

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO
"Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre"

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA

**RESPUESTA DE LA FRAMBUESA ROJA (*Rubus idaeus* L.)
'AUTUMN BLISS' A LA APLICACIÓN DE
FERTILIZANTES QUÍMICOS Y ABONOS ORGÁNICOS**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA

ANTONIO MORALES MAZA



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

Chapingo, Estado de México. Febrero de 2004.



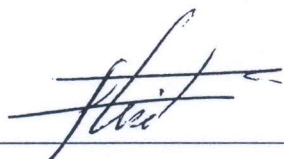
Instituto de Horticultura

**RESPUESTA DE LA FRAMBUESA ROJA (*Rubus idaeus* L.) 'AUTUMN
BLISS' A LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES QUÍMICOS Y
ABONOS ORGÁNICOS**

Tesis realizada por **ANTONIO MORALES MAZA** bajo la dirección del Comité
Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptado como requisito parcial para obtener
el grado de:

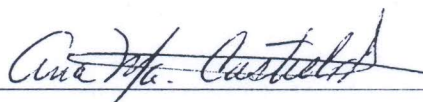
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: _____



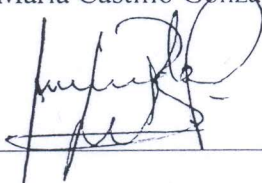
Dr. Edilberto Avitia García

ASESOR: _____



Dra. Ana Maria Castillo González

ASESOR: _____



M.C. Joel Pineda Pineda

ASESOR: _____



Dr. Tarsicio Corona Torres

A G R A D E C I M I E N T O S

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico proporcionado durante los dos años de mis estudios de Postgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y al Departamento de Fitotecnia a través de la Coordinación Departamental de Postgrado en Horticultura por todas las facilidades prestadas durante mis estudios de Postgrado.

A la Dra. Ana Maria Castillo González y al Dr. Edilberto Avitia García por la dirección, sugerencias y aportaciones realizadas al trabajo de investigación.

Al M.C. Joel Pineda Pineda y al Dr. Tarsicio Corona Torres por la revisión del escrito, sugerencias y aportaciones realizadas al trabajo de investigación.

A mis maestros por sus aportaciones en mi formación profesional y el constante empeño para que logre ser un excelente profesional.

DEDICATORIA

A DIOS por permitirme alcanzar una meta más de mi vida, por ser el guía de mi camino.

A mis padres: Hilaria Maza Espinoza y Esteban Morales Morales, a ellos con mucho cariño y respeto. Porque de ellos he aprendido que con humildad, trabajo, esfuerzo y dedicación se construye un mejor futuro.

A mis hermanos: Celso, Guillermo, Florencio, Julio, Amado, Leticia, Bertha, Alma Rosa y José Antonio por darme su apoyo incondicional, confianza y amistad, porque juntos hemos disfrutado de tristezas y porque siempre reine la armonía en nuestra familia. Agradezco y comparto esta meta con todos ellos.

A mis compañeros y amigos de la Maestría en Horticultura de la generación 2002-2003, a todos y cada uno de ellos.

A mis amigos: Juan Carlos, Ivan, Lidia, Paco, Alma Delia, Sergio, Juan José, Diana, Carlos, Oscar, Pablo y a todos aquellos que aunque no los mencione me han brindado su amistad.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor de la presente tesis el **C. ANTONIO MORALES MAZA**, es originario de El Coyote, Tierra Blanca, Veracruz. Nació el 13 de junio de 1976. Realizó estudios de Educación Media Superior en el Telebachillerato 440 en Rodríguez Tejeda, cursó una carrera técnica como Programador Analista en el Centro de Estudios Computacionales del Golfo S. A de C. V. (CEDEC); posteriormente ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México donde concluyó la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia durante 1996 al 2000.

Profesionalmente ha trabajado en elaboración y evaluación de proyectos en AGROSER 2000 en Jalapa, Veracruz, participó como encargado del mantenimiento en áreas verdes del CLUB MEDITERRANEEÉ (*CLUB MED*) en Cancún, Quintana Roo, además como promotor en ventas de productos orgánicos y asesoría técnica en la Promotora de Desarrollos Agrícolas S. A. De C. V. (*PRODESA*) en Acapulco, Guerrero, así también realizó una estancia en Iowa State University in the United States of America en el área de Fitopatología.

RESPUESTA DE LA FRAMBUESA ROJA (*Rubus idaeus* L.) 'AUTUMN BLISS' A LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES QUÍMICOS Y ABONOS ORGÁNICOS

THE REACTION OF 'AUTUMN BLISS' RED RASPBERRY (*Rubus idaeus* L.) TO CHEMICAL AND ORGANIC FERTILIZERS

Antonio Morales-Maza¹, Edilberto Avitia-García²

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento de variables morfológicas, fisiológicas y de rendimiento de frutos de la frambuesa roja 'Autumn Bliss' a los abonos orgánicos Healthy Start (102 g), Composta Nocon (137.4 g), Raizet 20G (1.72 g), Humicrop 100 (1.37 g) solos y combinados con la fórmula química de urea (8.96 g), superfosfato simple (44.45 g) y sulfato de potasio (5.49 g) (fórmula 240N-120P-160K) en contenedores de 30 x 34 cm y en campo con abonos orgánicos Healthy Start (341 g) y Composta Nocon (3 636.3 g) solos y combinados con la fórmula química de urea (79.03 g), superfosfato simple (303.03 g) y sulfato de potasio (145.45 g) (fórmula 120N-60P-80K) en parcelas de 1.5 m². Los resultados en contenedores y campo indicaron que la frambuesa respondió mejor a la combinación de fertilizantes químicos con abonos orgánicos que por separado. En contenedores la fórmula química (240N-120P-160K) combinada con Humicrop 100 respondió más favorablemente a las variables peso seco (1.74 g por planta) y área foliar (111.75 cm² por planta), y la fórmula química con Raizet 20G en el

ABSTRACT

The morphological, physiological and yield variable reactions of "Autumn Bliss" red raspberry were evaluated both in containers and in the field. The fertilizers used in the 30 x 34 cm containers were: Healthy Start organic fertilizer (102 g), Nocon compost (137.4 g), Raizet 20G (1.72 g), Humicrop 100 (1.37 g), both alone and combined with the urea chemical formula (8.96 g), simple superphosphate (44.45 g) and potassium phosphate (5.49 g) (formula 240N-120P-160K). The fertilizers used in the field in 1.5 m² plots were: Healthy Start organic fertilizer (341 g) and Nocon compost (3 636.3 g), both alone and combined with the urea chemical formula (79.03 g), simple superphosphate (303.03 g) and potassium sulphate (145.45 g) (formula 120N-60P-80K). The results in the containers and in the field indicated that the raspberry plants responded better to the combination of chemical fertilizers with organic fertilizers than to chemical and organic fertilizers used separately. In the containers the chemical formula (240N-120P-160K) with Humicrop 100 had better results in dry weight (1.74 g per plant) and leaf area (111.75 cm² per plant), and the chemical

-1

¹ Tesista. Posgrado en Horticultura. UACH

² Director de tesis. Profesor Investigador. Posgrado en Horticultura. UACH.

contenido de clorofila a (1.65 mg g^{-1} de materia fresca), b (0.95 mg g^{-1} de materia fresca) y total (2.61 mg g^{-1} de materia fresca), así como en el número (0.51) y peso (1.42 g) de frutos por caña; sin embargo, en campo el mejor fue la fórmula química (120N-60P-80K) con Healthy Start en área foliar (111.76 cm^2), peso seco (1.44 g), diámetro (1.15 cm) y altura (80.05 cm) de caña, así como en el contenido de clorofila a (1.52 mg g^{-1} de materia fresca), b (0.84 mg g^{-1} de materia fresca) y total (2.36 mg g^{-1} de materia fresca), además del número (3.34) y peso (6.99 g) de frutos por caña. Las combinaciones de fertilizantes químicos con orgánicos en ambos experimentos presentaron concentraciones nutrimentales promedios de N (2.69 %), P (0.38 %), Ca (1.07 %), Mg (0.66 %), B (71.71 mg kg^{-1}), Mn ($177.65 \text{ mg kg}^{-1}$), Cu (8.40 mg kg^{-1}) y Zn (33.82 mg kg^{-1}) considerados dentro de las categorías de normalidad, excepto para K y Fe. Con valores de deficiencia (0.55 a 1.08 %) y excesos (74.96 a $544.90 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, aunque visualmente éstos no ocasionaron síntomas de deficiencia o toxicidad. En contenedores y campo fueron altamente correlacionadas positivamente el contenido de clorofila a y b con la clorofila total (0.94 a 0.99), así como el peso seco y área foliar con el peso específico (0.39 a 0.65) y el número de frutos por caña con el peso de frutos por caña (0.97 a 0.98).

PALABRAS-CLAVE: Crecimiento vegetativo, clorofila, producción y contenido nutrimental foliar.

formula with Raizet 20G in chlorophyll “a” content (1.65 mg g^{-1} of fresh matter), chlorophyll “b” (0.95 mg g^{-1} of fresh matter) and total chlorophyll (2.61 mg g^{-1} of fresh matter) as well as in the number of fruit per cane (0.51) and weight per cane (1.42 g); nevertheless, in the field, the best chemical formula was (120N-60P-80K) with Healthy Start in leaf area (111.76 cm^2), dry weight (1.44 g) diameter (1.15 cm) and cane height (80.05 cm), as well as in chlorophyll “a” content (1.52 mg g^{-1} of fresh matter), chlorophyll “b” (0.84 mg g^{-1} of fresh matter) and total chlorophyll (2.36 mg g^{-1} of fresh matter), besides the cane per fruit (3.34) and weight per cane (6.66 g). The combination of chemical fertilizers with organic fertilizer in both experiments presented average nutriment concentrations of N (2.69 %), P (0.38 %), Ca (1.07 %), Mg (0.66 %), B (71.71 mg kg^{-1}), Mn ($177.65 \text{ mg kg}^{-1}$), Cu (8.40 mg kg^{-1}) and Zn (33.82 mg kg^{-1}) which are within the categories of normality, except for K and Fe, with deficiency values (0.55 to 1.08 %) and excesses (74.96 to $544.90 \text{ mg kg}^{-1}$), respectively, although visually these did not cause deficiency and toxicity symptoms. In containers and in the field the chlorophyll “a” and “b” content was highly and positively correlated with total “a” chlorophyll (0.94 to 0.99), as well as the dry weight and leaf area with the specific weight (0.39 to 0.56) and the number of fruit per cane with the weight of fruit per cane (0.97 to 0.98).

KEY WORDS: Vegetative growth, Chlorophyll, production and leaf nutriment content.

ÍNDICE

RESUMEN Y ABSTRACT.....	Pág. i
ÍNDICE.....	iii
LISTA DE CUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE CUADROS DEL ANEXO.....	ix
 I. INTRODUCCIÓN.....	 1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Importancia de la frambuesa roja.....	4
2.1.1. Situación mundial.....	5
2.1.2. Situación nacional.....	5
2.1.3. Potencial de la especie en México.....	6
2.1.4. Problemática.....	7
2.2. Descripción del género <i>Rubus</i>	8
2.2.1. Características de las frambuesas.....	9
2.2.2. Variedades.....	11
2.3. Agricultura convencional.....	12
2.3.1. Importancia económica.....	13
2.3.2. Importancia ecológica.....	13
2.3.3. Importancia social.....	14
2.3.4. Ventajas.....	15
2.3.5. Desventajas.....	15
2.4. Agricultura orgánica.....	16
2.4.1. Importancia económica.....	17
2.4.2. Importancia ecológica.....	18
2.4.3. Importancia social.....	18
2.4.4. Ventajas de la producción orgánica.....	19
2.4.5. Desventajas de la producción orgánica.....	20
2.4.6. La materia orgánica en el suelo.....	21
2.4.7. Abonos orgánicos.....	25
2.5.- Importancia de los nutrimentos.....	26
5.1.1. Nitrógeno.....	26
2.5.2. Fósforo.....	28
2.5.3. Potasio.....	30
2.5.4. Calcio.....	31
2.5.5. Magnesio.....	32

	Pág.
2.5.6. Boro.....	33
2.5.7. Hierro.....	34
2.5.8. Manganeseo.....	37
2.5.9. Cobre.....	38
2.5.10. Zinc.....	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
3.1. Ubicación del experimento.....	41
3.2. Clima.....	41
3.3. Suelo.....	41
3.4. Material vegetal utilizado.....	42
3.5. Descripción de tratamientos.....	43
3.5.1. Fertilización en contenedores.....	43
3.5.2. Fertilización en campo.....	45
3.6. Antecedentes del terreno.....	47
3.7. Variables evaluadas y registro de datos.....	47
3.8. Determinación de nutrimentos.....	50
3.9. Diseño experimental.....	51
3.10. Modelo estadístico.....	51
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1. Experimento en contenedores.....	52
4.1.1. Área foliar, peso seco y específico de hojas.....	52
4.1.2. Diámetro, altura y número de nudos por caña.....	55
4.1.3. Clorofilas a, b y total.....	57
4.1.4. Número y peso de frutos por caña.....	58
4.2. Experimento en campo.....	60
4.2.1. Área foliar, peso seco y específico de hojas.....	60
4.2.2. Diámetro, altura y número de nudos por caña.....	63
4.2.3. Clorofilas a, b y total.....	65
4.2.4. Número y peso de frutos por caña.....	66
4.3. Concentración nutrimental de las cañas en contenedores.....	68
4.3.1. Macronutrimentos.....	68
4.3.2. Micronutrimentos.....	77
4.4. Concentración nutrimental de las cañas en campo.....	82
4.4.1. Macronutrimentos.....	82
4.4.2. Micronutrimentos.....	88
4.5. Correlaciones entre variables medidas en frambuesa roja.....	92
4.5.1. Efecto en contenedores.....	92
4.5.2. Efecto en campo.....	95

V. CONCLUSIONES.....	Pág. 97
VI. LITERATURA CITADA.....	99
VII. ANEXOS.....	110

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Tratamientos con fertilización química, orgánica y sus combinaciones aplicados en frambuesa roja 'Autumn Bliss', cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.....	44
Cuadro 2. Tratamientos con fertilización química, orgánica y sus combinaciones aplicados en frambuesa roja 'Autumn Bliss', cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.....	46
Cuadro 3. Efecto de fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el peso seco de hojas (PS), área foliar (AF) y peso específico (PE) por caña en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.....	53
Cuadro 4. Efecto de fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el diámetro de caña (DC), altura de caña (ALC) y número de nudos (NNU) por caña en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.....	56
Cuadro 5. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el contenido de clorofila a (CA), clorofila b (CB) y clorofila total (CTOT) por caña en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.....	58
Cuadro 6. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el número de frutos por caña (NFC) y peso de frutos por caña (PFC) en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.....	59
Cuadro 7. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el peso seco de hojas (PS), área foliar (AF) y peso específico (PE) por caña en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.....	61

Cuadro 8. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el diámetro de caña (DC), altura de caña (ALC) y número de nudos (NNU) por caña en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.....	64
Cuadro 9. Efecto de fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el contenido de clorofila a (CA), clorofila b (CB) y clorofila total (CTOT) por caña en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.....	66
Cuadro 10. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el número de frutos por caña (NFC) y peso de frutos por caña (PFC) en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.....	67
Cuadro 11. Coeficiente de correlación entre algunas variables para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivadas en contenedores con aplicación de abonos orgánicos, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.....	94
Cuadro 12. Coeficiente de correlación entre algunas variables para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivadas en campo con aplicación de abonos orgánicos, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.....	96

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Concentración (%) de macronutrientes en el follaje de frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivadas en contenedores con aplicación de abono orgánico, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.....	76
Figura 2. Concentración (mg kg^{-1}) de micronutrientes en el follaje de frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivadas en contenedores con aplicación de abono orgánico, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.....	81
Figura 3. Concentración (%) de macronutrientes en el follaje de frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo con aplicación de abono orgánico, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.....	87
Figura 4. Concentración (mg kg^{-1}) de micronutrientes en el follaje de frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivadas en campo con aplicación de abono orgánico, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.....	91

LISTA DE CUADROS DEL ANEXO

	Pág.
Anexo 1A. Análisis de varianza para peso seco (PS), área foliar (AF) y peso específico (PE) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.....	111
Anexo 2A. Análisis de varianza para diámetro de caña (DC), altura de caña (ALC) y número de nudos (NNU) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.....	111
Anexo 3A. Análisis de varianza para el contenido de clorofila a (CA), clorofila b (CB) y clorofila total (CTOT) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.....	112
Anexo 4A. Análisis de varianza para número de frutos por caña (NFC) y peso de frutos por caña (PFC) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.....	112
Anexo 5A. Análisis de varianza para peso seco (PS), área foliar (AF) y peso específico (PE) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.....	113
Anexo 6A. Análisis de varianza para diámetro de caña (DC), altura de caña (ALC) y número de nudos (NNU) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.....	113
Anexo 7A. Análisis de varianza para el contenido de clorofila a (CA), clorofila b (CB) y clorofila total (CTOT) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.....	114

	Pág.
Anexo 8A. Análisis de varianza para número de frutos por caña (NFC) y peso de frutos por caña (PFC) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.....	114
Anexo 9A. Análisis de suelo (campo) antes de aplicar los tratamientos. Campo Agrícola Experimental "San Martín". Chapingo, Estado de México.....	115
Anexo 10A. Niveles nutrimentales foliares en frambuesa roja (<i>Rubus idaeus</i> L.) en base a peso seco (%) para macronutrientes y miligramo por kilogramo (mg kg ⁻¹) de materia seca para micronutrientes ^{1,2}	116
Anexo 11A. Contenido nutrimental de los productos orgánicos utilizados.....	117
Anexo 12A. Análisis foliar en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores con fertilización orgánica, química y combinaciones en Chapingo, Estado de México.....	118
Anexo 13A. Análisis foliar en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo con fertilización orgánica, química y combinaciones en Chapingo, Estado de México.....	118

I. INTRODUCCION

La frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) es una frutilla de gran importancia en muchos países de Europa y América. En México a pesar de que no es un cultivo de reciente introducción, forma parte de reducidas áreas de producción, pero con muy altas perspectivas para incrementar su consumo en fresco, congelada e industrializada tanto para mercado nacional como para exportación (Rodríguez y Avitia, 1984); sin embargo, la poca implementación de este cultivo en regiones con amplio potencial para su desarrollo y comercialización, responde a factores diversos dentro de los cuales, en los últimos años, destaca la demanda de productos orgánicos por parte del consumidor, quienes prefieren a aquellos productos que durante su proceso de producción emplean bajas cantidades de insumos de síntesis química.

En el interés de generar sistemas modernos de producción eficientes, se desarrolló la agricultura latinoamericana convencional que fue derivada de la llamada revolución verde, considerada como un logro tecnológico especialmente en el incremento de la productividad, pero a un costo ecológico extremadamente alto que la han hecho objeto de severas críticas por quienes señalan que la revolución verde ha creado más problemas que los que ha resuelto (Henao, 2002). Es así, como las perspectivas actuales de producción y consumo de alimentos exigen nuevas técnicas, en las cuales se aproveche de manera racional a los recursos naturales y se disminuya al mínimo los daños al ambiente. En las últimas décadas se han planteado diversas investigaciones relacionadas con la agricultura orgánica, la cual plantea disminuir los daños a los sistemas agrícolas

con el uso de fertilizantes orgánicos que mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para el mantenimiento de la productividad de los suelos de cultivo (Labrador, 2001).

Las sales minerales son las suministradoras de los elementos nutritivos que las plantas requieren para el desarrollo de su ciclo vital (Navarro y Navarro, 2000); sin embargo, la materia orgánica aún utilizada en algunos sistemas agrícolas tradicionales, aunque por si sola no sea suficiente para satisfacer toda la demanda nutrimental, ha reportado diversos beneficios (Labrador, 2001), siendo mayores cuando se combinan con productos orgánicos, con lo cual resulta en mejores rendimientos y calidad de las cosechas (Giusquiani *et al.*, 1995; Li *et al.*, 2000).

OBJETIVOS:

- Evaluar la respuesta en rendimiento de fruto, variables morfológicas y fisiológicas de la frambuesa roja 'Autumn Bliss' a las aplicaciones de abonos orgánicos, fertilizantes químicos y la combinación de éstos.
- Correlacionar el contenido nutrimental foliar de la frambuesa roja con las aplicaciones de abonos orgánicos y fertilizantes químicos.

HIPÓTESIS

- La extracción de nutrimentos de la planta de frambuesa roja y en consecuencia su crecimiento y desarrollo, varían en función de la dosis de fertilización química y orgánica.
- La mejor respuesta en rendimiento de fruto, variables morfológicas y fisiológicas de la frambuesa roja se obtiene con la combinación de la fertilización química y con la fertilización orgánica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la frambuesa roja

La frambuesa roja es la segunda fruta congelada más comercializada en el mundo, antecedida solo por la fresa (FAO, 2000). Se cultiva extensamente en algunos países de Europa y Norteamérica y en menor grado en Australia y Nueva Zelanda. En México su cultivo y aprovechamiento es casi desconocido porque se pensaba que las condiciones climáticas no eran muy adecuadas; sin embargo, en 1974 se introdujeron algunos materiales de Europa y Estados Unidos de América al área de Chapingo, México, demostrando la buena adaptación de algunas de ellas a dicha región. Los avances de muchas investigaciones muestran amplias perspectivas para este cultivo; no obstante, debido a lo reciente de su introducción al país, se tiene poca información sobre sus necesidades nutrimentales bajo diferentes condiciones de suelo y formas de suministrar los nutrimentos (Rodríguez y Avitia, 1984).

Debido a su gran rapidez para entrar en producción (un año o menos en las variedades productoras de otoño y dos en las variedades de verano), permite evaluar su potencial y capacidad de recuperar la inversión en corto tiempo, sin incurrir en una gran inversión inicial (Rodríguez y Avitia, 1984).

2.1.1. Situación mundial

Los principales productores a nivel mundial son la ex Unión Soviética y los países de Europa Oriental, específicamente Yugoslavia (16 %), Polonia (13 %) y Alemania (9 %) (FAO, 2000; Muñoz y Juárez, 1997), donde se estima que alrededor del 30 % de la producción mundial se destina al comercio internacional (120 mil toneladas), del cual un 75 % corresponde a fruta congelada. En el mercado Europeo la frambuesa involucra transacciones de más de 18 millones de dólares por producto para consumo en fresco y 96 millones de dólares por productos congelados, correspondientes a volúmenes que se encuentran entre las 13 y 60 mil toneladas, respectivamente (FAO, 2000; Muñoz y Juárez, 1997).

2.1.2. Situación nacional

Según el VII Censo Agropecuario publicado en 1991, existía un total de 138.9 hectáreas plantadas con frambuesa y zarzamora a nivel nacional, correspondiendo la mayor proporción (64.6 %) de la superficie para zarzamora. En el caso de la frambuesa existían en diez estados, donde se pueden mencionar a los estados de Morelos, México y Chihuahua; representaron el 87.4 % de la superficie y el 88.3 % de la producción total (Muñoz y Juárez, 1997); sin embargo, sólo representan el 0.01 % de la superficie total dedicada a frutales caducifolios y el 0.002 % de la superficie frutícola nacional (SAGAR, 2000).

La producción de frambuesa de 1993 a 1997 continuó en aumento gracias a los programas de gobierno que promovieron el establecimiento de nuevas plantaciones en Veracruz, Michoacán y Estado de México (SAGAR, 1993-1997), que para 1995 mostró un ligero incremento (55 ha), y en 1999 se obtuvo un crecimiento medio anual del 45.9 % (SAGAR, 2000).

La participación de México, tanto en frambuesa como en zarzamora es marginal, ubicándose en los últimos lugares entre los principales países productores. Hasta 1993 México exportó un total de 188 toneladas de frambuesa y zarzamora, que correspondieron aproximadamente el 64 % (121 toneladas) como congelada y el 36 % (67 toneladas) en fresco. De 1993 a 1995 las exportaciones mexicanas de frambuesa y zarzamora en fresco crecieron en 415, 82 y 92 %, respectivamente; mientras que entre 1988 a 1990 el incremento promedio en la producción mundial fue de 9 % anual, aumentando de 322 mil a 384 mil toneladas (Muñoz y Juárez, 1997). Sin embargo, con esta producción México es un competidor potencial para algunos países del hemisferio sur por compartir ventajas estacionales; tales como Nueva Zelanda, Chile, Guatemala y Colombia, los cuales abastecen la demanda al mercado estadounidense (FAO, 2000; Muñoz y Juárez, 1997).

2.1.3. Potencial de la especie en México

El éxito del cultivo de las frutillas en México se debe a las condiciones naturales y a la calidad de los suelos, que permiten una excelente adaptación a varias regiones de nuestro país; por lo que se puede llegar a obtener fruta de máxima calidad, en grandes

volúmenes. Otra ventaja la constituye el hecho de que casi el 50 % de las exportaciones se realizan en la época (octubre-enero) en que estos productos alcanzan los precios más elevados, debido a la escasez de oferta. Así también, un aspecto importante es el marcado dinamismo en el establecimiento de nuevas plantaciones lo cual permite mayor participación en el comercio exterior, donde los productos congelados representan aproximadamente el 64 % de los envíos al exterior, aunque la exportación en fresco permita obtener los precios más atractivos, que en algunos casos llegan a ser superiores hasta en un 300 % con respecto a los congelados (Muñoz y Juárez, 1997).

Además, las frutillas han despertado interés por su elevada rentabilidad, rápido retorno de la inversión, uso intensivo de mano de obra, versatilidad de los frutos para su consumo y grandes posibilidades de exportación (Muñoz y Juárez, 1997).

2.1.4. Problemática

A pesar de las condiciones que ofrece nuestro país para la producción, no se tiene una cultura de consumo de frutillas, por lo que es necesaria su exportación. Así también, otro factor que ha limitado el incremento de las exportaciones lo constituye la nula organización de los pequeños productores para reunir volúmenes comerciales que justifiquen la exportación y permitirle mejor manejo de su reducida vida poscosecha. Estos cultivos recibieron apoyo inicial de dependencias gubernamentales pasando por alto las fuertes sumas de capital que se requieren para asegurar un adecuado manejo del cultivo y la necesidad de ofrecer a los consumidores productos orgánicos y de mayor calidad (Muñoz y Juárez, 1997).

2.2. Descripción del género *Rubus*

Las zarzamoras y frambuesas pertenecen a un grupo de frutales menores o frutillas, cuya producción aún es insipiente en nuestro país, pero potencialmente importante con los géneros: *Fragaria*, *Rubus*, *Ribes* y *Vaccinium*. Las frambuesas y zarzamoras se clasifican dentro del género *Rubus*, que posiblemente superan a las 500 especies distribuidas en todo el mundo. Entre las especies cultivadas por la calidad de sus frutos se encuentran *R. idaeus* y *R. occidentalis* (Muñoz y Juárez, 1997). Las plantas del género *Rubus* que son llamadas en inglés “brambles” y en castellano “zarzas”; están compuestas por un tallo principal (caña) y ramificaciones laterales; que pueden ser con espinas o sin espinas. Las zarzas incluyen a las frambuesas, las zarzamoras y los híbridos de ambas. Las especies silvestres pueden ser encontradas en la mayoría de los lugares, excepto en los trópicos (Crandall, 1995; Pritts y Handley, 1989).

