* (Moore y Sirvin, 1990).

2.2.3 Requerimientos hídricos

Muchas especies de zarzamora resisten largos periodos de sequía, sin embargo; si el cultivo se desarrolla bajo condiciones de poca humedad en el suelo, el rendimiento y el tamaño de los frutos se ve severamente afectado. Si la sequía se presenta durante el periodo vegetativo, el desarrollo del cultivo en los años subsecuentes puede ser anormal (Moore y Skirvin, 1990). El riego es especialmente esencial durante el establecimiento del cultivo, durante el primer año de crecimiento durante el desarrollo del fruto. De igual manera es importante cuidar el estado hídrico del cultivo en condiciones de alta temperatura o con mucho viento, o bien cuando la lluvia no satisface el agua requerida por las plantas (Lipe y Martin, 1984).

2.2.4 Importancia de la nutrición en *Rubus*

La adición de nutrimentos minerales, tiene el fin de incrementar y mejorar el rendimiento, la calidad y el tamaño de los frutos (Perkins-Veazle y Collins, 2001). El proceso productivo en el cultivo de zarzamora difiere de acuerdo a la región en la que se produce, así como al tipo de crecimiento que tenga el cultivar empleado (Strik *et al.*, 2007). En frambuesa roja, se ha visto que, con soluciones bajas de fertilización (5 a 20 meq L⁻¹), esta planta tiene mejor crecimiento y fructificación, que con dosis altas (>25 meq L⁻¹) (Himelrick y Dozier, 1994).

En general las frutillas, incluyendo la zarzamora, responden bien a la aplicación de fertilizantes y dada su sensibilidad a la salinidad, un exceso en la aplicación de nutrimentos puede provocar trastornos en las plantas (Sudzuki, 1985), como dificultad de las raíces para absorber el agua del suelo, clorosis o necrosis en algún órgano de la plantas, principalmente en las hojas, reducción del crecimiento (Marshner, 1995). La cantidad de fertilizante que se aplica en una plantación de frutillas es muy variable y dependen de un análisis de suelo. Los principales elementos que se emplean comúnmente para la nutrición de estas especies son: nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (Sudzuki, 1985).

Dos herramientas que pueden ser útiles para determinar las condiciones y necesidad nutrimental en un cultivo son, el análisis foliar y de suelo; ya que son herramientas que proveen información sobre la respuesta de la planta a su nutrición y confirma las correcciones necesarias para optimizar el proceso de

fertilización. Igualmente sirven, como índice de referencia comparativo de nutrición (Cadahía, 1998).

La época en la que debe tomarse una muestra vegetal que refleje el estado nutrimental de la planta, varía de acuerdo a cada especie, sin embargo es recomendable que tal muestreo se realice en plantas bien establecidas (después de la plantación) (Smith, 1961).

Existen valores estándar auxiliares en la interpretación de los análisis nutrimentales foliares que se obtienen en el laboratorio (Cuadro 2) que consideran el género, la especie e incluso la variedad no obstante, es importante considerar otros factores que influyen en el contenido nutrimental de los tejidos vegetales, tales como: adaptación al medio, manejo del cultivo, órgano muestreado, época de muestreo, así como variación anual, sobre todo en cultivos perennes (Smith, 1961). En zarzamora existe variación estacional, de la concentración de elementos en las hojas; dicha concentración foliar nutrimental puede incrementarse o disminuir hasta en 50 %, con relación a la estación en la que se realice el muestreo (Clark *et al.*, 1988). Por lo tanto, es importante tomar en cuenta la fecha en que se realice el muestreo, al momento de comparar el resultado de los análisis nutrimentales obtenidos, con los índices de referencia (Smith, 1961).

Cuadro 2. Valores de interpretación para el diagnóstico nutrimental en hojas de *Rubus ideaus*⁺.

Elemento	Bajo	Suficiente	Alto
%			
N	2.30-2.49	2.5-4.0	>4.0
P	0.20-0.29	0.3-0.5	>0.5
K	1.00-1.49	1.5-3.0	>3.0
Ca	0.60-0.79	0.8-1.5	>1.5
Mg	0.25-0.29	>0.3	-
ppm			
B	<25	25-75	>75
Cu	<3	3-50	>50
Mn	<50	50-250	>250
Zn	<25	25-100	>100

⁺ Etapa de muestreo: inicio de floración; fuente: Jones *et al.* (1991).

Otro factor importante que influye en la concentración nutrimental en los tejidos vegetales, es la fuente fertilizante que se emplea en el manejo del cultivo. En zarzamora 'Cheyenne' el contenido de N, K, Ca, Mg, Fe y Mn foliar varía cuando se modifica el tipo de fertilizante. La concentración de P es la única que no es afectada por éste componente del manejo agronómico. Se ha determinado que fuentes fertilizantes como NH_4Cl , KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NH_4 y NO_3 aumentaron el porcentaje de N en las hojas (Spiers, 1987). El NH_4Cl promovió el incremento del porcentaje de K foliar y el NO_3 causó que el contenido de Ca foliar fuera mayor (Spiers, 1987). En arándano rojo 'Searles', la fuente de N que

se emplee para la fertilización, puede tener efectos en la anatomía de la raíz, lo cual determina o influye de tal forma que sea menos o más fácilmente para la planta absorber nutrientes (Finn *et al.*, 1988). Igualmente la concentración elemental en las plantas, puede relacionarse con los días transcurridos después de la última aplicación de fertilizante, el tiempo de asimilación y la eficiencia del mismo. En arándano, la respuesta al fertilizante nitrogenado (urea) fue, un aumento de la concentración del elemento en hojas, el cual se registró hasta dos semanas después de haberse aplicado el fertilizante. El mayor porcentaje de N total en las hojas (16.5 %) se registró tres semanas después de la aplicación, al final de la época de crecimiento, las plantas sólo asimilaron 32 % del total aplicado ($40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) y menos del 15 % permaneció en el suelo (Retamales y Hanson, 1988).

2.2.5 Manejo nutrimental en *Rubus* spp.

Una de las primeras fertilizaciones en *Rubus* se puede realizar antes de la plantación (durante la preparación del suelo); para la cual se recomiendan fertilizantes nitrogenados. La segunda se realiza en las etapas del crecimiento vegetativo. Una recomendación general de fertilización es la de $112 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N. Esta dosis se puede incrementar o disminuir en un 50 a 100 %, según las condiciones del cultivo (Moore y Skirvin, 1990).



BIBLIOTECA

En el caso de que el análisis del suelo indique, que es necesario aplicar fósforo (P) y potasio (K), éstos pueden ser aplicados junto con el N (Crandall y Daubeny, 1990). La fertilización sólo con fuentes nitrogenadas, en frambuesa

roja, no puede ser usada para manipular la floración (Himelrick y Dozier, 1994). En algunas variedades de fresa, dosis altas de fertilizante nitrogenado ($120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) pueden ser usadas para retrasar o adelantar la floración y la cosecha; aunque la respuesta que tenga la planta a la fertilización dependerá además de las condiciones ambientales en las cuales se maneje el cultivo (Yamasaki *et al.*, 2003).

La fertilización usual en *Rubus occidentalis* o *R. idaeus* en un suelo con condiciones óptimas de pH (5.5 a 7.0), ricos en materia orgánica, con elevada capacidad de retención de agua, profundo y suelto, no compacto y sin encharcamientos para una producción de $9,000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, es de 100 kg de $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$, 35 kg de P_2O_5 y 100 kg de K_2O . Bajo estas condiciones se calculado la extracción de elementos que tiene dicho cultivo por cada $1,000 \text{ kg}$ de fruta producidos (Cuadro 3) (Anónimo, 1992).

Cuadro 3. Extracción de nutrimentos por 1000 kg de producción en frambuesa (*Rubus occidentalis* o *R. idaeus*)

Nutrimento	kg extraídos
N	5.8
P_2O_5	1.6
K_2O	6.0
CaO	4.2
MgO	1.32

Fuente: Anónimo, 1992.

En zarzamora, pueden emplearse entre 55 y 200 kg de $N \cdot ha^{-1}$, aplicándolo de manera fraccionada (la primera antes de iniciada la brotación, dos aplicaciones secuenciadas programadas con los riegos, una después de la poda y la última una aplicación muy leve a principios de la cosecha) (Sudzuki, 1985). Para la fertilización con P_2O_5 , se recomiendan no más de 90 kg al inicio del ciclo productivo. En el caso de K_2O , si se emplean cantidades mayores de 90 kg, fraccionando en cuatro aplicaciones semanales; la primera una semana antes de plantación (Sudzuki, 1985). También es recomendable la aplicación de K después de una gran fructificación. En plantaciones comerciales de Estados Unidos de América, la sugerencia de fertilización general es de 1N-1P-1K o 1N-2P-1K (Lipe y Martin, 1984). Las fertilizaciones foliares sólo se recomiendan como suplemento de los fertilizantes aplicados al suelo y cuando se observan deficiencias que deben ser corregidas rápidamente (Sudzuki, 1985).

Además de la fertilidad del suelo y de la aplicación de nutrimentos al suelo, un pH óptimo ayuda a un adecuado desarrollo de las plantas, e igualmente una buena absorción de nutrimentos del suelo. En *Rubus* se considera el valor de pH 6.2 como óptimo, pero las plantas responden bien si el pH está en el intervalo de 4.5 a 7.5 (Himelrick y Galleta, 1990). Cuando se aplica fertilizante al suelo es posible que se modifique el pH, generalmente acidificándolo (Nelson y Martin, 1986).

2.3 Efecto de la fertilización en plantas del género *Rubus*

Las raíces y las primocañas comprenden la mayoría de la biomasa de una planta de zarzamora; por otra parte el contenido de elementos en los tejidos de una planta, varían de un año a otro principalmente en las hojas de primocañas y floricañas. Es en estas partes, en las que hay mayor concentración de elementos como N, seguidas de los frutos, las raíces y finalmente los tallos. Después de dos temporadas de adición de N, se observó que plantas de zarzamora 'Chester Thornless' retienen sólo el 27 % del total del fertilizante que habían absorbido al inicio del cultivo (Malik *et al.*, 1991).

En plantas de zarzamora 'Kotata', la cantidad acumulada de materia seca después de dos años, fue de 5.96 kg por planta. Esta cantidad se incrementa en 28, 64 y 8 % por el peso de los frutos cosechados; de este total puede haber pérdidas causadas por podas y senescencia de hojas, así como nuevo crecimiento del siguiente ciclo. Asimismo existen incrementos de 46 % por la materia seca acumulada durante el año no productivo. Durante estos dos años una planta completa sin raíces acumula 63.7 g de N, 44 % de esta cantidad se acumula durante el año no productivo (Mohadjer *et al.*, 2001).

De igual forma, 37 % del N se acumula en frutos, 58 % se pierde en el material podado y 5 % se acumula en las coronas para el crecimiento del siguiente ciclo. En el momento de máxima acumulación de N provisto por fertilización, el 39 % está contenido en frutos, 37 % en brotes laterales, 19 % en primocañas y hojas, 3 % en floricañas y 2 % en rebrotes. La mayor parte del nitrógeno aplicado

durante el año no productivo es utilizado principalmente para el crecimiento de primocañas y hojas. Una gran proporción del nitrógeno almacenado por la planta durante este año no productivo es utilizado para crecimiento temprano de floricañas y frutos en el siguiente año productivo (Mohadjer *et al.*, 2001).

2.3.1 Nitrógeno

El N compone del 1.5 a 6.0 % de la materia seca acumulada de los vegetales. Dentro de la planta se le encuentra en forma orgánica e inorgánica dentro de ellas; se combina con carbono, hidrógeno, oxígeno y en ocasiones con azufre para formar aminoácidos, amino enzimas, ácidos nucleicos, clorofilas, alcaloides y bases púricas.

Aunque el N inorgánico puede acumularse en forma de nitratos, el N orgánico predomina en las plantas en forma de proteínas de alto peso molecular (Jones *et al.*, 1991).

Las raíces absorben el N inorgánico del suelo, en forma de NH_4^+ y NO_3^- ; la absorción de N depende del pH, temperatura y presencia de otros iones en la solución del suelo (Epstein y Bloom, 2004).

La absorción de nitrato estimula la absorción de cationes, mientras que los cloruros e hidroxilos restringen la absorción de nitratos por la planta (Jones *et al.*, 1991). Cuando existen niveles altos de carbohidratos en las plantas se aumenta la absorción de amonio. La absorción de amonio restringe la actividad

de los cationes lo cual puede conducir a deficiencias de calcio así como a reducir los niveles de K en las plantas (Jones *et al.*, 1991). Niveles altos de NH_4^+ son tóxicos, ya que puede disipar el gradiente transmembrana de protones que se requiere para el transporte de electrones en fotosíntesis y respiración, y para secuestrar metabolitos en la vacuola, además puede dificultar la absorción de agua por la planta (Epstein y Bloom, 2004).

El exceso de N en las plantas, se manifiesta en el follaje con color verde intenso y succulento; son más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, estrés por sequía, etc. En plantas deficientes, las hojas son verde claro o amarillo, principalmente las hojas viejas.

La deficiencia o exceso de N puede provocar adelanto o retraso en la maduración, bajo rendimiento, frutos y semillas de baja calidad (Jones *et al.*, 1991).

