

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

PROPIEDADES FÍSICAS DE SUSTRATOS Y SU  
EFECTO EN LA NUTRICIÓN DE FRESA  
(*Fragaria x ananassa* Duch.), EN SISTEMA  
HIDROPÓNICO



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES  
SECRETARÍA DE EXAMENES PROFESIONALES

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

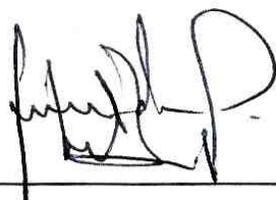
PRESENTA:  
ROBERTO RIVERA DEL RÍO

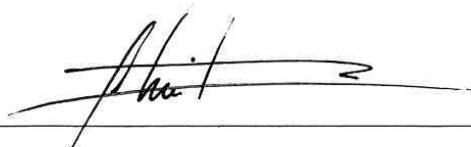
Chapingo México, junio de 2016



**PROPIEDADES FISICAS DE SUSTRATOS Y SU EFECTO EN LA NUTRICIÓN DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch) EN SISTEMA HIDROPÓNICO**

Jurado que revisó y aprobó el examen de grado de Roberto Rivera del Río, autor de la presente tesis de Doctor en Ciencias en Horticultura, constituido por:

DIRECTOR:   
Dr. Joel Pineda Pineda

ASESOR:   
Dr. Edilberto Avitia García

ASESOR:   
Dra. Ana María Castillo González

ASESOR:   
Dr. Mateo Vargas Hernández

Lector externo:   
Dr. Armando Ramírez Arias

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de posgrado.

A mi alma mater Universidad Autónoma Chapingo, por haberme dado las mejores condiciones para formarme en su seno.

A mi comité asesor, por su disposición y valiosas aportaciones realizadas al buen desarrollo de este trabajo.

A todos los profesores del Instituto de Horticultura y compañeros por compartir sus conocimientos y experiencias académicas conmigo y enriquecer mi acervo profesional .

A Angélica, Frida y Diego por todo su apoyo de toda la vida.

## **BIOGRAFIA DEL AUTOR**

El autor de la presente tesis, Ingeniero Agrónomo Roberto Rivera del Río, es originario de Michoacán; ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo en 1979 a la Preparatoria Agrícola, cursó la carrera de Ingeniería en Suelos de la UACH, la Maestría en Ciencia en Agrometeorología en el Colegio de Posgraduados en 1995; trabaja como profesor investigador en la Universidad Autónoma Chapingo, en el Departamento de la Preparatoria Agrícola en el Área de agronomía, desde 1987.

Se desempeña como profesor de las asignaturas de Agronomía I y II, Hidroponía y Agrometeorología en la carrera de Horticultura Protegida del Departamento de Fitotecnia.

## INDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN/ABSTRACT.....	ix
I INTRODUCCIÓN.....	1
II OBJETIVOS.....	5
III REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1 Descripción del género <i>Fragaria</i> .....	6
3.2. Características de la fresa 'Festival'.....	7
3.3 El cultivo de la fresa en México.....	7
3.4 Los sistemas de producción de fresa.....	8
3.5 La investigación en sistemas hidropónicos de fresa.....	10
3.5.1 Tendencias de la investigación.....	10
3.5.2 El uso y reuso de los sustratos en sistemas hidropónicos.....	12
3.5.3. Concentración de minerales en plantas de fresa .....	16
3.5.4. Curvas de extracción nutrimental.....	22
IV MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
4.1 Ubicación y características del área experimental.....	24
4.2 Tratamientos y diseño experimental.....	24
4.3 Desarrollo experimental.....	25
4.4 Variables evaluadas.....	26
4.4.1 Propiedades físicas de sustratos.....	26

4.4.2. Biomasa y concentración mineral en tejido vegetal	27
4.5 Análisis de datos.....	28
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
5.1 Alteración de las propiedades físicas de sustratos por uso continuo.....	29
5.1.1 Distribución de tamaño de partículas (DTP).....	29
5.1.2 Índice de grosor (I <sub>g</sub> ).....	32
5.1.3 Diámetro medio ponderado de partículas (DMP).....	33
5.1.4 Densidad aparente (D <sub>ap</sub> ).....	34
5.1.5 Disponibilidad de humedad y propiedades hidráulicas.....	35
5.1.6 Volumen ocupado por agua y aire.....	36
5.1.7. Correlación entre variables físicas de sustratos.....	40
5.1.8 Curva de retención de humedad (CRH).....	42
5.1.9 Efecto de los sustratos nuevos y usados en algunos componentes de crecimiento de fresa.....	45
5.2. Producción de biomasa, calidad de fruto y concentración nutrimental en tejido vegetal.....	47
5.2.1. Contenido nutrimental en plantas de fresa 'Festival'.....	49
5.2.2 Producción de biomasa .....	80
5.2.3 Calidad de fruto.....	83
5.2.4 Rendimiento de frutos.....	85

5.2.5	Curvas de extracción de macronutrientes en plantas de fresa y su relación con el sustrato de cultivo.....	86
5.2.6.	Curvas de extracción de micronutrientes en plantas de fresa y su relación con el sustrato de cultivo.....	91
VI	CONCLUSIONES.....	93
VII	BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	95

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Intervalos de suficiencia nutrimental foliar para fresa.....	22
Cuadro 2. Concentración de macronutrientes en la solución nutritiva para la producción de fresa, en sistema hidropónico, con sustratos nuevos y usados.....	25
Cuadro 3. Concentración de micronutrientes, solución nutritiva para la producción de fresa, en sistema hidropónico, con sustratos nuevos y usados.....	26
Cuadro 4. Distribución (%) del tamaño de partículas (mm) de tres sustratos durante dos ciclos de uso con fresa en sistema hidropónico.....	31
Cuadro 5. Índice de grosor y diámetro medio ponderado de partículas de fibra de coco, perlita y tezontle, después de dos ciclos de cultivo de 8 meses en hidroponía.....	30
Cuadro 6. Propiedades físicas de los sustratos fibra de coco, perlita y tezontle al inicio del cultivo (nuevos), final del ciclo 1 y ciclo 2 del cultivo de fresa.....	32
Cuadro 7. Peso fresco en corona, hoja y fruto, y rendimiento de fresa desarrollada en fibra de coco (FC), perlita (PE) y tezontle (TE) a los 220 días de cultivo.....	47
Cuadro 8. Producción de materia fresca (g), en plantas de fresa cultivadas en tres sustratos nuevos y usados.....	56

Cuadro 9. Concentración (%) y extracción de N, P, K, Mg en corona (mg/planta) de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en sistema hidropónico, en diferentes etapas fenológicas de plantas de fresa cultivadas en fibra de coco, perlita y tezontle ...	78
Cuadro 10. Concentración (%) y extracción de macronutrientes N, P, K, Mg en frutos (mg/planta) de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico, en diferentes etapas fenológicas de plantas de fresa cultivadas en fibra de coco, perlita y tezontle .....	79
Cuadro 11. Concentración (%) y extracción de macronutrientes N, P, K y Mg en hojas (mg·planta <sup>-1</sup> ) de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico, en diferentes etapas fenológicas de plantas de fresa cultivadas en fibra de coco, perlita y tezontle .....	80
Cuadro 12. Concentración (mg·Kg <sup>-1</sup> ) y extracción de micronutrientes Fe, Mn, Cu y Zn en corona de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico, en diferentes etapas fenológicas de plantas de fresa cultivadas en fibra de coco, perlita y tezontle .....	81
Cuadro 13. Concentración (mg·Kg <sup>-1</sup> ) y extracción de micronutrientes Fe, Mn, Cu y Zn en frutos de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico, en diferentes etapas fenológicas de plantas de fresa cultivadas en fibra de coco,	

perlita y tezontle .....	82
Cuadro 14. Concentración ( $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ) y extracción de micronutrientes Fe, Mn, Cu y Zn en hoja de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico, en diferentes etapas fenológicas de plantas de fresa cultivadas en fibra de coco, perlita y tezontle .....	83
Cuadro 15. Acumulación de materia seca y de macronutrientes en órganos de plantas de fresa en tezontle, durante la etapa de cosecha.....	82
Cuadro 16. Acumulación de materia seca y de macro nutrientes en órganos de plantas de fresa en perlita, durante la etapa de cosecha.....	82
Cuadro 17. Acumulación de materia seca y de macro nutrientes en órganos de plantas de fresa en fibra de coco, durante la etapa de cosecha.....	82
Cuadro 18. Peso fresco promedio de fruto y calidad de frutos de fresa en sustratos nuevos y usados.....	83
Cuadro 19. Coeficientes de correlación de Pearson ( $R^2$ ) entre pares de valores de extracción nutricional de N, P, K, con macro y micronutrientes, en corona, fruto y hoja de plantas de fresa cultivada en hidroponía.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Distribución acumulada del tamaño de partículas en fibra de coco (a), perlita (b) y tezontle (c) al inicio del cultivo (sin uso), al final del ciclo 1 y al final del ciclo 2. Los valores se expresan en porcentaje con respecto a 100 gramos de muestra tamizada..... 32
- Figura 2. (a, b, c, d). Proporción de modificación de las características físicas de fibra de coco (FC), perlita (PE) y tezontle (TE), respecto de sus características iniciales. Los muestreos del 1 al 4 corresponden a sustratos nuevos y del 5 al 7 a sustratos usados..... 40
- Figura 3. (a, b, c, d). Relación entre algunas propiedades físicas de sustratos. Dap, densidad aparente; EPT, espacio poroso total; ADD, agua difícilmente disponible; S, índice de saturación; ATD, agua total disponible; AFD, agua fácilmente disponible; CRH, capacidad de retención de humedad. Los valores se expresan en porcentaje, respecto al peso total de la muestra de cada sustrato;  $R^2$ : coeficiente de determinación..... 43
- Figura 4. Curva de liberación de humedad de fibra de coco (a), tezontle (b) y perlita (c) con tres tiempos de uso: inicio del cultivo (sin uso), ciclo 1 y ciclo 2; los valores se expresan en porcentaje del peso del agua retenida respecto al peso

total de la muestra seca, a tres niveles de succión (0, 10, 50 y 100 cm de columna de agua).....	45
Figura 5. Concentración (%) de N, P, K y Mg en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en fibra de coco nuevo y usado, a los 40 (1), 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondientes a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente.....	54
Figura 6. Concentración (mg·kg <sup>-1</sup> ) de Fe, Mn, Cu y Zn en corona, fruto y hoja de fresa, cultivada en fibra de coco nuevo y usado, a los 40 (1), 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondientes a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente.....	56
Figura 7. Concentración (%) de N, P, K Y Mg en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en perlita nueva y reusada, a los 40 (1), 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondiente a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente.....	58
Figura 8. Concentración (mg·kg <sup>-1</sup> ) de Fe, Mn, Zn y Cu en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en perlita nueva y reusada, a los 40 (1), 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondientes a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente.....	59
Figura 9. .Concentración (%) de N, P, K y Mg en corona, fruto y hoja	61

de fresa cultivada en tezontle nuevo y usado, a los 40 (1), 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondientes a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente.....