Janick and Moore (1975) reportan 415 especies de frambuesas e híbridos, 94 de frambuesas negras y 193 de zarzamoras. Crandall (1995) divide a las frambuesas en 11 subgéneros, dos de los cuales incluyen a las zarzas, clasificando a las frambuesas en el subgénero *Idaeobatus*, con *R. idaeus* y *R. occidentalis*, que al cruzarse forman la llamada *R. neglectus*; mientras que las zarzamoras se clasificaron en el subgénero *Eubatus*, que incluye a los tipos erectos, siempre verdes, trepadores del este, sureste y oeste. Están ampliamente distribuidas en muy variados habitats, todas son plantas perennes, algunas son de porte muy bajo y otras pueden formar arbustos leñosos o trepar (Ourecky, 1975; Pritts y Handley, 1989).

2.2.1. Características de las frambuesas

La mayoría de las especies cultivadas de frambuesa fueron domesticadas a partir de las especies silvestres *R. idaeus* L., conocidas como frambuesas rojas en Europa, Asia y Norteamérica; y *R. occidentalis* L., conocidas como frambuesas negras en el este de Norteamérica (Pritts y Handley, 1989). A través de los siglos las frambuesas han sido valoradas y seleccionadas por su contenido de vitaminas y extraordinario sabor, además por tener diferentes usos y poder consumirse frescas, secas y enlatadas (Crandall, 1995). En las frambuesas existe una gran diversidad de colores de frutos, entre los que destacan los rojos, amarillos, negros, púrpuras y colores intermedios de cada uno de estos.

Frambuesas rojas. Pertenecen a la especie *idaeus*, se supone que fueron nombradas así por ser originarias de la región del Monte Ida y difundidas en forma silvestre en toda Europa y Asia menor. En la actualidad la mayoría de los cultivares son procedentes de cruza entre *R. idaeus* var. *strigosus* (Michx.) y *R. idaeus* var. *vulgatus* (Arrhen). Así también, en los últimos años se han realizado cruzamientos con *R. occidentalis* L. (frambuesa negra), para incorporar cierta resistencia a *Amphorophora idaei* conocida como la pudrición de los frutos (Crandall y Daubeney, 1990; Crandall, 1995).

Frambuesas negras y púrpuras. Las frambuesas negras (*R. occidentalis* L.) están ampliamente distribuidas en Norteamérica. Las frambuesas púrpuras se derivan de cruzamientos entre las frambuesas negras y las rojas, consideradas como la primera generación de híbridos. Sin embargo, algunos autores las colocan dentro de *R. neglectus* (Crandall, 1995). Con frecuencia presentan tallos vigorosos y de aspecto arqueado con

ramas laterales, con excelente calidad de frutos en tamaño y poscosecha (Crandall y Daubeney, 1990; Pritts y Handley, 1989).

Frambuesas amarillas (doradas o ámbar). Estas pueden derivarse de mutaciones recesivas de frambuesas rojas o negras. Frecuentemente los frutos son poco dulces y blandos, adecuados para el mercado local y con potencial para jardinería como ornamental (Pritts y Handley, 1989).

El sistema de raíces es perenne muy denso y de crecimiento bienal, puede ser muy desarrollado preferentemente en la parte superficial del suelo (25 a 45 cm), pero a veces puede profundizar más en suelos de texturas ligeras o suaves (Paglietta, 1986; Crandall y Daubeney, 1990). Las raíces tienen yemas vegetativas que potencialmente pueden formar tallos, que desarrollen sus propias raíces y al final una planta completa (Crandall, 1995). Los retoños denominados “cañas” que serán los fructificantes, son clasificados como los que fructifican una sola vez llamados cultivares “uníferos”; siendo los más numerosos y cultivados; y los denominados como cultivares “reflorecientes” o “remontantes” o “productoras de otoño” que dan dos cosechas, donde la primera es a finales del verano en la porción apical de los retoños formados en ese mismo período vegetativo y una segunda a principios del siguiente verano (Paglietta, 1986; Crandall y Daubeney, 1990; Crandall, 1995). En la mayoría de los cultivares los tallos están provistos de numerosas espinas pequeñas y más o menos rígidas según el cultivar. Sin embargo, existen variedades glabras, de corteza completamente lisa, pero en algunos casos los tallos jóvenes están recubiertos por una densa vellosidad y no presentan espinas en la parte apical (Paglietta, 1986). Las hojas son compuestas de bordes aserrados, provistas de un

pecíolo largo y pueden tener de 3 a 5 folíolos (generalmente 5). El color de las hojas es verde intenso en el haz y gris plateado en el envés, donde el limbo está surcado por nervaduras protuberantes que forman una superficie más o menos rugosa. En las axilas de las hojas se desarrollan los racimos florales (Crandall, 1995; Paglietta, 1986).

Según Crandall (1995), las flores tienen una corola compuesta por cinco sépalos, con un pétalo blanco por cada sépalo, caducos y poco vistosos, provistos de un grueso cáliz de color verdoso en forma de estrella que permanece soldado al receptáculo floral, con numerosos estambres y pistilos, donde a partir del ovario de cada pistilo fecundado se origina una pequeña drupa o drupéolas, que reunidas en un receptáculo y agregadas entre sí, formarán una polidrupa (fruto agregado resultado de una flor con múltiples pistilos). Cada drupéola contiene una pequeña semilla reniforme, de consistencia leñosa y de color amarillento (Pritts y Handley, 1989; Paglietta, 1986).

2.2.2. Variedades

Las variedades de frambuesa se dividen en dos tipos, de acuerdo a la época de producción (Rodríguez y Avitia, 1984; PROFRUTA, 1995).

Tipos de otoño. Son variedades que producen fruta en la parte superior del tallo durante el primer año de julio a noviembre y luego se puede obtener una segunda producción en las yemas axilares subapicales de mayo a junio del año siguiente, en aquellos brotes que han crecido durante la primera producción.

Tipos de verano. Son variedades de hábito bienal que producen tallos vegetativos durante el primer año de crecimiento, seguido por la fructificación de estos tallos durante el segundo año. La caña fructificante muere después de haber terminado su producción y para entonces la caña vegetativa ya ha crecido para estar en condiciones de producir al año siguiente.

2.3. Agricultura convencional

Después de la Segunda Guerra Mundial, en México se desarrolló un movimiento en la agricultura conocido como la “Revolución Verde”; también llamado agricultura convencional o industrializada, construida bajo las dos grandes bases que incluía maximizar la producción y las ganancias. Su desarrollo se llevó a cabo con seis grandes prácticas fundamentales relacionadas con laboreo intensivo, monocultivo, irrigación, aplicación de productos inorgánicos, control químico de plagas y el mejoramiento genético del maíz y trigo; ayudando a incentivar el cimiento de la agricultura moderna en México. Además, se caracterizó por la aplicación de innovaciones agrícolas, conocimientos específicos y la preparación de profesionales con una visión de análisis sobre la situación económica agrícola del país. Es así, como la agricultura extensiva en los años 1960 y 1970 no consideró las consecuencias a largo plazo y el dinamismo ecológico de los agroecosistemas; por lo que al suelo sólo se le consideró como un soporte mecánico de las plantas y no como un sistema biológico que tiene y genera vida (Palm *et al.*, 1997; Ruíz, 1999; Gliessman, 2000).

Para García *et al.* (2000) y Guzmán *et al.* (2000) la agricultura industrializada es una forma artificial de la naturaleza, principalmente de las sociedades del primer mundo y en ciertos enclaves del tercero, donde la climatología predominante es templada y cuya forma hegemónica de producción agraria se encuentra frecuentemente capitalizada, que pretende uniformizar el medio ambiente local, al controlar al máximo los riesgos y al eliminar la biodiversidad local.

2.3.1. Importancia económica

A partir del desarrollo de la agricultura convencional ha existido una gran presión para que cada país aumente la productividad agrícola, donde al campo se le ha visto y manejado como una industria extractiva más. Dado que en los últimos años se ha desarrollado un crecimiento exponencial de la población mundial, se tuvo la necesidad de generar mayores volúmenes de alimentos a muy altos costos ecológicos y económicos, con alta dependencia de tecnologías y energía, que bajo ciertas condiciones son muy productivas y redituables, que pueden ser muy eficientes para la apertura de nuevos mercados, pero con daños en el ambiente que en algunos casos son irreversibles (Granados y López, 1996; Guzmán *et al.*, 2000; Schlather, 1998).

2.3.2. Importancia ecológica

La agricultura convencional ha tenido consecuencias principalmente en la erosión del suelo y contaminación del agua; sin embargo, todo esto fue poco difundido en un principio para no afectar algunos intereses del sector económico, es así como este y otros

problemas de la agricultura han sido generados por ella misma y se han dado a conocer con el pasar de los años; sin embargo, a través del tiempo lo más grave ha sido la alta dependencia tecnológica; lo cual contribuye a la pérdida de la diversidad genética, contaminación química, contaminación de los mantos acuíferos y superficiales de agua. Dando como resultado la presencia de residuos de materiales pesados en los alimentos y se provocan serios problemas en los sistemas de producción para el control de plagas, por la resistencia de éstas a los herbicidas (Soule *et al.*, 1990; Altieri, 1991).

Este sistema de producción ha implementado el desarrollo de grandes áreas, remplazando la diversidad natural con un número pequeño de plantas cultivadas que cubren grandes áreas en monocultivo y unos cuantos animales domesticados con uso intensivo (Márquez, 1976; Altieri, 1999).

2.3.3. Importancia social

En sus inicios la agricultura convencional en nuestro país se desarrolló en regiones que eran más favorables y con facilidades de crédito, sobre todo en grandes propiedades y con fuerte apoyo oficial en lo relativo a los servicios técnicos y de divulgación. Sin embargo, este sistema de producción se implementó en diversas zonas del país sin tomar en cuenta el impacto que pudiera tener en el medio ambiente, la actividad social de la región, la costumbre y la aceptación por parte de los productores (Altieri, 1999). Así también, uno de los objetivos que se buscan en forma esquemática es pasar de una agricultura tradicionalista a un tipo de sociedad industrial, producto de la ideología de la globalización (García *et al.*, 2000; Guzmán *et al.*, 2000).

2.3.4. Ventajas

De acuerdo con Altieri (1999) y Guzmán *et al.*, (2000), la agricultura convencional tuvo logros muy evidentes, entre los que destacan por su gran impacto en el desarrollo agropecuario los siguientes:

- Se incrementó la producción agrícola y ganadera.
- Se alcanzaron niveles de suficiencia alimentaria relativamente rápido.
- Los alimentos se produjeron a un costo económico más bajo.
- Se pasó de una agricultura de subsistencia a una industrial y extensiva.
- Implementación de alta especialización científica.
- Se obtuvieron extraordinarias ganancias para los productores de países desarrollados.
- Se desarrolló la mecanización agrícola automatizada durante el proceso de producción.

2.3.5. Desventajas

Ruiz (1999) y Henao (2002) mencionan que así como se obtuvieron grandes logros en la producción extensiva, también se provocaron muchos efectos negativos a mediano y largo plazo, entre los que destacan:

- Mayores exigencias de agroquímicos para mantener las producciones elevadas.
- Aumentaron los riesgos de contaminación.

- Incrementó la degradación física, química y biológica del suelo por salinidad, erosión, contaminación y compactación.
- Aumentaron los riesgos a la salud humana.
- Se incrementó la degradación de los ecosistemas y pérdida de los recursos fitogenéticos (erosión genética).
- Favoreció el desequilibrio biológico.
- Menor productividad con bajos precios de venta.
- Elevó los costos de producción.
- Requerimiento de grandes extensiones para volúmenes comerciales.
- Altos riesgos de contaminación por agroquímicos y pesticidas.
- Provocó el éxodo del campesino hacia las ciudades.

2.4. Agricultura orgánica

La agricultura orgánica o biológica se caracteriza por la no utilización de productos de síntesis química en los sistemas de producción agrícola, siendo caracterizada por utilizar insumos naturales y prácticas agroecológicas, con el fin de obtener un producto libre de residuos tóxicos en toda la cadena productiva. Además, propone en primer plano el rescate de prácticas productivas en clara asociación con la naturaleza y el equilibrio ecológico para revertir el daño causado por la “Revolución Verde”, la cual mediante un esquema cultural no logró demostrar avances importantes en la productividad y en la reducción de riesgos (Gómez *et al.*, 1999; Henao, 2002). Los agricultores orgánicos

evitan o restringen en gran medida el uso de los fertilizantes y pesticidas químicos sintéticos, así como de los reguladores del crecimiento y aditivos al forraje del ganado (Parr *et al.*, 1983; Restrepo, 1988; Torres y Trápaga, 1997).

2.4.1. Importancia económica

El dinámico y atractivo mercado de los alimentos orgánicos en el mundo ha estimulado fuertemente la reconversión de la agricultura convencional hacia la agricultura orgánica. Más del 80 % de la actual superficie orgánica no había sido incorporada a este sistema sino a partir de los últimos diez años del siglo pasado. Es así como en el 2001 se registraron 16 millones de hectáreas orgánicas en escala mundial, siendo Australia y Argentina los dos países con la mayor superficie orgánica, con alrededor de 7.6 y 3 millones de hectáreas, respectivamente (Gómez *et al.*, 2002).

Actualmente se cultivan en México más de 30 productos orgánicos diferentes, entre los que sobresalen el café, las hortalizas, plantas aromáticas, hierbas y plantas medicinales (Gómez *et al.*, 1999). Los cultivos orgánicos le permiten a México generar casi 140 millones de dólares en divisas, con un crecimiento anual de 42 %. Esta alternativa productiva la practican más de 33 000 productores y permite crear al año 16.4 millones de jornales. Hay 262 zonas de producción orgánica ubicadas en 28 estados de la República; destacando Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Chihuahua y Guerrero, que concentran en conjunto el 82.8 % de la superficie orgánica total (Gómez *et al.*, 2002).

El desarrollo de la agricultura orgánica ha presentado un crecimiento en el mercado mundial anual del 20 al 25 %. En México surgió en la década de los 80's en algunos

lugares, pero se ha constituido en una opción económicamente viable para miles de productores, campesinos e indígenas de escasos recursos, representando un rubro sobresaliente de la economía nacional gracias a que cubre más de 54 000 ha certificadas bajo un esquema de producción sostenible, generando al año más de 70 millones de dólares en divisas, propiciando la revaloración de la agricultura tradicional en algunos de sus tópicos (CIESTAAM, 2001; Gómez, *et al.* 1999; Gómez *et al.*, 2002).

2.4.2. Importancia ecológica

La agricultura biológica natural u orgánica, es más conservadora de los recursos naturales y más protectora del medio ambiente que la agricultura convencional; donde los sistemas de cultivo orgánico incluyen rotación basada en leguminosas, métodos alternativos de control de plagas, enfermedades y malezas con la ayuda de combinaciones de insecticidas orgánicos y métodos biológicos que permitan disminuir los daños (Granados y López, 1996; Ruíz, 1991).

2.4.3. Importancia social

El número de productores que se dedican a la agricultura orgánica ha crecido en forma espectacular de 13 000 a 28 000 entre 1996 y 1998, lo cual representa un incremento de hasta el 122 %. Donde los productores orgánicos pueden ser ubicados en dos grandes grupos: El sector social de pequeños productores y sector privado de grandes productores. Es así, como el sector social estuvo conformado en 1996 por el 97.5 % del total de productores orgánicos, a través de organizaciones campesinas e indígenas, que

cultivaban el 89 % de la superficie orgánica nacional y generaban el 78 % del total de las divisas de este sector, siendo considerada como una nueva alternativa de producción. Donde los productores indígenas formaron parte del 53 % de los productos orgánicos, mientras que el 44 % eran campesinos de escasos recursos. El sector privado representó durante ese año alrededor del 2.5 % del total de productores, con el 11 % de la superficie y el 22 % de las divisas generadas (Gómez *et al.*, 1999; Gómez *et al.*, 2002).

En la generación de empleos se considera un sistema de producción con alta utilización de mano de obra, por lo que en México es una posibilidad real para reducir el desempleo en el sector agropecuario. En 1996 ocupó en promedio 160 jornales por hectárea, lo cual significa que la agricultura orgánica requiere más fuerza de trabajo que la producción convencional (Gómez *et al.*, 1999; Gómez *et al.*, 2002).

2.4.4. Ventajas de la producción orgánica

Algunas de las principales ventajas para el productor según Gómez *et al.* (1999); Ruíz (1999) y Henao (2002) son:

- Mejores precios por sus productos (20 al 40 % más que los convencionales).
- Conserva y mejora sus recursos propios (suelo y agua).
- Produce alimentos sanos.
- Trabaja en un ambiente sano, sin peligro de intoxicaciones y enfermedades ocasionadas por los agroquímicos.
- Mantiene un empleo bien remunerado, además de generar alternativas de trabajo para su comunidad y con mayor calidad alimenticia.

- Conserva los ecosistemas a través de mayor equilibrio biológico.
- Protege la fertilidad del suelo a largo plazo, manteniendo los niveles de materia orgánica y promoviendo la actividad biológica.
- Autosuficiencia de nitrógeno mediante la rotación de leguminosas, uso de abonos verdes, así como el aprovechamiento de la fijación biológica del nitrógeno y el reciclaje de materiales orgánicos de cultivos y desechos animales.
- En la ganadería orgánica con manejo extensivo se respeta el potencial de la zona, para implementar la crianza y desarrollo de los animales. Con especial cuidado al impacto de los sistemas agrícolas en el medio ambiente en general y la conservación de la vida silvestre.

2.4.5. Desventajas de la producción orgánica

Algunas de las desventajas para el productor según Henao (2002) son:

- Baja producción, comparado con actuales tecnologías de la agricultura convencional.
- Elevados costos de producción por alta utilización de mano de obra durante todo el proceso de producción.
- Requerimiento de grandes extensiones para ofrecer volúmenes comerciales capaces de ser exportables.

2.4.6. La materia orgánica en el suelo

La materia orgánica de los suelos de cultivo representa un “sistema” complejo y heterogéneo, con una dinámica propia e integrado por numerosos componentes (Labrador, 2001). Sus constituyentes son una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, parcialmente descompuestos o resintetizados, donde destacan la cantidad de residuos animales y vegetales en diferentes estados de descomposición; considerándose como un grupo de sustancias que son sintetizadas por la vida microbiana o reacciones químicas. La materia orgánica en el suelo juega un papel importante en la fertilidad y la productividad, determina las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Fuentes, 1989; Widjaja-Adhi, 1994). Una de las características más importantes es su estructura amorfa y estado de transformación continua; donde los microorganismos del suelo están continuamente rompiendo los compuestos de carbono para ser usados como fuentes de energía por los mismos organismos del suelo, a medida que se multiplican y realizan sus procesos vitales; pero además, las plantas y los animales participan añadiendo nuevamente materia orgánica al sistema (Labrador, 2001; Ortega, 1981; Ruíz, 1999; SICCFA, 1995).

El contenido de materia orgánica en los suelos minerales está en el intervalo de 0.5 a 5 % en peso; sin embargo, en suelos de turba se reportan cifras de hasta 100 % (Fuentes, 1989; Ortega, 1981). Se considera que la materia orgánica mejora las características físicas y promueve la actividad microbiana del suelo, la cual puede incrementar la disponibilidad de algunos nutrientes (Widjaja-Adhi, 1994). La materia orgánica depositada en el suelo experimenta una degradación bioquímica mediante la cual las

proteínas y otros compuestos nitrogenados complejos se transforman en otros compuestos más simples (Mengel y Kirkby, 1982; Fuentes, 1999).

Una clasificación muy simple es aquella que divide la materia orgánica del suelo en dos fracciones, la materia orgánica “viva” que es la biomasa macro y microbiana edáfica y las raíces de las plantas, y por otra parte la materia “no viva” que constituye la mayoría de la materia orgánica del suelo -más del 95 % de la misma- (Skjemstad *et al.*, 1998). La fracción “no viva” la podemos dividir en dos grupos, donde el primero es denominado como “materia orgánica fresca” o “materia orgánica lábil” que estaría formada por restos de animales, plantas y microorganismos transformados de forma incompleta, que son la primera fuente de humus y que no forman parte integral del suelo. El segundo grupo denominado “materia orgánica transformada”, que incluye a los subgrupos de sustancias no húmicas y sustancias húmicas (Labrador, 2001; Skjemstad *et al.*, 1998).

Sustancias no húmicas. Constituida por productos resultantes de la descomposición avanzada de los residuos orgánicos, de las excreciones radicales y compuestos orgánicos producidos por síntesis microbiana o detritus, cuyas características son aun identificables, siendo la mayoría fácilmente biodegradables (Labrador, 2001). Las sustancias no húmicas comprenden carbohidratos y compuestos relacionados con ellos, proteínas y sus derivados, grasas, ligninas, taninos y otra serie de productos parcialmente descompuestos, pero también incluye a las raíces y partes aéreas de las plantas, que para su degradación sufre de reacciones químicas y enzimáticas formando nuevos polímeros coloidales, que se designan con el nombre de humus (Ortega, 1981).

Sustancias húmicas. Son aquellas sustancias orgánicas que resultan de los procesos de humificación, tales como la descomposición, degradación y síntesis, que forman parte integral del suelo y que no podrían ser separados por métodos mecánicos (Labrador, 2001). En este estado el humus tiene pocos cambios, puesto que es muy resistente al ataque microbiano, mineralizándose a razón del 1 al 4% cada año dependiendo de las condiciones ambientales (Fuentes, 1989; Brady y Ray, 1999). El proceso de humificación engloba no sólo la transformación de los productos originados por la descomposición de las moléculas de alto y bajo peso molecular, si no también las reacciones químicas de oxidación, condensación, polimerización y los procesos de síntesis microbiana (Flaig *et al.*, 1975).

El proceso de humificación es una transformación de los compuestos orgánicos, que supone una disminución progresiva de las estructuras biomoleculares y alifáticas más hábiles, junto a un aumento acorde de estructuras aromáticas más complejas para dar macromoléculas con mayor resistencia a la biodegradación (Labrador, 2001). La clasificación de los componentes de las sustancias húmicas está basada en la solubilidad de los mismos en medio ácido o básico, dividiéndose de manera usual en las fracciones de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, ácidos himatomelánicos y huminas.

Donde los ácidos fúlvicos son extraíbles con reactivos alcalinos y solubles a todos los valores de pH, poseen unidades estructurales semejantes a los ácidos húmicos, pero su estructura es más sencilla, además se distinguen por su contenido superior en grupos funcionales ácidos carboxílicos e hidroxifenólicos y, por lo tanto, por su mayor capacidad para disolver los minerales del suelo. Los segundos son los ácidos húmicos,

su extracción en el suelo se efectúa mediante disolventes alcalinos, ya que son insolubles a pH ácido o en presencia de iones polivalentes; al acidificar el medio precipitan las soluciones obtenidas en forma de gel oscuro. Las moléculas húmicas poseen una estructura flexible y ramificada, con multitud de cavidades internas que determinan su capacidad de adsorción de agua. El tercer grupo lo forman las huminas que son difíciles de extraer, se encuentran en diferentes formas, como “huminas microbianas” que están formadas por metabolitos microbianos y por compuestos alifáticos que derivan de ellos, “humina heredada” próxima a la materia orgánica fresca -constituyente de las membranas-, “humina neoformada” que es el resultado de procesos de inmovilización por los cationes y no es extraíble por reactivos alcalinos, y finalmente “humina estabilizada” que resulta de la evolución lenta de los ácidos húmicos que provoca la polimerización de los núcleos aromáticos y un descenso de la solubilidad ante los reactivos de extracción (Duchaufour, 1984; Labrador, 2001).

El proceso de formación de sustancias húmicas implica un aumento de la resistencia frente a la biodegradación, debido a una mayor complejidad, mayor ramificación en la estructura y una mayor estabilización de la misma, debida a la formación de complejos con cationes divalentes y trivalentes, a la formación de complejos órgano-minerales, a la localización en agregados o entre las láminas de arcilla y a otros numerosos mecanismos. Sin embargo, los factores que determinan en cierta medida el grado de estabilización y de maduración de los compuestos húmicos formados son la actividad biológica del suelo, ciertas condiciones edáficas, la climatología y ciertos usos del suelo (Labrador, 2001).

2.4.7. Abonos orgánicos

La fertilización orgánica hace referencia a un conjunto de técnicas basadas en el aporte de productos orgánicos y elementos químicos de naturaleza mineral, que también proveen sustancias fitoactivas que optimizan el desarrollo vegetal y un elevado número de microorganismos (Labrador, 2001). Por su parte Ruíz (1999) menciona que los abonos orgánicos son aquellos materiales derivados de deyecciones y estiércoles animales, de árboles, arbustos, pastos, basuras y desechos industriales descompuestos o en proceso de descomposición; donde su aplicación en forma y dosis adecuadas mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La aplicación de materia orgánica a través de los abonos orgánicos proporciona algunos beneficios al suelo, tales como; la formación de agregados estables, promueve la aireación y penetración del agua, mejora la retención de humedad, suministra partículas coloidales con carga negativa para retener e intercambiar cationes, amortigua cambios drásticos de pH y constituye la fuente de muchos nutrimentos vegetales (SICCFA, 1995). Es así, como la fertilidad de los suelos bajo un sistema orgánico permite mayor eficiencia del flujo de nutrimentos disponibles para la planta (Granados y López, 1996). Los abonos orgánicos pueden tener algunas desventajas cuando no tienen un procesamiento adecuado, provocando algunos efectos negativos, tales como inmovilización del nitrógeno, zinc y cobre; proliferación de malas hierbas; producción de inhibidores del crecimiento de las plantas y la diseminación de plagas y enfermedades (Ruíz, 1999).

2.5. Importancia de los nutrimentos

Los fertilizantes químicos son sustancias que contienen uno o más de los nutrimentos en forma concentrada y fácilmente soluble en agua que requieren las plantas para su desarrollo (Rueda, 1991). En México los incrementos en la producción por hectárea se han debido principalmente al uso de fertilizantes inorgánicos, observándose un aumento en el consumo de fertilizantes de 1950 a 1985, el cual fue de 6.5 a 21 millones de toneladas por año (Granados y López, 1996). El consumo nacional de fertilizantes depende fundamentalmente de la producción, la cual durante la década pasada creció con una tasa moderada (13 %) en el periodo 1990-1998, y ascendió de 3.5 a 4.0 millones de toneladas. Sin embargo, a partir de la década de los ochenta se comenzó a presentar el crecimiento de este insumo (Avila *et al.*, 2002). Rueda (1991) menciona que de 1981 en adelante el aumento en el consumo interno se debió a que se redujeron las exportaciones y se incrementaron las importaciones, y lo contrario sucedió cuando disminuyó el consumo interno; es decir, que el aumento de las exportaciones en estos años se debió al decremento del consumo interno de fertilizantes.