El N es un nutrimento indispensable y el de mayor importancia para el desarrollo de las plantas del género *Rubus*, sobre todo durante las etapas de crecimiento vegetativo, puesto que el crecimiento de la planta durante dichas etapas influirá de manera significativa en la productividad (Lipe y Martin, 1984; Moore y Skirvin, 1990). Este elemento es importante para los brotes laterales fructificantes, el crecimiento de frutos en plantas productivas y para la formación y crecimiento de primocañas y hojas en plantas en etapas no productivas. Asimismo el nitrógeno acumulado por las plantas de zarzamora en etapa

vegetativa es una importante fuente de abasto para el crecimiento de floricañas prematuras, laterales fructificantes y frutos en los años siguientes (Mohadjer *et al.*, 2001). El N provisto en cantidad adecuada determina en gran medida el tamaño y número de primocañas (Crandall y Daubeney, 1990). Del N total extraído por la planta, 17 % se remueve en las podas, 12 % en las hojas senescentes de las primocañas, 13 % en los frutos cosechados, 30 % se mantiene en la planta y 28 % se pierde o se conserva en las raíces (Rempel *et al.*, 2004).

La zarzamora 'Hull Thornless' incrementa su rendimiento, peso de frutos, número de flores por caña y por inflorescencia, a medida que se incrementa la cantidad de N. Si cada año la cantidad de N aplicado se aumenta, la concentración de este elemento en las hojas se incrementa (Archbold *et al.*, 1988). Las concentraciones de P y K decrecen mientras que el contenido de Ca, Mg y Mn no se afectó. El contenido de N, P y Mg en floricañas son menores que en primocañas, mientras que la concentración de K, Ca y Mn fueron mayor en floricañas que en primocañas (Archbold *et al.*, 1988).

En la evaluación de diferentes dosis (0, 56 y 112 kg·ha⁻¹ de Nitrato de Amonio) y formas de aplicación (aplicación simple y fraccionada) de nitrógeno sobre la composición de los frutos de zarzamora 'Arappao', se observó que el incremento en las aplicaciones de N, aumentan el pH y el N contenido en el fruto, pero no tuvieron efectos sobre la concentración de sólidos solubles y concentración de ácidos totales (Alleyn y Clark, 1997). Además, los

incrementos de N no afectan el rendimiento o el número de brotes vegetativos y reproductivos, pero sí el peso de los frutos. La cantidad de N y el tiempo de aplicación no provocan efectos significativos sobre los contenidos de P, Ca, Mg, Mn y Zn. Las concentraciones de N, K y S se incrementaron con las aplicaciones de N. Un mayor contenido de N y K se observó después de la aplicación de una dosis alta de fertilizante nitrogenado ($112 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Cuando se aplican dosis bajas de N ($56 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), hay mayor concentración de Fe en las hojas (Naraguma *et al.*, 1996). Después de tres temporadas de aplicar N (0, 56 y $112 \text{ kg de N} \cdot \text{ha}^{-1}$) se observó que el contenido foliar elemental de N, P, K, Ca, S, y Mn no son afectados por ninguna de estas dosis. El contenido foliar de N es mayor cuando se adiciona fertilizante, pero no hay otros beneficios de esta práctica. Sin embargo, la concentración de Ca es mayor cuando no se aplica N. De igual manera la concentración de Mn es mayor con altas dosis de N, y el tratamiento media ($0 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) tuvo el menor nivel de N foliar de las tres temporadas. Además el N aplicado no tuvo efecto sobre el contenido de clorofila en las hojas, los tallos, las yemas o sobre la resistencia de las plantas al frío (Naraguma y Clark, 1998).

La concentración de nitrato en el suelo aumenta después de las fertilizaciones hasta $78.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$. En promedio, después de la cosecha esta concentración de nitrato disminuye ($35.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$) por los frutos cosechados. La disminución estacional de N en el suelo se atribuye principalmente a la extracción del elemento por las plantas; sin embargo, la lixiviación y la inmovilización en la fracción orgánica también puede contribuir a dicha disminución (Rempel *et al.*,

2004). En zarzamora hay una tendencia de obtener mayores rendimientos cuando se adiciona N al suelo. Aunque estas aplicaciones no tienen efecto significativo en el peso seco o en el contenido de N total de la planta. La mayor extracción (36 a 37 %) de N por las plantas de *Rubus ideaus* se lleva a cabo durante el verano (julio a septiembre), lo cual en EUA, coincide con las etapas de amarre de fruto y cosecha; la extracción de nutrimentos es mayor después de la adición de fertilizante (Rempel *et al.*, 2004). En la mitad de la cosecha el N extraído por las plantas se concentra principalmente en los frutos, ramas laterales fructificantes y primocañas (94 %); aunque el N aplicado en las etapas finales del cultivo se concentra principalmente en las primocañas (60 %). Además se ha observado que las plantas absorben más fertilizante nitrogenado cuando se emplean dosis altas ($80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), en comparación a dosis bajas ($40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), las plantas toman el N del suelo y de los órganos de almacenamiento (Rempel *et al.*, 2004).

2.3.2 Potasio

Después del N, el K es el segundo elemento en importancia, este elemento conforma entre el 1 a 5 % en la materia seca de la planta. Dentro de sus principales funciones están, mantener el nivel de agua en la planta, regulador osmótico celular, mantener presión de turgencia en las células oclusivas. El K es activador o cofactor de muchas enzimas incluyendo ATP_{asa} y es requerido en la acumulación y transporte de los carbohidratos (Epstein y Bloom, 2004).

El exceso de éste elemento provoca deficiencias de Mg y en niveles más altos promueven deficiencias de Ca. Las plantas con deficiencias son más susceptibles a las enfermedades, el rendimiento y la calidad disminuyen y las hojas viejas presentan quemaduras en los bordes. Las plantas pueden ser sensibles a la presencia de amonio y presentar síndrome de toxicidad por amonio, los síntomas aparecen en la planta, primero en las hojas viejas (Jones *et al.*, 1991).

En zarzamora 'Shawnee', al incrementar la fertilización con K, se eleva el porcentaje de este elemento en las hojas en forma lineal; de manera contraria, el contenido de Mg y Zn foliares disminuye. Las concentraciones de Na, Ca, Fe, Cu y Mn no son afectadas de manera significativa por las fertilizaciones potásicas (Spiers, 1993a).

La fertilización con fuentes nitrogenadas como $\text{NO}_3\text{-N}$ incrementa el contenido de Ca y Mg, pero disminuye las concentraciones de Mn y Fe en hojas de zarzamora 'Cheyenne'. Las concentraciones foliares de K incrementan, mientras que P, Mg y Ca se reducen con dosis altas de fertilizante potásico. La fertilización con altas dosis de Ca incrementa el contenido de este elemento en las hojas pero no afectan la concentración de otros elementos (N, P, K). Asimismo al aumentar la dosis de Mg la concentración de N en las hojas es menor, sin embargo el contenido de Mg es mayor. Después de dos temporadas productivas de aplicar dosis altas de K el crecimiento de las plantas disminuye.

De igual forma hay interacciones sinérgicas y antagónicas de la fertilización con K y Mg sobre la concentración de Ca en las hojas (Spiers, 1987).

La fertilización con diferentes niveles de N y K (0, 67 y 135 kg·ha⁻¹) en zarzamora 'Thornless Evergreen', no tuvo efectos significativos sobre la concentración de K (1.29 a 1.37 %), P (0.34 a 0.39 %), Mg (0.44 a 0.46 %) B (21.3 a 27.0 ppm); pero sí sobre N (2.78 a 2.97 %) y Mn (76 a 143). Esto sugiere que la falta de asociación entre la oferta y el contenido de nutrimentos en el tejido puede tener una relación positiva, indicando una posible falla de la absorción en lugar de una oferta insuficiente (Nelson y Martin, 1986).

2.3.3 Fósforo

El P en las plantas es un elemento esencial, es componente de ciertas enzimas y proteínas; adenosín trifosfato (ATP), ácidos nucleicos (ARN y ADN) y ácido fítico. El ATP participa en diversas reacciones de transferencia de energía y el ADN y ARN son componentes de la información genética. El P constituye del 0.15 a 1.00 % de la materia seca (Jones *et al.*, 1991). Cuando las plantas tienen deficiencia de P presentan retraso en el crecimiento o bien éste es débil y lento. Las deficiencias pueden manifestarse con un color verde muy oscuro en el follaje y las hojas viejas presentan un color púrpura. El exceso de P se manifiesta principalmente con la deficiencia de micronutrimentos como Fe y Zn, principalmente (Jones *et al.*, 1991).

En zarzamora se recomienda la aplicación de una fertilización de fondo entre 100 a 200 g·planta⁻¹ de P₂O₅ aplicando al fondo de la cepa de plantación, por ser significativo el crecimiento de la planta en presencia de fósforo (Muratalla *et al.*, 1994).

En frambuesa 'Dormanred', la aplicación de altas dosis de P incrementa las concentraciones de P, K y Cu pero inhiben la extracción de Ca. Dosis altas de K inhiben la absorción de Ca y Mg pero incrementa la concentración de P, K, Fe y Cu en hojas. Por otra parte el Ca en altas dosis incrementa el contenido de P y disminuyen la extracción de Mg y Mn. Altas dosis de Mg incrementan la concentración de este elemento en las hojas, pero reduce la concentración de Ca (Spiers *et al.*, 1999).

La tasa azúcares-acidez y la firmeza de *Rubus ideaus*, en fertirrigación, aumenta cuando el porcentaje de P aumenta; mientras que el índice de color es mayor con concentraciones de P intermedias (150 %). Aunado al aumento de las concentraciones de P, la inoculación con micorrizas mejora el rendimiento (197 g·caña⁻¹) y la calidad de los frutos (tamaño, conductividad eléctrica y sólidos solubles totales) de frambuesa (Campos-Mota *et al.*, 2004).

Al suspender la fertilización en plantas de arándano la concentración de P y K declina progresivamente, esto se manifiesta principalmente en el crecimiento vegetativo nuevo. Asimismo el contenido de K en frutos es menor que en los frutos de las plantas a las cuales se fertilizó con N, P y K, aunque el rendimiento

fue igual en ambos casos (plantas fertilizadas y sin fertilizar) (De Moranville, 1988).

2.3.4 Calcio

El contenido de Ca en las plantas es de 0.1 y 5.0 % por kilogramo de materia seca. Este porcentaje depende de la especie, las condiciones de crecimiento, el órgano de la planta, la concentración de otros cationes en la solución externa (Marshner, 1995). El Ca es absorbido por las regiones jóvenes (insubерizadas) de las raíces de las plantas en su forma catiónica (Ca^{++}). La alta concentración externa de calcio y su divalente con carga positiva crean un gradiente electroquímico potencial que favorece el movimiento del Ca hacia el interior de la célula, a través de canales (Epstein y Bloom, 2004). El Ca participa en cuatro principales áreas: a) efectos en la membrana: el ión calcio mantiene la integridad de la membrana, formada de fosfolípidos, lo cual afecta la permeabilidad y por ende, la absorción nutrimental, promoviendo o limitando el flujo de nutrimentos hacia el interior de la raíz; b) efectos sobre enzimas: forma parte de la enzima alfa-amilasa y eventualmente interfiere en la capacidad del Mg como activador de enzimas; c) efectos en pared celular: formando puentes entre moléculas de pectina (pectatos de calcio, el cual une las paredes primarias de las células adyacentes). Participa en el metabolismo de formación del núcleo y mitocondrias; d) interacción del Ca con fitohormonas (Pilbeam y Morley, 2007).

La deficiencia de Ca provoca necrosis de los ápices de raíces y hojas. Las hojas se curvan y sus márgenes se tornan de color café. La calidad de las flores y frutos disminuye. Las deficiencias de Ca son frecuentes en suelos ácidos, o con exceso de Mg, K, P, Mo; el exceso de Mn y Al provocan que el Ca en las plantas produzca efectos tóxicos. El exceso de Ca provoca deficiencias de Mg y K (Jones *et al.*, 1991).

Los nutrimentos son absorbidos por la planta y transportados hacia el fruto, impactando así su valor nutritivo. Los elementos como K y Ca contribuyen directamente a la integridad estructural y celular de las frutillas. El potasio tomado en exceso durante la producción se asocia frecuentemente con el color tenue y pálido de los frutos, mientras que la adición de calcio comúnmente resulta en mayor firmeza de frutos (Perkins-Veazle y Collins, 2001).

Al aumentar las fertilizaciones con Ca, la concentración de este elemento y de K en las hojas incrementa linealmente, pero tiene un efecto antagónico sobre las concentraciones foliares de Mo; el crecimiento de las plantas se correlaciona negativamente con la concentración de Ca y K foliares (Spiers, 1993b).

2.3.5 Otros elementos

La zarzamora y la frambuesa tienen en sus hojas concentraciones de Mo, Cu, B, Zn, Mn y Fe, consideradas altas, con relación a otros frutales como manzano y chabacano. Las variaciones en el contenido de elementos menores dejan ver

la necesidad de determinar el requerimiento de nutrientes mediante análisis foliar (Hudská y Kloutvorová, 1983).