Figura 10. Concentración ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) de Fe, Mn, Zn y Cu en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en tezontle nuevo y usado, a los 40 (1) , 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondientes a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente. 63

Figura 11. Variación de la concentración (%) de N, P, K y Mg en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en fibra de coco, perlita y tezontle, en etapa vegetativa (40 DDP), en floración (100 DDP), en plena cosecha (160 DDP) y al final de la cosecha (220 DDP), muestreos 1, 2, 3 y 4 respectivamente..... 66

Figura 12. Variación de la concentración ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) Fe, Mn, Cu y Zn en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en fibra de coco, perlita y tezontle, en etapa vegetativa (40 DDP), en floración (100 DDP), en plena cosecha (160 DDP) y al final de la cosecha (220 DDP), muestreos 1, 2, 3 y 4 respectivamente..... 68

Figura 13. Concentraciones de N, P, K, Mg (%) en órganos de planta de fresa cultivadas en fibra de coco; muestreos 1, 2, 3, 4 69

corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente...

Figura 14. Concentraciones de Fe, Mn, Zn y Cu ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) en órganos de planta de fresa cultivada en fibra de coco. Muestreos 1, 2, 3, 4 corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente.....	70
Figura 15. Concentraciones de N, P, K, Mg (%) en órganos de planta de fresa cultivadas en perlita; muestreos 1, 2, 3, 4 corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente...	70
Figura 16. Concentraciones de Fe, Mn, Zn y Cu ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) en órganos de planta de fresa cultivadas en perlita; muestreos 1, 2, 3, 4 corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente...	71
Figura 17. Concentraciones de N, P, K, Mg (%) en órganos de planta de fresa cultivadas en tezontle; muestreos 1, 2, 3, 4 corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente....	72
Figura 18. Concentraciones de Fe, Mn, Zn y Cu ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) en órganos de planta de fresa cultivadas en sustrato tezontle; muestreos 1, 2, 3, 4 corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente.....	72
Figura 19. Producción de materia seca acumulada total y por órganos de planta de fresa 'Festival', cultivada en fibra de coco (a), perlita (b) y tezontle (c) durante diferentes etapas de desarrollo del cultivo (desarrollo vegetativo a fin de cosecha, 40 a 220 DDP).....	83

Figura 20. Concentración de nitrógeno en fruto (a), corona (b) y hoja (c) de plantas de fresa cultivada en fibra de coco, perlita y tezontle.....	87
Figura 21. Rendimiento equivalente ( $t \cdot ha^{-1}$ ), de fresa cultivada en tres clases de sustratos.....	87
Figura 22. Extracción de N en órganos de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico.....	89
Figura 23. Extracción de P en órganos de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico.....	89
Figura 24. Extracción de K en órganos de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico.....	90
Figura 25. Extracción de N, P, K, en relación con el peso seco de frutos de fresa, cultivada en tres sustratos diferentes, en un sistema hidropónico.....	91
Figura 26. Extracción de Fe en órganos de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico.....	94

## RESUMEN/ABSTRACT

### PROPIEDADES FÍSICAS DE SUSTRATOS Y SU EFECTO EN LA NUTRICIÓN DE FRESA (*Fragaria x ananassa* DUCH.) EN SISTEMA HIDROPÓNICO

### PHYSICAL PROPERTIES OF SUBSTRATES AND ITS EFFECT ON STRAWBERRY (*Fragaria x ananassa* DUCH.) NUTRITION IN HYDROPONIC SYSTEM

Roberto Rivera del Rio y Joel Pineda Pineda

#### RESUMEN

Se evaluaron propiedades físicas de tres sustratos: tezontle, perlita y fibra de coco, durante dos ciclos de cultivo en producción hidropónica de fresa 'Festival'. Se aplicó solución Steiner, con 20 meq. carga de iónica; tezontle mostró mayor estabilidad física, fibra de coco incrementó su densidad aparente y capacidad de retención de humedad; en general el incremento en la capacidad de retención de humedad de los sustratos, se relacionó directa y positivamente con el contenido de agua fácilmente disponible; no hubo efecto entre sustratos nuevo y con reuso en calidad y rendimiento de fruto; pero si lo hubo por el tipo de sustrato: tezontle fue el que tuvo la mayor tasa de extracción y acumulación de biomasa, siguiéndole la perlita y finalmente fibra de coco; en general los nutrientes se acumularon en las plantas, en concordancia con la distribución de biomasa.

**Palabras clave:** agua fácilmente disponible, sustrato, extracción nutricional, fresa.

#### ABSTRACT

The physical properties of three substrates, namely volcanic rock called "tezontle", perlite and coconut fiber, were evaluated through two crop cycles in a hydroponic strawberry 'Festival' system. Steiner solution was supplied, with 20 meq of ionic charge; tezontle showed greater physical stability, while coconut fiber increased its bulk density and water retention capacity; in general the increased water retention capacity of the substrates was direct and positively correlated to the readily available water content; there was no effect between new and reused substrates in fruit quality and productive response; however, the substrate class affected it: tezontle had the highest nutritional extraction rate and biomass accumulation, followed by perlite and finally coconut fiber; the strawberry plants accumulated nutrients in accordance with biomass distribution.

**Keywords:** easily available water, substrate, nutritional extraction, strawberry

## I INTRODUCCIÓN

El cultivo de fresa en México ha mantenido un crecimiento sostenido en los últimos 5 años; de acuerdo con información del SIAP (2015), en el ciclo 2014, de los 10 productos hortofrutícolas con el mayor valor de producción, la fresa obtuvo la más alta productividad ( $\$549,000 \cdot \text{ha}^{-1}$  cosechada). El valor total de la producción se distribuyó en 12 entidades, del cual el 91.6 % lo concentraron Baja California y Michoacán, en tanto que el 8.4 % lo generaron 10 entidades con alto potencial de producción pero con nivel tecnológico medio y bajo; para el mismo ciclo, del total de hectáreas cultivadas con fresa bajo cubierta, el 3.66 % y el 95.6 % se cultivaron directamente en suelo bajo invernadero y macro túnel, respectivamente. En este contexto, el sistema de producción hidropónico en sustrato constituye una alternativa para incrementar las posibilidades de éxito, especialmente en regiones emergentes, donde las condiciones del clima, y suelo son limitantes (Pineda *et al.*, 2012; Urrestarazu, 2015).

La producción hidropónica bajo invernadero ha ido creciendo en diversas partes del mundo y particularmente en México, pues ha mostrado mejoras importantes en el uso eficiente de insumos como el agua y fertilizantes; además de su efecto en el rendimiento y calidad de los productos obtenidos; en tales condiciones los sustratos adquieren especial importancia, pues constituyen el medio de desarrollo del sistema radical con todos sus efectos intrínsecos (Abad *et al.*, 2004; Raviv y Lieth, 2008). Riviere y Caron (1999) mencionan que el negocio de los sustratos para fines hidropónicos ha tenido un fuerte desarrollo en los últimos 20 años; uno

de los aspectos que lo explica es la facilidad de disponer de un producto listo para plantar, con resultados positivos; los autores refieren que las principales estrategias de mejora de los sustratos se concentran en el mayor conocimiento del flujo continuo sustrato-planta-atmósfera y en su estabilidad física, química y biológica, lo cual permitirá reducir el consumo de insumos, el rediseño de estrategias de uso y reuso de agua y materiales y el establecimiento de normas y referencias actualizadas.

Diversos estudios refieren la modificación de las características físicas, químicas y biológicas de los sustratos y sus posibles efectos sobre el desarrollo y nutrición de los cultivos (Pérez-Buenafuente *et al.*, 2004; Verdonck y Demeyer, 2004; Giuffrida *et al.*, 2008; Urrestarazu *et al.*, 2008). Por su parte, Lemaire (1995) y Abad *et al.* (2004) mencionan que la modificación en la proporción de partículas afecta las propiedades físicas como capacidad de retención de humedad y agua fácilmente disponible.

Se sabe que las plantas requieren de 17 nutrientes llamados esenciales; cada uno es requerido en diferente cantidad y su dinámica dentro de la planta es variable; las funciones en las cuales se ven involucrados de manera estructural o funcional, han sido descritas por diversos autores (Mengel y Kirkby, 2001; Epstein y Bloom, 2005; Marschner, 2012).

Resulta de gran utilidad conocer, de manera específica, la necesidad nutrimental de cada especie o cultivar, cuando se pretende diseñar recomendaciones de

fertilización, especialmente cuando las condiciones ambientales y de manejo varían y afectan los niveles de absorción (Bertsch, 2009; Sonneveld y Voogt, 2009).

Pardossi *et al.* (2011) señala que la reducción del consumo de fertilizantes se ha considerado un objetivo estratégico para una producción sustentable en cualquier cultivo. Para lograr este propósito es necesario que los productores sean capacitados para aplicar los productos con base en el requerimiento nutrimental, durante un ciclo completo de cultivo, una vez conocida la disponibilidad de nutrimentos de diversas fuentes (Tagliavini *et al.*, 2004; Bertsch, 2009). Cualquier programa de fertilización debería comenzar con el conocimiento de las cantidades de nutrimentos absorbidos por las plantas y el conocimiento de la dinámica de la absorción de nutrimentos, aspectos extremadamente importantes para la sincronización de la disponibilidad con la necesidad del cultivo (Tagliavini *et al.*, 2005; Bertsch, 2009).

La adopción de una técnica de suministro de nutrimentos permite un control preciso de la disponibilidad de nutrimentos, especialmente en sistemas de producción hidropónicos; a un mayor nivel de sincronización entre demanda y disponibilidad, será posible obtener mayor producción, calidad de productos con un mínimo requerimiento de insumo fertilizante (Bertsch, 2009).

El análisis químico de tejido vegetal es ampliamente usado en programas de fertilización; sin embargo, las metodologías usadas y los resultados difieren

ampliamente, por lo que es pertinente tomar en cuenta diversos aspectos al momento de utilizar valores estandarizados de contenido nutrimental o la metodología aplicada, el estado de crecimiento de la planta al momento del muestreo, la parte de la planta analizada, los fertilizantes y solución nutritiva aplicada (Jones, 1998; Adams, 2004).

Un factor clave para impulsar el uso de los sistemas de cultivo en sustrato es la comprensión a fondo de las complejas relaciones físicas y químicas en el sistema aire-planta-agua, aspecto que permite el rediseño de estrategias de manejo de la zona radical (Maher *et al.*, 2008; Handreck y Black, 2010).