2.5.1. Nitrógeno

Todo el nitrógeno (N) que utilizan los microorganismos, las plantas y posteriormente los animales proviene de la atmósfera (Gómez, 2000). En el suelo se encuentra bajo las formas de nitrógeno orgánico y nitrógeno inorgánico, siendo este último el ión nitrato (NO_3^-) o ión amonio (NH_4^+) las formas más importantes que otras como el ión nitrito (NO_2^-) y los gases óxido nitroso (NO), óxido nítrico (N_2O) y amoníaco (NH_3) (Fuentes,

1999; Ortiz y Ortiz, 1990). Este elemento puede ser combinado con carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) y en algunos casos con azufre (S) para formar enzimas, coenzimas, vitaminas, ácidos nucleicos, clorofila, pigmentos, hormonas, alcaloides y bases purinas. Aunque el N inorgánico puede acumularse en las plantas, principalmente en tallos y tejidos conductores, en forma de NO_3^- , el N orgánico predomina como proteínas de alto peso molecular en las plantas (Anónimo, 1995; Mengel y Kirkby, 1982; Jones, 2003).

Sólo el 2 % del N total que se encuentra en el suelo está en forma disponible; es decir, formas inorgánicas (NH_4^+ y NO_3^-) y el 98 % restante lo constituye la materia orgánica (forma orgánica no disponible para las plantas) y también existen cantidades significativas de NH_4^+ en coloides de arcillas (Mengel y Kirkby, 1982). El nitrógeno orgánico generalmente constituye del 1.5 al 5 % de la materia seca de los vegetales, con valores de suficiencia de 2.5 a 3.5 en tejidos de hojas (Mengel y Kirkby, 1982; Fuentes, 1999).

El balance del nitrógeno en el suelo bajo formas asimilables para la planta es el resultado de una serie de procesos que producen un continuo movimiento de ganancias y pérdidas. La presencia de NO_3^- estimula la absorción de cationes, pero los aniones Cl^- y OH^- restringen su absorción. Para el NH_4^+ altos niveles de carbohidratos promueven su absorción, pero la absorción en exceso de este catión puede conducir a una deficiencia de Ca y a niveles reducidos de K (Gómez, 2000; Fuentes, 1999; Jones 2003).

El nitrógeno como anión nitrato (NO_3^-) se mueve en el suelo principalmente por flujo de masas, con la mayor parte del NO_3^- absorbido cuando éste alcanza la superficie de la raíz. Los iones nitrato pueden ser fácilmente lixiviados de la zona de las raíces por el agua de riego o de lluvia. Para el caso de la forma amoniacal (NH_4^+) actúa de manera parecida al catión K^+ y su movimiento en la solución del suelo es principalmente por difusión, pero cuando el amonio (NH_4^+) es la principal forma de N puede ocurrir fitotoxicidad (Jones, 2003).

2.5.2. Fósforo

El fósforo (P) interviene activamente en los procesos del crecimiento de la planta y forma parte de ciertas enzimas, ATP, ARN, ADN y fitina; constituyendo ácidos nucleicos, proteínas, fosfolípidos y coenzimas de NAD, NADP y ATP (Navarro y Navarro, 2000). Una de las principales funciones está relacionada con los procesos energéticos y fisiológicos dentro de la planta (Mengel y Kirkby, 1982; Fuentes, 1999). Las concentraciones más altas de P se encuentran en las hojas nuevas y en los pecíolos (Jones, 2003). En el suelo hay fósforo orgánico e inorgánico, donde el primero está contenido en la materia orgánica procedente de los restos vegetales y animales y el segundo está en ciertos minerales del suelo, que al descomponerse proporcionan el fósforo asimilable para las plantas (Fuentes, 1999).

Dependiendo del tipo de suelo se puede encontrar entre 60 a 50 % que corresponde a la fracción orgánica, mientras que el resto se encuentra en forma inorgánica. Las formas orgánicas se hallan en el humus del suelo, en diferentes niveles de estabilización. Las

formas inorgánicas pueden estar como sales en solución, sales cristalinas o sales adsorbidas por los coloides del suelo. El ión fosfato puede formar enlaces de gran estabilidad con los hidróxidos de Fe, Al o Mn, constituyendo el "fósforo fijado" (Mengel Kirkby, 1982; Rodríguez, 1982).

La cantidad total del fósforo en la capa arable en los suelos agrícolas varía alrededor de 0.01 a 0.15 % (aproximadamente 200 a 3000 kg ha⁻¹) con un promedio cercano al 0.06 % (aproximadamente 600 mg kg⁻¹ ó 1200 kg ha⁻¹), pero la cantidad depende del contenido de fósforo en el material original; así como de la presencia de otros iones (calcio, hierro, aluminio) y del pH del suelo. El pH comprendido entre 6 y 7.0 favorece la solubilidad del fósforo, pero con pH inferior a 6 o superior a 7.0 se forman con facilidad compuestos insolubles (Fuentes, 1999; Navarro y Navarro, 2000).

Cuando las raíces establecen contacto con la solución del suelo y el P comienza a ser disponible; es absorbido por las plantas en forma de aniones fosfato dihidrógeno (H₂PO₄⁻), fosfato monohidrógeno (HPO₄²⁻) y fosfato (PO₄³⁻); el P es repuesto a partir de la mineralización del humus, de las fracciones más lábiles de las arcillas y en forma mucho más lenta desde la mineralogía primaria mediante un equilibrio químico dinámico. El pH del suelo controla la abundancia relativa de las formas disponibles del elemento; el H₂PO₄⁻ es favorecido a un pH menor de 7 y el HPO₄²⁻ lo es por encima de este valor. En términos generales, el fósforo es absorbido con mayor facilidad a pH de 6.5-7.5 (Navarro y Navarro, 2000; Jones, 2003).

2.5.3. Potasio

El potasio (K) se absorbe bajo la forma de iones potasio (K^+). Es un elemento que está altamente involucrado en el mantenimiento del estado hídrico de la planta, presión de turgencia en las células, apertura y cierre de estomas, activador de enzimas en la formación de proteínas, almidón, celulosa y lignina. Es necesario para el desarrollo de paredes celulares fuertes y gruesas, que permite el desarrollo de tallos rígidos, participando en el intercambio de gases necesarios para la fotosíntesis, transpiración y translocación de los nuevos carbohidratos (Plaster, 2000; Jones, 2003). Así también, este elemento favorece la resistencia de las plantas a la sequía, al frío, a los parásitos y promueve el desarrollo de tallos fuertes que son menos propensos al acamado (Fuentes, 1999; Plaster, 2000).

El potasio constituye del 1.0 al 5.0 % del peso seco de hojas, donde las concentraciones más altas se encuentran en hojas jóvenes, pecíolos y tallos de la planta. La absorción de K no es afectada significativamente por el Ca, debido a que este último se mueve por flujo de masas y el K lo hace por difusión (Jones, 2003).

Las formas asimilables de K en el suelo son el resultado de una serie de procesos, de donde se producen ganancias como mineralización de la materia orgánica, meteorización de los minerales del suelo y aportaciones de abonos minerales. Las pérdidas se producen por procesos, tales como extracciones por plantas y microorganismos, fijación interna de algunas arcillas y arrastre por el agua de percolación (Fuentes, 1999; Plaster, 2000).

2.5.4. Calcio

La principal función del calcio es mantener la integridad celular y permeabilidad de membranas; pero también participa en la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico, en la síntesis de proteínas, movimiento de carbohidratos y puede disminuir la presencia de elementos pesados en las plantas (Jones, 2003). Además juega un papel fundamental en la fisiología celular de los vegetales, moderando la actividad enzimática, que favorece la absorción de NO_3^- y por lo tanto se interrelaciona con el metabolismo del nitrógeno (Wild y Jones, 1992).

En las plantas está contenido en 0.2 a 5.9 % del peso seco en tejidos de hojas, pero las concentraciones más altas se encuentran en las hojas más viejas (Jones, 2003). El contenido de calcio en un suelo depende del grado de intemperismo, en suelos tropicales altamente intemperizados la concentración de calcio puede alcanzar valores tan pequeños como 0.1 %, pero en suelos desarrollados sobre materiales primarios calcáreos pueden contener hasta un 20 a 50 %; en tanto que en la corteza terrestre es de alrededor del 3.6 %. El movimiento del Ca a través del perfil del suelo resulta en la acumulación de calcio bajo la forma de carbonato de calcio y de yeso. La materia orgánica retiene al Ca más frecuentemente que al magnesio o los cationes monovalentes (Cajuste, 1977).

El calcio es absorbido por las raíces en forma catiónica (Ca^{2+}). En el interior de la planta es poco móvil; sólo circula en el xilema movido por el flujo de la transpiración. Cualquier factor que influya en la pérdida de agua afectará el transporte del calcio (Cresswell, 1991).

Altas concentraciones de carbonato de calcio producen un incremento en el pH y una disminución en la disponibilidad de Fe, Mn, Zn y P, ya que se transforman de compuestos más o menos solubles en otros insolubles, como sucede con el fósforo, que pasa de fosfato bicálcico a fosfato tricálcico no disponible (Navarro y Navarro, 2000). El exceso de calcio, tal como ocurre en los suelos calcáreos o en aquellos que se han sometido a un excesivo encalado, reduce la absorción de boro, manganeso y hierro, lo cual puede dar lugar a la aparición de deficiencias inducidas de tales elementos (Paterson y Ede, 1970).

2.5.5. Magnesio

El magnesio (Mg) existe como catión Mg^{2+} en la solución del suelo ó intercambiable en los coloides del suelo; es un componente importante de la clorofila, participa como un cofactor en la mayoría de las enzimas que activan la fosforilación y actúa como un puente entre estructuras de pirofosfato de ATP o ADP, además forma parte de enzimas y estabiliza partículas de ribosomas para la síntesis de proteínas. Es absorbido por la planta en su forma catiónica Mg^{2+} , formando normalmente parte del contenido total del tejido vegetal del orden de 0.5 % en peso seco (Navarro y Navarro, 2000). Jones (2003) menciona que se puede encontrar formando del 0.15 al 1.00 % del peso seco del tejido en hoja, el cual se puede incrementar con la edad. Es constituyente de los pectatos de Ca y Mg, que forman las laminillas medias de las células; participa en la constitución molecular de 15 enzimas del grupo de las sintetizadoras de polipéptidos, las transfosforilasas y descarboxilasas, y regula la absorción de otros nutrimentos;

considerado abundante en órganos de reserva como las semillas, tejidos meristemáticos y frutos (Gómez, 2000; Rodríguez *et al.*, 2001).

El magnesio compite con el potasio (K^+) y el manganeso (Mn^{2+}), disminuyendo su absorción por ser un elemento moderadamente móvil el suministro de Mg a la planta depende de la intercepción de la raíz, flujo de masas y difusión (Fuentes, 1999). Es constituyente de numerosos minerales silicatados, y algunos suelos lo contienen en forma de carbonato simple (CO_3Mg) ó dolomita ($CO_3Ca \cdot CO_3Mg$). En los suelos de regiones áridas o semiáridas pueden encontrarse notables cantidades bajo la forma de sulfato (SO_4Mg) (Navarro y Navarro, 2000; Rodríguez, 1982; Gómez, 2000; Rodríguez *et al.*, 2001).

2.5.6. Boro

El boro (B) es utilizado por las plantas en forma de anión borato (BO_3^{3-}) y molécula H_3BO_3 . Es un micronutriente asociado con la síntesis de los carbohidratos, se cree que es importante para la síntesis del uracilo; que es una base para la formación de ARN. El 95 % del B presente en la planta se encuentra en las paredes celulares con un papel básicamente estructural como micronutriente en una fracción de las pectinas con importancia en la fracción de la pared celular (Azcón y Talón, 2000), participando también en la síntesis de ácidos nucleicos que son esenciales para la división celular en los meristemo apicales (Salisbury y Ross, 1994; Jones, 2003).

La concentración total de boro en la corteza terrestre varía según el material parental y su grado de descomposición, encontrándose en el intervalo de 1 a 270 mg kg⁻¹, con un promedio de 20 a 50 mg kg⁻¹ (Barber, 1995). Donde de acuerdo a Jones (2003) la concentración en el follaje es de alrededor de 15 a 100 mg kg⁻¹ de materia seca y en el ambiente 0.001 mol de B por m³. El boro no es adsorbido, como el cobre y el zinc, por los coloides del complejo adsorbente del suelo, y por esta razón se pierde fácilmente por lixiviación en los suelos húmedos de estructura suelta y poca materia orgánica. La presencia de calcio libre en los suelos básicos impide la lixiviación del boro y su acumulación es más alta en la capa superior donde predomina el humus. Pequeño (1996) menciona que el B forma parte de la materia orgánica y con un contenido usual en el suelo de 5 a 100 mg kg⁻¹, existiendo en la solución del suelo y utilizado por las plantas como borato (BO₃⁻³) y la molécula H₃BO₃ (Jones *et al.*, 1991; Mengel y Kirkby, 1982; Mehra y Farago, 1994).

2.5.7. Hierro

El hierro (Fe) existe disponible en el suelo en formas férrica (Fe³⁺) y ferrosa (Fe²⁺), aunque la disponibilidad de la forma ferrosa es afectada por la aireación del suelo. Una vez que el Fe²⁺ es absorbido por las raíces se incorpora en primera instancia en ferritinas, que son proteínas de almacenamiento de hierro que se acumulan en los plastidios de hojas y semillas (Navarro y Navarro, 2000). Es componente importante en muchos sistemas enzimáticos vegetales, tales como la citocromo oxidasa (transporte de electrones) y citocromo (paso terminal de la respiración). Además funciona como un catalizador en la síntesis de clorofila y crecimiento del meristemo apical de la raíz

(Jones, 2003). En abundancia de la corteza terrestre es el cuarto elemento y el metal más abundante, donde cabe mencionar que los depósitos oxidados precámbricos son conocidos como sustancias férricas bioquímicamente inmovilizadas, que constan de hasta un 28 % de hierro (Marschner, 1986; Rodríguez, 1996; Anónimo, 1999).

El contenido en las plantas es escaso comparado con los encontrados en el suelo, donde en los tejidos normales varía de 25 a 250 mg kg⁻¹ en peso seco, dependiendo de la parte de la planta que se considere y la especie (Navarro y Navarro, 2000). Sin embargo, para Jones (2003), los intervalos de suficiencia contenidos en el follaje están entre 50 a 300 mg kg⁻¹ de materia seca y concentración en el ambiente de 0.001 mol de Fe por m³.

Como funciones más importantes del Fe en la planta se tiene que es componente estructural de las moléculas de porfirina, involucrado en reacciones de oxidación-reducción en la respiración y la fotosíntesis; componente estructural de moléculas no hem: ferredoxinas y proteínas Fe-S y en los sistemas enzimáticos (Mengel y Kirkby, 1982). Según Plaster (2000) forma parte de muchas enzimas necesarias en la formación de varias sustancias químicas, especialmente la clorofila. Un alto contenido de P disminuye la solubilidad del Fe, mientras que el K incrementa la movilidad y solubilidad del Fe y el N acentúa sus deficiencias debido a un incremento en el crecimiento de las plantas (Jones, 2003).

Según Mengel y Kirkby (1982) el hierro procede de minerales primarios y se encuentra frecuentemente en estado Fe²⁺. También se encuentran en grupos minerales secundarios, constituyendo la gran categoría de los óxidos e hidróxidos. El hierro libre se presenta

frecuentemente en grado de oxidación Fe^{3+} . En casos de ausencia de aire (arcillas compactas o sumergidas) el Fe se encuentra reducido en forma Fe^{2+} . Con excepción de las concreciones lateríticas, el Fe libre se encuentra formando parte de las porciones finas del suelo (<2 micras) rodeando las partículas de arcilla de una delgada película de óxido de Fe, al lado de pequeñas concreciones de óxido de Fe floculado.

El hierro orgánico está combinado en forma de quelatos a la materia orgánica polar del suelo. La descomposición anaeróbica del humus proporciona buena parte de sustancias orgánicas relativamente complejas, aptas para formar quelatos, especialmente los ácidos fúlvicos y algunos ácidos simples (tártarico, cítrico, salicílico). Según Plaster (2000) la materia orgánica es capaz de formar quelatos con una pequeña cantidad de hierro del suelo. La materia orgánica en el suelo ejerce un efecto positivo sobre la solubilidad del hierro a través de un efecto reductivo, más que por el propio aporte de Fe contenido en la biomasa (Anónimo, 1999; Benavides, 1999).

Plaster (2000) indica que en general la cantidad de hierro requerida por un cultivo por temporada de crecimiento es de 5 a 10 kg ha^{-1} . El contenido de Fe^{3+} de muchos suelos es mucho mayor que dicha cantidad, aunque el problema con esta forma iónica radica en su escasa solubilidad. El hierro en estado ferroso (Fe^{2+}) es asimilable por la planta, pero el ión férrico (Fe^{3+}) es menos asimilable, de acuerdo a Jones (2003) el Fe^{2+} lo absorben en cantidades 10 veces menores que los macronutrientes

2.5.8. Manganese

El manganeso (Mn) es un micronutriente que está involucrado en los procesos de oxido-reducción en el sistema fotosintético de transporte de electrones, es considerado como esencial en el fotosistema I para la fotólisis, actúa como puente para ATP, complejos fotoquinazas, fosfotransferasas y activa a las AIA-oxidasas (Jones, 2003). La absorción del manganeso se lleva a cabo como ión manganeso (Mn^{2+}), principalmente suministrado a las plantas por flujo de masas e intercepción de las raíces, aunque las raíces de las plantas pueden liberar exudados que reducen los iones Mn^{4+} a Mn^{2+} (Jones, 2003). Según Márquez (2000) participa en la activación de diferentes enzimas, síntesis de clorofila, fotosíntesis, reducción de nitratos y síntesis de aminoácidos y proteínas.

Según Graham *et al.* (1988) y Jones (2002) en la savia del xilema frecuentemente el manganeso se mueve de las raíces a los brotes por flujo de masas resultado del proceso de transpiración e intercepción de la raíz. Se ha observado que el manganeso acumulado en las hojas no puede ser removido a las raíces o tallos y es movido a través del floema a las semillas pero inmovilizado en las raíces. Según Domínguez (1989) las concentraciones de manganeso son generalmente mas altas en las raíces que en las hojas y aun mayor en hojas maduras que en las jóvenes y más altas en las hojas que en los tallos, flores y semillas. Se encuentra en la planta en forma iónica ó asociado a complejos orgánicos; es decir, como quelatos. Los intervalos de suficiencia en el follaje varían de 25 a 250 $mg\ kg^{-1}$ en materia seca de hojas maduras y en un ambiente de 0.001 mol de Mn por m^3 (Jones, 2003).

La asimilación del manganeso está en relación con el pH, aumenta cuando este desciende por debajo de 5.5 y es menos disponible por arriba de 6.5, condición en la cual se favorece la oxidación de la forma manganosa a la forma mangánica, forma prácticamente no disponible para las plantas (Márquez, 2000). Las formas MnSO_4 (aq), MnHCO_3 y MnOH^+ contribuyen sólo ligeramente al manganeso soluble total en el suelo (contenido usual en el suelo de 200 a 400 mg kg^{-1}). Según Domínguez (1989) y Márquez (2000) el manganeso es especialmente afectado por el magnesio, así como por el encalado (efecto del calcio y pH).

2.5.9. Cobre

Es un micronutriente constituyente de la proteína plastocianina en el cloroplasto y un componente del transporte de electrones en el sistema que relaciona a los fotosistemas I y II en el proceso fotosintético, participa en el metabolismo de las proteínas, carbohidratos y en la fijación de N_2 . Además, es un componente de las enzimas que reducen los átomos del oxígeno molecular (citocromo oxidasa, oxidasa del ácido ascórbico y polifenol oxidasa) y está involucrado en la desaturación e hidroxilación de ácidos grasos (Jones, 2003). Según Plaster (2003) forma o activan varias enzimas importantes, especialmente para la formación de la clorofila y de acuerdo a Jones (2003) el contenido de clorofila puede ser el mejor método alternativo para diagnosis de suficiencia de Fe.

El cobre está en el follaje en concentraciones de 5 a 15 mg kg⁻¹ de materia seca y en el suelo principalmente en forma de complejos orgánicos considerados como de bajo peso molecular en un contenido de 5 a 100 mg kg⁻¹ (Jones 2003), formando ácidos húmicos y fúlvicos, donde el catión cúprico (Cu²⁺) está presente en pequeñas cantidades en la solución del suelo. Además, el cobre es retenido por el complejo de intercambio y combina químicamente con la materia orgánica. Algunos complejos de cobre orgánico son tan estables que no están disponibles para las plantas. Aunque el suministro de Cu en la solución del suelo es muy bajo (menos de 0.2 mg L⁻¹), la mayoría de los suelos tienen suficiente Cu para satisfacer los requerimientos de las cosechas. Sin embargo, cuando se incrementan los contenidos de materia orgánica se puede reducir la disponibilidad de Cu y en interacción con Mo el Cu puede interferir con la reducción enzimática del NO₃ (Plaster, 2000; Jones, 2003).

2.5.10. Zinc

El zinc (Zn) es un micronutriente involucrado en las mismas funciones enzimáticas que el Mn y Mg; es específico para la enzima anhidrasa carbónica. El Zn se absorbe como Zn²⁺ divalente o como quelato por vía radical o foliar. Interviene en la formación de auxinas (ácido indolacético) que tiene que ver con la síntesis de proteínas y con las reacciones de oxido-reducción; actúa como un agente catalítico de las reacciones oxidantes, interviene en el metabolismo de los carbohidratos, y parece influir en la actividad fotosintética (Arzola *et al.*, 1981; Navarro y Navarro, 2000).

Jones (2003) menciona que en el follaje el intervalo es de 15 a 75 mg kg⁻¹ de materia seca, donde un alto contenido de P puede interferir con el metabolismo de Zn y afectar la absorción de éste a través de las raíces; así también, un alto contenido de Zn puede inducir deficiencias de Fe, particularmente en las plantas sensibles a éste. Sin embargo, generalmente sólo una pequeña fracción (0.5-20 mg kg⁻¹) se encuentra en forma asimilable (soluble o intercambiable). El resto está en forma de carbonatos, fosfatos o silicatos insolubles (Primo y Carrasco, 1981). El Zn se encuentra adsorbido por los coloides del suelo como Zn²⁺, ZnOH⁺ o ZnCl⁺.

La absorción por la planta es muy inferior a la contenida en el suelo (10 a 500 mg kg⁻¹), pero la absorción depende del pH, textura y composición química del suelo. En los abonos fosfatados disminuye la asimilación por la formación de fosfato de zinc insoluble. En la práctica este antagonismo entre Zn y P se manifiesta muy difícilmente, ya que es fuertemente fijado por el suelo. La absorción de Zinc puede ser limitada por otros metales pesados, especialmente el cobre (Baeyens, 1970). El Zn es puesto en contacto con las raíces por flujo de masas y difusión. El Cu²⁺ y otros cationes, tales como el amonio (NH₄) inhiben la absorción de Zn. El fósforo parece ser aumentado por una reducción en el pH de la rizósfera (Jones, 2003). La movilidad dentro de la planta es baja, ya que cuando se suministra en altas cantidades se acumula en las raíces. En las hojas viejas el Zn puede llegar a ser inmóvil, además en las raíces el 90 % del total de Zn puede encontrarse en sitios de intercambio o adsorbido en las superficies de las paredes celulares de corteza. Pero la absorción del Zn disminuye con un incremento del pH, especialmente cuando las plantas son jóvenes y cuando el nivel de P disponible en el suelo es muy alto (Baeyens, 1970; Jones, 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

La presente investigación se realizó durante el ciclo primavera-verano del 2002, en el Campo Agrícola Experimental “San Martín” de la Universidad Autónoma Chapingo (CAE-UACH), en las coordenadas 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste; a 2 250 msnm.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), el clima en esta área es C(Wo)(w) b(i)g, que corresponde al más seco de los templados, con lluvias en verano y temperatura media anual de 17.5 °C, con temperatura del mes más frío de 11.6 °C y del más caliente de 18.4 °C, en el mes de mayo; con una precipitación media anual de 680 mm, presentando una máxima en julio y mínima en enero.

3.3. Suelo

Se usó un suelo profundo, de color oscuro, textura franco-arcillo-arenosa con capacidad moderada de retención de humedad, pH neutro o ligeramente alcalino, con capacidad de intercambio catiónico de 19.32 Cmol(+) kg⁻¹, conductividad eléctrica de 1.2 ds m⁻¹, de

acuerdo a Castellanos (2000) medianamente bajo en materia orgánica con 1.21 a 1.61 % y con pendiente entre 1 y 2 % (Cachón *et al.*, 1974) (Anexo 9A).

3.4. Material vegetal utilizado

La frambuesa roja cv. 'Autumn Bliss' fue originada por mejoramiento genético en Gran Bretaña, es una productora de otoño de porte erecto con espinas, produce numerosos vástagos (cañas), muy productiva, con fácil separación del receptáculo, de dos a tres semanas más precoz que 'Heritage', resistente a áfidos y a pudrición de la raíz; es una planta vigorosa que requiere espaldera. Los frutos son grandes, ligeramente oscuros y con firmeza media, de calidad media, fácil de cosechar y rendimiento superior a Heritage; el 50 % del rendimiento total se presenta durante las primeras tres semanas de iniciada la cosecha (Crandall, 1995; Jara, 2001; Muratalla, 1998). Con requerimientos de temperatura óptima de 22 °C, declinando su crecimiento y desarrollo por debajo de esta temperatura (Carew, 1999).

En México la cosecha más importante es la de otoño; en regiones subtropicales se está manejando para cosechar todo el año, con rendimiento no superior a 5.0 t ha⁻¹. Tiene mejor adaptación a terrenos delgados y humedad reducida, además su fruto es de menor calidad que 'Heritage', (Muñoz y Juárez, 1997; Arreola, 1988; Muratalla, 1998).