La fertilización (foliar o al suelo) con Boro (B) es recomendada en plantaciones de *Rubus* spp., para incrementar el rendimiento y la calidad del fruto. En frambuesa 'Polana', las fertilizaciones con B incrementan la floración, la concentración del elemento en las hojas, el número de frutos y el rendimiento (Wojcik, 2005). Los frutos de plantas fertilizadas con B son más firmes y tienen mayor concentración de sólidos solubles. No obstante la aplicación de B no tiene efecto en el vigor de la planta, peso del fruto y acidez titulable del fruto (Wojcik, 2005).

Cuando se aplican dosis altas (6.5 a 13 mM) de sodio (Na), al cultivo de zarzamora, se observa que las hojas de estas plantas contienen concentraciones seis veces más altas de Na (0.21 a 0.67 %); asimismo estas fertilizaciones no afectan en forma significativa al K, Ca, Mg, Fe, Cu o Zn contenido en las hojas; aunque el Mn se reduce linealmente con relación al incremento de las fertilizaciones con Na (Spiers, 1993a). Algunas variedades de zarzamora, como 'Shawnee' toman fácilmente el Na del suelo y aunque presentan cierta tolerancia a bajas o moderadas concentraciones de Na; al parecer, con niveles altos de Na (13 mM), la planta carece de un mecanismo para reducir la absorción de Na lo que se traduce en la reducción del crecimiento de la planta (Spiers, 1993a).

La fertilización con Mg tiene una influencia positiva en las concentraciones de este elemento en las hojas, pero afecta negativamente las concentraciones de K, Ca y Mn en las hojas. El crecimiento de la planta se correlaciona positivamente con la concentración de Mg y Mn en las hojas (Spiers, 1993b).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

3.1.1 Ubicación

El experimento se llevó a cabo en el ejido de Los Reyes de Salgado, Michoacán, México durante el periodo 2007-2008. En un cultivo de zarzamora establecido de manera comercial con surcos de 1.8 m y distancia entre plantas de 0.35 m, lo cual corresponde a una densidad de población de 15,675 plantas·ha⁻¹.

3.1.2 Material vegetal

Se emplearon hojas de plantas de zarzamora de la variedad 'Tupi' de 8 años de edad, con espalderas como sistema de conducción.

La variedad 'Tupi' es una variedad desarrollada en Brasil de bajo requerimiento de frío, con espinas y de tipo semierecto. El desarrollo de fruto ocurre aproximadamente 40 días a partir de la flor. La calidad de los frutos es superior a variedades como 'Brazos'. Tiene rendimientos promedio de 15 a 18 t·ha⁻¹ y es de fácil cosecha. Los frutos tienen de 18 a 22 días de vida de anaquel.

En los Reyes, Michoacán, México, su crecimiento vegetativo dura alrededor de 6 meses. Después del cual, la planta es podada (despunte), defoliada y son aplicados reguladores de crecimiento y compensadores de frío. Aproximadamente tres meses después se inicia la cosecha, periodo que puede extenderse hasta 5 semanas (Sánchez, 2008).

La época de producción de zarzamora 'Tupi' en la región de estudio varía en función del manejo agronómico realizado y puede durar prácticamente todo el año. Sin embargo, las cosechas de verano, además de coincidir con el periodo de lluvias, que dificulta su manejo, se inicia cuando la producción en Estados Unidos es máxima, lo que causa caída de precios.

3.1.3 Características del suelo en el área de estudio

Se obtuvo una muestra compuesta de suelo (0 a 30 cm de profundidad) de cada una de las 18 parcelas del área experimental al inicio del experimento, de acuerdo con la metodología propuesta por Castellanos *et al.* (2000), a partir de la cual se determinaron algunas propiedades físico-químicas y contenido de elementos esenciales del suelo en el que se desarrolló el cultivo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Características físico-químicas del suelo del lote experimental de zarzamora 'Tupi', Los Reyes, Michoacán.

Características		Clasificación
Ph	6.02	Ácido
M.O. ⁺	2.55	Medianamente rico
CIC	3.65	Muy baja
C.E.	0.41	No salino
N	0.18	Medianamente rico
P	10.27	Bajo
K	0.50	Media
Ca	2.04	Baja
Textura		Migajón

⁺ MO: materia orgánica (%); CIC: capacidad de intercambio catiónico (Cmol (+) kg⁻¹); CE: conductividad eléctrica (ds·m⁻¹); N: nitrógeno total (%); P: fósforo (mg·kg⁻¹); K: potasio (Cmol(+)kg⁻¹); Ca: (Cmol(+)kg⁻¹).

3.2 Factores de estudio

3.2.1 Fórmulas de fertilización

Se estudiaron tres fórmulas de fertilización basadas en N, P, K y Ca, definidas a partir de la dosis más comúnmente empleada en parcelas de alta productividad dentro de la zona de estudio (dosis media). La dosis alta se generó al incrementar 10 % los cuatro elementos y la dosis baja al disminuirla en el mismo porcentaje (Cuadro 5).

Cuadro 5. Dosis de fertilización empleadas en el presente estudio.

Dosis	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ₂ O
	Unidades·ha ⁻¹			
Alta	440	198	264	22
Media	400	180	240	20
Baja	360	162	216	18

3.2.2 Etapas fenológicas

Las cuatro etapas fenológicas consideradas en este estudio y la extracción de la muestra de cada una de ellas se describen a continuación:

- 1) Crecimiento Vegetativo: las hojas de zarzamora 'Tupi' se extrajeron para su análisis nutrimental cuando los brotes vegetativos o primocañas con hojas pentafoiliadas aún no habían producido flores.
- 2) Floración: las hojas de la muestra fueron extraídas cuando el 50 % de las flores que emergieron de las floricañas estaban bien desarrolladas (abiertas).
- 3) Amarre de fruto: la muestra se extrajo cuando el 50 % de las flores habían tirado los pétalos.
- 4) Fin de cosecha: en la quinta semana de cosecha.

En cada etapa se registró la acumulación de unidades térmicas (UT) o grados día de crecimiento al momento de la toma de muestras foliares. Se consideró como temperatura base 10° C. (Himelrick y Galleta, 1990).

$$UT = \frac{T^{\circ} \text{ máxima diaria} + T^{\circ} \text{ mínima diaria}}{2} - T^{\circ} \text{ base}$$

T°= temperatura en °C.

Cuadro 6. Etapas fenológicas de zarzamora 'Tupi' consideradas en la recolección de hojas para su análisis foliar y unidades térmicas al momento del muestreo.

Número de Muestreo	Etapas fenológicas	Unidades térmicas acumuladas
1	Crecimiento vegetativo (5 foliolos)	1430
2	Floración (50 % de plantas con flor)	3025
3	Amarre de fruto (caída de pétalos)	3085
4	Fin de cosecha (5ª semana de cosecha)	3745

3.3 Diseño de tratamientos

Se estudiaron tres niveles de fertilización aplicados en cuatro etapas fenológicas, lo que generó 12 tratamientos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Combinaciones de tres dosis de fertilización con cuatro etapas fenológicas.

Tratamientos	Fórmula de fertilización	Etapas fenológicas	Unidades térmicas acumuladas
1	440-198-264-22	Crecimiento vegetativo	1430
2	440-198-264-22	Floración	3025
3	440-198-264-22	Amarre de fruto	3085
4	440-198-264-22	Fin de cosecha	3745
5	400-180-240-20	Crecimiento vegetativo	1430
6	400-180-240-20	Floración	3025
7	400-180-240-20	Amarre de fruto	3085
8	400-180-240-20	Fin de cosecha	3745
9	360-162-216-18	Crecimiento vegetativo	1430
10	360-162-216-18	Floración	3025
11	360-162-216-18	Amarre de fruto	3085
12	360-162-216-18	Fin de cosecha	3745

3.4 Unidad y diseño experimental

La unidad experimental consistió en un surco de 5 m de longitud. Se empleó como parcela útil las 12 plantas centrales.

El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar. En el caso de los caracteres evaluados en las cuatro etapas fenológicas se consideró un arreglo en parcelas divididas con seis repeticiones (Steel y Torrie, 1960) donde parcela grande se asignó a dosis y parcela chica a etapas fenológicas.

3.5 Caracteres evaluados

Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Calcio foliares

Se determinó el contenido nutrimental foliar (%) de N, P, K y Ca de las muestras ya procesadas (limpias y secas). En el Cuadro 8 se especifica el método o equipo empleado para la determinación de nutrimentos en suelo y hojas de zarzamora 'Tupi'.

Cuadro 8. Métodos de análisis empleados en las muestras foliares y de suelo para determinación de nutrimentos.

Método	Equipo	Nutrimento
Digestión Kjeldhal	Destilador Kjeldhal	N foliar y en suelo
Colorimetría	Espectronic 20 (Chapman y Pratt, 1981).	P foliar
Método Bray	Espectronic 20 (Chapman y Pratt, 1981).	P en suelo
Flamometría	Flamómetro (Corning Modelo 410).	K foliar y en suelo
Espectrometría	Espectrofotómetro de absorción atómica. (Varian Modelo SpectrAA 220 Fast Sequential).	Ca foliar y en suelo

En cada unidad experimental se obtuvieron, de la parte intermedia de los brotes laterales centrales de primocañas y floricañas, 30 hojas completamente desarrolladas y sanas que habían madurado en fecha cercana a la realización del muestreo (Jones *et al.*, 1991). En cada una de las cuatro etapas fenológicas del cultivo se usó el método de muestreo simple aleatorio (Méndez, 1991),

En el laboratorio, las muestras se mantuvieron a 0° C. Se lavó las hojas con agua destilada. Las muestras fueron secadas en una estufa de convección a 80 °C, entre 24 y 48 h; después se molieron en un molino de acero inoxidable (Thomas Wiley Mill Modelo Ed-4; malla 20) para realizar el análisis nutrimental.

Rendimiento

El rendimiento se determinó al sumar el peso de los frutos con madurez comercial (color marrón a negro) cosechados cada tercer día ($t \cdot ha^{-1}$).

Peso medio de fruto

De los frutos cosechados, se registró el peso promedio (g) de 10 frutos al momento de cosecha con una balanza granataria (Ohaus).

Pérdida de peso de fruto

Se colectaron 50 frutos a madurez comercial y se registró su peso (g) al momento del corte; durante 7 días se mantuvieron en refrigeración (5° C) y nuevamente se registró el peso (g). El total de pérdida de peso (%) de tales

frutos se calculó:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos soluble totales (% Brix) se midió en 30 frutos en estado de madurez comercial, con un refractómetro marca Atago, Modelo Parcket y se registró el promedio.

Contenido nutrimental en planta completa al final de la cosecha

De cada subparcela se muestreó una planta completa en la etapa de fin de cosecha, y se realizó un análisis nutrimental de acuerdo a los métodos antes descritos (Cuadro 8) en cuatro órganos de la planta: raíz, tallo, hojas y frutos. Previamente, cada parte se sometió al mismo proceso de limpieza, desinfestación, secado y molido.

Peso seco por órgano

Al finalizar el periodo de cosecha, una planta completa de cada parcela experimental fue seccionada en raíz, tallo, hojas, raíces y frutos. Posteriormente fueron lavadas con agua destilada y secadas en una estufa con temperatura de 70° C durante un periodo de 48 a 72 hasta obtener peso constante. Se determinó, peso seco (g) de raíces, tallos, hojas y frutos.

Extracción de nutrimentos por órgano al final de la cosecha

La extracción total de nutrimentos por cada órgano ($\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) muestreado se estimó al multiplicar el contenido nutrimental por el peso seco (g) de cada órgano.

Extracción nutrimental total

Se realizó una sumatoria de la extracción nutrimental de cada órgano (raíz, tallo, hoja y fruto), para determinar el contenido total de nutrimentos extraídos por una planta completa ($\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$).

3.6 Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza como corresponde a un diseño de bloques completo al azar en parcelas divididas con seis repeticiones, para los caracteres evaluados en las cuatro etapas fenológicas, consideradas como las parcelas chicas.

En los caracteres rendimiento, peso seco, extracción por órgano, extracción planta completa, peso medio de fruto, pérdida de peso de fruto y sólidos solubles totales, se realizó el análisis de varianza según un diseño en bloques completos al azar con seis repeticiones en donde los tratamientos fueron las dosis de fertilización, al haber sido registrado dichas variables en una sola oportunidad.

Se utilizaron pruebas estadísticas para verificar los supuestos del análisis de varianza (Steel y Torrie, 1960). Sin embargo, no todas las variables cumplieron con estos supuestos a pesar de haberse realizado transformación de datos cuando fue necesario (Gomez y Gomez, 1984). Bajo el conocimiento que cuando la distribución se desvía ligeramente de la normal sólo se producen ligeras alteraciones en el nivel de significancia y poder de la prueba, y que la falta de homogeneidad de varianzas hace que la prueba F se afecte sólo ligeramente (Montgomery, 1991), fueron empleados los datos originales.