En la presente investigación se estudiaron dos de los sustratos más utilizados en el sistema hidropónico de fresa en países desarrollados: fibra de coco y perlita (Jafarnia *et al.*, 2010) y al tezontle de uso común en México (Ojodeagua *et al.*, 2008) y sus efectos en la absorción nutrimental y partición en el tejido vegetal; los resultados permitirán realizar ajustes en los sistemas de suministro del riego y nutrición, en la prevención de efectos en el desarrollo de las plantas, relacionados con el comportamiento de la relación agua-planta-aire, a través del tiempo de uso.

La tendencia creciente en la producción de fresa en México a través de un paquete tecnológico de cultivo en suelo con un alto consumo de agua e insumos justifica la, aún incipiente, incorporación del sistema de producción hidropónica de fresa en sustratos, cuya expectativa de rendimiento, calidad y sustentabilidad es superior al cultivo en suelo (Abad *et al.*, 2004; Raviv y Lieth, 2008).

## II OBJETIVOS

- a. Identificar los cambios en las propiedades físicas y químicas de los sustratos tezontle, fibra de coco y perlita por efecto de su reutilización, con el propósito de evaluar agronómicamente la calidad de los mismos a través dos ciclos de uso con el cultivo de fresa.
- b. Evaluar el efecto que tienen las alteraciones de las propiedades físicas de los sustratos por efecto de su reuso, en el crecimiento y desarrollo de la planta de fresa y en calidad del fruto.
- c. Obtener las curvas de absorción nutrimental de macro y micronutrientes, en órganos de la planta de fresa, con el propósito de evaluar la partición de nutrientes, asociada a etapas fenológicas.
- d. Evaluar el efecto de los sustratos en la concentración nutrimental de macro y micronutrientes, en los órganos de planta de la planta de fresa.

### III REVISION DE LITERATURA

#### 3.1. Descripción del género *Fragaria*

El género *Fragaria* (*Fragaria* sp, del latín *fragans*, oloroso) pertenece a la familia *Rosaceae*, distribuidas en su mayor parte en las zonas cálidas y templadas del hemisferio norte (Bonet, 2010). Es una planta dicotiledónea, autógama, perenne en estado silvestre, aunque la duración de un ciclo comercial de fruto puede durar hasta tres años en zonas frías y un año en ambientes subtropicales (Dávalos-González *et al.*, 2011). Las hojas están dispuestas en espira, son pinnadas y generalmente trifoliadas. Sólo tienen estomas en el envés. Las hojas de la mayoría de las especies viven sólo unos pocos meses y mueren después de la exposición a heladas fuertes en el otoño (Hancock, 1999).

El tallo está comprimido en una roseta basal o corona, en la que se insertan las hojas con filotaxia helicoidal, cuyos peciolo pueden medir hasta 20 centímetros de longitud; posee yemas o meristemas axilares que, dependiendo de las condiciones ambientales y nutricionales, pueden permanecer aletargadas, desarrollar estolones o inflorescencias. Los estolones son tallos rastreros que producen raíces adventicias, a partir de las cuales se puede desarrollar una nueva planta. Se reproduce sexualmente a partir de la formación de la inflorescencia en tipo cima dicasial o monocasial con flores hermafroditas. El receptáculo se desarrolla formando un falso fruto llamado eterio o “agregado”, el cual contiene a los verdaderos frutos llamados aquenios (Hancock, 1999).

### **3.2. Características de fresa 'Festival'**

*Fragaria x ananassa* es un híbrido de progenitores *Fragaria chiloensis* y *F. virginiana* cultivado en todo el mundo, es una planta robusta con estolones cortos, su fruto es un receptáculo desarrollado llamado poliaquenio o eterio, grande de un color rojo intenso brillante o rojo pálido, dependiendo del cultivar. La planta de fresa 'Festival' fue liberado por la Universidad de Florida en el año 2000, actualmente sigue siendo el más utilizado en estados productores como Guanajuato, Michoacán y México. Se estima que está presente en el 60 % de las plantaciones (CONAFRE, 2011). Sus principales características son: planta de fotoperiodo corto, moderadamente vigorosa, resistente a *Phytophthora cactorum*, moderadamente resistente a Antracnosis y susceptible a *Xanthamonas* spp. Posee un fruto cónico de color rojo brillante, presenta una buena polinización en condiciones de clima templado (Whitaker *et al.*, 2015).

### **3. 3. El cultivo de la fresa en México**

El cultivo de fresa en México ha mantenido un crecimiento sostenido en los últimos 5 años tanto en superficie cultivada como en rendimiento, pasando de 6,555.4 a 9,930 hectáreas cosechadas y de 36.1 a 44.7 toneladas por hectárea en promedio, del 2010 al 2014, respectivamente; de acuerdo con la SIAP (2015), para el ciclo 2014, de las 6 hortalizas y frutillas con el mayor valor de producción, la fresa ocupó el cuarto lugar y tuvo la más alta productividad ( $\$557,000 \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

La SIAP (2015) reportó que el valor total de la producción se distribuyó en 12 entidades, del cual el 91.6 % lo concentraron Baja California y Michoacán, en tanto que el 8.4 % lo generaron 10 entidades con alto potencial de producción pero con nivel tecnológico medio y bajo. Lo anterior sugiere la necesidad de adoptar y adaptar sistemas de producción y manejo de cultivo de fresa más productivos, redituables y sustentables.

### **3. 4. Los sistemas de producción de fresa**

En función del consumo de insumos y tecnología, sistema de aprovisionamiento de agua, nivel de inocuidad, calidad de la fruta y el mercado al que va dirigida, los sistemas de producción de fresa son clasificados de la siguiente manera (CONAFRE, 2011; Pimentel y Velázquez, 2008):

**Sistema tradicional.** Se caracteriza por riego rodado, sin acolchado y sin cubierta protectora, el control de inocuidad no es importante, y la planta puede durar hasta tres ciclos de producción. La producción se comercializa principalmente en los mercados regionales y para proceso. Tiene un rendimiento promedio de 26 toneladas de fresa por hectárea.

**Sistema de mediana tecnología.** Se caracteriza por el uso de riego por goteo, sistema de fertirriego con aguas superficiales o profundas, generalmente se emplea acolchado; la planta puede tener hasta dos ciclos de producción aunque se prefiere aplicar solo uno, se tiene una calidad de fruta más uniforme, el

producto se enfoca a mercado nacional y excepcionalmente a exportación. Tiene un rendimiento promedio de 32 toneladas por hectárea.

**Sistema de alta tecnología.** En este sistema se utilizan principalmente agua subterránea o superficial limpia, con pre-tratamiento, sistema de fertirriego, acolchado y cubierta plástica (invernadero o macro túnel), existe una regulación fitosanitaria y un control más preciso del manejo del cultivo. La calidad de la fruta es principalmente para exportación y mercado nacional y la producción se concentra de noviembre a agosto. Tiene un rendimiento promedio de 80 toneladas de fruta por hectárea.

**Sistema de producción hidropónico.** La producción de fresa en sistema hidropónico, a pesar de no estar considerado, de manera explícita, en la clasificación antes descrita, se puede decir que ésta reúne características de alta calidad de fruta e inocuidad, además permite un uso más eficiente del agua y menor consumo de fertilizantes; se puede emplear en sistemas de alta densidad de plantas y en periodos de producción que abarcan casi todo el año (Ramírez-Gómez, 2011). Si bien no se ha documentado el rendimiento promedio, por tratarse de un sistema incipiente pero en expansión, la expectativa de producción está por arriba del sistema de alta tecnología en suelo; es un sistema que puede ser adaptado a condiciones de agricultura urbana, en pequeñas unidades de producción rural y en sustitución de cultivos en suelo, Cadahía (2005) señala su utilidad en aquellas zonas donde la problemática de los suelos infectados,

erosionados, salinizados, contaminados, no hacen posible la implementación de algún cultivo.

La producción hidropónica bajo invernadero se ha venido incrementando en diversas partes del mundo y particularmente en México, pues ha mostrado mejoras importantes en el uso eficiente de insumos como el agua y fertilizantes, además por su efecto en el rendimiento y calidad de los productos obtenidos; en tales condiciones los sustratos adquieren especial importancia, pues constituyen el medio de desarrollo del sistema radical con todos sus efectos intrínsecos (Abad *et al.*, 2004).

### **3. 5. La investigación en el cultivo hidropónico de fresa**

#### **3.5.1. Tendencias de la investigación**

Existen diversas experiencias de investigación relacionadas con la producción de fresa en los sistemas llamados sin suelo, las cuales pueden dar una visión acerca del presente y futuro de dicho sistema y sus ventajas potenciales. Las investigaciones se enfocan hacia diversos aspectos: comparación de sistemas de producción en suelo y en sustrato, como alternativa para eliminar la dependencia con el uso de bromuro de metilo (Handreck y Black, 2010); evaluación de diferentes niveles de estrés y su repercusión en calidad y rendimiento (Yilmaz *et al.*, 2009); manejo de soluciones nutritivas y recirculación de nutrientes (Urrestarazu, 2015); calidad y manejo de sustratos (Raviv y Lieth, 2008; Pineda *et al.*, 2012); generación y evaluación de nuevos cultivares (Jafarnia *et al.*, 2010b), entre otros tópicos.

Paranjpe *et al.* (2003) evaluó diversos sustratos, contenedores, densidades de plantación, cultivares y estrategias de control biológico, como alternativas para eliminar el uso de bromuro de metilo, concluyeron que el cultivo de fresa en dichos sistemas permite ampliar el periodo de producción y el rendimiento en general, mejora la calidad de cosecha, reduce el uso de pesticidas y elimina el uso de bromuro de metilo. Por su parte Dong *et al.* (2009) comparó un sistema de producción de fresa en suelo contra otro en sustrato y señalan que el vigor de las plantas fue ligeramente menor en sistema sin suelo; sin embargo, las fases de diferenciación, floración e inicio de maduración de fruto se retrasaron un solo día, respecto al cultivo en suelo y el periodo de cosecha fue similar.

También se ha trabajado sobre algunos aspectos relacionados con la fisiología de la planta de fresa, en sistemas hidropónicos; destacan los trabajos de D'Anna *et al.* (2003), quien evaluó la relación entre el estrés salino, calidad de fruta y rendimiento de fresa en un sistema hidropónico con fibra de coco, adicionando diferentes cantidades de NaCl; los mejores resultados en rendimiento se obtuvieron a un CE de  $2.5 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  y la proporción de fruta de deshecho se incrementó al aumentar la CE, hasta  $4.5 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ , con una reducción de 30 %, respecto a 2.5 de CE. Por su parte, Hogan *et al.* (2006) analizó el efecto estresante de un sistema hidropónico a través de la acumulación de etileno; señalan que en un sistema hidropónico existen condiciones adecuadas para inducir estrés fisiológico por los fuertes y rápidos cambios en el flujo de nutrimentos, oxigenación y temperatura, que pueden provocar la acumulación de

etileno, el cual puede inhibir el crecimiento y promover maduración temprana de fruto.