3.5. Descripción de tratamientos

3.5.1. Fertilización en contenedores

Para su establecimiento se utilizaron como contenedores bolsas de polietileno negro para vivero de 30x34 cm, usando como sustrato suelo de la misma área donde se colocó el experimento de campo, al cual se le hizo un análisis físico-químico (Anexo 9A). Se utilizaron plantas y raíces con yemas vegetativas las cuales fueron extraídas del campo, se lavaron y se sumergieron en Benlate^{MR} (1 g de producto por litro de agua); posteriormente fueron tratadas con frío durante 37 días a 5 °C. Pasado este tiempo fueron seleccionadas en función del número de vástagos y yemas brotadas. De acuerdo a cada tratamiento se mezcló el suelo con el abono orgánico o el fertilizante químico correspondiente. Las bolsas se llenaron con suelo y las plantas brotadas se colocaron al centro del contenedor, donde de manera prioritaria se buscaba que sólo quedaran las yemas inferiores sobre la superficie del suelo, para que brotaran con la menor interferencia posible. La plantación se llevo a cabo el día 4 de marzo del 2002. Después de un mes de establecidas las plantas se seleccionaron las de mayor vigor y número de cañas emergidas, y con ello se logró mejor uniformidad entre los tratamientos.

Para cada tratamiento (Cuadro 1) se utilizaron 15 repeticiones, y la unidad experimental fue una bolsa con un número variable de plantas en función del número de yemas brotadas. Los abonos orgánicos y fertilizantes químicos evaluados fueron propuestos considerando la literatura y los usos de manera comercial en la producción de frambuesa y zarzamora (Anexo 10A).

Cuadro 1. Tratamientos con fertilización química, orgánica y sus combinaciones aplicados en frambuesa roja ‘Autumn Bliss’, cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.

Tratamiento		Descripción	Dosis de abonos (g)
1	Testigo		
2 [†]	Fórmula Química (240-120-160) [§]		
3	Healthy Start		102.00
4	Composta Nocon		137.40
5	Raizet 20G		1.72
6	Humicrop 100		1.37
7 [†]	Fórmula química (240-120-160) + Healthy Start		102.00
8	Fórmula química (240-120-160) + Composta Nocon		137.40
9	Fórmula química (240-120-160) + Raizet 20G		1.72
10	Fórmula química (240-120-160) + Humicrop 100		1.37

[†] Tratamientos que por el bajo porcentaje de brotación no fueron analizados en la presente investigación.

[§] Dosis de fertilizantes químicos por contenedor para completar la formula química: Urea 8.96 g, superfosfato simple 11.45 g y sulfato de potasio 5.49 g, considerando un volumen de exploración radical de 7.6 kg de suelo por bolsa de 30x34 cm.

La fórmula química y el abono orgánico Healthy Start se aplicaron en dos momentos (Pritts y Handley, 1989); el primero cuando se preparo el sustrato en el establecimiento de las estacas de raíz que sirvieron para preparar el cultivo de frambuesa roja y la segunda al inicio de la floración. El producto fue incorporado al suelo y posteriormente se proporcionó un riego ligero, y los riegos subsecuentes se llevaron a cabo de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo, no se presentaron plagas ni enfermedades.

El control de malezas se realizó manualmente cada 15 días, evitando al máximo la competencia maleza-cultivo. La cosecha de los frutos comenzó a finales de julio y terminó a principios de septiembre. Se realizó dos veces por semana, y el indicador de cosecha fue la coloración rojiza uniforme en las drupeólas del fruto, además de un desprendimiento fácil del receptáculo.

3.5.2. Fertilización en campo

En contenedores se utilizaron diez plantas de mayor vigor, altura y uniformidad por tratamiento, las cuales constituyeron la unidad experimental. En campo el establecimiento del experimento se realizó en una plantación de cinco años de edad, donde las plantas fueron podadas. Después de la brotación se determinó el área de cada tratamiento, utilizándose parcelas de 3 m de largo y 0.50 m de ancho, con un número variable de plantas, de acuerdo a la emergencia inicial. Aunque después sólo se dejaron 40 plantas por parcela. Se establecieron cuatro repeticiones por tratamiento. En el desarrollo del cultivo se eliminaron todas aquellas plantas que emergieran fuera de las parcelas previamente establecidas. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por las diez plantas de mayor vigor, altura y uniformidad de cada parcela, la cual en promedio estuvo constituida de 40 a 50 plantas (cañas).

Al suelo se le dieron varios pasos de rastra entre las hileras acompañados con deshierbes manuales. Los riegos se proporcionaron por inundación o por microaspersión, y los intervalos fueron de acuerdo a la humedad del suelo, procurando que no se presentara estrés hídrico.

Cuadro 2. Tratamientos con fertilización química, orgánica y sus combinaciones aplicados en frambuesa roja ‘Autumn Bliss’, cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.

Tratamiento	Descripción	Dosis de abonos (g)
1	Testigo	
2	Fórmula química (120-60-80) [†]	
3	Healthy Start	341.00
4	Fórmula química (120-60-80) + Healthy Start	341.00
5	Composta Nocon	3 636.30

[†] Dosis de fertilizantes químicos utilizando 79.03 g de urea, 303.03 g de superfosfato simple y 145.45 g de sulfato de potasio, de acuerdo a la fórmula química, considerando una distancia entre hileras de 3 m y un área de exploración radical de 0.50 m de ancho por 0.45 m de profundidad.

Las plagas no fueron relevantes en el experimento realizado en contenedores; sin embargo, en campo se presentaron frailecillos (*Macrodactylus sp.*) a partir de la aparición de los primeros botones florales, los cuales fueron controlados manualmente para evitar interferir con los análisis foliares. En el caso de las enfermedades se observó que algunos frutos presentaban ablandamiento y desprendimiento de las drupéolas del receptáculo al momento de la cosecha.

El control de malezas fue manual (azadón) y mecánica (rastreos continuos) y las malezas predominantes fueron: aceitilla (*Bidens aurea* (Alt.) Sherff; acahual (*Simsia amplexicaulis* (cav.) Pers; quelite cenizo (*Chenopodium album* L.); trébol (*Trifolium repens* L.); alfalfa (*Medicago sp.*); quelite (*Amaranthus hybridus* L.); verdolaga (*Portulaca oleraceae* L.) y coquillo (*Cyperus esculentus* L.).

3.6. Antecedentes del terreno

Durante los últimos años el lote experimental estuvo ocupado con la plantación de frambuesa roja 'Autumn Bliss' y zarzamora, donde los riegos se aplicaron por gravedad y microaspersión. La mayoría de las prácticas culturales se realizan con maquinaria. Se ha aplicado triple 17 (17-17-17) como fertilización química al suelo en los dos últimos años y control mecánico de malezas.

3.7. Variables evaluadas y registro de datos

a) Altura de caña (cm). Se midió antes y después de la aparición de las flores con un flexómetro, desde la base del tallo o caña hasta su ápice (último folíolo totalmente expandido) o flores terminales.

b) Diámetro de caña (cm). Se midió antes y después de la aparición de las flores con un vernier en la base de cada caña, aproximadamente 1 cm sobre el suelo.

c) Área foliar (cm²). Se realizó un muestreo tomando entre la sexta y octava hoja totalmente expandida excentas de daño por plagas y enfermedades, de cada una de 10 plantas de la unidad experimental a los 169 días después del transplante. Se tomaron dos hojas maduras por repetición y se midió el área foliar con *LICOR-3100*.

d) Número de nudos por caña. Se evaluó antes y después de la aparición de las flores junto con la medición de altura y diámetro de la caña, desde la base del tallo hasta el último nudo antes del ápice.

e) Contenido de clorofila. Se determinó el contenido de clorofila a (CA), clorofila b (B) y clorofila total (CTOT) como lo sugiere la AOAC (1980) y con la técnica descrita por Witham *et al.* (1971). Se emplearon dos hojas maduras, de diez cañas por repetición en la etapa de inicio de floración, de las cuales se pesaron 0.1 g de tejido fresco para formar una muestra compuesta y homogénea, se cortó en pedazos pequeños y se maceró el tejido en un mortero con 3 ml de acetona al 80 % y se dejó reposar por 24 horas. Al día siguiente se transfirió el líquido verde decantado a un embudo con un filtro Whatman número uno acoplado a un matríz para obtener el líquido filtrado. Al residuo se le adicionaron 2 ml de acetona y se dejó reposar. Posteriormente se aforó a 10 ml con acetona para obtener el volumen final y determinar la densidad óptica o absorbancia a 645 y 663 nm en un espectrómetro modelo *SPECTRONIC 21D (MILTON ROY)*.

La cantidad de clorofila presente en el extracto (miligramo de clorofila por gramo de tejido) se calculó de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\text{mg de clorofila a/g de tejido} = [12.7 (D663) - 2.69 (D645)] \times V / (1000 \times W)$$

$$\text{mg de clorofila b/g de tejido} = [22.9 (D645) - 4.68 (D663)] \times V / (1000 \times W)$$

$$\text{mg de clorofila total/g de tejido} = [20.2(D645) + 8.02(D663)] \times V / (1000 \times W)$$

Donde:

D = Densidad óptica en la que se realizó la lectura de clorofila a la longitud de onda indicada.

V = Volumen final del extracto en acetona al 80 %.

W = Peso fresco en gramos de tejido utilizado.

f) Peso seco de hojas (g). Se evaluaron a partir de las hojas que se utilizaron para determinar el área foliar. Las hojas fueron lavadas con detergente comercial y agua deionizada, se eliminó el exceso de agua, posteriormente se colocaron en bolsas de papel para ser secadas a 65 °C por 48 horas en una estufa y se cuantificó el peso seco de cada una de las muestras. Con una balanza digital modelo *EY-2200 A* con capacidad de 2 kg.

g) Peso específico de hojas. Se obtuvo de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$\text{Peso específico} = \text{Peso seco} / \text{Área foliar}$$

h) Número y peso total de frutos (g). Se sumó el peso de los frutos cosechados en 24 cortes, con frecuencia de tres días. Esta actividad se inició en el mes de julio y se efectuó a los 195 días después del establecimiento de las estacas de raíces. El peso se determinó utilizando una balanza digital modelo *EY-2200 A*.

3.8. Determinación de nutrimentos

Para el análisis nutrimental se utilizó una muestra de 30 hojas trifoliadas por tratamiento, sin daños de plagas o enfermedades, las cuales estuvieron comprendidas entre la sexta y la octava posición a partir de la base de la caña, de acuerdo a lo recomendado por autores como Megan *et al.*, (1979) y Crandall (1995).

Las hojas se lavaron una vez con agua de la llave y dos veces con agua destilada para eliminar el polvo y residuos extraños. Posteriormente se secaron en una estufa de aire circulante a temperatura constante de 64 °C durante 48 horas. El tejido se pulverizó utilizando un molino eléctrico de acero inoxidable con una malla del número 40. Para la determinación de P, K, Ca, Mg, B, Fe, Mn, Cu y Zn se utilizaron 0.5 g de material vegetal seco, que se sometió a digestión húmeda con ácido nítrico (65 % de HNO₃) y ácido perclórico (70 % HClO₄) en relación 2:1, para su lectura en el aparato se aforó a 25 ml. En la determinación de N se utilizó 0.1 g de muestra seca, que se sometió a digestión húmeda con una mezcla de ácido sulfúrico y salicílico (AOAC, 1980). La cuantificación de N se realizó por el método de Microhjelldahl propuesto por Bremer (1965). La concentración de fósforo, potasio, calcio, magnesio, boro, hierro, manganeso, cobre y zinc se determinó por espectrometría de emisión atómica de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES) Liberty Series III VARIAN, en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados. Para la comparación de nutrimentos se utilizaron las tablas nutrimentales de suficiencia de Crandall (1995) (Anexo 10A).

3.9. Diseño experimental

En ambos experimentos se utilizó el diseño experimental completamente al azar (DCA).

Con los datos obtenidos se realizó el análisis de varianza, la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) y correlación de Pearson ($[Prob > |R|] < 0.05$) mediante el paquete estadístico SAS[®] (Statistical Analysis System, 1997).

3.10. Modelo estadístico

El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n_i \quad i = 1, 2, \dots, t.$$

Donde

$$E_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$$

Los términos de la ecuación representan:

Y_{ij} = Respuesta en la j -ésima unidad experimental con el tratamiento i -ésimo.

μ = Media general, común a todas las unidades antes de aplicar los tratamientos.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

E_{ij} = Error experimental en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento en contenedores

4.1.1. Área foliar, peso seco y específico de hoja

En el Cuadro 3 se observa que la variable peso seco (PS) tuvo efecto de tratamiento altamente significativo (Anexo 1A), el mejor fue la combinación del fertilizante químico más Humicrop 100 (1.740 g) y el de menor respuesta fue el de Healthy Start (0.710 g) que presentó efecto negativo respecto al testigo (1.020 g) y similar al tratamiento químico con la Composta Nocon (0.970 g). El área foliar (AF) presentó diferencia altamente significativa entre los tratamientos aplicados (Anexo 1A), destacando la combinación de fertilización química más Humicrop 100 (111.76 cm^2) como el mejor (Cuadro 3), pero estadísticamente similar a la aplicación del fertilizante químico más Raizet 20G (96.867 cm^2), el de menor respuesta fue el Raizet 20G (62.244 cm^2), el cual fue estadísticamente similar al resto de los tratamientos.

En la variable peso específico (PE) se observaron también diferencias significativas (Anexo 1A), donde el tratamiento con fertilizante químico combinado con la Composta Nocon fue el de mejor respuesta (0.018 g cm^{-2}), el de menor efecto fue el tratamiento con Healthy Start (0.009 g cm^{-2}) pero estadísticamente similar a la mayoría de los tratamientos, lo cual incluyó al testigo (0.014 g cm^{-2}) que se mantuvo con valores intermedios (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el peso seco de hojas (PS), área foliar (AF) y peso específico (PE) por caña en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.

TRATAMIENTO	PS (g)	AF (cm ²)	PE (g cm ⁻²)
Testigo	1.020 bc [†]	72.528 c [†]	0.01432ab [†]
Healthy Start	0.710 c	78.436 bc	0.00945 b
Composta Nocon	1.230 b	70.936 c	0.01808ab
Raizet 20G	1.070 b	62.244 c	0.01811ab
Humicrop 100	1.210 b	72.689 c	0.01765ab
F. Químico + Composta Nocon	0.970 bc	72.634 c	0.01857a
F. Químico + Raizet 20G	1.210 b	96.867 ab	0.01409ab
F. Químico + Humicrop 100	1.740a	111.758a	0.01531ab
DMS	0.317	22.885	0.0087
CV	28.494	29.520	56.982
Significancia	**	**	*

[†]Valores con letras iguales dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). *= $P \leq 0.05$ (Significativo al 0.05 de probabilidad). **= $P \leq 0.01$ (Significativo al 0.01 de probabilidad). F.= Fertilizante químico. DMS = Diferencia mínima significativa. CV = Coeficiente de variación.

Los resultados indican que a mayor área foliar se promovió un incremento en la acumulación de materia seca, la cual según Marschner (1986) determinan la productividad de los cultivos. Al respecto, Campos (2000) encontró que las plantas con mayor área foliar están relacionadas con un incremento en la producción de biomasa, lo que se traduce en un mayor rendimiento y particularmente mejor calidad de frutos.

Con los tratamientos químico y la combinación químico con Healthy Start, al inicio del experimento, en contenedores se presentaron quemaduras de los bordes foliares y la pérdida de muchas plantas, por lo que la cantidad de plantas sobrevivientes no fueron representativas para ser comparadas con el resto de los tratamientos; tal vez la muerte de las plantas fue por la acumulación de sales en concentraciones que no fueron tolerables por la frambuesa, debido quizás al reducido volumen de suelo y alta evapotranspiración por efecto de alta radiación y temperatura en el invernadero, así como humedad relativa baja, especialmente de abril a mayo que fue época del año en que se desarrollo el cultivo. Los síntomas observados corresponden a los reportados por Reckmann (1997), quién observo daños similares a los provocados por senescencia prematura de hojas, con necrosamientos y quemadura de los bordes que finaliza con la pérdida de hojas y muerte de la planta.

Maldonado (1984), estudiando las mezclas de abonos orgánicos (gallinaza) con superfosfato de calcio simple en relación 4:1 encontró un incremento en el rendimiento de materia seca en frijol; sin embargo, en la presente investigación con frambuesa el PS y AF en la combinación de químico con el abono orgánico Humicrop 100 fue el mejor tratamiento, quizás por la adición de ácidos húmicos activados (60 %) derivados de leonardita más la aplicación de superfosfato simple ($11.45 \text{ g bolsa}^{-1}$), obteniendo en forma general el mejor efecto. Vaughan *et al.* (1985) consideran que las sustancias húmicas de los abonos orgánicos incrementan significativamente la materia seca, sobre todo cuando no se satisfacen todos los factores nutrimentales para que la planta exprese su máximo potencial en crecimiento y desarrollo.

4.1.2. Diámetro, altura y número de nudos por caña

De acuerdo al Cuadro 4, se encontró que el diámetro de caña (DC) no presentó diferencia significativa entre tratamientos, pero si en altura de caña (ALC) y número de nudos (NNU) (Anexo 2A).

Los DC obtenidos en cualquiera de los tratamientos, de acuerdo a la prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), fueron estadísticamente similares con valores de 0.838 a 0.979 cm, por lo tanto no es un parámetro adecuado para determinar y discutir cual fue el mejor (Cuadro 4). Sin embargo, el DC estuvo correlacionado positivamente (0.66) con la altura de la caña (ALC), es decir a mayor DC se fue favorecido con un incremento en la ALC (Cuadro 11).

En la variable ALC (Cuadro 4), el Raizet 20G presentó el valor más alto (64.267 cm) que fue estadísticamente similar al obtenido por la Composta Nocon (64.233 cm) y el de menor respuesta fue Healthy Start (41.611 cm), que incluso fue menor que el testigo (46.20 cm). De manera general la ALC fue más favorecida con aplicaciones de las combinaciones de fertilizantes químicos con abonos orgánicos, que estos por separado. Al analizar el comportamiento del número de nudos por caña (NNU) (Cuadro 4), se observó que la mejor respuesta fue obtenida con Humicrop 100 (23.80) y el de menor efecto fue Healthy Start (16.66).

El DC no presentó diferencias entre tratamientos; sin embargo, los datos obtenidos en NNU y ALC estuvieron muy relacionados, donde en la mayoría de los tratamientos con

la mayor ALC obtuvieron mayor NNU, siendo más notorio en los tratamientos con la combinación de fertilización química con orgánica, que tal vez se deba a las aplicaciones de abonos orgánicos como la composta, ya que pueden aportar cierta cantidad de micronutrientes (B, Fe, Mn, Cu, Zn, principalmente) que favorecen el crecimiento, y que los fertilizantes químicos utilizados no los contenían. Al respecto Vaughan *et al.* (1985) afirman que el aporte de ácidos húmicos incrementa la síntesis de proteínas, lo cual es importante para la expansión celular en las plantas superiores.

Cuadro 4. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el diámetro de caña (DC), altura de caña (ALC) y número de nudos (NNU) por caña en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.

TRATAMIENTO	DC (cm)	ALC (cm)	NNU
Testigo	0.945a [†]	46.200ab [†]	20.133ab [†]
Healthy Start	0.838a	41.611 b	16.667 b
Composta Nocon	0.978a	64.233a	23.000ab
Raizet 20G	0.979a	64.267a	23.400ab
Humicrop 100	0.934a	61.967ab	23.800a
F. Químico + Composta Nocon	0.971a	53.333ab	20.333ab
F. Químico + Raizet 20G	0.846a	44.333ab	17.000ab
F. Químico + Humicrop 100	0.869a	60.364ab	20.727ab
DMS	0.2665	22.521	6.8917
CV	21.412	30.043	24.300
Significancia	NS	**	**

[†]Valores con letras iguales dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). F.= Fertilizante químico. NS = No significativo. **= $P \leq 0.01$ (Significativo al 0.01 de probabilidad). DMS = Diferencia mínima significativa. CV = Coeficiente de variación.

4.1.3. Clorofilas a, b y total

Al analizar el contenido de clorofila a (CA), clorofila b (CB) y clorofila total (CTOT) en hojas, se apreció que todas presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos (Anexo 3A y Cuadro 5).

En forma general de acuerdo al Cuadro 5, en contenedores con la fertilización química combinada con Raizet 20G se obtuvo la mejor respuesta para la CA ($1.655 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$), CB ($0.956 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$) y CTOT ($2.611 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$), en segundo lugar estuvo la fertilización química combinada con la Composta Nocon con valores de 1.497, 0.850 y $2.347 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$, respectivamente; sin embargo, la Composta Nocon aplicada sola fue la de menor respuesta en CA ($1.003 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$), CB ($0.586 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$) y CTOT ($1.589 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$) (Cuadro 5).

Los contenidos más altos de clorofila en hojas donde se aplicó la combinación de los fertilizantes químicos y los abonos orgánicos, podría tener relación con los niveles más altos de K (0.84 a 1.08 %) en hojas (Anexo 12A) observado en estos tratamientos, el cual al igual que N, Mg, Fe y Mo, que aunque no presentaron los niveles más altos encontrados en hojas, participan en actividades enzimáticas o síntesis de pigmentos relacionados con la clorofila (Pritts y Handley, 1989). Visser (1986) menciona que las clorofilas a y b se incrementan por la aplicación de sustancias húmicas que están contenidas en los abonos orgánicos aplicados al suelo o vía foliar.

Cuadro 5. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el contenido de clorofila a (CA), clorofila b (CB) y clorofila total (CTOT) por caña en frambuesa roja ‘Autumn Bliss’ cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.

TRATAMIENTO	CA mg g ⁻¹ m.f. [§]	CB mg g ⁻¹ m.f. [§]	CTOT mg g ⁻¹ m.f. [§]
Testigo	1.278 bcd [†]	0.770abcd [†]	2.048 bcd [†]
Healthy Start	1.446abc	0.841abc	2.287abc
Composta Nocon	1.003 d	0.586 d	1.589 d
Raizet 20G	1.047 d	0.593 d	1.640 d
Humicrop 100	1.133 cd	0.628 cd	1.760 cd
F. Químico + Composta Nocon	1.497ab	0.850ab	2.347ab
F. Químico + Raizet 20G	1.655a	0.956a	2.611a
F. Químico + Humicrop 100	1.276 bcd	0.700 bcd	1.976 bcd
DMS	0.344	0.219	4.581
CV	13.011	14.429	13.440
Significancia	**	**	**

[†]Valores con letras iguales dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05). F.= Fertilizante químico. §m.f.=materia fresca. *=P≤0.05 (Significativo al 0.05 de probabilidad). **=P≤0.01 (Significativo al 0.01 de probabilidad). DMS = Diferencia mínima significativa. CV = Coeficiente de variación.

4.1.4. Número y peso de frutos por caña

Respecto al número de frutos por caña (NFC) no hubo diferencia estadística entre tratamientos; sin embargo, en el peso de frutos por caña (PFC) sí la hubo (Anexo 4A).

En el Cuadro 6 se observa que la combinación de la fertilización química con el abono orgánico Raizet 20G fue el mejor tratamiento con un peso de frutos de 1.42 g y el de menor respuesta fue la Composta Nocon (0.44 g) que estadísticamente se consideró que fue similar al testigo (0.55 g).

Cuadro 6. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el número de frutos por caña (NFC) y peso de frutos por caña (PFC) en frambuesa roja ‘Autumn Bliss’ cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.

TRATAMIENTO	NFC	PFC (g)
Testigo	0.252a [†]	0.552 b [†]
Healthy Start	0.352a	0.741ab
Composta Nocon	0.229a	0.447 b
Raizet 20G	0.249a	0.558ab
Humicrop 100	0.266a	0.556ab
F. Químico + Composta Nocon	0.416a	1.080ab
F. Químico + Raizet 20G	0.515a	1.422a
F. Químico + Humicrop 100	0.345a	0.816ab
DMS	0.337	0.867
CV	116.210	126.939
Significancia	NS	*

[†]Valores con letras iguales dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05). F.= Fertilizante químico. NS = No significativo. *=P≤0.05 (Significativo al 0.05 de probabilidad). DMS = Diferencia mínima significativa. CV = Coeficiente de variación.

Por su parte Sullivan (2001) estudiando la asimilación de carbono en frambuesa roja ‘Autumn Bliss’ encontró frutos con pesos de hasta 2.65 g en contenedores, sin

embargo, se debe tener en consideración que en la presente investigación, aunque no se elevaron los rendimientos, se obtuvo que las combinaciones mejoran la eficiencia de los fertilizantes químicos y los abonos orgánicos, lo cual indica que bajo mejores condiciones de manejo nutrimental y ambiental pudiera incrementarse los rendimientos.

4.2. Experimento en campo

4.2.1. Área foliar, peso seco y específico de hojas

En el Cuadro 7 se observa que las diferencias en el peso seco (PS) y área foliar (AF) en frambuesas cultivadas en campo, fueron altamente significativas entre tratamientos; sin embargo, para peso específico (PE) no la hubo (Anexo 5A).

La mejor respuesta en PS (1.591 g) y AF (111.762 cm²) se obtuvo con la combinación de fertilización química y abono orgánico Healthy Start, aunque las diferencias en PS fueron similares estadísticamente a la aplicación de la fórmula química y Healthy Start por separado. El PS del testigo (1.066 g) y la Composta Nocon (1.108 g) fueron estadísticamente inferiores con respecto a los otros tratamientos. También en AF el testigo (70.782 cm²) y la Composta Nocon (84.099 cm²) obtuvieron los valores más bajos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el peso seco de hojas (PS), área foliar (AF) y peso específico (PE) por caña en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.

TRATAMIENTOS	PS (g)	AF (cm ²)	PE (g cm ⁻²)
Testigo	1.066 b [†]	70.782 d [†]	0.015a [†]
Químico	1.475a	102.150ab	0.016a
Healthy Start	1.441a	89.744 bc	0.021a
F. Químico + Healthy Start	1.591a	111.762a	0.014a
Composta Nocon	1.108 b	84.099 cd	0.013a
DMS	0.196	16.430	0.010
CV	18.396	22.392	83.215
Significancia	**	**	NS

[†]Valores con letras iguales dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (F≤0.05). F.= Fertilizante químico. NS = No significativo. **=P≤0.01 (Significativo al 0.01 de probabilidad). DMS = Diferencia mínima significativa. CV = Coeficiente de variación.