Cuando fue procedente se realizaron comparaciones de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). También se generó una matriz de correlaciones. En todos los análisis se empleó el paquete de análisis estadístico SAS, versión 9.0.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los análisis de varianza hubo significancia ($\alpha \leq 0.01$) en contenido de N, P y K tanto en dosis de fertilización como en etapas fenológicas (Cuadro 1A). La excepción fue en Ca, donde no se encontró diferencia de concentración de nutrimentos por etapas. De las interacciones Dosis x Etapa, sólo la de P fue significativa ($\alpha \leq 0.05$)

Al incrementar la dosis de fertilización, se incrementó la concentración de N, P, K y Ca en hojas (Cuadro 9). Esto concuerda con lo reportado por Archblod *et al.* (1988) y Spiers (1993a), ya que al haber más cantidad de nutrimentos en el suelo, provocado por la adición de fertilizante, la extracción de nutrimentos por la planta es mayor (Rempel *et al.*, 2004). Situación que se hace patente en el caso de las frutillas, entre ellas la zarzamora, dada su sensibilidad a la aplicación de fertilizante (Sudzuki, 1985); por la que las plantas acumulan mayor cantidad de nutrimentos en las hojas (Malik *et al.*, 1991; Mohadjer *et al.*, 2001; Rempel *et al.*, 2004).

Cuadro 9. Comparaciones de medias de concentración de nutrimentos en hojas de zarzamora 'Tupi' con tres dosis de fertilización.

Dosis	N ⁺⁺	P	K	Ca
(N- P ₂ O ₅ -K ₂ O- Ca ₂ O)	%			
1) 360-162-216-18	2.40 b ⁺	0.09 c	3.77 c	0.52 c
2) 400-180-240-20	2.60 b	0.10 b	4.35 b	0.65 b
3) 440-198-264-22	3.13 a	0.11 a	4.90 a	0.78 a
DMSH	0.42	0.006	0.15	0.07

⁺⁺ N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; ⁺ Cifras con letras iguales dentro de la misma columna no tienen diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Un factor que influye significativamente sobre la concentración de nutrimentos en las hojas, es la etapa fenológica en la que se encuentre el cultivo al momento de tomar la muestra (Clark *et al.*, 1988). Al respecto, en la presente investigación, fue en la etapa vegetativa (en la que se acumularon 1430 UT) donde el contenido de N foliar fue menor (1.45 %, $\alpha = 0.05$ Cuadro 10). Aunque el N es especialmente importante en la etapa vegetativa, al determinar en gran medida el tamaño y número de primocañas (Crandall y Daubeny, 1990); en el resto de las etapas consideradas, la concentración de N fue alta debido a la presencia de órganos de mayor demanda de nutrimentos, tales como flores y frutos (Marshner, 1995), lo que favoreció la absorción de N.

Cuadro 10. Comparaciones de medias de porcentaje de N, P, K y Ca en hojas de zarzamora 'Tupi' en cuatro etapas fenológicas del cultivo.

UT ⁺⁺	Etapa	%				
		N	P	K	Ca	
1430	Vegetativa	1.45 c ⁺	0.112 a b	4.10 b	0.68 a b	
3025	Floración	3.47 a	0.107 b	4.71 a	0.59 b	
3085	Amarre de fruto	3.35 a	0.116 a	4.57 a	0.70 a	
3745	Fin de cosecha	2.57 b	0.094 c	3.98 b	0.63 a b	
DMSH		0.33	0.006	0.29	0.10	

⁺⁺ UT: unidades térmicas; N: nitrógeno (%); P: fósforo (%); K: potasio; Ca: calcio (%); DMSH: diferencia mínima significativa honesta; ⁺Cifras con letras iguales dentro de la misma columna no tienen diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

En etapa vegetativa se tuvo el valor más bajo, posteriormente incrementó a valores máximos en floración y amarre de fruto para finalmente disminuir al final de la cosecha aunque fue mayor a la concentración en la etapa vegetativa (Figura 4).

La concentración de P y Ca tuvieron comportamiento estadísticamente similar ($\alpha=0.05$) en etapa vegetativa y floración con tendencia a disminuir, aunque no estadísticamente; más tarde en amarre de fruto se incrementó significativamente con la máxima concentración. Al finalizar el experimento, en final de cosecha el contenido disminuyó al mínimo observado.

En el caso de la concentración de K de un bajo nivel en la etapa vegetativa, se incrementó significativamente ($\alpha=0.05$) en las etapas de floración y amarre de fruto; posteriormente en final de cosecha disminuyó ($\alpha=0.05$).

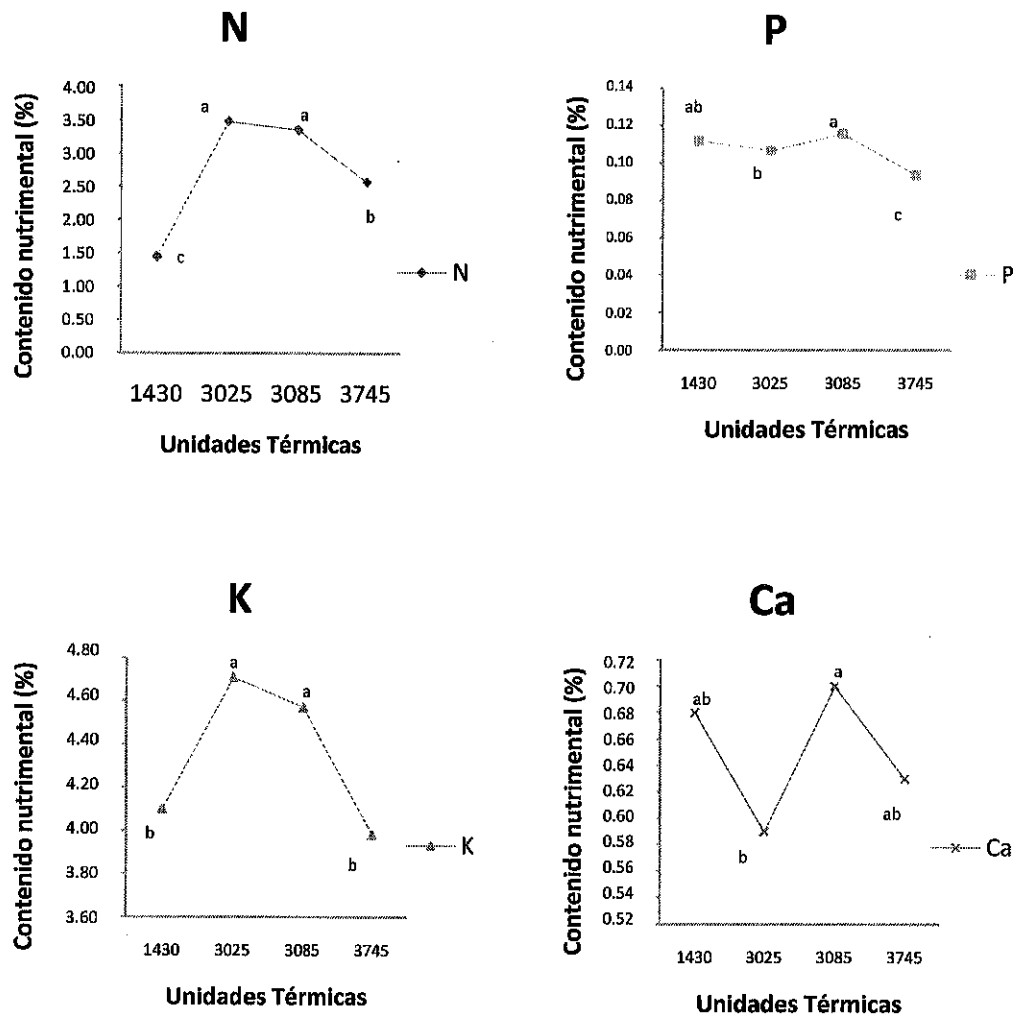


Figura. 4 Dinámica nutrimental (N, P, K y Ca) en hojas de zarzamora 'Tupi'

El análisis del suelo de la parcela experimental indicó un contenido de P bajo (10.27 %) (CSTPA, 1980). No obstante estas condiciones en el suelo y con base en los resultados de los análisis foliares realizado, no se observaron síntomas de deficiencias ni de toxicidad de este elemento en las plantas, situación concordante con el comportamiento generalmente observado en

zarzamora, donde la concentración de P no es afectada por los cambios en la cantidad o de la fuente de fertilizante empleado (Spiers, 1987).

Además al existir la posibilidad de presentarse interacciones antagónicas entre la aplicación de N y K sobre la concentración de P (Spiers, 1987), éstas pudieron haber influido en la baja absorción de P.

En todas las etapas fenológicas, el contenido de K en las hojas fue mayor que 3.0 %, valores considerados altos, (Jones *et al.*, 1991); resultados que contrastan con los de Nelson y Martin (1986) donde en plantas con frutos obtuvieron valores de 1.37 %. La respuesta de la zarzamora al aumento del fertilizante potásico, es incremento en el contenido de K en las hojas (Spiers, 1993a).

En las etapas de floración y amarre de fruto, las plantas de zarzamora 'Tupi' acumularon mayor contenido de N y K foliares (4.71 y 4.57 %). Estos porcentajes son considerados como altos si se comparan con los reportados en otras especies de *Rubus* y pueden explicarse con base en el análisis de suelo; el pH (6.02) en el cual se desarrolló el cultivo tuvo un valor cercano al óptimo (6.5), (Himelrick y Galleta, 1990).

La literatura recomienda dosis de fertilización con estos dos elementos muy inferiores (hasta 50 %) a las empleadas en la zona de estudio y a las evaluadas en el presente experimento. Sin embargo, éstas no pueden considerarse como

dosis excesivas al atender los altos valores obtenidos en los contenidos foliares, superiores a los estándares, debido a que en otros cultivares y en otras regiones productoras, donde emplean dosis de fertilizante más bajas, el rendimiento obtenido es 50 % más bajo que el estimado en el presente estudio (Cuadro 10, Nelson y Martin, 1986).

Las plantas no mostraron síntomas de deficiencias de Ca, en los tratamientos evaluados. En *Rubus ideaus* el contenido de Ca en las hojas se considera como bajo si es menor a 0.8 % (Jones *et al.*, 1991). Sin embargo, Nelson y Martin (1986), en zarzamora 'Thornless Evergreen', reportan valores de 0.56 a 0.65 % de Ca foliar en etapa productiva. Por estos resultados se puede determinar que no hubo deficiencia de Ca en las plantas de zarzamora 'Tupi' en las etapas estudiadas y que es durante la etapa vegetativa y la etapa de amarre de fruto en la que las plantas acumularon mayor cantidad de este elemento (Cuadro 11).

En la etapa de amarre de fruto, se presentó el mayor contenido de todos los nutrimentos evaluados en hoja (3.5 % N, 0.12 % P, 4.6 % K y 0.7 % Ca foliares, Cuadro 10). Esta respuesta se debe a que en general la cantidad de materia seca, y contenido nutrimental en las hojas y en la planta aumentan cuando hay frutos en la planta (Mohadjer *et al.*, 2001), ya que son un importante órgano de demanda.

Al incrementar la dosis de fertilización, se incrementó ($\alpha=0.05$) el rendimiento; sin embargo, dicha diferencia correspondió a menos de 1 %, a pesar que la diferencia de fertilización aplicada fue 20 % (Cuadro 11). Archbold *et al.* (1988) obtuvieron resultados similares cuando aumentaron la cantidad de N. Esto contrasta con la respuesta que han tenido algunas variedades de zarzamora, donde al aumentar la dosis de fertilizante, el rendimiento, peso de frutos, número de flores por caña y por inflorescencia, no aumentaron (Naraguma *et al.*, 1996); incluso después de varias temporadas de aplicar fertilizante, la concentración de N, P, K y Ca no son afectados por las dosis de fertilización (Naraguma y Clark, 1998).

Aunque uno de los principales objetivos de la fertilización es incrementar el rendimiento del cultivo y la calidad de los frutos, es importante considerar el punto de vista económico; es decir, si el aumento del rendimiento justifica la inversión en fertilizante.

De acuerdo con Pearkins-Veazle y Collins (2001), la planta absorbe los nutrimentos del suelo y los transporta, además de otros órganos, principalmente a los frutos, lo que puede aumentar el peso promedio de un fruto, además de la cantidad de sólidos solubles totales. Cuando se aplicó la dosis 440-198-264-22, el peso promedio de frutos tuvo un incremento menor de 2 g con respecto a la dosis de fertilización más baja (360-162-216-18). Aunque las dosis aplicadas en este experimento provocaron diferencias estadísticas en el peso promedio de

los frutos y esta característica, por el mercado de demanda que tiene la zarzamora, exige alta calidad y uno de los factores que se toma en cuenta es su peso (Sánchez, 2008), al igual que con el rendimiento, es importante considerar si el aumento en peso (menor a 2 g) que tuvieron los frutos de las plantas que recibieron la dosis 440-198-264-22 con respecto a los frutos de las plantas de la dosis 360-162-216-18 tiene justificación económica.

Cuadro 11. Comparaciones de medias de rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$) y variables evaluadas en frutos de zarzamora 'Tupi' con tres dosis de fertilización.