El sistema de cultivo hidropónico tiene importantes fortalezas para incrementar la calidad y cantidad de fruto, así como mejorar el uso de insumos; sin embargo, deben tomarse importantes consideraciones para minimizar cualquier condición de estrés que afecte los resultados esperados.

### **3.5.2. El uso y reuso de los sustratos en cultivos hidropónicos.**

El reuso de sustratos representa una importante opción de manejo ambiental en sistemas de cultivo sin suelo, que aplicado de adecuada manera puede contribuir a incrementar la productividad y calidad de productos. Se debe tomar en cuenta que los sustratos experimentan modificaciones en sus propiedades durante su uso, las cuales se deben conocer y tomar en cuenta, antes de considerar su reuso (Marfá, 2000; Montero *et al.*, 2012): 1) Alteraciones en su porosidad y capacidad de retención de humedad, debido a la descomposición de la materia orgánica, actividad de raíces, compactación (agregación y segregación de partículas finas), contracción y expansión por los ciclos de secado y humedecimiento; 2) Cambios en pH y salinidad (CE), como resultado de la fertirrigación con agua alcalina o salina; 3) Proliferación de patógenos y parásitos; 4) Acumulación de compuestos tóxicos liberados por las raíces y por la descomposición de materia orgánica, así como por la acumulación específica de iones.

El número de ciclos de cultivo que un sustrato puede ser usado depende de su naturaleza, el tipo de cultivo y su manejo. Generalmente, los sustratos inorgánicos tienden a durar más, perlita poco más de 2 a 3 años, sustratos orgánicos como fibra de coco 2 a 3 años, por su baja bioestabilidad (Pardossi *et al.*, 2011).

Varios autores han investigado la respuesta de cultivos en sustratos usados, comparando con sustrato nuevos; los resultados son diversos, algunos han encontrado reducción en rendimiento y/o calidad del producto (Abd-Elmoniem *et al.*, 2004), mientras que otros reportan diferencias mínimas en tales comparaciones (Urrestarazu *et al.*, 2007; Giuffrida *et al.*, 2008; Acuña *et al.*, 2013).

En investigaciones respecto a los sistemas de producción hidropónico, una de las líneas más importantes es la relacionada con los sustratos, se evalúan las propiedades de diversos materiales, sus efectos en el comportamiento de procesos físicos (relaciones agua-aire), químicos (fijación de nutrimentos, evolución de pH, CE y dinámica de iones específicos) y biológicos (bioestabilidad, biodegradación, uso de biofertilizantes, inmovilización nutrimental y procesos infecciosos). La estabilidad de sus propiedades y la posibilidad del reuso, cobra particular interés, por su impacto en las variables antes mencionadas y en los costos de producción (Yoon *et al.*, 2006). En Europa y América los sustratos inertes, son comúnmente usados para uno o dos ciclos, principalmente como estrategia para evitar la proliferación de enfermedades; los principales sustratos usados son lana de roca y perlita, de ahí la importancia de conocer el comportamiento de tales características a través del tiempo. En el sureste de

España es común el uso multianual (periodos de uso de hasta cinco años) de sustratos inertes, sobre todo con fines de reducción de costos; sin embargo, los productores han observado efectos diversos en la productividad y calidad de sus productos, especialmente en aquellos altamente sensibles a la salinidad (Acuña *et al.*, 2013).

Abad *et al.* (2004) menciona que la modificación en la proporción de partículas, afecta las propiedades físicas: capacidad de retención de humedad y agua fácilmente disponible. Jafarnia *et al.* (2010a) evaluó el efecto de mezclas de perlita con peat moss en la calidad y rendimiento de tres cultivares de fresa y concluyeron que la mezcla 80:20 (v:v) fue la que mejores resultados presentó.

Raviv y Lieth (2008) menciona que la distribución del tamaño de partículas (DTP) explica el comportamiento del medio poroso, sus interacciones con fluidos y solutos y define su textura, compresibilidad y resistencia; un análisis de la DTP consiste de una medición de la abundancia de cada tamaño de partícula, que en su conjunto constituyen la fase sólida del medio cuya composición incluye partículas discretas de varias formas y tamaños (Raviv y Lieth, 2008).

La información obtenida de un análisis de distribución del tamaño de partículas incluye el diámetro de partículas y su ensamblaje en un determinado patrón o arreglo. La DTP es usada para estimar y explicar propiedades hidráulicas como la curva de liberación de humedad. La relación matemática entre el tamaño de

partícula y las propiedades hidráulicas tiende a ser razonablemente buena en medios arenosos, no así para materiales arcillosos (Raviv y Lieth, 2008).

Diversos estudios refieren la modificación de las características físicas, químicas y biológicas de los sustratos y sus posibles efectos sobre el desarrollo de los cultivos (Pérez-Buenafuente *et al.*, 2004; Verdonck y Demeyer, 2004; Giuffrida *et al.*, 2008; Urrestarazu *et al.*, 2008). Mientras que Yoon *et al.* (2006) utilizaron plantas de fresa de ciclo corto colocándolas en peat moss, perlita y cascarilla de arroz en una relación 3:4:3; los sustratos fueron nuevos, con uno, dos y tres ciclos de cultivo previos. Observaron que la densidad aparente y la capacidad de humedad se incrementaron gradualmente de 170 a 220 kg·m<sup>-3</sup> y de 38.9 a 57 % (v/v), respectivamente, conforme aumentaban los ciclos de uso de los sustratos. En tanto que la capacidad de aireación decreció de 44.3 a 22.9 % (v/v). Los resultados sugieren el efecto de la descomposición de la cascarilla de arroz. Sin embargo, no hubo diferencias en altura de planta y área foliar, excepto en rendimiento de fruto que decreció significativamente en plantas desarrolladas en los sustratos en el tercer ciclo. Acuña *et al.* (2013) evaluó el efecto de lana de roca, nueva y con 2 años de uso y perlita nueva y cuatro años de uso, en la calidad y producción de melón en invernadero. Por su parte, Díaz-Rodríguez *et al.* (2013) estudió los cambios en las propiedades físicas de tezontle, por efecto del reuso como sustrato, en el cultivo de tomate; se observó un aumento en la capacidad de retención de humedad de un 43 % en sustrato nuevo, un 46 % en sustrato de un año y un 48 % en sustrato de dos años; tal alteración no afectó las variables de peso de fruto y grados °Brix.

Un factor clave, para impulsar el reuso de los sustratos es la comprensión a fondo sobre las complejas relaciones físicas y químicas en el sistema aire-planta-agua-tiempo, aspecto que permitirá el rediseño de estrategias de manejo de las fases sólida, líquida y gaseosa de la zona radical (Maher *et al.*, 2008; Pineda *et al.*, 2012).

### **3.5.3 Concentración de minerales en plantas de fresa**

Bottoms *et al.* (2013) analizó el contenido nutrimental de fresa en diferentes estados de desarrollo de la planta y compararon los resultados con otros valores usados como estándares y encontraron una significativa variación entre estándares previamente publicados.

Muchas especies muestran cambios estacionales en el contenido mineral del tejido vegetal (Jones, 1996). Domínguez *et al.* (2009) realizó análisis químico de hojas de fresa y encontraron una variación significativa temporal para todos los macronutrientes (N, P, Ca, Mg y S) y en la mayoría de micronutrientes (Fe, Zn, y Mo); únicamente el Mn y Cu mostraron niveles estables durante todo el ciclo de vida. Los resultados sugieren el uso de niveles estandarizados, adaptados al estado de crecimiento, condición ambiental y cultivar, para una mejor interpretación de los valores nutrimentales en tejido.

El cultivo de la fresa se realiza en diversas partes del mundo en virtud de su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones ecológicas (Hancock, 1999).

En ese sentido, es necesario analizar en detalle un adecuado programa de nutrición con el fin de obtener un buen rendimiento y calidad; además, como mecanismo para reducir la contaminación ambiental y desperdicio de insumos (Urrestarazu *et al.*, 2005). En ese sentido resulta de gran importancia conocer los factores que afectan la disponibilidad y absorción de nutrimentos: las condiciones ambientales, las propiedades físico-químicas del suelo o sustratos, genotipos y las prácticas culturales (Mengel y Kirkby, 2001; Marschner, 2012).

Tagliavini *et al.* (2004) señaló que el estado nutrimental de las plantas de fresa afecta tanto el rendimiento como la calidad de la fruta. Por lo que una evaluación de la demanda nutrimental y el estudio de la dinámica de la absorción son muy importantes. La diferencia en el contenido nutrimental entre dos fases fenológicas es considerada como la demanda para dicha fase. Sin embargo, refiere el autor que, la igualdad entre absorción de la planta y demanda de la planta, podría conducir a conclusiones incorrectas, pues la primera depende directamente de la disponibilidad, propiedad que, a su vez, es afectada por diversos factores.

Existen evidencias experimentales que demuestran el efecto que puede tener el manejo del cultivo en la absorción nutrimental. Demirsoy *et al.* (2010) analizó la variación de N, P, K y Ca, en hojas de plantas de fresa expuestas a diferentes niveles de radiación y encontraron una considerable variación en todos los nutrimentos, de diferentes partes de la planta y en los diferentes tratamientos. El contenido de N en hojas, decreció durante el otoño, atribuible a una disminución en la absorción durante ese periodo por las bajas temperaturas. Se presentó un

incremento de N inmediatamente después del periodo de letargo y hasta el inicio del periodo vegetativo, aunque volvió a decrecer durante el periodo de producción y cosecha. La acumulación de sales en sustratos hidropónicos y su efecto en las plantas es un tema de discusión recurrente; la relación entre la salinidad y la absorción nutrimental es compleja (Morard *et al.*, 2000; Adams, 2004).