De manera general, la fertilización química combinada con la orgánica tuvo mayor efecto, incrementando la acumulación de materia fresca y seca de hojas, aunque en peso específico obtuvieron efectos similares. En el mejor efecto de la fertilización combinada posiblemente influyó por el aporte de N por la urea (79.03 g en un área de exploración radical de 1.5 m²) (Cuadro 2), así como otros nutrimentos del Healthy Start con 3 % de N, 4 % de P, 3 % de K y el efecto de ácido húmico (leonardita), *Ascomyllum nodosum* y *Yucca schidigera* (Anexo 11A); donde la *Y. schidigera* contiene gran cantidad de saponinas esferoidales que actúan como surfactante natural, incrementando la absorción de agua, mejorando la aireación, percolación y disponibilidad de nutrimentos, así como el aumento en la descomposición de materia orgánica (Bautista, 2002), además del

contenido de N inorgánico (0.13 %) presente en el suelo (Anexo 9A). Jones (2003) afirmó que el N se puede encontrar en formas inorgánicas y orgánicas en las plantas, donde las concentraciones más altas se encuentran en hojas nuevas en pleno desarrollo, ya que es un constituyente de proteínas, ácidos nucleicos y muchas otras sustancias importantes que determinan el crecimiento y desarrollo del follaje. Baral y Cahoon (1994) observaron en campo que para frambuesa roja 'Heritage' el peso seco de cañas y área foliar fueron aumentando conforme se incrementó la concentración de N (0, 15, 30, 45, 60 y 75 g N por 1.67 m²). Además de lo anterior, se confirmó que el N es muy importante para el crecimiento y desarrollo del follaje, pero es necesario aclarar que para mayor eficacia necesita estar en equilibrio con los otros nutrimentos (Jones, 2003). Megan *et al.* (1979) en forma general observaron que las plantas en crecimiento presentan concentraciones más elevadas de nutrimentos, en especial N, P y K, que las plantas adultas, especialmente cuando se relaciona con peso seco, debido a que la masa foliar se incrementa con la edad. Aunque en la presente investigación los valores más altos en PS, AF y PE no fueron precisamente aquellos que tenían el nivel más alto de N (Anexo 11A). Por otro lado, Rodríguez (1995) observó que en diferentes tipos de suelo, con niveles de materia orgánica de 0 a 12.0 g kg⁻¹, que no hubo diferencia significativa en las variables mencionadas, aunque numéricamente el mayor valor (447.22 cm²) se obtuvo con 3 g de materia orgánica para la variable área foliar en suelo arcilloso. Vaughan *et al.* (1985) reportan que las sustancias húmicas aplicadas a bajas concentraciones a las plantas producen un incremento significativo de materia seca en gramíneas y otros cultivos. La aplicación de ácidos húmicos directamente al suelo bajo invernadero incrementó también la producción de materia seca en trigo y trébol. Similar a lo ocurrido en la presente investigación con los abonos orgánicos.

4.2.2. Diámetro, altura y número de nudos por caña

En frambuesas cultivadas en campo el diámetro de caña (DC) no presentó efecto de tratamientos (Anexo 6A). La altura de caña (ALC) presentó diferencia altamente significativa entre tratamientos y sin embargo el número de nudos (NNU) no presentó diferencias estadísticas (Cuadro 8). Para la altura de caña (ALC) se observó que la fertilización química con el abono orgánico Healthy Start produjo el mayor valor (80.050 cm). Aunque en DC y NNU no se presentaron diferencias estadísticas numéricamente el fertilizante químico con el Healthy Start obtuvo el valor más alto con 1.15 cm y 28.15, respectivamente. Por otro lado, con la Composta Nocon se observó la menor respuesta en ALC (67.550 cm), así como en DC (1.070 cm) y NNU (26.425); incluso los valores estuvieron por debajo del testigo en ALC (71.638 cm), DC (1.087 cm) y NNU (26.775), respectivamente (Cuadro 8).

En forma general el Healthy Start cuando se combinó con el químico produjo la mayor respuesta, posiblemente porque aportó mayor cantidad de N (3 %), P (4 %) y K (3 %) (Anexo 11A) junto con el químico (79.03 g de urea, 303.03 g de superfosfato simple y 145.45 g de sulfato de potasio en 1.5 m²) (Cuadro 2). Confirmando lo anterior, Campos (2000) encontró que el diámetro de tallo resultó significativamente mayor en tratamientos con mejor aporte nutrimental de fósforo, 2 meq L⁻¹; en relación con aquellos tratamientos con el de 1 meq L⁻¹ P. También, el N aportado incrementó el crecimiento de la caña y el tamaño de frutos y se obtuvo mayor concentración de N en las hojas (Kongsrud, 1996).

Cuadro 8. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el diámetro de caña (DC), altura de caña (ALC) y número de nudos (NNU) por caña en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.

TRATAMIENTOS	DC (cm)	ALC (cm)	NNU
Testigo	1.087a [†]	71.638ab [†]	26.775a [†]
Químico	1.140a	71.438ab	25.525a
Healthy Start	1.089a	72.700ab	26.725a
F. Químico + Healthy Start	1.150a	80.050a	28.150a
Composta Nocon	1.070a	67.550 b	26.425a
DMS	0.086	9.577	3.167
CV	12.610	21.404	19.251
Significancia	*	**	NS

[†]Valores con letras iguales dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). F.= Fertilizante químico. *= $P \leq 0.05$ (Significativo al 0.05 de probabilidad). **= $P \leq 0.01$ (Significativo al 0.01 de probabilidad). DMS = Diferencia mínima significativa. CV = Coeficiente de variación.

En la presente investigación el diámetro y altura de las cañas estuvieron muy relacionados con la mayor cantidad de nudos por caña, indicando que cañas vigorosas tienen la posibilidad de un mejor desarrollo de diámetro, altura y número de nudos. También, Arreola (1988) encontró relación entre el diámetro y longitud de cañas, relacionándolo con más frutos y por lo tanto mayor rendimiento. Pritts y Handley (1989) por su parte consideraron que la respuesta en estas variables el N fue el factor determinante y que altos niveles de N incrementaron el diámetro y altura de cañas. Sin embargo, Baral y Cahoon (1994) encontraron que un aumento en la tasa de N utilizado no aumentó el tamaño de las cañas y número de nudos por caña, pero en los meses

subsecuentes hubo un claro efecto del N en la fenología de las plantas mejorando el vigor y desarrollo.

4.2.3. Clorofilas a, b y total

El contenido de clorofila a (CA), clorofila b (CB) y clorofila total (CTOT) no presentó diferencia estadística entre tratamientos (Anexo 7A); sin embargo, numéricamente la fertilización química más el abono orgánico Healthy Start obtuvo la mejor concentración de CA ($1.524 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$), CB ($0.843 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$) y CTOT ($2.367 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$), mientras que la Composta Nocon presentó los valores inferiores en CA ($1.372 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$), CB ($0.743 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$) y CTOT ($2.115 \text{ mg g}^{-1} \text{ m.f.}$) (Cuadro 9). La poca variación en contenidos de clorofilas, tal vez se deba a que el volumen de suelo explorado por las plantas fue mayor con respecto al explorado en los contenedores.

En forma visual las cañas que crecieron en campo no mostraron síntomas visuales de amarillamiento entre tratamientos cuando se realizó el muestreo, lo cual concuerda con los valores encontrados de las clorofilas. Al respecto Visser (1986) menciona que las sustancias húmicas de los abonos orgánicos ayudan a corregir la clorosis, incrementando la producción de xantofilas, carotenoides y estimulan el crecimiento de los plastidios, por su parte Campos (2000) menciona que las plantas más verdes son aquellas que aprovechan mejor la intensidad luminosa porque tienen mejor actividad luminosa a través del aparato fotosintético, lo cual promueve mayor demanda de nutrimentos que ayudan a incrementar su biomasa.

Cuadro 9. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el contenido de clorofila a (CA), clorofila b (CB) y clorofila total (CTOT) por caña en frambuesa roja ‘Autumn Bliss’ cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.

TRATAMIENTOS	CA mg g ⁻¹ m.f. [§]	CB mg g ⁻¹ m.f. [§]	CTOT mg g ⁻¹ m.f. [§]
Testigo	1.395a [†]	0.745a [†]	2.139a [†]
Químico	1.449a	0.810a	2.210a
Healthy Start	1.461a	0.808a	2.269a
F. Químico + Healthy Start	1.524a	0.843a	2.367a
Composta Nocon	1.372a	0.743a	2.115a
DMS	0.318	0.199	0.526
CV	10.137	11.533	10.857
Significancia	NS	NS	NS

[†]Valores con letras iguales dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05). F.= Fertilizante químico. NS = No significativo. DMS = Diferencia mínima significativa. CV = Coeficiente de variación. [§]m.f.=materia fresca.

4.2.4. Número y peso de frutos por caña

Para el número de frutos por caña (NFC) y peso de frutos por caña (PFC) no se encontraron diferencias estadísticas (Anexo 8A). Sin embargo, numéricamente los valores más altos fueron los obtenidos con la combinación de la fórmula química con el abono orgánico Healthy Start, tanto para NFC (3.347) como para PFC (6.997 g), pero aplicando sólo el Healthy Start se obtuvo la menor respuesta con valores para NFC de 1.786 y PFC de 3.963 g. En lo que respecta al testigo, nuevamente se mantuvo con valores intermedios tanto para NFC (2.297) como para PFC (4.329 g), aunque estadísticamente cualquiera de los tratamientos respondieron igualmente en NFC y PFC

(Cuadro 10). Similar a lo reportado en la presente investigación Arreola (1988) encontró que el número de frutos tuvo estrecha y directa relación con el rendimiento, así como una relación inversa entre la concentración de N en las hojas con las laterales fructificantes. Donde la combinación de la fertilización química con orgánica obtuvo la mejor respuesta en NFC y PFC. Por su parte, Jara (2001) con aplicaciones de vermicomposta a frambuesa roja que estaba asociada con lupino, encontró solamente diferencias estadísticas entre tratamientos en el número y peso de frutos. Galleta *et al.* (1990) al respecto propusieron que el rendimiento depende en gran medida del vigor y número de cañas por metro lineal.

Cuadro 10. Efecto de la fertilización orgánica, química y sus combinaciones sobre el número de frutos por caña (NFC) y peso de frutos por caña (PFC) en frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.

TRATAMIENTOS	NFC	PFC (g)
Testigo	2.297a [†]	4.329a [†]
Químico	2.791a	5.926a
Healthy Start	1.786a	3.963a
F. Químico + Healthy Start	3.347a	6.997a
Composta Nocon	2.734a	5.495a
DMS	1.771a	4.123
CV	69.188	78.094
Significancia	NS	NS

[†]Valores con letras iguales dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). F.= Fertilizante químico. NS = No significativo. DMS = Diferencia mínima significativa. CV = Coeficiente de variación.

4.3. Concentración nutrimental de las cañas en contenedores

4.3.1. Macronutrientes

En forma general, en contenedores las combinaciones de la fertilización química y abonos orgánicos favorecieron el contenido de N en hojas durante el desarrollo de flores en frambuesa roja (Figura 1). De acuerdo con Crandall (1995), los resultados del análisis nutrimental foliar muestran que el contenido de nitrógeno en los tratamientos estuvo cercano al nivel normal (2.8 %) (Anexo 10A). Los tratamientos Raizet 20G (1.84 %), Composta Nocon (1.91 %) y Humicrop 100 (2.02 %) estuvieron por debajo del nivel de deficiencia (<2.5 %); sin embargo, los otros tratamientos se mantuvieron dentro de los límites de normalidad, pero al combinar la fórmula química con el Raizet 20G se obtuvo la mejor respuesta en la concentración nutrimental foliar de N (3.61 %).

Para el testigo (2.5 %) de acuerdo a Jones (1991) el N estuvo dentro del nivel de suficiencia (2.4 a 4.0 %), pero para Crandall (1995) fue deficiente (2.5 %). Al respecto, Baral y Cahoon (1994) observaron síntomas visibles de deficiencia de N con niveles en hoja inferiores al 2.0 %, que afectaron negativamente la cantidad de frutos y número de nudos por caña de frambuesa roja.

De acuerdo a lo anterior, es probable que el color verde pálido o amarillento observado en cañas y folíolos de frambuesa roja, así como el escaso número y tamaño de drupéolas en frutos tal vez se presentó por deficiencias de N, que también fueron encontradas por Pritts y Handley (1989) en su trabajo con frambuesas rojas cultivadas en suelo. De

acuerdo con Jones (2003) el N es muy importante para la formación de aminoácidos, aminoenzimas, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides y bases purinas necesarios para un buen crecimiento y desarrollo; posiblemente se puede explicar que en la presente investigación por los efectos de amarillamientos de folíolos muy marcados en tratamientos que no recibieron eficientemente el N al final de la etapa de fructificación, mientras que en aquellos en los que estuvieron combinados los fertilizantes químicos con abonos orgánicos los resultados fueron similares a los obtenidos por Salazar y Baca (1998) que al estudiar el comportamiento nutrimental de frambuesa roja cultivada en suelo alcalino con aspersiones foliares de urea, Mn y Zn no mostraron síntomas visuales de deficiencia de N.

Jara (2001) al realizar aplicaciones de vermicomposta en una asociación de frambuesa roja con lupino encontró que el N se mantuvo en niveles de suficiencia (2.5 a 4.0 %), favoreciendo mayor crecimiento vegetativo, diámetro de caña, materia fresca y seca, que en aquellos tratamientos donde no estuvieron asociados. Reafirmando lo anterior, es conveniente aclarar que la acumulación de N en el tejido de frambuesa tendría como fuente de N la transformación del nitrógeno orgánico a nitrógeno disponible para la planta, donde este proceso depende de varios factores como temperatura del suelo, humedad, aireación, pH y actividad de muchos microorganismos degradadores (Havlin *et al.*, 1999). Por lo tanto, la disponibilidad de N aplicado en los tratamientos dependió de los factores antes mencionados y la capacidad de las plantas para que fuera absorbido.

En el caso del fósforo, de acuerdo con Crandall (1995) para la mayoría de los tratamientos los valores correspondieron a niveles normales (0.3 %) (Anexo 10A); sin

embargo, el testigo (0.27 %) y Raizet 20G (0.19 %) estuvieron por debajo de lo normal (Figura 1). Uno de los efectos de las mezclas de abonos orgánicos y químicos es permitir una mejor absorción de P y micronutrientes (Bould, 1968; Crandall, 1995; Maldonado, 1984), ya que deben ser aplicados combinados preferentemente para obtener mejores resultados (Galleta *et al.*, 1990). En estudios realizados en frambuesa roja, Campos (2000) demostró que el P acompañado por el Ca promovió un efecto positivo sobre el diámetro y lignificación del tallo, así como un mejor balance nutrimental en la planta con 2 meq L⁻¹ de P, superando en 7 % a la aplicación de 1 meq L⁻¹ de P. En una investigación realizada en contenedores por Jara *et al.* (2002) utilizando suelo de un huerto de frambuesa 'Autumn Bliss' como sustrato y en asociación con lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet.), se encontraron altas y excesivas concentraciones foliares de P (2.32 a 2.4 %), pero en los tratamientos de asociación de frambuesa con lupinus fueron mejores los resultados, que en los tratamientos con vermicomposta solamente.

La baja concentración de P presentada por el testigo (0.27 %), que sólo dependió del suministrado por el suelo fue muy baja igual que para Raizet 20G (0.19 %) aunque según el análisis químico de este producto orgánico se debió favorecer porque contiene una pequeña cantidad de P (0.75 %) (Anexo 11A); posiblemente se debió a que la disponibilidad del P en el suelo es lenta, dado que su mineralización es paulatina; siendo liberado a la solución del suelo por descomposición de los residuos de cosecha y microorganismos; donde la actividad de una ectoenzima denominada fosfatasa ácida liberada por bacterias y hongos o secretada por la zona apical de las raíces (Dinkelaker y Marschner, 1992), ayuda a liberar el P, de tal manera que éstas son las principales

fuentes de P para la utilización de los cultivos (Jones, 2003); sin embargo, la actividad de esta enzima es diferente para cada especie vegetal (Salisbury y Ross, 1994).

Buchanan y Gliessman (1990) encontraron que la adición de materia orgánica por la composta, combinada con fertilizantes que contengan N o P, pueden aumentar el uso eficiente del P comparado a cuando se fertiliza solamente con formas ácidas de N más P inorgánico y no se utiliza composta. La aplicación de materia orgánica con las compostas puede mejorar las características de los suelos que favorecen el desarrollo de las raíces y la absorción del P, debido en parte al efecto que tiene en la regulación del pH del suelo.

La concentración de K encontrada en las hojas de todos los tratamientos de la presente investigación fue considerada como baja (1.0 %) o muy baja (<1.0 %) de acuerdo con Crandall (1995) (Anexo 10A). El fertilizante químico más el Raizet 20G (1.08 %) fue el nivel más cercano al normal (1.5 %), en cambio la menor respuesta se obtuvo al aplicar solamente el Raizet 20G (0.55 %), esto porque el Raizet 20G de acuerdo a su análisis nutrimental no contiene K, pero al adicionar el químico responde muy favorablemente. El testigo se mantuvo en niveles deficiente (0.63 %), pero numéricamente no fue el de menor respuesta (Figura 1).

La disponibilidad de K en las compostas puede ser mayor del 85 % del K total, sin embargo el contenido de K de cada abono orgánico o composta varía dependiendo del material utilizado para su elaboración. Además la mineralización del K es rápida al inicio a muy lenta conforme pasa el tiempo, de tal forma que anualmente la

mineralización de K extraíble decrece de 73 a 29 % en composta y de 39 a 24 % para los biosólidos (Zhenli *et al.*, 2001). Por eso tal vez mucho del K aplicado no alcanzó a mineralizarse antes de realizar el muestreo nutrimental en hojas, y no estaba disponible en la solución del suelo para que fuera absorbido por las raíces.

En investigaciones similares, Bould (1968) en cañas productivas observó bajos contenidos de N, P y K que estuvieron relacionados con deficiencias visuales; aunque en la presente investigación no fueron percibidas antes del muestreo. Por otro lado, Medel y Vargas (1983), con niveles inferiores al 0.50 % de K durante la primera fecha de muestreo, observaron síntomas de deficiencias en el follaje, caracterizado por un bronceado intervenal y posterior necrosamiento marginal de las hojas y desprendimiento del tallo. De manera general en esta investigación las combinaciones de la fórmula química con abono orgánico fueron mejores que la aplicación de cada uno de estos por separado, alcanzando niveles nutrimentales cercanos a los normales (1.5 %) (Figura 1). Es así como Palm *et al.* (1997) y Schlather (1998) afirman que la fertilización química con materia orgánica (composta y abonos verdes) puede ser altamente competitiva y en ocasiones más efectivos si se usan complementariamente químicos con orgánicos para satisfacer las necesidades nutrimentales.

Se debe tener presente que la deficiencia de K encontrada, pudo provocar problemas en la apertura y cierre de estomas, así como en la movilidad del N de las raíces a las hojas de acuerdo a lo expuesto por Crandall (1995) y Pritts y Handley (1989), ya que la deficiencia de K pudo interferir en el estado hídrico de las plantas, además de ser necesario para la acumulación y translocación de los carbohidratos formados.

Reafirmando lo anterior, Kowalenko (1981) encontró que aplicaciones de Mg (MgSO_4) o K (KCl) al cultivar 'Willamette' afectó al rendimiento, donde el potasio incrementó el tamaño de frutos en por lo menos uno de tres años de aplicación. Esto se asemeja a lo ocurrido con Raizet 20G, presentó los niveles más altos de Mg superiores al 2.5 % y el mejor peso promedio de fruto por caña (Cuadro 6).

La concentración de calcio y magnesio alcanzada en hojas de frambuesa (Figura 1) se ubicó dentro de la categoría de adecuados con 0.6 y 0.4 %, respectivamente (Anexo 10A) (Crandall, 1995). En la Figura 1 se muestra que la Composta Nocon presentó el nivel más alto (1.34 %) por encima de lo normal (0.6 %), mientras que la menor respuesta de Ca se obtuvo con el Raizet 20G (0.78 %) y el Healthy Start (0.81 %). De manera general, el Ca se mantuvo en niveles adecuados en todos los tratamientos. Debido a su importancia como macronutriente, el Ca es importante para formar parte estructural de las células lignificadas, como pectatos de calcio presentes en las paredes celulares y necesarias en diversos procesos fisiológicos de todas las plantas (<biblio>).

Aunque todos los tratamientos estuvieron en niveles ligeramente superiores a los normales de Mg (0.4 %) (Crandall, 1995) (Anexo 10A), la fertilización química más el abono orgánico Raizet 20G favoreció un mayor contenido de Mg en las hojas (0.86 %). Sin embargo, utilizando solamente el abono orgánico Raizet 20G se observó el nivel más bajo de Mg (0.46 %), pero aún así dentro de valores normales; tal vez, por que los abonos orgánicos por si solos no son capaces de satisfacer las principales necesidades nutrimentales de la planta, y por lo tanto al combinarlos permitió mayor disponibilidad, que favoreció para encontrar concentraciones más altas de Mg en el follaje.

La concentración de Ca (1.01 %) y Mg (0.62 %) en el testigo a pesar de que no fue deficiente se mantuvo dentro del grupo de los tratamientos con los valores más bajos (Figura 1). De acuerdo a Pritts y Handley (1989) el Mg es necesario para la producción de clorofila y el metabolismo del nitrógeno, por lo que es de entenderse que la fertilización química con el Raizet 20G estuvo relacionada con mayor producción de las clorofilas a, b y total (Cuadro 5). Esto es explicado, considerando que tal vez los requerimientos de Ca y Mg suministrados por el fertilizante químico o los abonos orgánicos solos o combinados mejoraron la demanda nutrimental de la frambuesa roja, para que por lo menos no se registraran niveles de deficiencia nutrimental de la planta en algunos tratamientos.

Además, posiblemente el abastecimiento de Mg por el suelo (295 a 379 mg kg^{-1}) (Anexo 9A), fue suficiente para cubrir las necesidades del cultivo incluso las del testigo. Por otra parte, debe considerarse que el Mg soluble en el suelo tiende a mantener un equilibrio con el Mg intercambiable, y es adsorbido con menor fuerza que el Ca (Jones, 2003). Así también, Gutiérrez (1980) evaluó que la aplicación anual de materia orgánica (20 t ha^{-1} de gallinaza) propiciaba incrementos de Ca, Mg y K intercambiables y mayor porcentaje de saturación de bases; estableciendo además un equilibrio en el suelo, puesto que la ausencia de materiales orgánicos descompuestos promueven lixiviación de sales hacia estratos inferiores. Sin embargo, con los productos aplicados se mantuvieron niveles adecuados de Ca y Mg en hojas, no así para K el cual fue deficiente en todos los tratamientos.

En suelo el contenido de Ca encontrado (1 454 hasta 2 054 mg kg⁻¹) y Mg (295 hasta 379 mg kg⁻¹) no fue bajo, pero dados los procesos de intercambio cationico y precipitación química no se conoce que tanto Ca y Mg estuvieron disponibles para la planta; sin embargo, en todos los tratamientos se mantuvieron en niveles normales, de acuerdo a los estándares foliares reportados por Crandall (1995). De acuerdo a Zhenli *et al.* (2001) las aplicaciones de estiércoles y compostas como abonos orgánicos incrementan las concentraciones de P, K, Ca, Mg y Zn en los tejidos de las plantas de maíz.

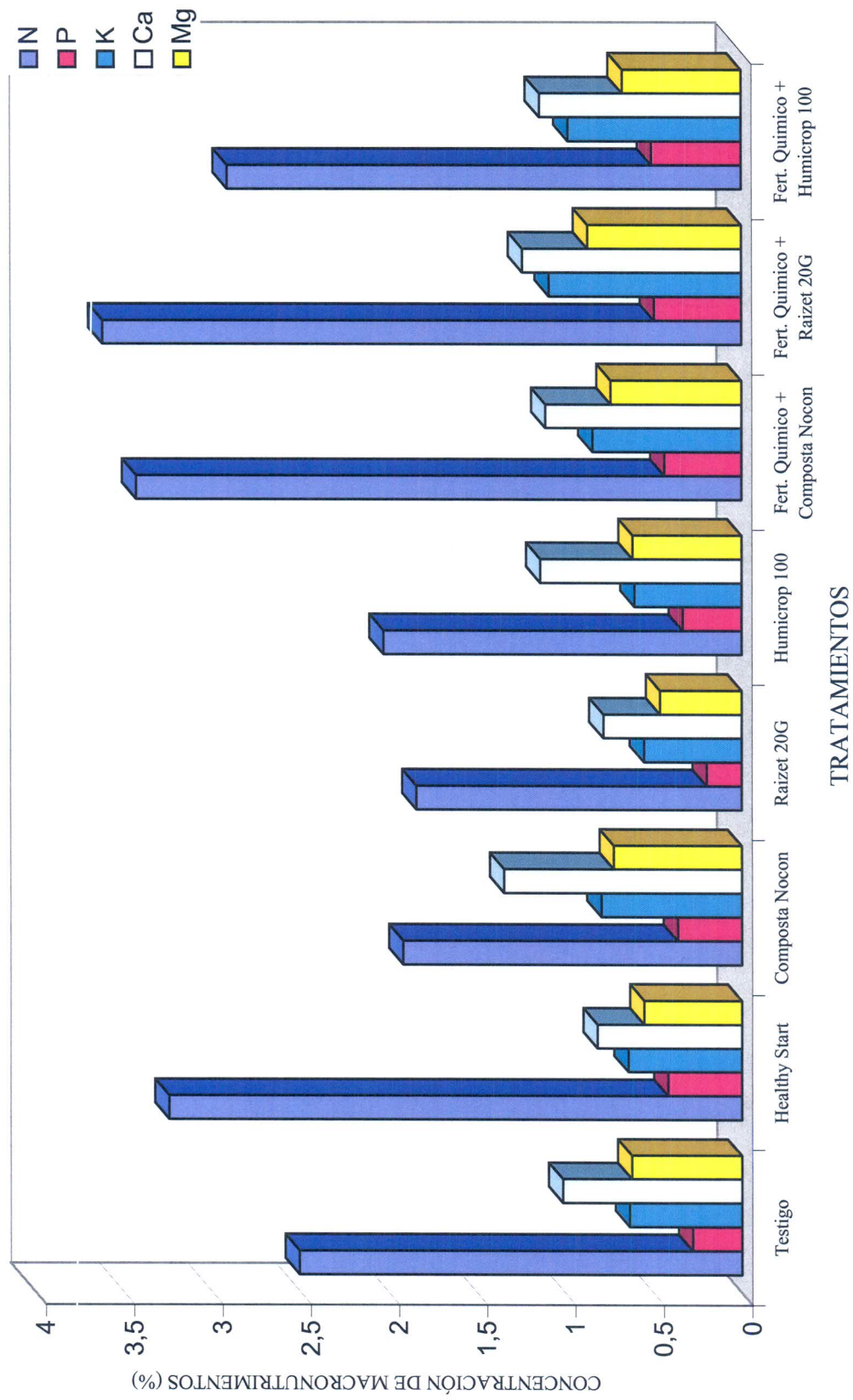


Figura 1. Concentración (%) de macronutrientes en el follaje de frambuesa roja ‘Autumn Bliss’ cultivadas en contenedores con aplicación de abono orgánico, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.

4.3.2. Micronutrientes

La concentración de boro en hojas de frambuesa roja 'Autumn Bliss', se encontró en niveles normales (46 mg kg^{-1}) según Crandall (1995); sin embargo, en el tratamiento donde se combinó la fórmula química con el abono orgánico Raizet 20G (84.24 mg kg^{-1}) se encontró en el nivel más alto, y el más bajo con la aplicación del Healthy Start (41.12 mg kg^{-1}) (Figura 2). De acuerdo con lo reportado por Crandall (1995), este último fue ubicando dentro del intervalo de normalidad (46 mg kg^{-1}) a deficiente (30 mg kg^{-1}), esto tal vez debido a que Healthy Start no reportó contenido de B en su análisis nutrimental (Anexo 11A).