Dosis (N- P ₂ O ₅ -K ₂ O- Ca ₂ O)	REN ⁺⁺		PMF		PPF		SST	
			Fruto					
1) 360-162-216-18	15.61	c	11.31	c	0.56	c	11.05	c
2) 400-180-240-20	15.72	b	11.95	b	1.71	b	13.13	a
3) 440-198-264-22	15.85	a	12.82	a	1.95	a	12.25	b
DMSH	0.04		0.54		0.16		0.98	

⁺⁺ REN: rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$); PMF: peso medio de fruto (g); PPF: pérdida de peso en fruto (%); SST: sólidos solubles totales (%); DMSH: diferencia mínima significativa honesta; *Cifras con letras iguales dentro de la misma columna no tienen diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

La menor pérdida de peso en frutos en periodo poscosecha se obtuvo con la dosis de fertilización más baja (Cuadro 11). Aunque las diferencias en pérdida de peso generalmente se atribuyen al manejo que reciba el producto después de haber sido cosechado (Piña-Dumoulin *et al.*, 2001), la variedad, manejo

agronómico y de la localidad donde se produzcan, tiene efecto significativo (Wu WenLong *et al.*, 2007). En esta investigación la dosis de fertilización influyó en la pérdida de peso de los frutos, ya que los nutrimentos que fueron absorbidos y transportados hacia el fruto, retienen agua (Perkins-Veazle y Collins, 2001), los frutos con mayor contenido de sólidos solubles totales suelen contener mayor cantidad de agua que pierden rápidamente después de días de almacenamiento (Piña-Dumoulin *et al.*, 2001), lo que provoca mayor pérdida de peso, pero aumenta la acumulación de sólidos solubles totales.

En este experimento la mayor acumulación de sólidos solubles totales (SST) en los frutos se produjo con la dosis de fertilización intermedia (400-180-240-20) (Cuadro 11), con valores superiores a 13° Brix, lo cual contrasta con Andrade *et al.* (2008) que encontraron que la variedad 'Tupi' tuvo un contenido de SST de 6.2 %. En este estudio se obtuvieron valores mayores a 10 % en todos los tratamientos. La mayor concentración de SST no se obtuvo con la fertilización más baja, si no con la intermedia, probablemente debido al transporte de nutrimentos hacia el fruto que fueron absorbidos del suelo por la planta (Perkins-Veazle y Collins, 2001). Situación que contrastó con lo encontrado generalmente en zarzamora, donde al disminuir la cantidad de fertilizante aplicado a la plantación, se genera el aumento del contenido de sólidos solubles (Nelson y Martin, 1986).

4.1 Análisis nutrimental en planta completa al final de la cosecha

En el presente experimento, el análisis de varianza y comparaciones de medias de las variables contenido de N, P, K y Ca en los órganos de las plantas de zarzamora 'Tupi', mostraron que no hubo diferencias significativas de los efectos de dosis de fertilización sobre estas variables (Cuadros 2A y 5A). Sin embargo, la importancia de la condición nutrimental de la planta de zarzamora 'Tupi' al final de la primer cosecha es un factor elemental en la cosecha siguiente, ya que como mencionan Strik *et al.* (2007) algunos productores en México han modificado los sistemas de producción en zarzamora 'Tupi', de tal manera que aprovechan el ciclo bienal de las cañas para obtener de dos a tres cosechas en dos años, por lo tanto los nutrimentos serán importante fuente de abasto para el crecimiento de floricañas laterales fructificantes y frutos de la segunda cosecha (Mohadjer *et al.*, 2001).

La Figura 5 muestra que el N se acumuló en mayor proporción en las hojas y raíces, seguido de frutos y por último tallos. Al igual que lo encontrado en zarzamora 'Chester Thornless' en la que las hojas fueron el órgano en el cual se encontró mayor concentración de este elemento y fue en los tallos en los cuales se acumuló menor cantidad (Malik *et al.*, 1991).

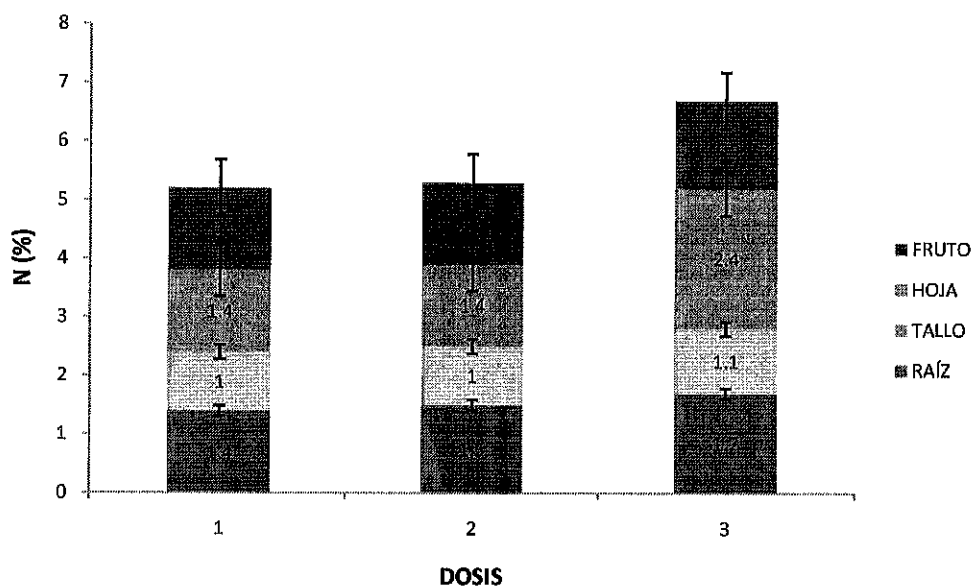


Figura. 5 Medias de contenido de N en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi'.

Esta acumulación de nutrimentos especialmente en hojas se debió a que al momento del muestreo las plantas de zarzamora 'Tupi' tenían frutos, que son la mayor fuente de demanda de nutrimentos (Perkins-Veazle y Collins, 2001) y las hojas la principal fuente abasto. La alta acumulación de nutrimentos también en raíz se debió, además de la presencia de frutos, a que durante esta etapa la planta comienza a emitir renuevos. En relación a esto, Mohadjer *et al.* (2001) mencionan que una vez que las plantas de zarzamora 'Kotata' comienzan a emitir nuevos brotes (al finalizar la cosecha), la raíz requiere nutrimentos para crecimiento temprano de primocañas y floricañas del siguiente año.

En el presente experimento, el K se acumuló principalmente en frutos y en hojas (Figura 6). La mayor acumulación de este elemento en dichos órganos, se puede explicar en concordancia con las funciones que el K tiene en las plantas, como apertura y cierre estomático, síntesis de proteínas y fotosíntesis (Epstein y Bloom, 2004), puesto que las hojas son órganos fotosintéticos y metabólicos en general más activos y donde se realiza la mayor parte de la transpiración, por lo que este elemento tuvo mayor demanda y acumulación. Asimismo, con alto contenido de K los almidones se mueven eficientemente de las zonas de formación a los órganos de almacenamiento, como el fruto (Epstein y Bloom, 2004), por lo que en este experimento los frutos fueron después de las hojas, el órgano que acumuló más K.

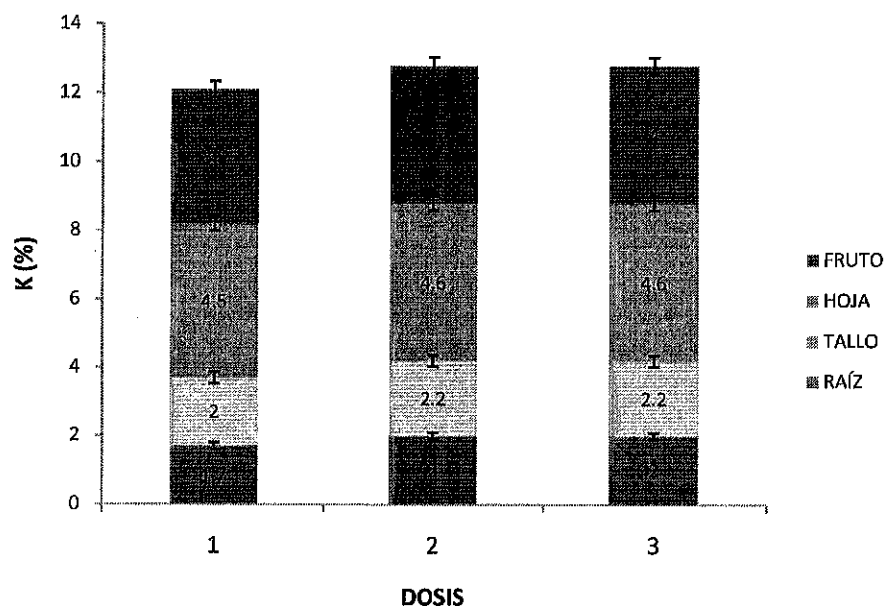


Figura 6. Medias de contenido de K en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi'.

El K fue el nutriente que se concentró en mayor proporción en todos los órganos muestreados, en los tres niveles de fertilización empleados. El mayor contenido de K se registró en hojas y frutos (4.6 y 4 %, respectivamente).

La concentración de P fue mayor en las raíces que en otros órganos (Figura 7). Es en la etapa de fin de cosecha cuando las plantas comienzan a perder hojas y brotes principales y a formar brotes del nuevo ciclo (Campos, 2009), por lo que es esencial que las raíces tengan buena acumulación de nutrientes, entre ellos el P que participa en diversos procesos metabólicos (Jones *et al.*, 1991).

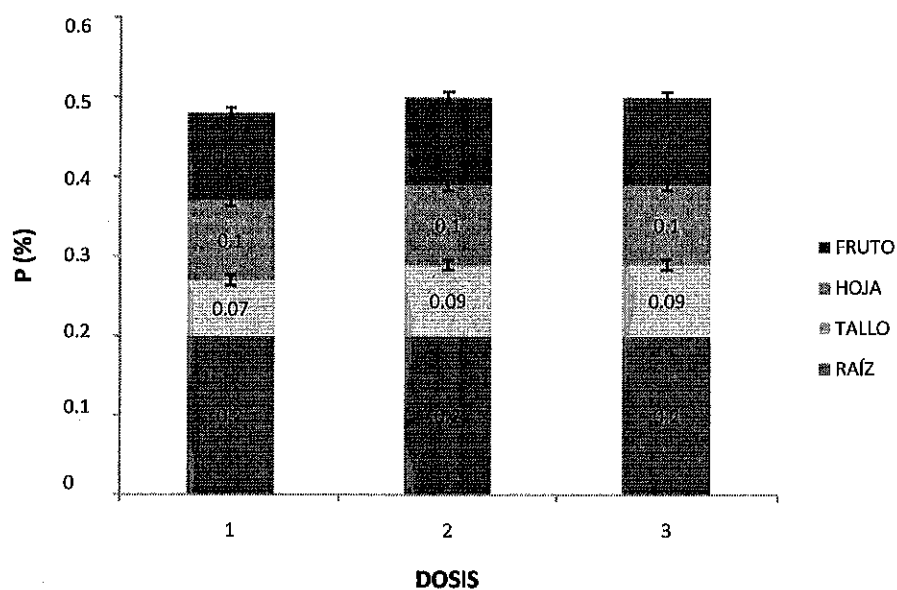


Figura 7. Medias de contenido de P en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi'.

Las hojas fueron los órganos que concentraron en mayor proporción al Ca (Figura 8). El porcentaje que acumularon las hojas durante esta etapa coincide con los datos generados por Jones *et al.* (1991) en *R. ideaus* en la etapa de inicio de floración. De acuerdo con Perkins-Veazle y Collins, 2001 los frutos demandan una parte importante de Ca, para su integridad estructural, las hojas y en general la planta absorbe nutrimentos y los transporta al fruto, lo que puede explicar que los valores de contenido de Ca en la etapa de inicio de floración y final de cosecha coincidan.

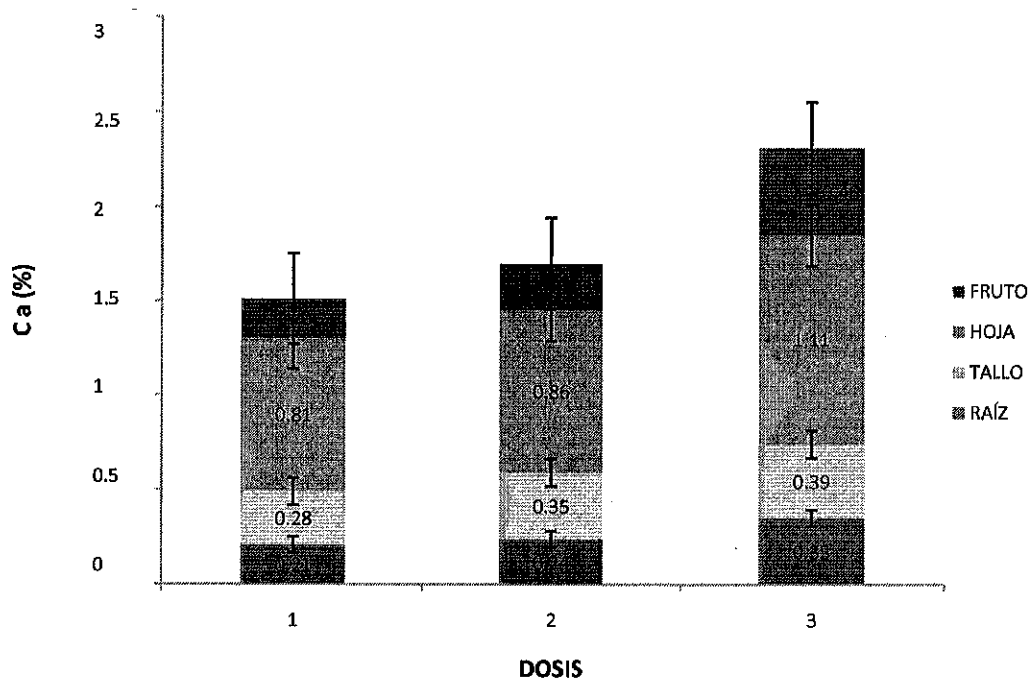


Figura 8. Medias de contenido de Ca en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi'.