Lieten y Misotten (1993) analizó la absorción y acumulación de nutrimentos en plantas de fresa cultivadas en perlita, en diferentes etapas fenológicas y concluyeron que las relaciones nutrimentales cambiaron durante cada etapa analizada. La absorción de agua estuvo relacionada con la intensidad luminosa, evaporación y estado de desarrollo de la planta. El consumo de agua fue de 1.5 a 2.6 L·m<sup>-2</sup>·dia<sup>-1</sup> cuando la planta estuvo en periodo de cosecha. El fruto cosechado representó el 60 % del total peso fresco producido. La absorción de nutrimentos se comportó de manera similar que el consumo de agua, la absorción selectiva de nutrimentos varió en función de los estados fisiológicos en cada etapa. La absorción de nitrato se incrementó durante la primera etapa de desarrollo radical y hasta el inicio del invierno; el contenido de N decreció en corona, durante la cosecha, a causa de la demanda por los frutos. El total de N extraído por la planta fue de 125 kg·ha<sup>-1</sup> y fue el segundo elemento con mayor concentración en planta de fresa. Por su parte, Yilmaz *et al.* (2009) expuso plantas de fresa 'Gloria' y 'Kabarla' a concentraciones de salinidad y analizaron la acumulación de macro y micronutrimentos y encontraron una reducción general en el contenido de macronutrimentos; sin embargo, la mayor tolerancia a la salinidad de 'Kabarla' reportó un incremento en su contenido de N y Ca, respecto a 'Gloria'.

Lieten y Misotten (1993) menciona que relaciones altas de N/Ca y K/Ca en la planta están asociadas a la presencia de albinismo en frutos de fresa; este comportamiento sugiere que los frutos albinos son fisiológicamente más maduros que los frutos normales, incluso sin tener la coloración roja típica. Se encontró que cuando la relación K/Ca de la solución nutritiva fue alta, la misma relación se incrementó en los frutos.

Andriolo *et al.* (2011) estudió el efecto del nitrógeno disponible en la solución nutritiva en el crecimiento, desarrollo y calidad de frutos de fresa, señalan que el número de hojas y diámetro de coronas decreció por efecto del incremento de la concentración de N en la solución nutritiva, en tanto que el número y tamaño de frutos se ajustaron a un modelo polinomial con un valor máximo de 8.9 mM de N, por debajo de este valor, la producción se vio afectada.

En la producción de plantas en condiciones de hidroponía, la concentración de la solución nutritiva es adaptada según la especie y las condiciones ambientales locales; sin embargo, se pueden observar fuertes variaciones para una misma especie, como ocurre en el cultivo de fresa. Para el caso de nitrógeno, Paranjpe *et al.* (2003) mencionó un 4.7 mM; Andriolo *et al.* (2011) recomendó 10 mM y una relación de 1.17 para K/(Ca+Mg); Tagliavini *et al.* (2005) utilizó la solución nutritiva de Hoagland y Arnon; Regagba *et al.* (2014) señaló una aplicación de 7.5 mM de N y una relación K/(Ca+Mg) de 0.67; Morgan (2006) menciona que los valores de CE

recomendados para fresa en la solución nutritiva varían dependiendo de las condiciones ambientales, en sistemas con sustratos valores de 1.4 a 3.0 dS·cm<sup>-1</sup>, son adecuados, con un óptimo de 1.6 durante la cosecha, un pH de 5.8 a 6, 13 mM de N y una relación de 0.63 para K/(Ca+Mg).

Regagba *et al.* (2014) analizó diferentes concentraciones de Mg en la solución nutritiva en plantas de fresa y concluyeron que con una relación  $K^+/(Ca^{+2} + Mg^{+2})$  de 0.61 (4.5 meq·L<sup>-1</sup> de K<sup>+</sup>, 5 meq·L<sup>-1</sup> de Ca<sup>+2</sup>, 2.3 meq·L<sup>-1</sup> de Mg<sup>+2</sup>, 2.5 meq·L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 5 meq·L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 2.3 meq·L<sup>-1</sup> de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, 1 meq·L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, con pH de 6.0 y una CE de 2.3 dS·m<sup>-1</sup>) permitió una relativamente mejor absorción de nutrimentos y en consecuencia una mayor producción de frutos.

La partición de los nutrimentos absorbidos, difiere entre fases fenológicas, de acuerdo a los diferentes requerimientos de los órganos. La corona, por ejemplo, acumula la mayor parte del N durante el periodo de letargo puesto que la planta presenta una condición de metabolismo extremadamente baja con suspensión de crecimiento y desarrollo, pero la raíz mantiene una relativa mayor tasa metabólica, este órgano contiene únicamente el 3 % del N total de la planta durante la cosecha (Hancock, 1999).

Bottoms *et al.* (2013) determinó los rangos óptimos de contenido nutrimental en hojas de fresa y encontraron que la concentración de N, P y K declinaron desde el inicio de la floración hasta la etapa de plena cosecha, mientras que la concentración de otros nutrimentos mostraron un patrón inconsistente, como Ca,

B, Fe en incremento y S, Mg, Mn, Zn y Cu en decremento, entre las fases inicio de floración al fin de cosecha.

En la fase de cosecha de frutos, la distribución interna de N y P es muy similar, donde los frutos acumulan la mayor cantidad de nutrientes, seguido por las hojas y raíces. El fruto es el principal órgano de demanda de potasio (Lieten y Misotten, 1993).

De acuerdo con las experiencias de investigación, se han propuesto diferentes intervalos de suficiencia de acumulación nutrimental en tejido de planta de fresa, no obstante están referidos únicamente a la hoja en etapas fenológicas específicas (Jones *et al.*, 1996; Ulrich *et al.*, 1980; Campbell y Miner, 2000; Hochmuth y Albregts, 2003; Bottoms *et al.*, 2013).

**Cuadro 1. Intervalos de suficiencia nutrimental foliar para fresa (Hancock, 1996).**

<b>nutrimento</b>	<b>deficiente</b>	<b>suficiente</b>	<b>exceso</b>
Nitrógeno (%)	1.9	2.00-2.8	4
Fósforo (%)	0.20	0.25-0.40	0.5
Potasio (%)	1.3	1.50-2.50	3.5
Calcio (%)	0.5	0.7-1.7	2.0
Magnesio (%)	0.25	0.3-0.50	0.8
Cobre (ppm)	3	6-20	30
Fierro (ppm)	40	60-250	350
Manganeso (ppm)	35	50-200	350
Zinc (ppm)	10	20-50	80

Las investigaciones muestran resultados, interpretaciones técnicas y

recomendaciones de nutrición variables; esto refleja, por una parte, la complejidad de la dinámica nutrimental de cualquier planta y por el otro, la influencia de factores externos, como los sustratos y su estado de degradación física, en la dinámica de absorción y partición, así como las condiciones ambientales y de manejo donde se pretende realizar la producción.

### **3.5.4 Curvas de extracción nutrimental**

Una curva de absorción de nutrimentos es la representación gráfica de la extracción de un nutrimento por la planta o un órgano en particular, durante su ciclo de vida o un periodo de interés. La extracción de nutrimentos depende de varios factores internos y externos, en principio la extracción depende de la genética de la planta (Agüero, 2002; Berstch, 2009; Agüero y Kirschbaum, 2015); de ahí la importancia de cuantificarla para cada cultivo. El estado de desarrollo, edad de la planta o etapa fenológica influyen en la tasa de extracción, así como las características específicas de absorción de cada nutrimento y su movilidad a cada órgano de la planta. La demanda nutrimental de las hojas, el tallo (corona), fruto y raíz, pueden variar en función de la fisiología de la planta para cada etapa de desarrollo. Los factores externos, especialmente los relacionados con el ambiente (temperatura, humedad relativa, disponibilidad de agua y sustrato) y la nutrición pueden modificar el comportamiento de la absorción de nutrimentos. Especialmente cuando estos factores promueven estrés, por ejemplo: la variación del pH, CE, desbalances iónicos en la solución nutritiva (Bertsch, 2009; Agüero y Kirschbaum, 2015); la fresa es particularmente sensible a una alta CE y a los desbalances nutrimentales (D'Anna, 2003).

Agüero (2002) y Tagliavini *et al.* (2005) mencionan que la cantidad de nutrimentos absorbidos por el cultivo (A) varía con la biomasa (B), su partición en los diferentes órganos de la planta y la concentración de nutrimentos de esos órganos. Este proceso puede tener importantes variaciones estacionales, por genotipo o por manejo nutricional.

## **IV MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Ubicación y características del área experimental**

La investigación se realizó en un invernadero semitecnificado, con control automático de cierre-apertura de ventilas, sin dispositivos para control automático de humedad relativa y temperatura; con cubierta plástica tricapa de polietileno lechoso con 30 % de sombreado, calibre 720 galgas, de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, ubicado a una altitud de 2,250 m, 19° 29' de latitud norte, y 98° 53' de longitud oeste.

### **4.2 Tratamientos y diseño experimental**

Se utilizó planta de fresa 'Festival' de la empresa Lassen Canyon; se usaron los sustratos fibra de coco (FC) (chips de 2 centímetros de longitud, marca Power Forteco), perlita (PE) (granular, marca Agrolita®) y tezontle (TE) obtenida de una mina ubicada en Texcoco, México. Se utilizó un sistema hidropónico tipo torre, con canales de PVC de 6 metros de largo, colocados a tres niveles, con una separación de 30 centímetros del piso al nivel uno y 50 centímetros en los siguientes dos niveles; cada canal se llenó con 100 litros de cada sustrato nuevo y las plantas se colocaron a 25 centímetros de distancia entre ellas. Se utilizó un sistema de riego por goteo automatizado, con aplicaciones de 110 ml por planta por día, con un  $20 \pm 5$  % de drenaje y sin recirculación de la solución nutritiva; el pH y la CE se ajustaron diariamente en un intervalo de 5.5 a 6.5 y de 1.7 a 2.0  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , respectivamente, de forma manual, con apertura-cierre de flujómetros y análisis de muestras de solución con un potenciómetro HI-8424.

Los tratamientos se formaron a partir de tres clases de sustratos con dos estados de uso: nuevos (sin uso previo) y usados (los mismos sustratos nuevos, después de haber sido usados en un ciclo de cultivo de fresa); cada unidad experimental la constituyó un canal con sustrato, con 24 plantas de fresa; las muestras de sustrato las constituyeron 1.5 litros de sustrato de cada tratamiento; las muestras de plantas se extrajeron sin raíz, tres plantas por tratamiento (una por nivel de cama), las que conformaron una muestra compuesta cuyos resultados de peso fresco y seco fueron promediados. El diseño experimental fue completamente al azar, con tres repeticiones.

#### **4.3 Desarrollo experimental.**

El ciclo de cultivo se inició en septiembre del 2014 y terminó a principios de mayo del 2015; se aplicaron 5-6 riegos diarios con la solución nutritiva de Steiner (1984) con carga iónica de  $20 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$  constituida como se indica en los Cuadros 2 y 3.

El manejo de cultivo consistió básicamente en el control preventivo fitosanitario y eliminación de estolones y hojas viejas o enfermas; la cosecha de frutos se realizó cada 7 días, durante 6 meses a partir de noviembre de 2015. Las relaciones iónicas resultantes fueron: N:K, 1.86;  $\text{N-NH}_4^+:\text{N-NO}_3^-$ , 0.08; K:Ca:Mg, 0.35:0.45:0.20  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ . La aplicación de micronutrientes se hizo a partir de compuestos quelatados con EDTA de la marca Tradecorp®. A partir del inicio de la floración se hizo una aplicación semanal de fertilización foliar al 1 % aplicando bayfolan®.