El hierro es usualmente encontrado en cantidades suficientes en el suelo, pero la mayoría de las formas no son aprovechables (Crandall, 1995; Pritts y Handley, 1989). De acuerdo a la Figura 2, en la presente investigación el Fe fue el único elemento encontrado en concentraciones altas (150 mg kg^{-1}) hasta niveles considerados tóxicos ($>250 \text{ mg kg}^{-1}$) de acuerdo a Crandall (1995) (Anexo 12A). Pero al respecto Jones (2003) reporta intervalos de contenido del Fe en las hojas que pueden variar de 10 a 1000 mg kg^{-1} en materia seca.

Por otro lado, de manera muy relevante el testigo presentó el nivel más alto de Fe ($544.90 \text{ mg kg}^{-1}$) y superó a todos los tratamientos; los niveles más bajos se encontraron con el Raizet 20G (74.96 mg kg^{-1}) y la Composta Nocon ($145.33 \text{ mg kg}^{-1}$) concentraciones que son ligeramente superiores al nivel de normalidad (50 mg kg^{-1}) para frambuesa roja según Crandall (1995) (Figura 2). No se presentaron síntomas visuales de

toxicidad; sin embargo, las plantas con los niveles más bajos de Fe estuvieron correlacionadas con los bajos niveles de clorofila (Cuadro 11) (Crandall, 1995; Pritts y Handley, 1989). De acuerdo al Cuadro 5, de manera general la clorofila total encontrada en el testigo ($2.048 \text{ mg g}^{-1} \text{ m. f.}$) no correspondió al nivel más alto, pero sí fue superior en Fe; por otro lado, el contenido de clorofila con Raizet 20G ($1.64 \text{ mg g}^{-1} \text{ m. f.}$) y Composta Nocon ($1.58 \text{ mg g}^{-1} \text{ m. f.}$) forman parte del grupo de las concentraciones más bajas y corresponden a los niveles más bajos de Fe (Anexo 10A). Gutiérrez (1980) encontró que con aplicaciones de abonos orgánicos e inorgánicos, como el sulfato de amonio más superfosfato simple aumentaron las concentraciones de Al y Fe sólo en algunos tratamientos. Gutiérrez (1980) y Romero (1997) proponen que la aplicación de productos orgánicos o químicos al suelo modifica la disponibilidad de nutrimentos promoviendo mayor absorción nutrimental, como en este caso fue observado para el Fe.

Las concentraciones de manganeso se encontraron en niveles de normales (80 mg kg^{-1}) a altos (300 mg kg^{-1}) (Crandall, 1995); sin embargo, la concentración con la aplicación del fertilizante químico más Raizet 20G ($471.51 \text{ mg kg}^{-1}$) (Anexo 12A) fue superior al nivel alto (300 mg kg^{-1}) (Anexo 10A), mientras que el valor más bajo se obtuvo al aplicar Raizet 20G solo (63.83 mg kg^{-1}) el cual fue ligeramente inferior al normal (80 mg kg^{-1}) aunque no se consideró como deficiente (20 mg kg^{-1}) (Figura 2). Según Chaplin y Martin (1980) los niveles altos de Mn encontrados están relacionados con altas aplicaciones de N y B al follaje, que aunque en la presente investigación no se aplicaron aspersiones de nutrimentos al follaje, fue entonces que solamente la combinación químico con Raizet 20G (Anexo 12A) presentó un contenido por arriba del nivel normal con $471.51 \text{ mg kg}^{-1}$; sin embargo, el incremento de Mn no precisamente debe afectar a

las concentraciones de K, P, Ca, Mg, Fe, Cu, B o Zn encontradas en hojas de frambuesa roja.

En la Figura 2 se observa que el cobre presentó un intervalo de variación de 5.41 a 10.82 mg kg⁻¹ fue ubicado dentro del nivel de normalidad (2 mg kg⁻¹) a alto (50 mg kg⁻¹) (Crandall, 1995). Donde el valor más alto se obtuvo con la combinación del fertilizante químico con Humicrop 100 (10.82 mg kg⁻¹) y el más bajo con la aplicación de solamente Raizet 20G (5.41 mg kg⁻¹). Respecto al testigo (8.04 mg kg⁻¹) se mantuvo dentro del nivel de normalidad (Anexo 10A). De acuerdo al análisis nutrimental de los productos aplicados, no reportan contenidos de Cu en todos ellos; sin embargo, la mayoría de los abonos orgánicos aportan cierta cantidad de Cu (Labrador, 2001); considerando lo anterior las concentraciones encontradas en el follaje no fueron exclusivamente debido al aporte nutrimental que el suelo brindó y al antagonismo o sinergismo entre los elementos aplicados, si no además a la cantidad de Cu que pudo estar disponible en la solución del suelo.

Las concentraciones encontradas para el zinc estuvieron dentro del nivel de normalidad (34 mg kg⁻¹) o ligeramente inferior a este valor (13 mg kg⁻¹) según Crandall (1995) (Figura 2). La fertilización química con la Composta Nocon presentó el valor más alto (48.34 mg kg⁻¹) y el más bajo (20.89 mg kg⁻¹) con el Raizet 20G, lo que indica que el contenido de Zn de la Composta Nocon (12.90 mg kg⁻¹) tal vez se reflejó en el contenido de Zn encontrado en el follaje, el cual fue mejor que los otros (Anexo 12A).

La concentración de Zn en algunos casos fue ligeramente inferior del nivel normal, por lo que de acuerdo a Ames *et al.* (2000) se debe evitar la excesiva aplicación de fosfatos,

porque niveles altos de fosfatos están asociados con deficiencias de Zn. Todos los productos aplicados contienen cierta cantidad de fósforo (Anexo 11A), lo que pudo influenciar en las deficiencias de Zn encontradas en algunos tratamientos como es el caso del testigo y los tratamientos que solamente se les aplicó el abono orgánico.

En forma general para Mn, Cu y Zn en los tratamientos con abonos orgánicos y el testigo se obtuvieron niveles de concentraciones normales a ligeramente inferiores de lo normal; en el caso del Zn, cuando se aplicó la combinación química con orgánicos los niveles se mantuvieron de normales a altos. Por lo tanto, el aplicar una combinación ayuda a proveer niveles normales de los micronutrientes. Al respecto, Palm *et al.*, 1997; Romero, 1997 y Schlather, 1998 indican que las aplicaciones de nutrientes a través de los fertilizantes químicos y el uso de materia orgánica (composta, abonos verdes, etc.), pueden ser más eficientes si se usan complementariamente. Además de la cantidad de nutrientes que es requerida, la forma, el tiempo y el método de aplicación de los fertilizantes puede influir en la concentración de los nutrientes en el tejido (Kowalenko, 1994b; Jara, 2001). Visser (1986) menciona que existen muchas evidencias que las sustancias húmicas tienen un efecto sobre la nutrición vegetal por su acción a nivel de membrana celular, pues afecta la permeabilidad de la membrana, principalmente en relación con la bomba electrogénica de protones. Sin embargo, se reportan que altas concentraciones de sustancias húmicas ($1\ 500\ \text{mg kg}^{-1}$) dañan las membranas celulares. Por su parte Vaughan *et al.* (1985) explican que los ácidos húmicos a bajas concentraciones, incrementan la permeabilidad de las membranas celulares y por consiguiente promueven una absorción más activa de agua y nutrientes.

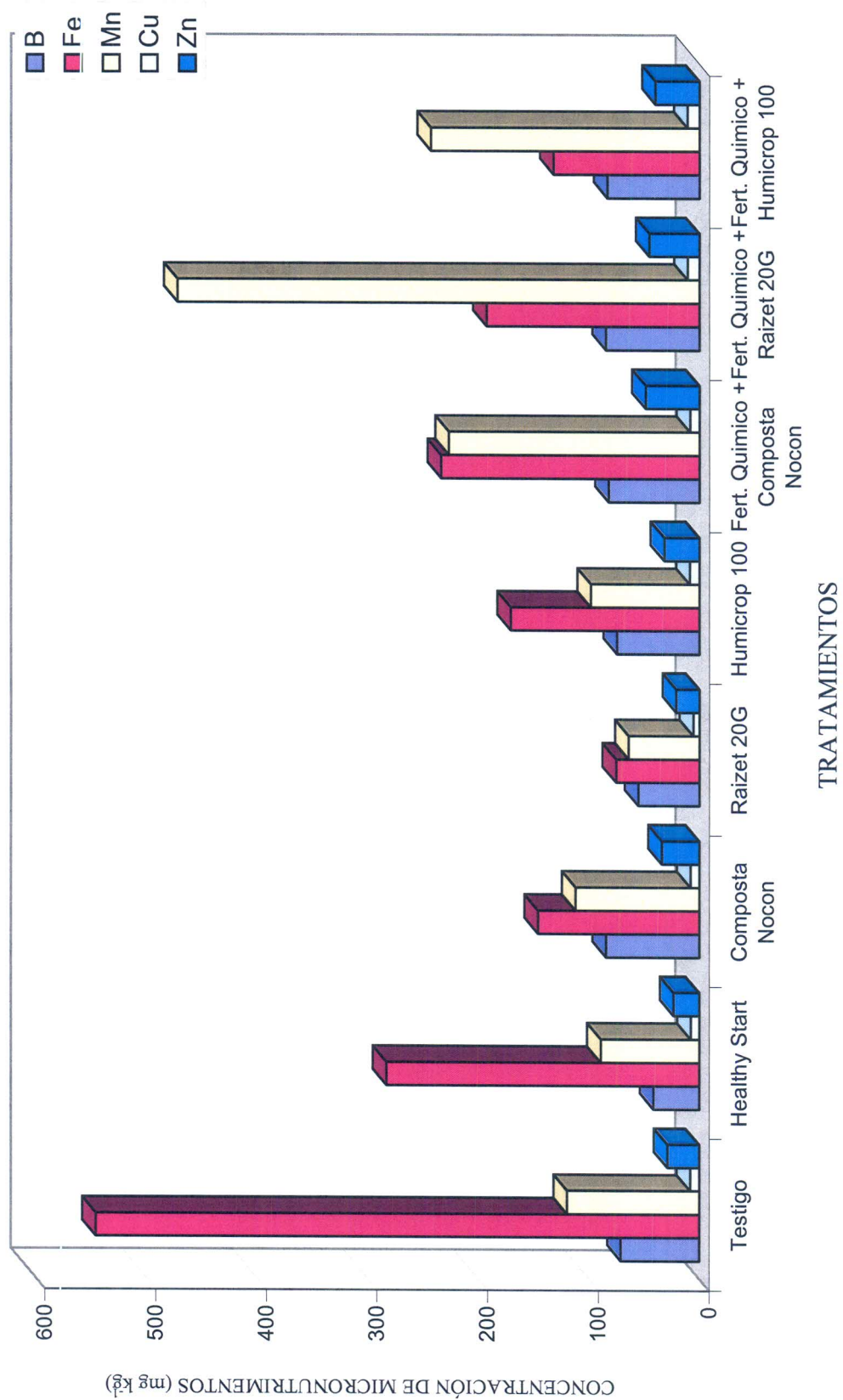


Figura 2. Concentración (mg kg⁻¹) de micronutrientos en el follaje de frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivadas en contenedores con aplicación de abono orgánico, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.

4.4. Concentración nutrimental de las cañas en campo

4.4.1. Macronutrientes

De manera general, las concentraciones de N en el follaje estuvieron alrededor del nivel normal (2.8 %), pero con tendencia a alto (4.0 %) (Crandall, 1995) (Figura 3), donde el tratamiento con la mejor respuesta fue la Composta Nocon fue el más alto (3.24 %), sabiendo de antemano de que solamente contiene 20.45 mg kg⁻¹ de nitrógeno inorgánico en su análisis nutrimental (Anexo 11A), en cambio el testigo presento el nivel más bajo (2.65 %) considerado como inferior de lo normal (Figura 3).

La fertilización química y química más Healthy Start obtuvieron la misma concentración de N (3.31 %), por lo que considerando los costos de fertilización química fue mejor porque disminuyó el gasto para su aplicación y no tiene diferencia si se aplica sola o combinada con el Healthy Start (Anexo 13A). Sin embargo, Maldonado (1984) y Romero (1997) encontraron que con aplicaciones combinadas con abonos orgánicos y fertilizantes se alcanza un mejor balance nutrimental, lo cual ayuda a disminuir la cantidad de fertilizante químico a utilizar e incrementar los rendimientos.

Baral y Cahoon (1994) encontraron que aplicaciones de N incrementan el número de cañas por planta. Evaluando varios ciclos de cultivo en 'Heritage' en campo, demostraron que se pueden obtener máximos rendimientos con aplicaciones de 45 g de N en 1.67 m², generando concentraciones en hojas de 2.3 hasta 2.6 %.

La Figura 3, muestra que el P se mantuvo en niveles alrededor de lo normal (0.3 %) (Crandall, 1995), donde la Composta Nocon presentó el valor más alto (0.43 %) a pesar de que según su análisis nutrimental solo aportó 1 482.48 mg kg⁻¹ (Anexo 11A), mientras que el testigo obtuvo el más bajo (0.29 %), considerado como ligeramente inferior a lo normal (Anexo 10A). En general el P no estuvo en niveles de deficiencia, porque la aplicación de los abonos orgánicos con fertilizantes químicos permitió mayor disponibilidad de P. Al respecto, Jones (2003) considera que el P en el suelo es liberado a la solución del suelo por la descomposición de los residuos de cosecha y microorganismos; de tal manera que éstas son las principales fuentes de P para la utilización de los cultivos.

Al igual que los resultados obtenidos en contenedores, para K se encontraron niveles deficientes (< 1%) (Crandall, 1995); de acuerdo a la Figura 3 la aplicación de la Composta Nocon (0.99 %) obtuvo el nivel superior y el valor inferior de K fue el del testigo (0.62 %) (Anexo 13A). Aunque el análisis nutrimental indica niveles bajos de K, en la planta no se observaron síntomas visuales de deficiencias durante el muestreo. Algo similar encontraron Medel y Vargas (1983) que analizando el estado nutrimental de plantaciones de frambuesa en Los Lagos Chile, encontraron concentraciones deficientes de K (0.32 hasta 0.98 %) para el crecimiento y fructificación de la especie, considerando que niveles inferiores a 1.5 % afectaron el desarrollo de la planta y con niveles inferiores a 0.5 % durante la primera fecha de muestreo fue posible observar síntomas de deficiencia foliar, caracterizado por un bronceado intervenal y posteriormente necrosamiento marginal de las hojas (Crandall, 1995; Pritts y Handley, 1989).

Los bajos niveles de K encontrados se explican posiblemente en parte por el análisis del follaje que se realizó a inicios de floración, donde la actividad metabólica obliga a la planta a estar en constante flujo de nutrimentos hacia los lugares de demanda, que para esta etapa serían básicamente hacia las flores y frutos en desarrollo, y sobre todo de K que es un nutrimento importante para inicio y desarrollo del fruto.

De acuerdo a investigaciones realizadas por Ames *et al.* (2000) en forma general las concentraciones de N, P y K son altas en hojas jóvenes pero decrece conforme maduran las hojas. Pero en investigaciones realizadas en un suelo alcalino y con aspersiones foliares de urea, Mn y Zn se encontraron concentraciones de N, K, Mg en niveles adecuados, para P inferiores de las adecuadas (Ovidio y Baca, 1998). Así también, con aplicaciones foliares de urea, Mn y Zn en un suelo alcalino se obtuvieron incrementos en la concentración de K (1.66 hasta 4.83 %), lo cual explican que fue debido a un balance nutrimental de acuerdo con la demanda nutrimental del cultivo.

En la Figura 3 se muestra que el calcio al igual que el magnesio en hojas de frambuesa roja estuvieron en niveles ligeramente superiores a los reportados por Crandall (1995) como normales (Anexo 10A); donde para Ca de manera similar que en contenedores, la Composta Nocon fue la de mayor valor (1.07 %), esto tal vez porque este abono contiene 67.10 mg kg^{-1} de Ca, el cual es superior al contenido por cualquiera de los otros productos aplicados (Anexo 11A). La fertilización química se ubicó en el nivel inferior (0.74 %), incluso fue menor que el testigo (0.83 %) (Anexo 13A).

Por lo tanto, la aplicación de cualquiera de los productos evaluados ayuda a obtener mejores concentraciones de Ca en las hojas de frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo. El nivel más alto de Mg lo obtuvo nuevamente la Composta Nocon (0.69 %) con un aporte como abono de 75.61 mg kg⁻¹ de Mg; además destaca el nivel más bajo por parte del testigo (0.50 %) (Anexo 13A). De manera general se puede decir, que lo anterior concuerda con los resultados obtenidos por Gutiérrez (1980) quién analizó el efecto de los abonos orgánicos e inorgánicos sobre la propiedades físicas y químicas de un suelo de ando, encontrando que la aplicación de materia orgánica aumenta los niveles de Ca, Mg, K y Fe intercambiable y la saturación de bases en el suelo. Sin embargo, de acuerdo a investigaciones realizadas por Ames *et al.* (2000), de forma general, se observó que las concentraciones de Ca y Mg fueron altas en hojas jóvenes pero decrecieron conforme las hojas se desarrollan y maduran, Jones (2003) por su parte menciona que el contenido de Mg en las hojas se incrementa con la edad, por lo que las concentraciones más altas se encuentran en las hojas más viejas, pero de acuerdo a John (1976) se estabiliza su composición durante las primeras cosechas. En otros trabajos realizados por John *et al.* (1972) y John *et al.* (1976) encontraron que las concentraciones de N, P, K, Mg, S y Cu fueron superiores en hojas de cañas nuevas, pero en cañas fructificantes estuvieron más elevadas las concentraciones de Mn, Ca, Fe, Zn, Al y B, por lo que concluyeron que los cambios más fuertes de las concentraciones de los elementos se presentan en períodos de alta actividad metabólica, principalmente en primavera, finales del verano y otoño.

Las sustancias húmicas o materia orgánica humificada, es por sí misma, demasiado compleja y por lo tanto difícil de estudiar. Linehan (1976) sugiere que debido a la complejidad natural, es capaz de influir en el crecimiento en diferentes formas, ya sea directa o indirectamente. Los efectos directos incluirían el suministro y regulación en una forma análoga con la entrada en función de iones sintéticos intercambiables. Los efectos directos resultarían de la absorción de componentes de materiales húmicos los cuales podrían alterar la distribución de nutrientes dentro de la planta y ejercer una influencia directa en los reguladores de crecimiento de las plantas.

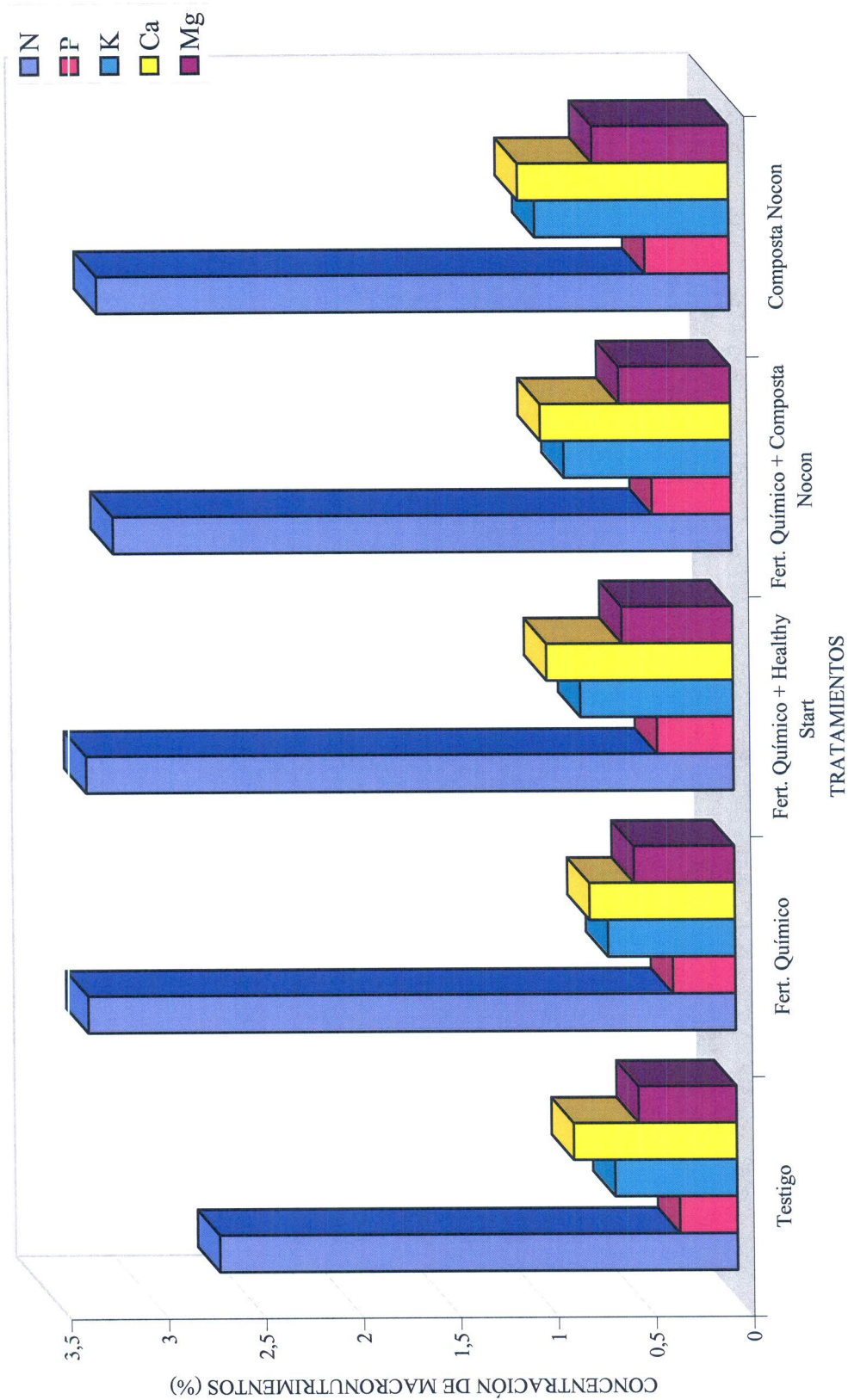


Figura 3. Concentración (%) de macronutrientos en el follaje de frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo con aplicación de abono orgánico, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.

4.4.2. Micronutrientes

La concentración de boro en hojas (Figura 4) se presentó ligeramente inferior a lo normal (46 mg kg^{-1}) a alto (80 mg kg^{-1}) (Crandall, 1995) (Anexo 10A); donde la Composta Nocon fue la de mayor valor (57.69 mg kg^{-1}) y el testigo presentó el valor inferior (43.15 mg kg^{-1}). Sin embargo, no se mostraron síntomas visuales de deficiencia de boro (Anexo 13A).

En la Figura 4 se observa que la concentración del hierro en hojas se encontró en un nivel alto ($>50 \text{ mg kg}^{-1}$) incluso en algunos casos superior al tóxico (250 mg kg^{-1}) (Crandall, 1995); aunque para Jones (2003) el intervalo del contenido de Fe en hojas varía de 10 a $1\,000 \text{ mg kg}^{-1}$ de materia seca. El valor más alto fue el del testigo ($510.96 \text{ mg kg}^{-1}$) y el inferior para la fertilización química con la Healthy Start ($117.93 \text{ mg kg}^{-1}$) (Anexo 13A). Tanto en contenedores como en campo las concentraciones de Fe se comportaron de forma similar, tal vez porque el Fe es un elemento que está presente en los suelos en grandes cantidades (0.5 a 4.5 %) en forma ferrosa (Fe^{2+}) y férrica (Fe^{3+}) (Jones, 2003).

Las concentraciones nutrimentales de manganeso en hojas (Figura 4) estuvieron alrededor del nivel normal (80 mg kg^{-1}) con tendencias a alto (300 mg kg^{-1}) (Crandall, 1995); el nivel inferior fue presentado por el testigo (90.03 mg kg^{-1}) y el superior fue el del fertilizante químico ($293.10 \text{ mg kg}^{-1}$) (Anexo 13A).

El contenido de cobre encontrado en las hojas de frambuesa roja fue ligeramente superior al normal (2 mg kg^{-1}) (Crandall, 1995), donde la fertilización química tuvo el valor superior (13.94 mg kg^{-1}) y la fertilización química con Healthy Start obtuvo el valor inferior (9.25 mg kg^{-1}) (Figura 4). Es importante recalcar que las concentraciones de Cu encontradas en campo fueron superiores a las presentadas en contenedores, esto tal vez porque en campo no se tuvo restricciones en el volumen de suelo y en cambio en contenedores fue reducido para la exploración y desarrollo normal del sistema radical de las frambuesas rojas. Aunque en la mayoría de los suelos el Cu se puede encontrar en concentraciones de 5 a 100 mg kg^{-1} , el suelo del campo utilizado en este trabajo contenía 0.79 mg kg^{-1} (Anexo 9A); la concentración de Cu en el follaje tan sólo puede estar entre 5 a 15 mg kg^{-1} de acuerdo a Jones (2003) (Anexo 10A).

El zinc encontrado en el follaje fue ligeramente superior al normal (34 mg kg^{-1}) (Crandall, 1995). La Composta Nocon presentó el nivel más alto (43.74 mg kg^{-1}) y el testigo el más bajo (34.72 mg kg^{-1}) (Figura 4). Jones (2003) considera que el Zn es un micronutriente involucrado en diversos procesos fisiológicos, similares a las funciones del Mn y Mg, pero es específico en la enzima anhidraza carbónica.

El Zn típicamente se incrementa en los meses de crecimiento mientras que el Mn decrece (Ames *et al.*, 2000). Al igual que para Cu, el Zn encontrado en campo fue superior a las concentraciones encontradas en los contenedores, donde se piensa que el volumen utilizado es uno de los principales factores que define la concentración del elemento en hojas, además de que la aplicación de abonos orgánicos modifica en forma general las características químicas y físicas del suelo (Gutiérrez, 1980; Maldonado,

1984). De igual forma, Romero (1997) en el cultivo de papa demostró que la aplicación de abonos orgánicos disminuye la cantidad de fertilizantes químicos a usar e incrementa el rendimiento y la calidad.

Los beneficios por los abonos orgánicos aplicados tuvieron un efecto directo en el crecimiento, donde de manera particular las sustancias húmicas que contenían permitieron de acuerdo a diversos autores que han trabajado con los efectos de la materia orgánica Labrador (2003), considera que la capacidad de unirse a ciertos cationes muy inestables como Cu^{2+} , Mn^{2+} y Fe^{2+} , formando “quelatos” que no sólo permiten mayor disponibilidad de esos elementos para la planta, sino que impide la pérdida de los mismos. Estos cationes metálicos son micronutrientes para las plantas y algunos microorganismos, por lo que influyen ampliamente el crecimiento. Por su parte Vaughan *et al.* (1985), establecieron que las sustancias húmicas pueden influenciar el acceso de iones de una manera pasiva y activa en la raíz y al mismo tiempo estas sustancias pueden ser adsorbidas en la superficie de la célula.