En esta investigación, fue en el tallo en el que el contenido de los cuatro elementos evaluados en este estudio siempre fue menor en comparación con el resto de los órganos de la planta, puesto que principalmente es un órgano de transporte (Malik *et al.*, 1991). El Ca de hojas, tallos, frutos y raíces tuvo diferencias significativas en cuanto a dosis de fertilizante. En los tratamientos en los cuales se aplicó mayor cantidad de fertilizante, el Ca contenido en los órganos de las plantas de zarzamora 'Tupi' fue mayor. Este elemento se concentró principalmente en las hojas.

Los frutos, las raíces y las hojas son los órganos de las plantas de zarzamora en los que hay mayor concentración de elementos por lo que cuando están presentes en la planta la absorción y acumulación de nutrimentos en los órganos de la planta son mayores, por ser éstos los principales órganos de demanda de la planta (Malik *et al.*, 1991).

4.2 Peso seco en órganos de zarzamora 'Tupi'

En este experimento los tallos y la raíz de 'Tupi' tuvieron el mayor peso seco, con respecto a los demás órganos de la planta (más del 70 %) (Figura 9), en las tres dosis de fertilización (Cuadro 4A y 7A). Lo anterior concuerda con Malik *et al.* (1991) quienes mencionan que en zarzamora son estos dos órganos los que componen la mayoría de la biomasa. Al respecto, Moore y Skirvin (1990) explican que las plantas de zarzamora al final de la cosecha han desarrollado en su totalidad las primocañas, floricañas y laterales de floricañas (Moore y Skirvin, 1990), situación que provoca que dichos órganos conformen la mayor

parte del peso seco. Asimismo, las raíces contribuyen de manera importante a la biomasa, más aún en plantaciones viejas; Monasterio-Hueun (1995) menciona que aunque las raíces no profundizan mucho en el suelo, sí alcanzan longitudes de hasta 10 m).

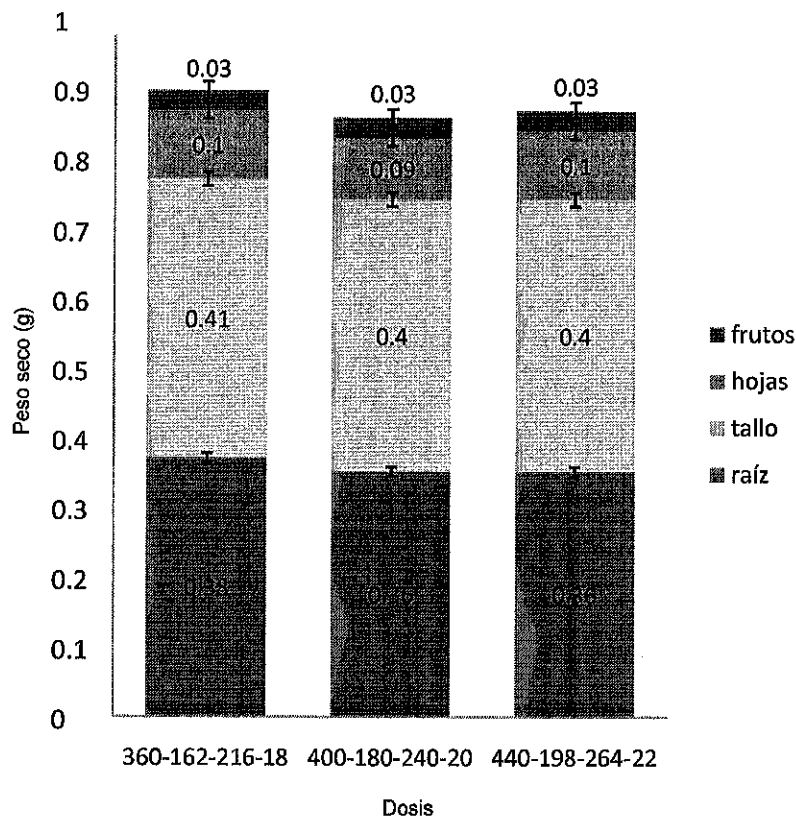


Figura 9. Peso seco de órganos de plantas de zarzamora 'Tupi' en la etapa fin de cosecha, bajo 3 dosis de fertilización.

4.3 Extracción de nutrientes por órgano de zarzamora 'Tupi' en la etapa fin de cosecha

Los órganos de las plantas de zarzamora que extraen más N, P, K y Ca son la raíz y los tallos (Figura 10). Tanto la raíz como los tallos conformaron la mayor parte de la biomasa (más del 70 %) de la planta de zarzamora y por lo tanto son

los órganos que extrajeron nutrientes en mayor proporción, al final de la cosecha. Estos datos contrastan con lo reportado por Malik *et al.* (1991) quienes mencionan que son los frutos los que extraen nutrientes en mayor cantidad en relación con el resto de los órganos de la planta; por lo cual es importante mencionar que la extracción que tienen los diferentes órganos de una planta varía de acuerdo con la etapa en la que se realice el muestreo dada la variación estacional de concentración de nutrientes en las plantas de zarzamora (Clark, 1988).

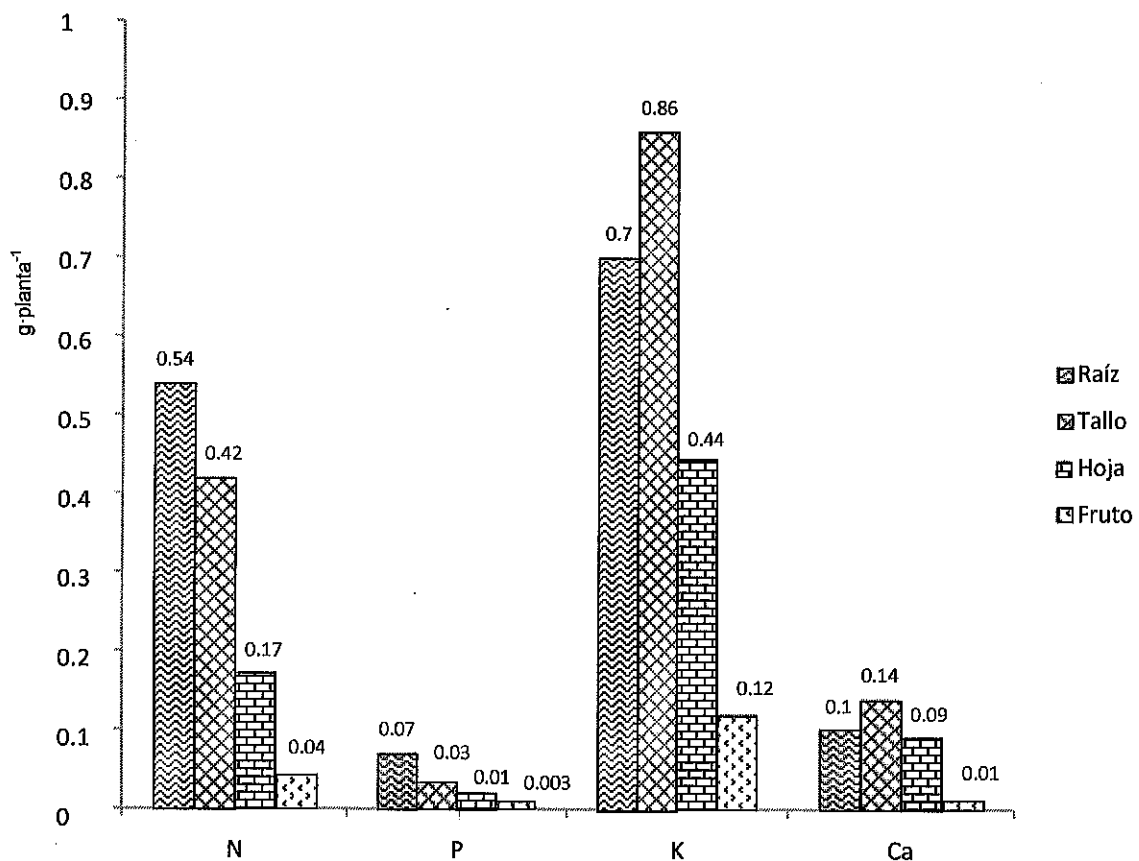


Figura 10. Extracción de N, P, K y Ca ($\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) de raíz, tallos, hojas y frutos de plantas de zarzamora 'Tupi' en la etapa fin de cosecha.

En este experimento, el análisis de la planta completa para determinar la extracción de los elementos por órgano se realizó al final de la cosecha; etapa en la cual la planta tiene ya muy pocos frutos y las hojas están senescentes (Mohadjer *et al.*, 2001). Además, en esta etapa las raíces comienzan a emitir brotes nuevos (para un nuevo ciclo) y requieren mayor cantidad de nutrimentos (Campos, 2009).

La raíz extrajo en mayor proporción K ($0.7 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$), N ($0.54 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$), Ca ($0.1 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$) y P ($0.07 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$). De igual manera los tallos extrajeron más K ($0.86 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$), N ($0.42 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$), Ca ($0.14 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$) y P ($0.03 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$) (Cuadro 3A y 6A). Marshner (1995) explica que el K en la raíz primordialmente ayuda a la extracción de nutrimentos (gradiente de presión osmótico) y en el tallo al transporte, además de las funciones de activador de enzimas para síntesis de proteínas, lo que puede explicar la mayor extracción de K que tuvieron las raíces y los tallos de plantas de zarzamora 'Tupi' en este experimento.

En la etapa de final de cosecha del presente experimento, la planta de zarzamora extrajo 1.17 kg de N, 0.11 kg de P_2O_5 , 2.12 kg de K_2O y 0.34 kg de CaO. De acuerdo con la densidad de plantas ($15.675 \text{ plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$), la extracción por hectárea de nutrimentos durante esta etapa fue de $18.339 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, $1.72 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$, $33.23 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $0.34 \text{ kg Ca}\cdot\text{ha}^{-1}$.

4.4 Extracción total de N, P, K y Ca

En la última semana de cosecha (5ª), las diferencias significativas de extracción de N, P, K y Ca, de una planta completa, por dosis aplicada se observaron en los elementos K y Ca (Cuadro 4A y 7A). La extracción de N por plantas con nivel de fertilización medio y alto fueron iguales (Figura.11).

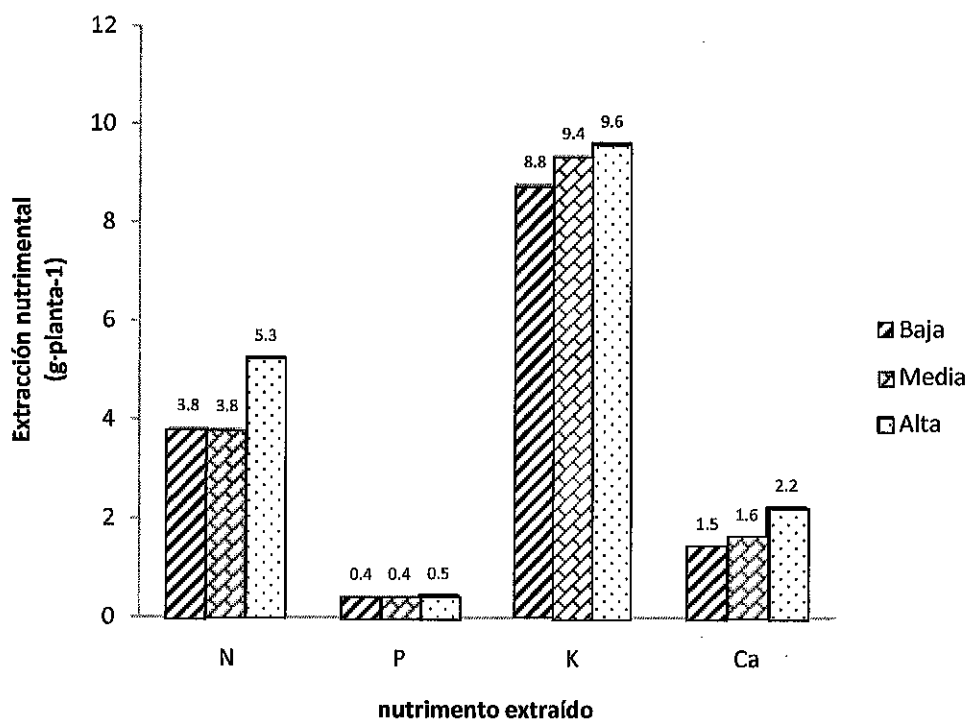


Figura 11. Extracción total de N, P, K y Ca de plantas de zarzamora 'Tupi', en tres dosis de fertilización.