**Cuadro 2. Composición de macronutrientes de la solución nutritiva para la producción de fresa, en sistema hidropónico, con sustratos nuevos y usados.**

	meq·L <sup>-1</sup>										
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	pH	CE
Agua*	0	0	0	0.95	0.0	1.0	0.32	1.39	0.61	7.2	0.42
Solución nutritiva fresa**	12	1	1	7.0		0.5	7	10	4.0	5.5	2
	mg·L <sup>-1</sup>										
Solución nutritiva compensada	168.1	14.0	31.0	111.7			272.9	180.0	47.9	5.5	2
	153.3	12.8	28.2	102.0			248.9	164.1	43.7		

\*El agua para riego corresponde al pozo de riego, “San Ignacio” ubicado en el Campo Agrícola de la Preparatoria Agrícola, UACH; \*\* SN Universal de Steiner (1984).

**Cuadro 3. Composición de micronutrientes de la solución nutritiva para la producción de fresa, en sistema hidropónico, con sustratos nuevos y usados.**

	mg·L <sup>-1</sup> , ion-EDTA					
	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Solución nutritiva	2	0.96	0.187	0.173	0.074	0.069

#### 4.4 Variables evaluadas

##### 4.4.1 Propiedades físicas de sustratos

Se midió: densidad aparente (Dap), capacidad de aireación (CA) y capacidad de retención de humedad (CRH) con un porómetro NCSU (Fonteno *et al.* 1995);

capacidad de retención de humedad (CRH), espacio poroso total (EPT), nivel de saturación (NS), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua total disponible (ATD) por el método propuesto por De Boodt *et al.* (1974). En sustratos nuevos y usados se realizaron cuatro muestreos durante el ciclo de cultivo, incluyendo el análisis de sus estado físico inicial; los muestreos de sustrato se realizaron en intervalos que coincidieron con las etapas fenológicas: desarrollo vegetativo (40 días después de plantación DDP), floración (100 DDP), plena cosecha (160 DDP) y fin de cosecha (220 DDP).

La distribución del tamaño de partículas (DTP) se determinó colocando 100 gramos de cada muestra en un tren de tamices (números 4, 8, 10, 18, 20, 30) según la Norma American Standard Test Sieve Series. Se tamizaron durante 5 minutos en un agitador de tamices Geo-lab CL 392-B, las porciones de cada muestra que quedaron en cada tamiz se pesaron y se expresaron en porcentaje respecto al peso total de la muestra; las muestras fueron: sustratos nuevos (1 muestreo) y sustratos usados al término de un ciclo (1 muestreo) y al término de dos ciclos (1 muestreo); se obtuvo el diámetro medio ponderado de partículas (CIMMYT, 2013) y el índice de grosor (lg) (Richards *et al.*, 1986).

#### **4.4.2. Biomasa y concentración mineral en tejido vegetal**

Se realizaron cuatro muestreos de planta, en intervalos que coincidieron con las etapas fenológicas: desarrollo vegetativo (40 días después de plantación DDP), floración (100 DDP), plena cosecha (160 DDP) y fin de cosecha (220 DDP). Para cada unidad experimental, se tomó una planta de cada nivel de cama,

constituyendo una muestra compuesta a partir de la cual se determinaron peso fresco de corona, hoja, inflorescencia y el área foliar de toda la planta (integrador LI-COR, modelo LI-3100). Posteriormente las plantas separadas en sus partes, se colocaron en estufa de secado (marca BINDER) a 70 °C durante 72 horas hasta peso constante, se molieron en molino inoxidable con malla para partícula fina (1 mm). Posteriormente se molieron las hojas para tomar una muestra de 0.5 g, a la cual se agregó una mezcla de 4 ml de solución diácida de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y HClO<sub>4</sub> (2:1, v/v) y 2 ml de peróxido de hidrógeno a 30 % y se colocaron en la placa de digestión (la temperatura no debe pasar de 200 °C, ya que a mayor temperatura se puede volatilizar parcialmente el fósforo). Se consideró como punto final de la digestión cuando el líquido se encontró totalmente transparente. Posteriormente se aforó a 50 ml con agua des ionizada; dicha digestión sirvió para cuantificar todos los nutrimentos minerales.

La determinación de nitrógeno se realizó por el método de Microkjeldahl (Chapman y Pratt, 1979). El fósforo se cuantificó por el método amarillo vanadato-molibdato (Chapman y Pratt, 1979) y haciéndose la lectura en un espectrofotómetro marca Genesys 10UV. El potasio se determinó a partir del digestado, tomándose una alícuota de 1 ml aforado en 25 ml con agua des ionizada y se determinó con el espectrofotómetro marca Jenway PFP7 flame Photometer 410. El magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc fueron determinados directamente del digestado utilizando el espectrofotómetro GBC Scientific Equipment Modelo: SAVANT AA.

Para la determinación de parámetros de calidad de fruto, se tomaron tres frutos a madurez comercial por unidad experimental, con las cuales se constituyó una muestra compuesta por tratamiento, con tres repeticiones, a partir de los resultados se obtuvo un promedio por muestra compuesta; se evaluó el rendimiento de fruto ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Brix}$ , refractómetro PAL-RI, Atago), acidez titulable (% ácido cítrico), con hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) 0.1N, El porcentaje de acidez se calculó con relación al ácido cítrico.

#### **4.5. Análisis de datos.**

Se realizaron comparaciones de medias de Fisher ( $P \leq 0.05$ ) con el software Statistical Analysis System 9.43 TS1M2 (SAS, 2012). Se obtuvieron coeficientes de determinación, Correlaciones de Pearson y modelos de regresión polinomiales y potenciales.

## V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Alteración de las propiedades físicas de sustratos por uso continuo

La presentación de resultados y su discusión se abordó en dos sentidos y de manera paralela: por una parte, el contraste de las características físicas en cada sustrato nuevo y usado, y entre sustratos; se identificaron algunas interrelaciones entre variables y por la otra, el posible efecto de dichas alteraciones físicas en el desarrollo y nutrición de las plantas de fresa.

#### 5.1.1 Distribución de tamaño de partículas (DTP)

De acuerdo con el análisis granulométrico presentado en el Cuadro 4, la fibra de coco (FC) nueva presentó el contenido más alto de partículas  $\geq 4.75$  mm de diámetro (46.29 %), atribuible al tipo comercial utilizado (en trozo); sin embargo, mostró una rápida degradación al final del primer y segundo ciclos de cultivo, registrando solo 22.83 y 15.62 % de partículas  $\geq 4.75$  mm de diámetro, respectivamente; mientras que todas las fracciones  $\leq 1.99$  mm, especialmente de partículas finas  $< 0.60$  mm incrementaron su proporción. La diferencia entre la proporción que se redujo (partículas  $\geq 4.75$  mm) y la que se incrementó, generó una diferencia de 0.12 %, atribuible a la pérdida de partículas finas arrastradas por el agua drenada en cada riego. El tezontle (TE) usado registró un 52.63 % de partículas  $\geq 2.36$  mm y un 26.41 % de partículas finas  $\leq 0.60$  mm; al final del ciclo de cultivo, cambiaron a 49.06 y 25.07 %, respectivamente; la disminución en 3.57 % de partículas  $\geq 2.36$  mm, no incrementó el porcentaje de partículas finas  $\leq 0.60$  mm, pues estas a su vez mostraron un decremento de 2.34 %, atribuible al efecto

de arrastre por drenaje, como lo señalan Orozco y Marfa (1995) y Blok *et al.* (2008); en todos los sustratos, nuevos y usados se observó un incremento en la fracción de partículas entre 1 y 2 mm de diámetro (Cuadro 4). En el caso de perlita, destaca la presencia de partículas de 2.36, 1.0 y  $\leq 0.60$  mm de diámetro, con 23.8, 25.8 y 26.9 %, respectivamente; este último mostrando una reducción no significativa del 4.5 % que, de manera similar a TE, puede atribuirse al arrastre por drenaje. En términos generales, los sustratos TE y PE no mostraron cambios significativos en su DTP, pero ambos exhibieron una tendencia a reducir la fracción de partículas  $\leq 0.60$  mm.

Varios autores mencionan que las propiedades físicas de un sustrato dependen en gran medida de la DTP ya que afectan la distribución del tamaño de poros y en consecuencia el balance aire-agua (Noguera *et al.*, 2003; Verdonck y Demeyer, 2004). En investigación con fibra de coco, Noguera *et al.* (2003) encontró que los niveles de humedad para tensiones entre 1.5 y 10 kPa mostraron diferencias significativas entre tamaños de partículas y el porcentaje de agua decreció con el incremento en el tamaño de partícula. Sin embargo, hay diferencia en las propiedades físicas de sustratos de diversa naturaleza, aun tratándose de la misma fracción y tamaño de partículas (Verdonck y Demeyer, 2004). Para fines prácticos los resultados del análisis granulométrico, deben ser considerados con mucho cuidado, en virtud de la variabilidad entre un mismo tipo de sustrato y entre sustratos.

La Figura 1 muestra la DTP acumulada para los tres sustratos, se aprecia que FC experimentó una mayor alteración en la proporción de sus fracciones de partícula, en tanto que, en PE y TE no se aprecian alteraciones importantes para cada fracción.