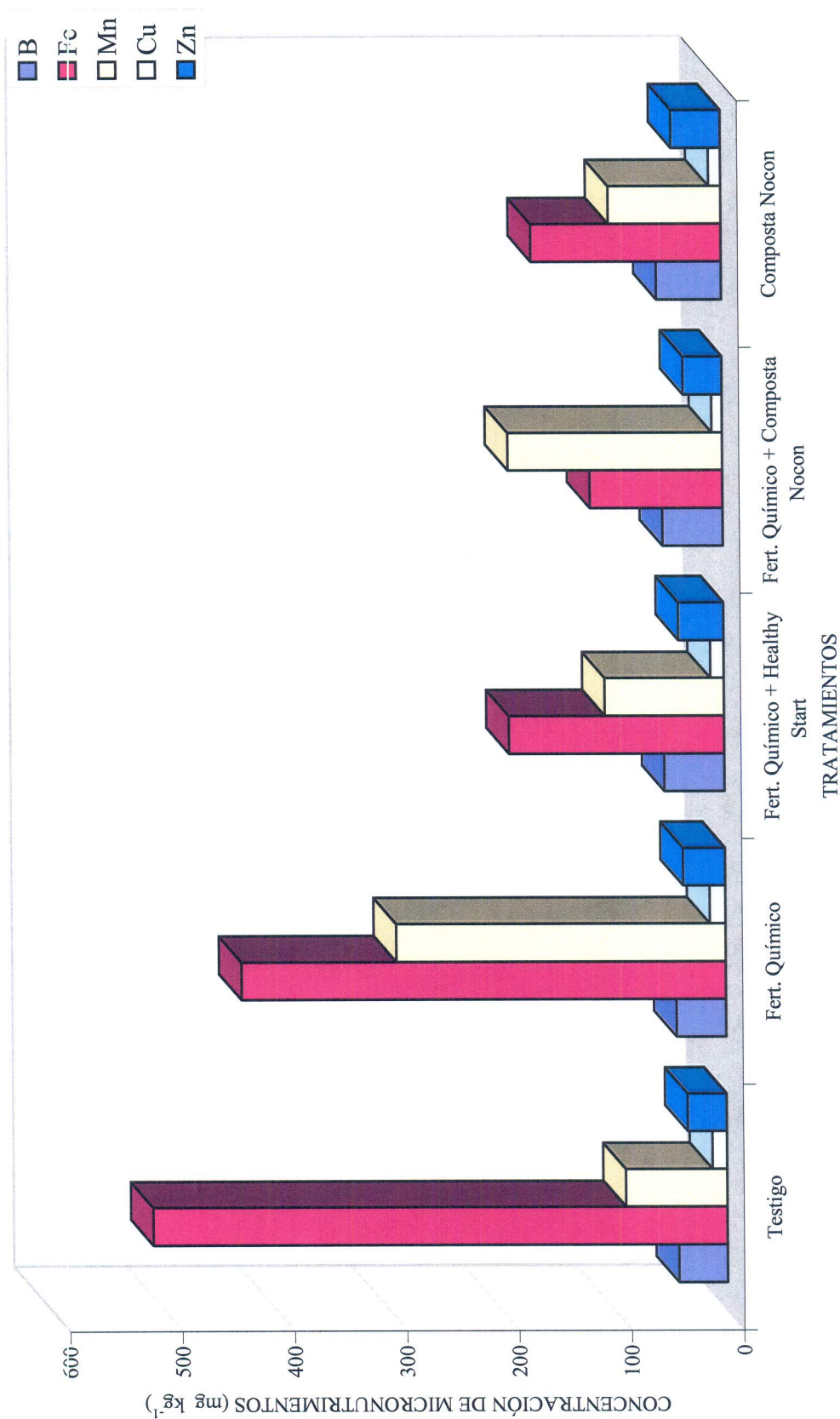


Figura 4. Concentración (mg kg⁻¹) de micronutrientos en el follaje de frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivadas en campo con aplicación de abono orgánico, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.

4.5. Correlaciones entre variables medidas en frambuesa roja

4.5.1. Efecto en contenedores

De acuerdo al Cuadro 11 los coeficientes de correlación de Pearson ($[Prob > |R|] < 0.05$), para las variables peso seco, área foliar, peso específico, clorofila a, b y total, diámetro y altura de caña, número de nudos, número y peso de frutos, presentaron las correlaciones siguientes:

El peso específico obtuvo correlación positiva altamente significativa con peso seco y área foliar, por lo tanto que a medida que aumento el tamaño de hojas se obtuvo mayor área foliar, que por lo consiguiente afecto incrementando el peso seco, pero afectando negativamente el peso específico.

Se encontró que la variable clorofila a presentó correlación positiva altamente significativa con la clorofila b, clorofila total, número de frutos por caña y peso de frutos por caña. Por lo que a medida que aumenta la concentración de clorofila a se aprecia un mayor contenido de clorofila b y clorofila total, lo cual ayuda a incrementar el número de frutos por caña y el peso de frutos por caña. Esto debido a que las plantas más verdes fueron más vigorosas permitiendo mayor cantidad de frutos por caña y por lo tanto mayor rendimiento, donde la mejor respuesta fue obtenida por aquellos tratamientos con aplicación de fertilizante químico con abono orgánico (Cuadro 11).

Además se encontró correlación positiva del diámetro de caña con altura de planta y número de nudos, donde las plantas más altas incrementaron el diámetro de tallo y el número de nudos. Sin embargo, de manera contraria Arreola (1988), no encontró relación estrecha entre el diámetro de caña con la altura de caña, pero sí hubo estrecha y directa relación entre el número y peso de frutos, que finalmente son factores que determinan el rendimiento. Sin embargo, Rodríguez (1995) evaluando la respuesta de la frambuesa roja utilizando micorrizas y materia orgánica en suelo encontró que el peso seco, área foliar y peso específico no fueron correlacionadas entre ellas.

Además, el contenido de clorofila a, clorofila b y clorofila total presentaron correlación positiva altamente significativa con el número y peso de frutos por caña, donde a medida que se incrementa el contenido de cualquier clorofila, se obtiene un aumento en el número y peso de frutos por caña (Cuadro 11).

Así también hubo correlación positiva entre el diámetro de caña, altura de caña y el número de nudos por caña, donde a medida que las cañas son más altas el número de nudos y grosor por caña se incrementó. Otra de las correlaciones positivas altamente significativas fue el número de frutos por caña con el peso de los frutos por cañas, donde es de suponerse que a mayor cantidad de frutos con mayor peso se incrementa el rendimiento (Cuadro 11).

Cuadro 11. Coeficientes de correlación entre algunas variables para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivadas en contenedores con aplicación de abonos orgánicos, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.

	PS (g)	AF (cm ²)	PE (g cm ⁻²)	CA mg g ⁻¹ m.f.§	CB mg g ⁻¹ m.f.§	CT mg g ⁻¹ m.f.§	DC (cm)	ALC (cm)	NN	NFC	PFC (g)
PS		0.6593**	0.3916*	-0.2250	-0.2470	-0.2343	-0.0142	0.1468	0.0167	-0.0681	-0.0150
AF			-0.4075**	-0.1520	-0.1592	-0.1554	-0.0608	-0.0436	-0.0869	-0.0265	-0.0467
PE				-0.0609	-0.0887	-0.0717	0.1108	0.2868	0.1571	-0.0410	0.0429
CA					0.9817**	0.9973**	-0.0791	-0.1936	-0.2280	0.7621**	0.7367**
CB						0.9929**	-0.0148	-0.2130	-0.2397	0.7056**	0.6819**
CT							-0.0550	-0.2018	-0.2334	0.7439**	0.7191**
DC								0.6635**	0.6266**	-0.2559	-0.2317
ALC									0.9248**	-0.2431	-0.2219
NN										-0.3039	-0.2901
NFC											0.9887**
PFC											

PS= peso seco, AF=área foliar, PE=peso específico, CA=clorofila a, CB=clorofila b, CT=clorofila total, DC=diámetro de caña, ALC=altura de caña, NN=número de nudos, NFC=número de frutos por caña, PFC=peso de frutos por caña. §m.f.=materia fresca.

Coefficiente de correlación de Pearson / Prob> |r| under HO: Rho=0/ N=80. *=P≤0.05 (Significativo al 0.05 de probabilidad). **=P≤0.01 (Significativo al 0.01 de probabilidad).

4.5.2. Efecto en campo

Para campo el coeficiente de correlación de Pearson ($[Prob > |R|] < 0.05$) (Cuadro 12) indicó que el peso seco tuvo correlación positiva con área foliar, clorofila a, clorofila b, clorofila total, diámetro de caña y altura de caña. Así como el área foliar se correlaciono con el peso específico y la altura de caña. Además la clorofila a fue altamente significativa con la clorofila b y la total, donde a medida que la cantidad de clorofila a aumenta la clorofila b y total se incrementan; esto fue claro ya que de la suma de las clorofilas a y b resultó la clorofila total. Así también otra correlación positiva fue de la clorofila b con la total, igual a lo explicado anteriormente la clorofila b afecta a la clorofila total. Explicándose que a medida que las plantas fueran más verdes, se incrementaron los niveles de clorofila a y b, influyendo en una mayor cantidad de clorofila total.

De manera similar la variable altura de caña mostró estar positivamente correlacionada con el número de nudos, lo que se justifica ya que todas aquellas cañas de mayor altura tenían una mayor cantidad de entrenudos. Además el diámetro de caña se correlaciono con altura de planta y número de nudos, es decir que plantas con cañas más gruesas obtuvieron la mayor altura y por lo tanto el número de nudos se incremento. Así también, otra relación positiva fue del número de frutos por caña con el peso de frutos por caña, donde al incrementar la cantidad de frutos se incrementó la producción por caña, similar a lo encontrado por Arreola (1988) quién demostró la estrecha y directa relación entre el diámetro de las cañas y la longitud de los brotes,

Cuadro 12. Coeficientes de correlación entre algunas variables para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivadas en campo con aplicación de abonos orgánicos, fertilización química y sus combinaciones en Chapingo, Estado de México.

	PS (g)	AF (cm ²)	PE (g cm ⁻²)	CA mg g ⁻¹ m.f.§	CB mg g ⁻¹ m.f.§	CT mg g ⁻¹ m.f.§	DC (cm)	ALC (cm)	NN	NFC	PFC (g)
PS		0.3960**	0.1475	0.2353*	0.3123**	0.2364*	0.2274*	0.2523*	0.0971	-0.0709	-0.0517
AF			-0.5790**	0.1437	0.2008	0.1255	0.1980	0.2324*	0.1279	0.0655	0.0734
PE				0.0590	0.0476	0.0627	0.0151	-0.0088	-0.0200	-0.1188	-0.1135
CA					0.9429**	0.9694**	0.0751	0.1268	0.0195	0.0664	0.0814
CB						0.9672**	0.0791	0.1226	0.0289	0.0739	0.0973
CT							0.0723	0.1474	0.0564	0.0774	0.0937
DC								0.6201**	0.4775**	-0.0239	-0.0018
ALC									0.8470**	-0.0424	-0.0363
NN										-0.1160	-0.1202
NFC											0.9785**
PFC											

PS= peso seco, AF=área foliar, PE=peso específico, CA=clorofila a, CB=clorofila b, CT=clorofila total, DC=diámetro de caña, ALC=altura de caña, NN=número de nudos, NFC=número de frutos por caña, PFC=peso de frutos por caña.

Coeficiente de correlación de Pearson / Prob> |r| under HO: Rho=0/ N=80. *=P≤0.05 (Significativo al 0.05 de probabilidad). **=P≤0.01 (Significativo al 0.01 de probabilidad).

V. CONCLUSIONES

En frambuesa roja 'Autumn Bliss' las aplicaciones de fertilizantes químicos y abonos orgánicos solos o combinados favorecieron el crecimiento vegetativo; sin embargo, las plantas respondieron mejor a las combinaciones de fertilizantes químicos con abonos orgánicos que a estos por separado, tanto en contenedores como en campo.

En contenedores la fertilización química más Humicrop 100 obtuvo la mejor respuesta en peso seco, área foliar, peso específico, altura de caña y número de nudos, pero sin diferencias estadísticas entre tratamientos en diámetro de caña. Sin embargo, la combinación de la fertilización química con el abono orgánico Raizet 20G o la Composta Nocon fueron los mejores en el contenido de clorofila a, clorofila b y clorofila total; así como en el número y peso de frutos por caña.

En campo se observó que la combinación de la fertilización química con el abono orgánico Healthy Start y química sola respondieron más favorablemente en peso seco, área foliar; así como en diámetro, altura y número de nudos por caña; sin embargo, en el contenido de clorofila a, clorofila b y total, número y peso de frutos por caña no hubo diferencia estadística entre tratamientos.

El contenido de N, P, Ca, Mg, B, Mn, Cu y Zn estuvo alrededor de los niveles normales en las combinaciones de fertilizantes químicos con cualquiera de los abonos orgánicos Composta Nocon, Healthy Start o Humicrop 100 en frambuesa roja cultivada en contenedores. Sin embargo, en ambos experimentos con el análisis nutrimental de hojas

se encontraron concentraciones deficientes de K y excesos de Fe, sin que se observaran síntomas visuales de deficiencia ó de toxicidad.

En contenedores la combinación de la fórmula química (240-120-160) con abonos orgánicos (Healthy Start, Composta Nocon, Raizet 20G y Humicrop 100) favorecieron la absorción de N, P, Ca, Mg, B, Mn, Cu y Zn.

En campo con la Composta Nocon se presentaron los mejores niveles de N, P, Ca, Mg, B, Mn, Cu y Zn comparada con el testigo, Healthy Start y la fórmula química (120-60-80) sola o combinada con la Composta Nocon, de acuerdo al análisis nutrimental en todos los tratamientos se presentaron deficiencias de K y excesos de Fe.

En contenedores y en campo la clorofila a, clorofila b y clorofila total estuvieron correlacionadas positivamente entre ellas. De igual forma, el diámetro de caña y la altura de caña con el número de nudos; así como el número de frutos por caña con el peso de frutos por caña.

En forma general, la respuesta nutrimental a los abonos orgánicos y fertilizantes químicos tuvo un efecto menos duradero en contenedores que en campo, donde tal vez su mayor efecto en campo se debió al mayor volumen de suelo explorado por las raíces, permitiendo mejor disponibilidad de los nutrimentos.

VI. LITERATURA CITADA

- Altieri M., A. 1991. Agroecología: Las bases científicas para la agricultura alternativa. In: R. B. Noorgard; S. B. Hecht; J. G. Farrel y M. Liebman. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 201 p.
- Altieri M., A. 1999. Multifunctional dimensions of ecologically – based agriculture in Latin America. Department of Environmental Science Policy and Management. University of California. USA. pp 1-32.
http://www.igc.org/csdngo/agriculture/agr_altieri2.htm.
- Ames G.; G. Kuepper and H. Born. 2000. Organic culture of bables fruits. Horticulture Production Guide. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA). Fayetteville, Arizona. USA. 17 p. <http://www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/bramble.pdf>
- Anónimo. 1999. Uso de Quelatos Férricos en la Agricultura. Madrid, España. 75p.
- Anónimo. 1995. Manual de Fertilizantes para Horticultura. Ed. Noriega UTEHA. México, D. F. 297 p.
- AOAC. 1980. Official methods of analysis. Official Analytical Chemists. 15th. Edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington D., C. U. S. A. 1094 p.
- Arreola A., J. G. 1988. Efecto de la fertilización nitrogenada en diferentes etapas fonológicas de la frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 74p.
- Arzola P., N.; Fundara H, y O. Machado, de A., J. 1981. Suelo, Planta y Abonado. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 461p.
- Ávila D., J. A.; V. H. Santoyo C. y A. Turrent F. 2002. El mercado de los fertilizantes en México. A finales del siglo XX. Primera edición. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 288 p.
- Azcon B., J. y Talón, M. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Ediciones Universidad de Barcelona. Madrid, España. 522 p.
- Baeyens J., 1970. Nutrición de las Plantas de Cultivo. Editorial LEMOS. Madrid, España, 631 p.
- Barber S., A. 1995. Soil Nutrient Bioavailability. A mechanistic Aproach. Edition Second. John Wiley and Sons, INC. New York, USA. 414 p.

- Bautista R. F. 2002. Evaluación del agroquímico órganoenzima en la producción de plántulas de jitomate (*Licopersicum esculentum* Mill.), brócoli (*Brassica oleraceae*) y pimiento morrón (*Capsicum annum*). Tesis de Licenciatura. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 98 p.
- Benavides M., A. 1999. Absorción y Asimilación de Hierro en las Plantas. Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 175 p.
- Baral D. R. and A. Cahoon G. 1994. Effects of nitrogen fertilization total yield components and foliar levels of 'Heritage' raspberry. Ohio Agricultural Research and Development Center. No. 298. 1-30, 31.
- Bould C., 1968. Leaf analysis as a guide to the nutrition of mineral fruit crops. VII Sand Culture N, P, K Experiments with Red Raspberry (*Rubus idaeus* L.) J. Sci. Fd. Agric. 19:457-464.
- Brady N., C. and R. Ray. 1999. The nature and properties of soils. 12 th. Edition. Prentice Hall, New Jersey. USA. 375 p.
- Bremer J., M. 1965. Total nitrogen. In: Methods of soil analysis part 2. C. A. Black (Ed) Ame. Soc. of Agr. Madison, Wisconsin. USA. pp 1149-1178.
- Buchanan M., A. y S. R. Gliessman. 1990. The influence of conventional and compost fertilization on phosphorus use efficiency by broccoli in a phosphorus deficient soil. American Journal of Alternative Agriculture 5:38-46.
- Cachón A., L. E.; H. Nery G. y H. E. Cuanalo, H. 1974. Los suelos del área de influencia de Chapingo. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. pp 1-79.
- Cajuste L., J. 1977. Química de Suelos con un Enfoque Agrícola. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 278 p.
- Campos M., L. 2000. Fertirriego y micorriza en frambuesa (*Rubus idaeus* L. cv. Malling Autumn Bliss) cultivada en tepetate de mina. Tesis de Maestría en Ciencias en Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 111 p.
- Carew J., P. Hadley, N. Battey, J. Darby, G. R. McGregor, H. K. Hall and G. I. Langford. 1999. The effect of temperature on the vegetative growth and reproductive development of the primocane fruiting raspberry, 'Autumn Bliss'. Acta-Horticulturae. 505:185-190.
- Castellanos Z., J. X. J. Uvalle B. y A. Aguilar S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y agua. Segunda Edición. Colección INCAPA. México D. F. 450 p

- Chapman, H. D., and P. E. Pratt. 1973. Métodos de análisis de suelos, plantas u agua. Trad. del inglés por: A. Contin. Editorial Trillas. México, D. F. 195 p.
- Chaplin M., H. and W. Martin L. 1980. The effect of nitrogen and boron fertilizer application of leaf levels, yield and fruit size of the red raspberry. Oregon State University, Corvallis. USA. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 11:6, 547-556.
- CIESTAAM. 2001. Agricultura Orgánica de México. Datos Básicos. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (PIAI-CIESTAAM). Chapingo, Estado de México. 46 p.
- Crandall, P. C. 1995. Bramble production. The management and marketing of raspberries and blackberries. The Haworth Press, Inc. New York, USA. 213 p.
- Crandall, P. C. and A. Daubeney, H, 1990. Raspberry Management. *In: Small Fruit Crop Management*. J. G. Galletta, D. G. Himelrick and L. Chandler (eds.). Edit. Prentice-Hall. New Jersey. United States of America. pp 157-213.
- Cresswell, G. 1991. Effect of lowering nutrient solution concentration at night on leaf calcium levels and the incidence of tipburn in lettuce (var. Gloria). *J. of Plant Nutrition*, 14: (9) 913 – 924.
- Dinkelaker B. and H. Marschner. 1992. In vivo demonstration of acid phosphatase in the rhizosphere of soil-grown plants. *Plant and Soil*. 144:199-205.
- Domínguez, V. A. 1989. Tratado de Fertilización . Segunda edición. Edit. Mundi-Prensa. Madrid España. pp 55.
- Duchaufour Ph., 1984. Edafología I. Edafogénesis y Clasificación. Masson, Barcelona. España. pp 31-46.
- Fageria N. K.; C. Baligar B. and J. Charles A. 1997. Growth and Mineral Nutrition of Field Crop. ED. Dekker Inc. New York, USA. 275 p.
- FAO. 2000. Producción y superficie cultivada de frambuesa. Food and Agriculture Organization (FAO). FAOSTAT. Data Results. Internet. 10 p.
- Fixen, P. E. 1993. Respuesta de los cultivos al cloro. *In: Advances in Agronomy*, Vol. 50. Sparks, D.L. editor. Academic Press, Inc. New York. pp. 107-150.
- Flaig W.; H. Beutelspacher y E. Rietz. 1975. Chemical Composition and Physical Properties of Humic Substance. Soil Components. Volume 1. Organic Components. Ed. John E. Gieseking. pp 4-183.

- Fuentes, Y. J. L. 1989. El suelo y los Fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaria General Técnica. Centro de Publicaciones. 3er Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 283 p.
- Fuentes, Y. J. L. 1999. Manual Práctico sobre Utilización de Suelo y Fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaria General Técnica. Centro de Publicaciones. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 156 p.
- Galletta, G.; D. G. Himelrick y L. Chandler. 1990. Small Fruit Crop Management. Editorial Prentice-Hall Englewood Cliffs. New Jersey. United States of America. 602 p.
- García E., 1973. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. México, D. F. 156 p.
- García H. J. L.; E. Troya D.; B. Murillo A. Y A. Nieto G. R. 2000. Apuntes de labranza mínima y labranza de conservación. La importancia de la materia orgánica y una nutrición balanceada para la planta. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. La Paz, Baja California Sur. México. 51 p.
- Gliessman S., R. 2000. Agroecology. Ecological processes in sustainable agriculture. Edit. Lewis Publishers. Washington D. C. 345 p.
- Gómez, O. 2000. Conceptos Básicos de Fertilidad de Suelos. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Barcelona, España. pp: 1-8.
- Gómez T., L.; M. A. Gómez C. y R. S. Rindermann. 2002. Desafíos de la agricultura orgánica. Segunda reimpresión. UACH-CIESTAAM. Ediciones Mundi-Prensa. México, D. F. 224 p.
- Gómez, T. L.; M. A. Gómez C. y R. Schwentesius, R. 1999. Desafíos de la Agricultura Orgánica: Comercialización y Certificación. Ediciones Mundi-Prensa. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (PIAI-CIESTAAM). Chapingo, Estado de México. 224 p.
- Graham R.; R. J. Hannam and N. C. Uren. 1988. Manganese in soil and plants. Proceedings of the International Symposium on 'Manganese in Soils and Plants'. South Australia, Agosto pp: 113-121, 139-151.
- Granados S. D. y G. F. López R. 1996. Agroecología. 1er. Edición. Editor R. Rosas G.; D. R. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 420 p.
- Giusquiani P., L.; M. Plaglai, G.; G. Gigliotti; D. Bisinelli and A. Benetti. 1995. Urban waste compost: effects on physical, chemical and biochemical soil properties. Journal of Environmental Quality 24:175-182.

- Gutiérrez R., E. 1980. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre las propiedades químicas y físicas de un suelo de Ando. Tesis de maestría en ciencias. Especialista en Suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 176 p.
- Guzmán C., G.; M. González de M. M. y E. Sevilla G. 2000. Introducción a la agroecología como desarrollo rural sustentable. Edit. Mundi-Prensa. México D. F. 535 p.
- Havlin J. L.; J. D. Beaton; S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 1999. Soils fertility and fertilizer. An introduction to nutrient management. Prentice-Hall. Sixth edition. New Jersey. USA. 1045 p.
- Henao, O. F. 2002. Tecnología y Plásticos para la Agricultura. T.P. AGRO S. A. E-mail: info@tpagro.com, pagina web: www.tpagro.com. Guayaquil, Ecuador.
- Janick J. and J. N. Moore. 1975. Advances in fruit breeding. 2th impresion. Purdue University Press. USA. pp: 98-129.
- Jara P., E. 2001. Repuesta de la frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) 'Autumn Bliss' a la aplicación de vermicomposta asociado con lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet.). Tesis de Maestría. Especialista en Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 126 p.
- Jara P., E.; A. Villegas M. y P. Sánchez G. 2002. Contenido de N, P, K, Ca y crecimiento productivo de frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) 'Autumn Bliss' con vermicomposta asociada con lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet.) In: Libro de Resúmenes Octavo Congreso Latinoamericano y Segundo colombiano de Botánica. Rancel-Ch., J. O.; J. Aguirre-C y M. G. Andrade-C (eds.). Universidad Nacional de Colombia. Bogota, Colombia. 104 p.
- Jennings, D. L. 1988. Raspberries and blackberries. Their breeding diseases and growth. Academic Press Inc. San Diego, CA, USA. 230 p.
- John, M. K., and H. A. Daubeney. 1972. Influence of genotype, date of sampling and age of plant and leaf chemical composition of red raspberry (*Rubus idaeus* L.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97:740-742.
- John, M. K., H. A. Daubeney and Chuah-HH. 1976. Factors affecting elemental composition of red raspberry leaves. Journal of Science of Food and Agriculture. 27(9):877-882.
- Jones B., Jr. 2003. Plant Nutrition Manual. CRC Press LLC. Florida, USA. 149 p.
- Jones B., Jr.; B. Wolf and H. A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia. USA. 164 p.

- Kongsrud, K.L. 1996. Effect of nitrogen fertilization on the red raspberry cultivar 'Glen Moy'. Norsk – Landbruksforskning. 10:2, 109-115.
- Kowalenko C., G. 1981. Effects of magnesium and potassium soil applications on yield and leaf nutrient concentrations of red raspberries and on soil analyses. Agriculture Canada Research Station. British Columbia, Canada. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 12:8, 795-809.
- Kowalenko C., G. 1994a. Growing season changes in the concentration and distribution of macronutrients in Willamette red raspberry plant parts. Can. J. Plant Sci. 74:833-839.
- Kowalenko C., G. 1994b. Growing season dry matter and macro-nutrient accumulations in Willamette red raspberry and related soil extractable macro-element measurements. Can. J. Plant Sci. 74:564-571.
- Labrador M., J. 2001. La materia orgánica en los agroecosistemas. Aproximación al conocimiento de la dinámica, la gestión y la reutilización de la materia orgánica en los agroecosistemas. Segunda Edición. Grupo Mundi-Prensa. Madrid, España. 293 p.
- Linehan D., J. 1976. Some effects of a fulvic acid component of soil organic matter on the growth of cultured excised tomato roots. Soil Biology & Biochemistry. Vol. 8 511-517.
- Li Y., C.; P. J. Stoffella and H. H. Bryan. 2000. Management of organic amendments in vegetable crop production systems in Florida. Soil and Crop Science Society of Florida Proceeding. 59:50-63.
- Maldonado T., R. 1984. Efecto de mezclas de abonos orgánicos con fertilizantes químicos sobre la absorción de fósforo en un suelo calcimorfico. Tesis de Licenciatura. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 98 p.
- Márquez, H. L. A. 2000. Efecto del Ca, Fe y Manganeseo en el Control del Virus Mosaico del Tabaco en Jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). Tesis de Maestría en Ciencias en Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. pp: 9–10.
- Márquez, S. F. 1976. Sistemas de producción agrícola. Agroecosistemas. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. pp 10-20, 50-61 y 65-187.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Ed. Academic Press. San Diego, California. E. U. 674 p.