4.5 Análisis de correlaciones

En esta investigación se encontró que las dosis de fertilizante aplicadas a las plantas de zarzamora 'Tupi' se correlacionaron positivamente con el contenido nutricional en las hojas, principalmente con Ca y K ($r = 0.73^{**}$ y 0.72^{**}) (Cuadro

12). Spiers (1993b) encontró que en *R. ideaus* el crecimiento de las plantas se correlacionó negativamente con la concentración foliar de Ca y K.

Cuadro 12. Coeficientes de correlación entre variables.

	N ⁺⁺	P	K	Ca	REN	PMF	SST	PPF
D	0.32**	0.54**	0.72**	0.73**	0.95**	0.48*	0.40**	0.93**
N		0.24*	0.52**	0.11	0.29*	0.31**	0.16	-0.24*
P			0.54**	0.44**	0.53**	0.53**	0.14	-0.46**
K				0.57**	0.67**	0.71**	0.23	-0.65**
Ca					0.67**	0.73**	0.28*	-0.65**
REN						0.95**	0.33**	0.83**
PMF							0.40**	0.90**
SST								-0.60**

⁺⁺N: contenido de nitrógeno; P: contenido de fósforo; K: contenido de potasio; Ca: contenido de calcio; REN: rendimiento; PMF: peso medio de frutos; SST: sólidos solubles totales; PPF: pérdida de peso en fruto; D: dosis aplicada; **: significativo con $\alpha \leq 0.01$; *: significativo con $\alpha \leq 0.05$

Las dosis de fertilización se correlacionaron positivamente con el rendimiento y pérdida de peso en frutos (Cuadro 12). No obstante Spiers (1993a) menciona que en zarzamora 'Shawnee' el aumento de la fertilización con Ca, incrementa linealmente la concentración de este elemento y de K en las hojas, pero se correlaciona negativamente con el crecimiento de las plantas (Spiers, 1993a).

En relación a la respuesta de las frutillas de acuerdo con el abasto o desabasto de fertilizante, De Moranville (1988) encontró que en arándano las concentraciones de P y K foliar declinan progresivamente cuando se suspende

la fertilización y la concentración de K en frutos es menor cuando no se fertiliza; aunque el rendimiento es igual en plantas a las que se les aplica fertilizante y a las que no.

Los contenidos de P, K y Ca foliares tuvieron correlación positiva con rendimiento ($r= 0.53^{**}$, 0.67^{**} y 0.67^{**} , respectivamente) y peso de fruto ($r=0.53^{**}$, 0.71^{**} y 0.73^{**}) y correlación negativa con la pérdida de peso en frutos ($r= -0.24$, -0.46 , -0.65 , -0.65) (Cuadro 12). El N correlacionó positivamente ($r= 0.29^{*}$) con rendimiento y con peso medio de frutos ($r=0.31^{**}$) y negativamente con pérdida de peso de frutos ($r= -0.24^{*}$). La deficiencia o exceso de cualquiera de estos elementos en las plantas de zarzamora pueden disminuir el rendimiento y la calidad de los frutos (Jones *et al.*, 1991). Aunque todos los elementos son importantes para el desarrollo y fructificación de las plantas de zarzamora 'Tupi', en este experimento, las mayores correlaciones sugieren que los elementos K y Ca tuvieron mayor influencia en el rendimiento y variables evaluadas en fruto (principalmente en peso medio de fruto).

El K actúa en diversos procesos metabólicos como activador de enzimas, transporte de carbohidratos, fosfatos, nitratos, Ca y Mg, del sitio de síntesis al sitio de demanda, en este caso fruto (Mashner, 1995). El Ca en los frutos tiene un papel fundamental principalmente en la integridad estructural y celular de las frutillas (Perkins-Veazle y Collins, 2001).

El tamaño de los frutos de zarzamora influye significativamente en el rendimiento; por lo que uno de los objetivos principales de una nutrición adecuada en zarzamora y en general de los cultivos es incrementar el tamaño de los frutos (Perkins-Veazle y Collins, 2001). El K puede aumentar el periodo de formado y llenado de frutos, para que éstos alcancen un mayor tamaño (Jones *et al.* 1991; Marshner, 1995).

Dosis muy altas de P inhiben la extracción de Ca por las plantas, las dosis altas de K inhiben la extracción de Ca y Mg por las plantas; asimismo las dosis altas de Ca incrementan la extracción de P y disminuyen la extracción de Mg y Mn (Spiers *et al.*, 1999). En el presente estudio, la concentración de P en las hojas de zarzamora 'Tupi' mostró una correlación positiva con N, Ca ($r= 0.24^*$ y 0.44^{**} , respectivamente) y con K ($r=0.54^{**}$). El Ca no tuvo correlación significativa ($\alpha \leq 0.05$) con N. Aunque se proporcionó una dosis alta de fertilizante nitrogenado a las plantas, no se detectaron síntomas visuales de excesos o deficiencias de ningún elemento.

Las correlaciones negativas que tuvo pérdida de peso en frutos con concentración de N, P, K y Ca ($r= -0.24^*$, -0.46^{**} , -0.65^{**} , -0.65^{**}) muestran la importancia que tienen estos macronutrientes en la calidad física del fruto, aún en la etapa de poscosecha, además que el K y el Ca son los elementos que influyen más en la calidad de fruto. Del mismo modo hubo correlación positiva altamente significativa del contenido de sólidos solubles totales con el rendimiento y con el peso medio de fruto ($r= 0.33^{**}$ y 0.40^{**} , respectivamente),

además de SST con Ca ($r= 0.28^*$). El Ca participa en la integridad de la membrana, resultando en mayor firmeza de frutos (Perkins-Veazle y Collins, 2001), lo cual puede significar mayor peso de frutos y por lo tanto mayor rendimiento. Al aumentar la concentración de Ca en las hojas aumentó también la concentración de K ($r= 0.57^{**}$). El K acelera el flujo de los productos asimilados hacia el fruto y por lo tanto el peso de los frutos (Marshner, 1995). Además, cuando los frutos tuvieron mayor cantidad de sólidos solubles totales, su pérdida de peso disminuyó; la pérdida de peso en frutos básicamente se debe a la pérdida de agua, al tener mayor cantidad de SST, hay menor cantidad de agua en los frutos y la pérdida de peso que tienen los frutos de zarzamora es menor (Archbold *et al.*, 1988). Los resultados sugieren que los elementos que tuvieron mayor correlación con el rendimiento fueron K y Ca ($r=0.67^{**}$ en ambos casos), asimismo con peso medio de fruto ($r=0.71^{**}$ y 0.73^{**}).

5 CONCLUSIONES

1. El contenido nutrimental de N, P, K y Ca en hojas de zarzamora 'Tupi' depende de la dosis de fertilización empleada y de la etapa fenológica en la que se encuentre el cultivo al momento del muestreo.
2. En las etapas de floración y amarre de fruto las hojas tienen mayor acumulación de los nutrimentos evaluados.
3. El aumento en la dosis de fertilización de las plantas de zarzamora incrementa el contenido de N, P, K y Ca en las hojas de la variedad 'Tupi', por ser el órgano de mayor demanda.
4. El K y el Ca son los principales elementos que tienen influencia en las variables relacionadas con calidad de fruto (Peso de fruto, Contenido de sólidos solubles totales) de zarzamora 'Tupi'.
5. Durante la etapa de fin de cosecha, la raíz y los tallos componen la mayor cantidad de la biomasa de las plantas y extraen mayor cantidad de nutrimentos (N, P, K y Ca).

6 LITERATURA CITADA

Alleyne, V. and J. R. Clark. 1997. Fruit composition of 'Arapaho' blackberry following nitrogen fertilization. HortScience 32 (22): 282-283.

Andrade E., E., J. Morales G., A. L. Ortiz C., M. V. Rodríguez G., A. Ronquillo V., A. C. Sánchez S., A. R. Rodríguez D., S. H. Guzmán M., M. R. Mendoza L. y D. Hernández L. 2008. Análisis de las Propiedades Fisicoquímicas de la Zarzamora en las Variedades Brazos, Cherokee y Tupi de la Zona Alta de Michoacán. *In: Memorias del X Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. II Symposium Internacional de Ciencias Químicas.* Gómez Palacio, Durango, México. 29-30 Mayo, 2008.

Anónimo. 1992. Interpretación de Análisis de Suelo, Foliar y Agua de Riego. Junta de Extremadura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 44.

Anónimo. 2006a. Crecen exportaciones de zarzamora a E. U. A. y U. E. Boletín Informativo Núm. 137/06. SAGARPA.

<http://www.sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2006/mayo/B137.pdf>. (Consultado 26-01-07).

Anónimo. 2006b. Registra México aumento en producción de zarzamora y frambuesa. Boletín informativo Núm. 020/05. SAGARPA.

<http://www.sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2006/enero/B020.pdf>. (Consultado 26-01-07).

Anónimo. 2007. Estadística agrícola básica, zarzamora, estado de Michoacán. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado 26-09-2008).

Anónimo. 2008. Estadística básica agrícola. Michoacán. Anuarios. http://www.oeidrus-portal.gob.mx/oeidrus_mic/ (Consultado 01-12-2008).

Archbold, D. D., J. G. Strang and D. M., Hines. 1988. Thornless blackberry vegetative growth, yield components, and foliar elemental content as influenced by nitrogen rate and organic mulch. HortScience 23 (3): 776.

Cadahía, C. 1998. Fertirrigación de Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Editorial Mundiprensa. Madrid. pp. 127-045.

Campos-Mota, L., G. A. Baca-Castillo, D. Jaen-Contreras, A. Muratalla-Lua y R. Acosta-Hernandez. 2004. Fertirrigation and mycorrhiza in red raspberry cultured on tepetate. Agrociencia 38 (1): 75-83.

Campos R., E. 2009. Fenología de Frutales. En prensa fitotecnia Depto. de Patronato Universitario. Chapingo, México.

Casillas M., S. 2007. Los Reyes, líder mundial en producción de zarzamora. *Cambio de Michoacán*. Sección: Municipios. Viernes, Mayo 11, 2007. <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/vernota.php?id=61940> (Consultado 26-09-2008).

Casillas M., S. 2008. Cae producción de zarzamora. Valle de Los Reyes. Municipios. *Cambio de Michoacán*. Municipios. Miércoles 16 de abril de 2008. <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/imprime.php?id=79110> (Consultado 01-01-2009)

Castellanos J, Z., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelo y Agua. 2ª Ed. pp. 9-14.

Chapman, H. D. y P. F. Pratt. 1981. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas. Edit. Trillas. México. 195p.

Clark, J. R., J. Blair Buckley III and E. W. Hellman. 1988. Season variation in elemental concentration of blackberry leaves. *HortScience* 23 (6): 1080.

Crandall, P. C. and H. A. Daubeney. 1990. Raspberry Management. *In*: Small Fruit Crop Management. Prentice Hall. New Jersey, U. S. A. pp. 157-213.

CSTPA. 1980. Handbook on References Methods for Soil Testing. Revised Edition. Council of Soil Testing and Plant Analysis. Athens, Ga. USA.

De Moranville, C. J. 1988. Effects of NPK fertilizers on cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) productivity and tissue elements. HortScience 23 (3): 775

Douglas C., M. 2001. Design and Análisis of Experiments. 5th Edition. Jhon Wiley & sons Inc. USA. pp. 102-105, 427-510.

Epstein, E. and A. J. Bloom. 2004. Mineral Nutrition of Plants. Principles and Perspectivas. 2nd. Edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. USA. 207-210.

Finn, C., C. Rosen and J. Luby. 1988. Nitrogen source and solution pH effects on root anatomy of 'Searles' cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) HortScience 23 (3): 775.

Gomez, K. and A. Gomez 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd Ed. John Wiley & sons, Inc. pp. 304-311.

Himelrick, D. G. and G. J. Galleta. 1990. Factors that influence small fruits production. *In*: Small Fruit Crop Management. Prentice Hall. New Jersey, U. S. A. pp. 14-82.

Himelrick, D. G. and W. A. Dozier. 1994. Effect of nitrate concentration on hydroponically grown primocane-fruting red raspberries. *Journal of Plant Nutrition*. 17 (1): 185-198.

Hudská, G. and L. Kloutvorová,. 1983. Verification of microelement levels in leaves of fruit species without deficiency or excess symptoms. *Sborník ÚVTIZ, Zahradnictví* 10 (2): 135-146.

Jones, Jr., B. J. Wolf and A. H. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens. Georgia. USA. pp. 164.

Lipe, J. A. and L. W. Martin. 1984. Culture and management ok blackberries in the United States. *HortScience* 19 (2): 190-193.

Malik, H., D. D Archbold and C. T. Mackown. 1991. Nitrogen partitioning by 'Chester Thornless' blackberry in pot culture. *HortScience* 26 (12): 1492-1494.

Marshner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second Edition. Academic Press Inc. San Diego, CA. 285-297.

Méndez R., I. 1991. *El Protocolo de Investigación: lineamientos para su elaboración y análisis*. 2ª Ed. Trillas. México. 210 p.

Mohadjer, P., B. C. Strik, B. J. Zebarth and T. L. Righetti. 2001. Nitrogen uptake, partitioning and remobilization in 'Kotata' blackberry in alternate-year production. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76 (6): 700-708.