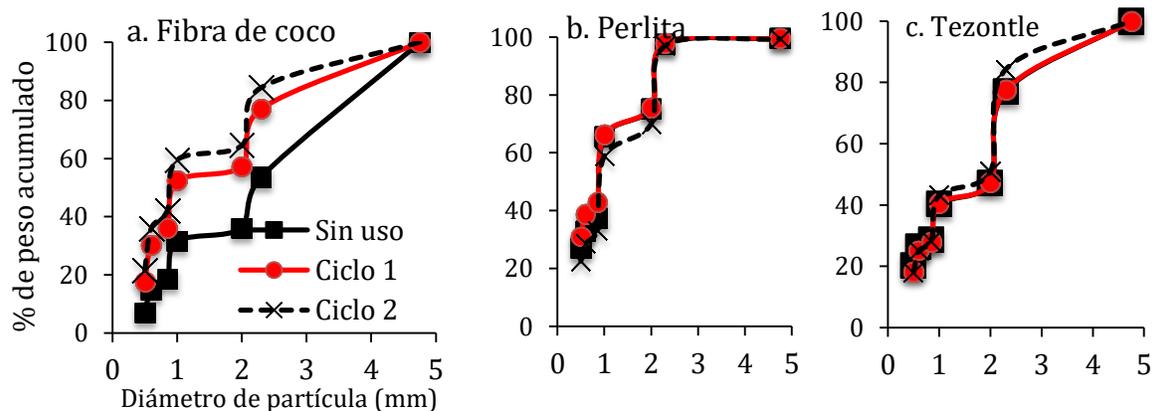
**Cuadro 4. Distribución (%) del tamaño de partículas (mm) de tres sustratos durante dos ciclos de uso con fresa en sistema hidropónico**

Sustrato	Diámetro de partículas (mm)						
	≥4.75	4.75-2.36	2.35-2.0	1.99-1.0	0.99-0.85	0.85-0.60	0.59-0.50
Fibra de coco sin uso	46.19a	17.16b	4.44b	13.0 b	3.79b	7.91b	6.93c
Fibra de coco-C1	22.83b	19.80a	4.99a	16.16ab	5.76a	12.93a	17.45b
Fibra de coco-C2	15.62b	19.89a	4.99a	17.39a	6.18a	14.44a	21.5a
DMS	8.56	1.237	0.413	3.3	1.725	3.63	2.827
CV (%)	15.2	3.242	4.301	10.64	16.476	15.45	9.254
Perlita sin uso	2.10a	22.21b	9.64b	28.23a	4.59a	5.76b	27.07a
Perlita-C1	1.77a	22.34b	9.27b	23.37a	4.21a	7.58b	31.07a
Perlita-C2	2.34a	26.96a	11.16a	25.80a	4.44a	6.07a	22.57a
DMS	0.804	2.9	1.48	8.73	1.4	0.87	12.45
CV (%)	19.457	6.1	7.4	16.9	15.93	6.728	23.17
Tezontle sin uso	22.84a	29.79a	6.97a	11.61b	2.35a	6.10a	20.32a
Tezontle-C1	22.49a	30.13a	6.71a	12.65b	2.81a	6.85a	18.3a
Tezontle-C2	15.75b	33.31a	7.75a	14.97a	3.17a	7.09a	17.98a
DMS	6.487	6.03	2.35	1.57	1.273	3.589	7.045
CV (%)	15.94	9.71	16.47	6.01	22.93	26.91	18.69

C1, con un ciclo de uso; C2, con dos ciclos de uso; Según la Norma American Standard Test Sieve Series. Valores con la misma letra dentro de columnas y para cada sustrato. son estadísticamente iguales (Fisher,  $\alpha \leq 0.05$ ).

En FC se modificó la DTP desde el primer ciclo de cultivo, lo que indica su baja estabilidad de partículas, generada por los procesos de mineralización de la

materia orgánica (Lemaire, 1995; Maher *et al.*, 2008), aunque durante el segundo ciclo fue más estable; mientras que PE y TE mostraron modificaciones significativas hasta el segundo ciclo de cultivo; PE redujo la fracción 4.75-2.36 mm e incrementó partículas del intervalo 2.35-2 mm y 0.85-0.60 mm de diámetro; en contraste TE solo mostró diferencia significativa en las fracciones  $\geq 4.7$  y 1 mm siendo este sustrato el más estable físicamente; la fracciones  $\leq 0.99$  mm fueron las que más incrementaron su proporción. La figura 1 exhibe la distribución acumulada de tamaños de partículas, destaca que fibra de coco mostró la mayor alteración en función del uso mientras que perlita y tezontle no muestran cambios importantes.



**Figura 1. Distribución acumulada del tamaño de partículas en fibra de coco (a), perlita (b) y tezontle (c) al inicio del cultivo (sin uso), al final del ciclo 1 y al final del ciclo 2. Los valores se expresan en porcentaje con respecto a 100 gramos de muestra tamizada.**

### 5.1.2 Índice de grosor (lg)

Los resultados del índice de grosor (lg) muestran datos contrastantes; para fibra de coco nuevo y usado en el Cuadro 5 se aprecia una diferencia significativa, el sustrato nuevo exhibe un lg de 81.24 %, pero a partir del uso continuo durante dos ciclos agrícolas mostró una acelerada degradación de partículas hasta alcanzar un lg de 57.88 %, asociada a una capacidad de retención de humedad de 43.42 a 60.85 %, densidad aparente de 0.05 a 0.08 g·cm<sup>-3</sup> y variación de 8 a 19.3 % de agua fácilmente disponible, para sustrato nuevo y usado, respectivamente. El índice de grosor (lg) como porcentaje en peso de partículas con diámetro mayor a 1 mm (Richards *et al.*, 1986); es un parámetro que se relaciona inversamente con algunas propiedades hidráulicas de las partículas de los materiales, como capacidad de retención de humedad y agua total disponible; valores cercanos a 100 indican un sustrato que podrá tener una escasa retención de agua y una alta capacidad de aireación (Urrestarazu, 2015). Verdonck y Demeyer (2004) encontraron una relación directa entre el lg de partículas de perlita y el porcentaje de volumen de aire y una relación inversa con el contenido de agua fácilmente disponible, lo cual coincide con los datos presentados, por lo tanto resulta necesario evaluar e identificar para cada sustrato en particular, las posibles relaciones del lg, con fines de caracterización y manejo de sistemas hidropónicos, especialmente con el diseño de programas de riego. Los resultados son similares con lo reportado por Urrestarazu (2015) quien indica un 34 % de lg como promedio de diversas presentaciones de fibra de coco, asociado a una densidad aparente de 0.059 g·cm<sup>-3</sup> y 19.9 % de agua fácilmente disponible. El sustrato perlita exhibe un ligero cambio en lg, de 62.17 y 66.26 % (nuevo y usado,

respectivamente) mientras que tezontle permaneció sin cambio significativo en su granulometría  $\geq 1$ mm, con un promedio de 71.6 % asociada a una retención de humedad de 26.19 y 34.63 % para sustrato nuevo y usado, respectivamente. Ojodeagua *et al.* (2008) reportó un Ig de 77 % para tezontle rojo asociado a una retención de humedad de 35 % y una porosidad de 19.9 %, mientras que Urrestarazu (2015) reporta un Ig de 75.6 %.

### 5.1.3 Diámetro medio ponderado de partículas (DMP)

El diámetro medio ponderado de partículas (DMP) (CIMMYT, 2013) es una propiedad física que permite evaluar la variación del tamaño de las partículas. En el Cuadro 5 se destacan dos aspectos relevantes:

**Cuadro 5. Índice de grosor y diámetro medio ponderado de partículas de fibra de coco, perlita y tezontle, después de dos ciclos de cultivo en hidroponía**

Ciclo	Índice de grosor (Ig)			Diámetro medio ponderado (DMP)		
	Fibra coco	perlita	Tezontle	Fibra coco	perlita	Tezontle
Nuevo	81.24a	62.17a	71.21a	3.24a	1.75ab	2.64a
Usado C1	63.77b	56.75a	71.98a	2.38b	1.69b	2.65a
Usado C2	57.88b	66.26a	71.76a	2.09b	1.91a	2.50a
DMS	6.29	10.866	9.853	0.339	0.176	0.377
CV (%)	4.65	8.81	6.88	6.222	4.299	7.252

Sustratos sin uso; C1: sustrato con un ciclo agrícola de uso; C2 sustrato con dos ciclos de uso; Ig: porcentaje en peso de partículas con diámetro  $> 1$  mm; DMP: diámetro medio ponderado de partículas. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Fisher,  $\alpha \leq 0.05$ ).

1) En perlita y tezontle no hubo diferencias significativas en DMP entre nuevos y usados, la causa que explican tal comportamiento se atribuye a la estabilidad relativa de las partículas a lo largo del tiempo de uso, como es señalado por Ojodeagua *et al.* (2008), manteniendo las proporciones de cada tamaño en relación a la granulométrica original. Mientras que fibra de coco registró una disminución en el DMP conforme al tiempo de reuso, atribuible a la degradación de las fibras por descomposición biológica como lo menciona Lemaire *et al.* (2005). 2) En los tres sustratos el DMP está en el intervalo adecuado, lo que implica un balance equilibrado de aire-agua (Abad *et al.*, 2004; Handreck y Black, 2010).

#### **5.1.4. Densidad aparente (Dap)**

En el Cuadro 6 se exponen los resultados de la Dap, que representan tres momentos de uso de los sustratos: inicio (muestra 1) que exhibe el estado físico original de cada sustrato, final del ciclo 1 para los sustratos nuevos y final del ciclo 2 para los sustratos usados. En la Figura 2 se presentan los resultados de la Dap expresados en función de su estado inicial, considerado arbitrariamente como 100 %; la FC exhibió un 58.7 % de incremento, siguiéndole la PE y TE con un 22.17 % y 11.96 % de incremento, respectivamente.

Si bien, en los tres sustratos analizados hubo un incremento en la CA desde el inicio del ciclo para sustratos nuevos, esta condición decreció en sustratos usados. En PE nuevo la CRH fue de 39.5 y en usado de 49.0 %, mientras que la CA fue de 18.88 a 6.38 % en nuevo y usado, respectivamente; TE registró una CRH de

26.29% para nuevo y 34.63 % para usado; en tanto que la CA (%) para el mismo sustrato fue 22.59 y 17.92 %, para nuevo y usado; FC pasó de 43.42 a 60.85 % en CRH y la CA se mantuvo entre 12 y 13 %, sin diferencia significativa (Cuadro 5). En los tres sustratos nuevos y usados, los valores de CA estuvieron dentro del intervalo adecuado propuesto por autores como Bunt (1988), Cabrera (1999) y Abad *et al.* (2005), quienes recomiendan una CA de 10 a 30 % para favorecer el desarrollo de raíces, mientras que Verhagen (2013) señala que un sustrato con una porosidad ocupada por aire (CA) de 20 a 35 % provee una difusión óptima de oxígeno.

#### **5.1.5 Disponibilidad de humedad y propiedades hidráulicas**

De Boodt *et al.* (1974) estableció la curva de retención de agua para el estudio de los sustratos. En el Cuadro 6 se exponen los valores encontrados en el análisis de los sustratos nuevos y usado; se aprecia que la FC fue la que presentó la mayor modificación en sus propiedades físicas, en tanto que PE y TE evidenciaron modificaciones hasta el final del segundo ciclo; en términos generales el agua de reserva (AR) fue la propiedad que mostró menor modificación a través del tiempo de uso, dicha estabilidad es congruente con lo observado en diferentes sustratos con intervalo de variación promedio entre 4-10 % (Abat *et al.*, 2004; Bunt, 1988; Maher *et al.*, 2008).