- Medel S., F. y H. Vargas V. 1983. Prospección nutricional de frambuesos y groselleros en la región de los Lagos Chile. *Agro Sur* 11(2):82-91.
- Megan H.; M. H. Chaplin and A. R. Dixon. 1979. Elemental composition or red raspberry leaves as a function of time of season and position on cane. *HortScience* 14: 46-47.
- Mehra, A. and Farago M. E. 1994. Metal ions and plant nutrition. *In: Plant and the Chemical Elements. Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity.* M: E: Farago (ed.). BHC Publishers. New York, USA. pp 31-66.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A. 1982. Principles of Plant Nutrition. Publisher: International Potash Institute. 3ª Ed. Federal Republic of Germany. 593 p.
- Muñoz, R. M. y M. Del R. Juárez D. 1997. El mercado de Frutales Menores. El caso de la Frambuesa y la Zarzamora. 1er. Edición. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la agricultura mundial (CIESTAAM). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 110 p.
- Muratalla L., A. 1998. Situación y manejo de la frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) en México. *In: Livera M. M., S. Díaz C., A. Galindo R., A. Apango O., A. Muratalla L. La Zarzamora y la Frambuesa, Opciones Frutícolas Rentable para el Área del Distrito Federal.* México. pp: 1-27.
- Navarro, G. S. y G. Navarro, G. 2000. Química Agrícola. El Suelo y los Elementos Químicos Esenciales para la Vida de la Vegetal. Edit. Mundi- Prensa. Madrid, España. 488 p.
- Ortega T., E. 1981. Química de suelos. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 417 p.
- Ortiz V., B. y Ortiz S., C. A. 1990. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. pp: 184-188.
- Ourecky, D. K. 1975. Brambles. 2da. Edición. *In: Advances in Fruit Breeding.* Edit. J. Janick and J. N. Moore. Perdue University Press. West Lafayette, Indiana. USA. pp: 98-129.
- Ovidio S., S. y G. A. Baca C. 1998. Comportamiento nutrimental de frambuesa roja cultivada en un suelo alcalino y con aspersiones foliares de urea, Mn y Zn. *Terra.* Vol. 16:3:211-218.
- Paglietta, R. 1986. El Frambueso. Edit. Mundi Prensa. Primera Edición. Traducido del Italiano con el título 'Il Lampone' por J. de la Iglesia G. y V. Sotes R. Madrid, España. 131 p.

- Palm C. A.; R. J. K. Myers and S. M. Nandwo. 1997. Combiner use of organic and inorganic nutrition sources for soil fertility maintenance and replenishment. *In*: Buresh R. J.; P. A. Sanchez and F. Calhoun, (eds). Replenishing soil fertility in Africa. Soil Science Society of America Special Publication and Agronomic Society of America. 193-217 p.
- Parr, J. F., I. Papandick R. y I. G. Youngberg. 1983. Organic Farming in the United States: Principles and Perspectives. *Agro-Ecosystems* 8:183-201.
- Paterson, J. B. E. y R. Ede. 1970. Suelos y Abonado en Horticultura. Ed. Acribia, Zaragoza. 150 p.
- Pequeño P., J. 1966. Agroquímica. Tomo 1. Editorial Universitaria. La Habana, Cuba. 500 p.
- Plaster, E. J. 2000. La Ciencia del Suelo y su Manejo. Editorial Paraninfo. Título original en inglés: Soil Science & Management por Edward J. Plaster. Traducido por Patricia Scott. Madrid, España. 419 p.
- Primo, Y. E. y J. Carrasco, D. 1981. Productos para el Campo y Propiedades de los Alimentos. Tomo 1. Editorial ALHAMBRA S. A. Madrid, España. 472 p.
- Pritts M. and D. Handley. 1989. Bramble Production Guide. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. New York, USA. 189 p.
- PROFRUTA, 1995. El Cultivo de la Frambuesa. Proyecto Desarrollo de la Fruticultura y la agroindustria (PROFRUTA). Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. Guatemala. 20 p.
- Radillo, J. F. 1999. Curso para la certificación del proceso de producción y procesamiento de productos agrícolas orgánicos. Universidad de Colima. Secretaría de Ganadería y Desarrollo Rural. Tecomán, Colima. pp: 1-6.
- Reckmann A., O. 1997. Tolerancia de la frambuesa (*Rubus idaeus* L.) a diferentes tipos y niveles de salinidad dentro de la etapa reproductiva. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 105 p.
- Restrepo R., J. 1988. Abonos orgánicos fermentados. Experiencias de agricultores en Centroamérica y Brasil. *In*: Agricultura Orgánica: Alternativa para la Organización y Manejo Sustentable de los Recursos Naturales. SEMARNAP, H. Ayuntamiento de Mazatlán, Cemaz, COBAEZ, Mazatlán, Sin. 121-138 pp.
- Rodríguez A., J. y E. Avitia, G. 1984. El Cultivo de la Frambuesa Roja. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México. 33 p.

- Rodríguez R., M. 1995. Respuesta de la frambuesa roja (*Rubus idaeus* L), var. Mallings Autumn Bliss, a la micorrización (V-A) y materia orgánica bajo dos tipos de suelos. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 151 p.
- Rodríguez S., F. 1982. Fertilizantes. Nutrición Vegetal. Edit. AGT EDITOR S. A. México. 157 p.
- Rodríguez S., F. 1996. Fertilizantes. Nutrición Vegetal. Edit. AGT editor S.A. México. D. F.
- Rodríguez S., J.; Pinochet, D. y Matus, B. F. 2001. La Fertilización de los Cultivos. Edit. LOM. Santiago de Chile. 117 p.
- Romero L., Ma. del R. L. 1997. Abonos orgánicos y químicos en producción, sanidad, absorción nutrimental en papa, y efecto en suelo. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 145 p.
- Rueda P., I. 1991. La industria de fertilizantes en México. Edición al cuidado de Presentación Pinero. Instituto de Investigaciones Económicas. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México D. F. 124 p.
- Ruiz F., J. F. 1991. Agricultura Bio-intensiva sostenible en el minifundio mexicano. Una alternativa para la producción de alimentos y el manejo ecológico del suelo. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Chapingo, Estado de México. pp 46.
- Ruiz F., J. F. 1999. Tópicos sobre agricultura orgánica. Tomo I y II. Publicaciones Diamante. Segunda Edición. Consejo Nacional Regulador de Agricultura Orgánica, A. C. (CONARAO) y Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 338 p.
- S.A.S. 1997. Statistical Analysis System. SAS Institute. SAS/STAT. User's Guide. Release 6.12 Edition, Cary, N. C. USA. s/n p.
- SAGAR, 1993-1997. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. México, D. F. s/n p.
- SAGAR, 2000. Anuario estadístico de la producción agrícola en México. 1995-1998. Centro de Estadística Agropecuaria. Marzo del 2000. México, D. F. 450 p.
- Salazar S., O. y G. A. Baca C. 1998. Comportamiento nutrimental de frambuesa roja cultivada en suelo alcalino y con aspersiones foliares de urea, Mn y Zn. Terra 13(3):211-218.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S. A. de C. V. México D. F. 759 p.

- Schlather K. 1998. The dynamics and cycling of phosphorus in mulched and unmatched bean production systems in dignous to the humid tropic of Central America. Ph. D. Thesis. Depart of Soil, Crop and Atmospheric Sciences. Cornell University. USA. s/p.
- Shoemaker, S. J. 1978. Small Fruit Culture. 5th. Ed. The Avi, Publishing Co., Inc. Westport, Conn. USA. pp. 188-216.
- SICCFA. 1995. Manual de fertilizantes para Horticultura. Soil Improvement Committee California Fertilizer Association (SICCFA). Primera edición. Editorial Limusa. Traducido del ingles por Manuel Guzmán Ortiz. México, D. F. 297 p.
- Skjemstad J. O.; J. Janik L. and A. Tylor. 1998. Non-living soil organic matter: What we know about it?. Australian Journal of Experimental Agriculture. pp 667-680.
- Soule, J.; D. Carrey y W. Jackson, 1990. Ecological impact of modern agriculture. *In*: Agroecology. Carrol, C. R.; Vandermeer y P. Rosset. Edit. McGraw-Hill. USA. 6(2). pp 165-188.
- Sullivan J., A. 2001. Cultivar differences in carbon assimilation and partitioning of primocane – fruiting in raspberry. Journal of American Pomological Society. 55:2, 82-89.
- Torres T., F. y Y. Trápaga D. 1997. La Agricultura Orgánica: Una Alternativa para la Economía Campesina de la Globalización. Instituto de Investigaciones Económicas. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (PIAI-CIESTAAM). Chapingo, Estado de México. 196 p.
- Vaughan D.; E. Malcolm R. and G. Ord B. 1985. Influence of humic substances on biochemical processes in plants. *In*: Vaughan D. and E. Malcolm R. (edds). Soil Organic Matter and Biological Activity. Martinus Nijhooff. W. Junk Publishers New York. U.S.A. pp: 347-352.
- Visser S., A. 1986. Effect of humic substance on microbially induced organic matter transformations in natural environments. *In*: Transact. XIII International Congress Society Science. Hamburg. pp: 576-580.
- Widjaja-Adhi, I. P. G. 1994. The use of chemical fertilizers combined whit organic fertilizers in crop production in Indonesia. *In*: Shamsuddin, Z. H.; A. Husni, M. H. y A. R. Annual. 1994. Combined Use of Chemical and Organic Fertilizers. Proceedings of the seminar “Proper Use of chemical Fertilizers Combined with Organic Fertilizers in Crop Production”. Soil Scientist, Center for Soil and Agroclimate Research. Bogor, Indonesia. pp: 1-16.

- Wild, A. y L.H.P. Jones. 1992. Nutrición Mineral de las Plantas Cultivadas. *In*: A. Wild (ed.). Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas según Russell. Versión española. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp: 73-119.
- Witham F., H.; D. F. Blaydes and R. M. Devlin. 1971. Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York. USA. 245 p.
- Wolf B. 1999. The fertility triangle. The interrelationship of air, water, and nutrients in maximizing soil productivity. Food Products Press. New York. 463 p.
- Zhenli H.; X. Yang; B. A. Kahn; P. J. Stoffella and D. V. Calvert. 2001. Plant nutrition benefits of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and micronutrients from compost utilization. *In*: Compost utilization in Horticultural Cropping Systems. Stoffella P. J. and B. A. Kahn. (eds.). Boca Ratón, Florida. USA. pp:307-320.

VII. ANEXOS

Anexo 1A. Análisis de varianza para peso seco (PS), área foliar (AF) y peso específico (PE) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.

F.V.	G.L.	PS (g)			AF (cm ²)			PE (g cm ⁻²)		
		CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	7	1.745	16.39	<0.0001	5302.963	9.57	<0.0001	0.00019	2.40	0.023
Error	152	0.106			554.390			0.00008		
Total	159									
R ²		0.430			0.305			0.099		
CV		28.494			29.520			56.982		
SIG		**			**			*		

F.V.= Fuentes de variación. G.L.=Grados de libertad. CM= Cuadrados medios. R²= r cuadrada. CV= Coeficiente de variación. SIG= Significancia. *=P≤0.05 (Significativo al 0.05 de probabilidad). **=P≤0.01 (Significativo al 0.01 de probabilidad).

Anexo 2A. Análisis de varianza para diámetro de caña (DC), altura de caña (ALC) y número de nudos (NNU) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.

F.V.	G.L.	DC (cm)			ALC (cm)			NNU		
		CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	7	0.037	0.95	0.469	1050.762	3.73	0.0014	84.281	3.19	0.0047
Error	87	0.039			281.732			26.382		
Total	94									
R ²		0.071			0.230			0.204		
CV		21.412			30.043			24.300		
SIG		NS			**			**		

F.V.= Fuentes de variación. G.L.=Grados de libertad. CM= Cuadrados medios. R²= r cuadrada. CV= Coeficiente de variación. SIG= Significancia. **=P≤0.01 (Significativo al 0.01 de probabilidad).

Anexo 3A. Análisis de varianza para el contenido de clorofila a (CA), clorofila b (CB) y clorofila total (CTOT) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.

F.V.	G.L.	CA mg g ⁻¹ m.f. [§]			CB mg g ⁻¹ m.f. [§]			CTOT mg g ⁻¹ m.f. [§]		
		CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	7	0.261	9.27	<0.0001	0.092	8.10	<0.0001	0.661	8.86	<0.0001
Error	32	0.028			0.011			0.074		
Total	39									
R ²		0.669			0.639			0.659		
CV		13.011			14.429			13.440		
SIG		**			**			**		

F.V.= Fuentes de variación. G.L.=Grados de libertad. CM= Cuadrados medios. R²= r cuadrada. CV= Coeficiente de variación. SIG= Significancia. **=P≤0.01 (Significativo al 0.01 de probabilidad).

Anexo 4A. Análisis de varianza para número de frutos por caña (NFC) y peso de frutos por caña (PFC) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en contenedores en Chapingo, Estado de México.

F.V.	G.L.	NFC			PFC (g)		
		CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	7	0.238	1.64	0.127	2.625	2.73	0.010
Error	184	0.145			0.959		
Total	191						
R ²		0.058			0.094		
CV		116.210			126.939		
SIG		NS			*		

F.V.= Fuentes de variación. G.L.=Grados de libertad. CM= Cuadrados medios. R²= r cuadrada. CV= Coeficiente de variación. SIG= Significancia. NS= No significativo. *=P≤0.05 (Significativo al 0.05 de probabilidad).

Anexo 5A. Análisis de varianza para peso seco (PS), área foliar (AF) y peso específico (PE) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.

F.V.	G.L.	PS (g)			AF (cm ²)			PES (g cm ⁻²)		
		CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	4	1.321	21.85	<0.0001	6065.146	14.38	0.0001	0.0002	1.18	0.3222
Error	115	0.060			421.724			0.0001		
Total	119									
R ²		0.431			0.333			0.039		
CV		18.396			22.392			83.215		
SIG		**			**			NS		

F.V.= Fuentes de variación. G.L.=Grados de libertad. CM= Cuadrados medios. R²= r cuadrada. CV= Coeficiente de variación. SIG= Significancia. NS= No significativo. **=P≤0.01 (Significativo al 0.01 de probabilidad).

Anexo 6A. Análisis de varianza para diámetro de caña (DC), altura de caña (ALC) y número de nudos (NNU) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.

F.V.	G.L.	DC (cm)			ALC (cm)			NNU		
		CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	4	0.050	2.57	0.039	832.646	3.44	0.0096	35.630	1.35	0.254
Error	195	0.019			241.986			26.460		
Total	199									
R ²		0.050			0.065			0.026		
CV		12.610			21.404			19.251		
SIG		*			**			NS		

F.V.= Fuentes de variación. G.L.=Grados de libertad. CM= Cuadrados medios. R²= r cuadrada. CV= Coeficiente de variación. SIG= Significancia. NS= No significativo. *=P≤0.05 (Significativo al 0.05 de probabilidad). **=P≤0.01 (Significativo al 0.01 de probabilidad).

Anexo 7A. Análisis de varianza para el contenido de clorofila a (CA), clorofila b (CB) y clorofila total (CTOT) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.

F.V.	G.L.	CA mg g ⁻¹ m.f. [§]			CB mg g ⁻¹ m.f. [§]			CTOT mg g ⁻¹ m.f. [§]		
		CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	4	0.014	0.66	0.626	0.0078	0.95	0.464	0.041	0.72	0.594
Error	15	0.021			0.0083			0.058		
Total	19									
R ²		0.150			0.201			0.160		
CV		10.137			11.533			10.857		
SIG		NS			NS			NS		

F.V.= Fuentes de variación. G.L.=Grados de libertad. CM= Cuadrados medios. R²= r cuadrada. CV= Coeficiente de variación. SIG= Significancia. NS= No significativo.

Anexo 8A. Análisis de varianza para número de frutos por caña (NFC) y peso de frutos por caña (PFC) con fertilización orgánica, química y combinaciones para frambuesa roja 'Autumn Bliss' cultivada en campo en Chapingo, Estado de México.

F.V.	G.L.	NFC			PFC (g)		
		CM	F Value	Pr>F	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	4	5.465	1.70	0.158	24.122	1.39	0.247
Error	75	3.214			17.405		
Total	79						
R ²		0.083			0.068		
CV		69.188			78.094		
SIG		NS			NS		

F.V.= Fuentes de variación. G.L.=Grados de libertad. CM= Cuadrados medios. R²= r cuadrada. CV= Coeficiente de variación. SIG= Significancia. NS= No significativo.

Anexo 9A. Análisis de suelo (campo) antes de aplicar los tratamientos. Campo Agrícola Experimental "San Martín". Chapingo, Estado de México.

No. DE CONTROL	PH	CE ds m ⁻¹	M.O. %	NT %	NI mg kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	Ca mg kg ⁻¹	Mg mg kg ⁻¹
M1	6.97	1.2	1.61	0.10	18.20	18.98	694	1 668	334
M2	6.96	1.2	1.61	0.13	28.00	23.99	678	2 054	379
M3	7.13	1.1	1.21	0.08	14.00	11.45	472	1 454	295

Continuación...

No. DE CONTROL	Fe mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	B mg kg ⁻¹	Ac. Int. Cmol(+) kg ⁻¹	CIC Cmol(+) kg ⁻¹
M1	6.04	0.60	1.20	4.45	1.12	0.18	18.69
M2	6.59	0.79	1.03	6.07	1.25	0.09	19.32
M3	6.00	0.63	0.76	4.20	0.99	0.09	15.00

Continuación ...

No. DE CONTROL	C.C. %	PMP %	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	CLASIFICACION TEXTURAL
M1	25.37	11.93	47.64	26.72	25.64	Franco-Arcillo-Arenoso
M2	29.30	13.49	39.64	26.72	33.64	Franco-Arcilloso
M3	22.61	22.61	53.64	22.72	23.64	Franco-Arcillo-Arenoso

M1= Muestreo 1, M2= Muestreo 2, M3= Muestreo 3. CE= conductividad eléctrica, NT= Nitrógeno total, NI= Nitrógeno inorgánico, P= Fósforo, K= Potasio, Ca= Calcio, Mg= Magnesio, Fe= Hierro, Cu= Cobre, Zn= Zinc, Mn= Manganeso, B= Boro, C.C.= Capacidad de campo, PMP= Punto de marchites permanente.

METODOLOGÍA:

pH: Potenciómetro relación suelo-agua 1:2.

CE: Puente de conductividad en el extracto de la pasta.

MO: Walkley and Black.

NT: Determinado por arrastre de vapor Kjeldahl.

NI: Extraído con cloruro de potasio 2N y determinado por arrastre de vapor.

P: M1 y M2 (Bray p-1) y M3 (Olsen).

K: Extraído en acetato de amonio 1.0 N pH 7.0 relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de emisión de flama.

Ca, Mg: Extraído en acetato de amonio 1.0 N pH 7.0 relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica.

Fe, Cu, Zn, Mn : Extraído con DTPA relación 1:4 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica.

B: Espectrofotocolorimetria de Azometina-H en el extracto de la pasta.

Ac. Int.: Extraído en KCl 1.0 N relación 1:30 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica.

CIC: Acetato de amonio 1.0 N pH 7.0 centrifugación.

CC: Olla de presión a 0.3 Atm.

PMP : Membrana de presión a 15.0 Atm.

TEX: Hidrómetro de Bouyoucos.

Anexo 10A. Niveles nutrimentales foliares en frambuesa roja (*Rubus idaeus* L) en base a peso seco (%) para macronutrientes y miligramo por kilogramo (mg kg⁻¹) de materia seca para micronutrientes^{1,2}.

NUTRIMENTO	DEFICIENTE	NORMAL	ALTO	TOXICO
Nitrógeno	2.5 %	2.8 %	4.0 %	4.8 %
Fósforo	0.2 %	0.3 %	0.6 %	0.7 %
Potasio	1.0 %	1.5 %	3.0 %	4.0 %
Calcio	0.5 %	0.6 %	2.5 %	---
Magnesio	0.2 %	0.4 %	1.0 %	2.0 %
Boro	30 mg kg ⁻¹	46 mg kg ⁻¹	80 mg kg ⁻¹	100 mg kg ⁻¹
Hierro	30 mg kg ⁻¹	50 mg kg ⁻¹	150 mg kg ⁻¹	250 mg kg ⁻¹
Manganeso	20 mg kg ⁻¹	80 mg kg ⁻¹	300 mg kg ⁻¹	1000 mg kg ⁻¹
Cobre	1 mg kg ⁻¹	2 mg kg ⁻¹	50 mg kg ⁻¹	100 mg kg ⁻¹
Zinc	13 mg kg ⁻¹	34 mg kg ⁻¹	80 mg kg ⁻¹	300 mg kg ⁻¹

¹ Análisis foliar estándar para hojas individuales tomadas del 21 de julio al 10 de agosto. Seleccionando cinco hojas trifoliadas con pecíolos de las más recientes y totalmente expandidas en cañas de la temporada (usualmente 45 cm a la punta) para cada planta. Estas fueron seleccionadas al azar expuestas a competencia completa. La muestra total incluyó diez plantas representativas para obtener un total de 50 hojas trifoliadas.

² Crandall P. C. 1995. Bramble Production. The Management and Marketing of Raspberries and Blackberries. Binghamton, USA. 209p.

Anexo 11A. Contenido nutrimental de los productos orgánicos utilizados.

ELEMENTO	HEALTHY START [†]	COMPOSTA NOCON	RAIZET 20G	HUMICROP 100
Nitrógeno	3 %	-----	4.5 %	Ácidos húmicos activados
Fósforo	4 %	1 482.48 mg kg ⁻¹	0.75 %	derivados de leonardita (60%)
Potasio	3 %	163.67 mg kg ⁻¹	-----	
Calcio	-----	67.10 mg kg ⁻¹	-----	
Magnesio	-----	75.61 mg kg ⁻¹	2.50 %	Sustancias húmicas de lenta descomposición
Boro	-----	2.87 mg kg ⁻¹	0.03 %	(40%)
Hierro	-----	65.52 mg kg ⁻¹	0.50 %	-----
Manganeso	-----	47.31 mg kg ⁻¹	0.20 %	-----
Cobre	-----	5.29 mg kg ⁻¹	-----	-----
Zinc	-----	12.90 mg kg ⁻¹	0.35 %	-----
M. O.	-----	6.90 %	-----	-----
CIC	-----	23.08 cmol(+) kg ⁻¹	-----	-----
Dap	-----	0.74 g cm ⁻³	-----	-----
NI	-----	20.45 mg kg ⁻¹	-----	-----
pH 1:2	-----	6.25	-----	-----
Inertes y M.O. hasta	-----	-----	100 %	-----
CE	-----	1.56 dS m ⁻¹	-----	-----

M.O.=Materia orgánica, CIC = Capacidad de intercambio catiónico, Dap = Densidad aparente, NI = Nitrógeno inorgánico. CE = Conductividad eléctrica.

[†]Ingredientes que no son alimentos para las plantas: *Yuca shidigera*, Ac. húmico (leonardita), *Ascomyllum nodosum*, 85 millones de bacterias del suelo (cfu's/Lb).

Anexo 12A. Análisis foliar en frambuesa roja ‘Autumn Bliss’ cultivada en contenedores con fertilización orgánica, química y combinaciones en Chapingo, Estado de México.

Nutrimiento	Testigo	Healthy Start	Composta Nocon	Raizet 20G	Humicrop 100	Químico+ C. Nocon	Químico + Raizet 20G	Químico+ Humicrop 100
(%)								
N	2.5061	3.2432	1.9173	1.8406	2.0270	3.4275	3.6118	2.9115
P	0.2764	0.4163	0.3608	0.1960	0.3306	0.4343	0.4911	0.5052
K	0.6341	0.6406	0.7938	0.5509	0.6047	0.8417	1.0862	0.9791
Ca	1.0123	0.8167	1.3447	0.7813	1.1380	1.1088	1.2385	1.1403
Mg	0.6213	0.5520	0.7239	0.4602	0.6156	0.7389	0.8694	0.6719
(mg kg ⁻¹ de materia seca)								
B	70.54	41.12	83.93	54.97	74.03	81.80	84.24	83.08
Fe	544.907	282.467	145.337	74.967	169.997	233.097	192.037	131.687
Mn	119.14	88.83	111.58	63.83	97.75	226.15	471.51	242.42
Cu	8.04	7.57	7.89	5.41	8.61	8.33	10.51	10.82
Zn	28.57	23.07	33.63	20.89	31.59	48.34	44.96	39.51

N= Nitrógeno, P= Fósforo, K= Potasio, Ca= Calcio, Mg= Magnesio, B= Boro, Fe= Hierro, Mn= Manganeso, Cu= Cobre, Zn= Zinc.

Anexo 13A. Análisis foliar en frambuesa roja ‘Autumn Bliss’ cultivada en campo con fertilización orgánica, química y combinaciones en Chapingo, Estado de México.

Nutrimiento	Testigo	Químico	Healthy Start	Químico + Healthy Start	Composta Nocon
(%)					
N	2.6536	3.3170	3.3170	3.1695	3.2432
P	0.2938	0.3187	0.3898	0.4046	0.4301
K	0.6229	0.6493	0.7818	0.8544	0.9928
Ca	0.8333	0.7434	0.9537	0.9757	1.0798
Mg	0.5001	0.5136	0.5660	0.5706	0.6964
(mg kg ⁻¹ de materia seca)					
B	43.150	43.950	53.210	53.560	57.690
Fe	510.967	413.117	191.367	117.937	169.327
Mn	90.030	293.100	105.980	190.770	100.150
Cu	12.960	13.940	12.120	9.250	10.890
Zn	34.72	37.30	40.10	34.66	43.74

N= Nitrógeno, P= Fósforo, K= Potasio, Ca= Calcio, Mg= Magnesio, B= Boro, Fe= Hierro, Mn= Manganeso, Cu= Cobre, Zn= Zinc.