Monasterio-Hueun, E. 1995. Biología de reproducción en *Rubus* L. (*Rosaceae*). Propagación vegetativa. *Anales Jard. Bot. Madrid* 52 (2): 145-149.

Moore, J. N. 1984. Blackberry Breeding. *HortScience* 19 (2):183-185.

Moore, J. N., Skirvin, R. M. 1990. Blackberry management. *In*: Small fruit crop management. Prentice Hall. New Jersey, U. S. A. pp. 214-244.

Moore, J. N. and J. R. Clark. 1996. 'Kiowa' Blackberry. *HortScience* 31 (2): 286-288.

Montgomery, D. C. 1991. Design and Analysis of Experiments. 5th Ed. John Wiley & Sons, Inc. Arizona, USA. pp. 76-86.

Muratalla L., A., M. Livera M., F. Chavez S., J. Rodriguez A., J. Lopez A., A. Salazar G., J. López M., R. Nateras U. y L. Arévalo G. 1994. El cultivo de la zarzamora. *In*: Frutales Nativos e Introducidos con Demanda Nacional e Internacional. Memoria del XXXV Aniversario del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Primera reunión Internacional y segunda reunión Nacional. Montecillo, México. pp. 179-185.

Naraguma, J., J. R. Clark and P. Watson. 1996. Response of 'Arapaho' thornless blackberry to nitrogen fertilization: second year results. Research Series - Arkansas Agricultural Experiment Station 450 (1): 34-36.

Naraguma, J. and J. R. Clark. 1998. Effect of nitrogen fertilization on 'Arapaho' thornless blackberry. Communications in Soil Science and Plant Analysis 29 (17-18): 2775-2783.

Nelson, E. and L. W. Martin. 1986. The relationship of soil-applied N y K to yield and quality of 'Thornless Evergreen' blackberry. HortScience 21 (5): 1153, 1154.

Perkins-Veazle, P. and J. K. Collins. 1996. Cultivar and Maturity Affect Postharvest Quality of Fruit from Erect Blackberries. HortScience 31 (2): 258-260.

Perkins-Veazle, P. and J. K. Collins. 2001. Contributions of nonvolatile phytochemicals to nutrition and flavor. Horttechnology 11 (4): 539-546.

Pilbeam, D. and P. Morley. 2007. Calcium. *In*: Handbook of Plant Nutrition. Eds. Barker, A., Pilbeam, D. Florida, USA. pp. 121-144.

Piña-Dumoulin, G., V. C. Saucedo V, V. Ayala E. y A. Muratalla L. 2001. Atmósferas controladas para combatir daños postcosecha en Zarzamora (*Rubus* sp.). Rev. Fac. Agron. (LUZ), 18: 87-105.

Rempel, H. G., B. C. Strik and T. L. Righetti. 2004. Uptake, partitioning, and storage of fertilizer nitrogen in red raspberry as affected by rate and timing of application. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129 (3): 439-448.

Retamales, J. B. and E. J. Hanson. 1988. Fate of ^{15}N - labeled urea applied to mature highbush blueberries. *HortScience* 23 (3): 776.

Sánchez R., G. 2008. La Red de Valor de la Zarzamora. Fundación PRODUCE Michoacán. Morelia, Michoacán, México. pp. 70-72.

Smith, P. F. 1961. Mineral analysis of plant tissues. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 13: 81-108.

Spiers, J. M. 1987. Effects of K, Ca, and Mg levels and N sources on growth and leaf element content of 'Cheyenne' blackberry. *HortScience* 22 (4): 576-577.

Spiers, J. M. 1993a. Potassium and sodium fertilization affects leaf nutrient content and growth of Shawnee' blackberries. *Journal of plant nutrition* 16 (2): 297-303.

Spiers, J. M. 1993b. Nitrogen, calcium, and magnesium fertilization affects growth and leaf elemental content of dormanred raspberry. *Journal of Plant Nutrition* 16 (12): 2333-2339.

Spiers, J. M., J. H. Braswell and C. L. Gup-ton. 1999. Influence of P, K, Ca, and Mg rates on leaf elemental concentration and plant growth of 'dormanred' raspberry. International society horticultural science. Acta Horticulturae 1 (505): 337-341.

Stafne, E., J. Clark and C. Rom. 1999. *Rubus* Plant Growth and Development as Influenced by Two High Summer Heat Environments. HortScience 34 (3): 499-500.

Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1960. Principles and Procedures of Statistics. Mc Graw hill-book Co. Ink. N. Y., U. S. A. pp. 242-252.

Strik, B. C., J. R. Clark, C. E. Finn, M. P. Banados. 2007 Worldwide blackberry production. Horttechnology 17 (2): 205-213.

Sudzuki H., F. 1985. Cultivo de Frutales Menores. Editorial Universitaria. 2^a Ed. Santiago de Chile. pp. 26, 53, 67.

Thompson, E., B. Strik, J. Clark and C. Finn. 2007. Flowering and fruting patterns of primocane-fruting blackberries. HortScience 42 (5): 1174-1176.

Webb, C. J., W. R. Sykes and P. J. Garnock-Jones. 1988. Naturalised Pteridophytes, Gymnosperms, Dicotyledons: Flora of New Zealand, Vol. IV. DSIR, Botany Division, Christchurch. pp. 45.

Westwood, M. N. 1982. Fruticultura de Zonas Templadas. Edición española. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Wojcik P. 2005. Response of primocane-fruiting 'Polana' red raspberry to boron fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 28 (10):1821-1832.

Wu WenLong, Li WeiLin, LüLianFei, Wang XiaoMin. 2007. Comparison of nutrient constituents in fresh fruit of different cultivars of blackberry. *Journal of Plant Resources and Environment* 16 (1): 58-61.

Yamasaki, A., T. Yano and H. Sasaki. 2003. Out-of-season production of strawberry: effects of a short-day treatment in summer. *Acta Horticulturae* 626: 277-280.

APÉNDICE

Cuadro 1A. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística para porcentaje de N, P, K y Ca en hoja de zarzamora 'Tupi' en cuatro etapas fenológicas y tres dosis de fertilización.

FV ⁺⁺	GL	N	P	K	Ca
%					
Repetición	5	0.25	0.00004	0.26	0.004
Dosis	2	3.47**	0.00177**	7.65**	0.467**
Error a	10	0.29	0.00006	0.038	0.008
Etapas	3	15.53**	0.00160**	2.28**	0.039
Dosis x Etapas	6	0.26	0.00022**	0.10	0.007
Error b	45	0.14	0.00003	5.09	0.015
Total	71				
CV (%)		13.54	5.42	7.74	18.96

⁺⁺FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; CV: Coeficiente de variación; **: altamente significativo ($\alpha \leq 0.01$);*: significativo ($\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 3A. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística de variables evaluadas en zarzamora 'Tupí' bajo tres dosis de fertilización.

FV	GL	Extracción por órgano															
		N				P				K				Ca			
		R	T	H	F	R	T	H	F	R	T	H	F	R	T	H	F
Rep	5	0.001	0.002	0.001	0.0001	0.0	0.0000	0.000	0.0	0.013	0.004	0.005	0.0021	0.000	0.000	0.000	0.00
Dosis	2	0.011*	0.003	0.026***	0.0000	0.0	0.0001*	0.001	0.0	0.011	0.004	0.005	0.0002	0.004**	0.003**	0.002*	0.00**
Error	10	0.002	0.002	0.000	0.0001	0.0	0.0000	0.000	0.0	0.004	0.012	0.002	0.0005	0.000	0.000	0.000	0.00
Total	17																
CV		8.36	9.76	13.35	22.87	7.52	14.86	17.07	2.01	9.90	12.62	9.20	17.57	3.70	6.04	24.00	14.49

**FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; R: raíz; T: tallo; H: hoja; F: fruto; Rep: repetición; CV: coeficiente de variación; *: altamente significativo ($\alpha \leq 0.01$); *: significativo ($\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 4A. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística de variables evaluadas en zarzamora 'Tupi' bajo tres dosis de fertilización.

FV**	GL	PS				Extracción Total				REN	PMF	PPF	SST
		R	T	H	F	N	P	K	Ca				
Rep	5	0.0002	0.0002	0.002	0.0001	0.18	0.001	0.23	0.02	0.001	0.17	0.00	2.12
Dosis	2	0.0008	0.0001	0.002	0.0000	4.05**	0.000	1.08**	0.99**	0.085**	0.38	3.29**	6.56**
Error	10	0.0004	0.0001	0.000	0.0000	0.07	0.001	0.11	0.01	0.000	0.17	0.01	0.39
Total	17												
CV		5.63	2.84	10.35	18.89	6.28	7.17	3.54	6.02	0.17	3.52	7.34	5.13

**FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; PS: peso seco; REN: rendimiento; PMF: peso medio de frutos; PPF: pérdida de peso en frutos; SST: sólidos solubles totales; R: raíz; T: tallo; H: hoja; F: fruto; N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Rep: repetición; CV: coeficiente de variación **: altamente significativo ($\alpha \leq 0.01$); *: significativo ($\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 5A. Comparaciones de medias de contenido de N, P, K y Ca en diferentes órganos de zarzamora "tupi" bajo tres dosis de fertilización.

Dosis	N ⁺				P				K				Ca			
	%															
	R				F				T				H			
	T	H	F	R	T	H	F	R	T	H	F	R	T	H	F	
Baja (360-162-216-18)	1.4 b ⁺	1.0 a	1.4 b	1.4 a	1.20 a	0.07 b	0.10 a	0.11 a	b	2.0 a	4.5 a	3.9 a	0.28 c	0.81 b	0.21 c	
Media (400-180-240-20)	1.5 b	1.0 a	1.4 b	1.4 a	0.20 a	0.09 a	0.10 a	0.11 a	2.0 a	2.2 a	4.6 a	4.0 a	0.35 b	0.86 b	0.25 b	
Alta (440-198-264-22)	1.7 a	1.1 a	2.4 a	1.5 a	0.20 a	0.09 a	0.10 a	0.11 a	2.0 a	2.2 a	4.6 a	4.0 a	0.39 a	1.11 a	0.46 a	
DMSH	0.18	0.18	0.13	0.19	0.02	0.02	0.03	0.02	0.18	0.42	0.23	0.35	0.02	0.03	0.18	0.02

**N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; R: raíz; T: tallo; H: hoja; F: fruto; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; *Cifras con letras iguales dentro de la misma columna no tienen diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 6A. Comparaciones de medias de extracción de N, P, K y Ca en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi' bajo tres dosis de fertilización.

Dosis	Extracción (kg/planta ⁻¹)															
	N**				P				K				Ca			
	R	T	H	F	R	T	H	F	R	T	H	F	R	T	H	F
Baja (360-162-216-18)	0.53 b	0.41 a	0.13 b	0.05 a	0.072 a	0.029 a	0.009 a	0.004 a	0.65 a	0.84 a	0.41 a	0.13 a	0.08 c	0.12 c	0.07 b	0.007 b
Media (400-180-240-20)	0.54 a b	0.41 a	0.13 b	0.05 a	0.072 a	0.036 a	0.009 a	0.004 a	0.72 a	0.88 a	0.42 a	0.14 a	0.09 b	0.14 b	0.08 b	0.009 b
Alta (440-198-264-22)	0.61 a	0.44 a	0.24 a	0.05 a	0.076 a	0.037 a	0.011 a	0.004 a	0.72 a	0.89 a	0.46 a	0.14 a	0.13 a	0.16 a	0.11 a	0.020 a
DMSH	0.07	0.06	0.03	0.02	0.009	0.008	0.003	0.0012	0.11	0.14	0.06	0.04	0.005	0.01	0.03	0.0024

**N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; R: raíz; T: tallo; H: hoja; F: fruto; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; *Cifras con letras iguales dentro de la misma columna no tienen diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 7A. Comparaciones de medias de peso seco y extracción total de N, P, K y Ca en diferentes órganos de zarzamora 'Tupi' bajo tres dosis de fertilización.

Dosis	Peso Seco			Extracción Total								
	(kg)			(kg·planta ⁻¹)								
	R**	T	H	F	N	P	K	Ca	REN	PMF	PPF	SST
(N- P ₂ O ₅ -K ₂ O- Ca ₂ O)												
Baja (360-162-216-18)	0.036 a	0.41 a	0.09 a	0.033 a	0.82 b	0.44 a	8.8 b	1.46 c	15.01 c	11.31 c	0.56 c	11.05 b
Media (400-180-240-20)	0.036 a	0.41 a	0.09 a	0.035 a	3.84 b	0.44 a	9.4 a	1.65 b	15.72 b	11.95 b	1.71 b	13.33 a
Alta (440-198-264-22)	0.038 a	0.41 a	0.10 a	0.035 a	5.25 a	0.46 a	9.6 a	2.24 a	15.85 a	12.82 a	1.95 a	12.25 a b
DMSH	0.03	0.02	0.02	0.01	0.43	0.05	0.52	0.17	0.04	0.54	0.16	0.98

** R: raíz; T: tallo; H: hoja; F: fruto; N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; REN: rendimiento; PMF: peso medio de frutos; PPF: pérdida de peso en frutos; SST: sólidos solubles totales DMSH: diferencia mínima significativa honesta; *Cifras con letras iguales dentro de la misma columna no tienen diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).