#### **5.1.6 Volumen ocupado por agua y aire**

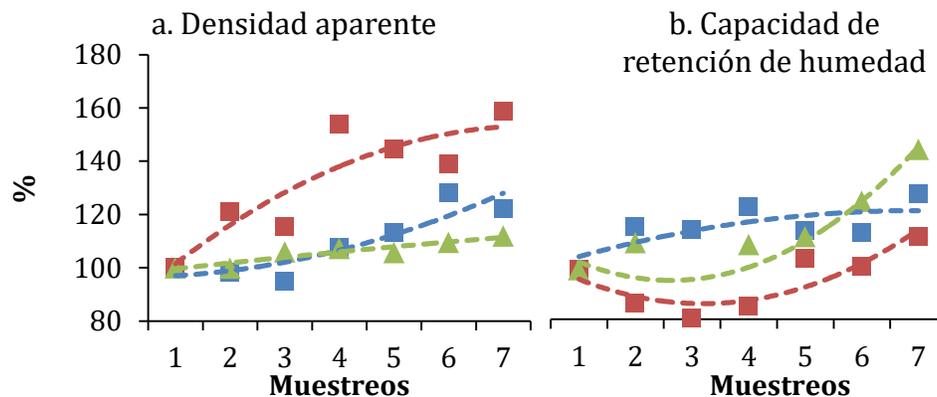
En la Figura 2 se exponen los datos de modificación de algunas características físicas de sustratos, en referencia a su estado inicial; no obstante que TE

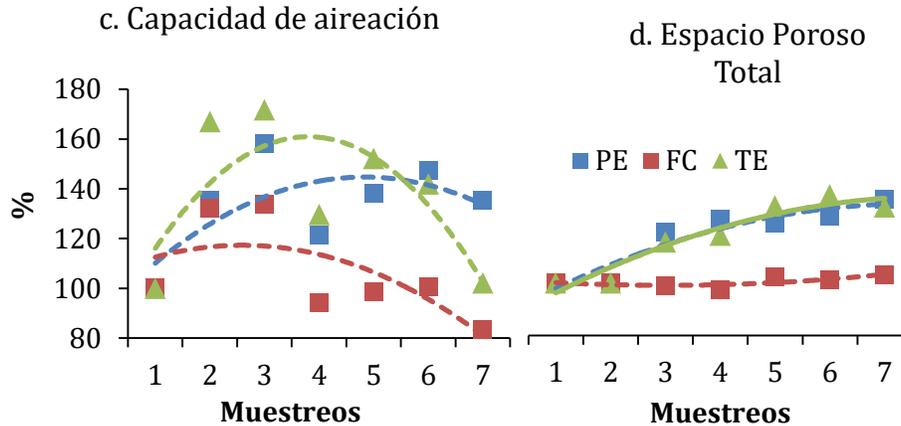
incrementó ligeramente su Dap (Figura 2a) respecto de su estado inicial en un 11 %, su capacidad de retención de humedad se incrementó en un 48 % (Figura 2b) en el mismo periodo; este efecto puede ser atribuible, por una parte al acomodo de las partículas según su tamaño y por otra parte al efecto de las raíces, según lo señala Lemaire (2005); las características de las partículas indican que TE experimentó un incremento gradual en la cantidad de agua almacenada en los poros abiertos, esto posiblemente se debió a que al inicio del ciclo agrícola había espacio poroso más homogéneo, distribuido en toda el espacio del contenedor y a medida que se aplicaron los riegos se dio un reacomodo o empaquetamiento y estratificación de tamaños y formas de las partículas, lo que explica el incremento gradual del volumen de agua contenida y de manera inversa el volumen ocupado por aire (Figura 2c). La PE también mostró un ligero incremento en el volumen ocupado por agua, atribuible a un incremento proporcional de la fracción de partículas finas < 1 mm. Por su parte, la FC muestra resultados en apariencia contradictorios: por una parte incrementó su Dap de 0.05 a 0.08 lo cual supone una ligera compactación y reducción de su EPT; sin embargo, el volumen ocupado por agua también se incrementó de 58 a 66 %, lo cual se asocia a un incremento de la fracción de partículas < 1 mm, que pasó de 31.63 a 59.51 % que, como lo menciona Maher *et al.* (2008), dicha fracción está estrechamente relacionada con la relación aire-agua. Evans *et al.* (1996) muestreó diferentes lotes de fibra de coco y encontraron una baja Dap asociada a un bajo EPT.

En la literatura, existe una amplia variación en los valores de porosidad ocupada por aire y agua fácilmente disponible en fibra de coco, esto hace complicado

comparar de manera directa información de otras investigaciones; tal variación es probable que se deba a la DTP del sustrato y a las características del procesamiento para la obtención de la fibra (Maher *et al.*, 2008).

Las características físicas iniciales de FC fueron 55.41 % de EPT, 11.99 % de CA, 7.97 % de AFD y 0.053 g·cm<sup>-3</sup> de Dap; diversos autores refieren una variabilidad de 80 a 96 % de EPT, CA de 8 a 55 %, AFD de 3 a 41 % y Dap de 0.04 a 0.093 g·cm<sup>-3</sup> (Maher *et al.*, 2008). Después del segundo ciclo de uso alcanzó valores (%) de 75.39, 13.2 y 19.3 de EPT, CA y AFD, respectivamente (Cuadro 6).





**Figura 2. (a, b, c, d). Proporción de modificación de las características físicas de fibra de coco (FC), perlita (PE) y tezontle (TE), respecto de sus características iniciales. Los muestreos del 1 al 4 corresponden sustratos nuevos y del 5 al 7 a sustratos usados.**

Respecto a la CRH, en el Cuadro 6 se aprecia una tendencia a incrementarse a través del tiempo de uso, aunque la tasa de cambio es más acentuada en FC, atribuible al efecto de la degradación de las fibras e incremento de partículas finas ( $\leq 1$  mm) (Lemaire *et al.*, 2005); las implicaciones de este proceso son un incremento en el nivel de saturación de cada sustrato (S), una reducción en la capacidad de aireación, aunque poco notoria para dos ciclos de cultivo; un incremento general en las diferentes propiedades asociadas a la retención de agua: AFD, AR, ATD y ADD.

En cuanto a la CA, en general los sustratos tuvieron un valor inicial de 12, 19 y 23 % en FC, PE y TE, respectivamente (Cuadro 6); los cuales están por arriba del valor mínimo de 10 % propuesto por Bunt (1988) y Lemaire (1995); PE y TE

presentaron una reducción notoria en la CA hasta el segundo ciclo de cultivo, en tanto que FC no mostró cambio en dicha propiedad, pues su EPT fue ocupado predominantemente por AFD, ADD y AR con variación mínima. Díaz-Rodríguez *et al.* (2013) trabajó con tezontle nuevo y usado y encontraron un aumento en CRH asociado a una reducción en CA de 12 a 8 %.

En FC, el incremento de las partículas < 1 mm, aumenta la superficie específica de contacto con el agua, lo que a su vez incrementa la mojabilidad del sustrato (Abad *et al.*, 2005; Maher *et al.*, 2008). A un aumento del volumen de agua en el sustrato y la reducción de aire, lógicamente corresponde un incremento en la tasa de saturación (S); finalmente el AR fue la propiedad con la menor tasa de cambio.

**Cuadro 6. Propiedades físicas de los sustratos fibra de coco, perlita y tezontle al inicio del cultivo (nuevos), final del ciclo 1 y ciclo 2 del cultivo de fresa.**

Sustrato	Muestreo	Dap (g·cm <sup>-3</sup> )	CRH	S	EPT	CA	AFD	AR	ADD	ATD
		-----%-----								
Fibra de coco	Sin uso	0.053c	43.42c	78.25b	55.41c	11.99a	7.97b	3.91a	31.54c	11.88c
	1 ciclo uso	0.078b	57.62b	89.5a	64.46b	12.27a	15.24b	3.48a	38.91b	18.72b
	2 ciclos uso	0.083a	60.85a	90.75a	75.39a	13.2a	19.03a	4.01a	46.06a	23.04a
CV (%)		4.304	2.526	4.1	3.523	12.79	21.59	28.27	3.348	13.39
DMS		0.0054	2.18	0.056	3.667	2.556	4.861	1.719	2.079	3.829
perlita	Sin uso	0.1583ab	39.5c	67.5b	58.38a	18.88a	9.09b	9.11b	21.3b	18.2b
	1 ciclo uso	0.1480b	43.06b	73.5b	58.63a	15.57a	10.01b	10.08b	22.97ab	20.09ab
	2 ciclos uso	0.1800a	49.09a	88.75a	55.47a	6.38b	14.39a	12.1a	26.15a	22.94a
CV (%)		10.243	5.023	5.484	7.773	23.63	18.83	19.58	9.603	12.8
DMS		0.0266	3.526	0.0672	7.148	5.144	3.363	2.895	3.605	4.179
Tezontle	Sin uso	1.0230b	26.19b	54.25b	48.78a	22.59a	11.94b	4.24a	10.01a	16.18b
	1 ciclo uso	1.1515a	25.00b	63.25ab	39.69b	14.69b	9.85b	5.39a	9.77a	15.23b
	2 ciclos uso	1.1183a	34.63a	65.75a	52.55a	17.92ab	18.31a	5.55a	10.77a	23.86a
CV (%)		3.436	0.822	0.415	8.951	24.34	13.28	33.9	15.94	9.793
DMS		0.06	3.674	0.108	6.731	7.165	2.84	2.744	2.597	2.886

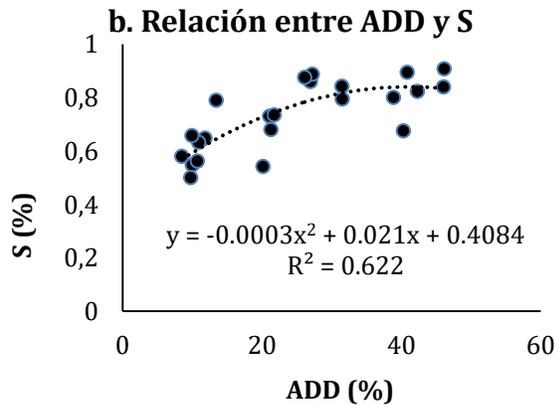
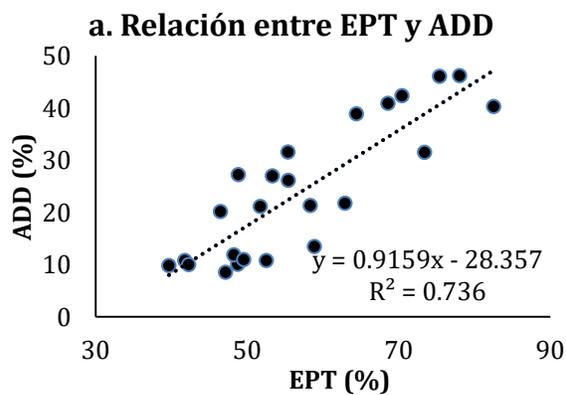
Letras diferentes en la misma columna para cada sustrato indica diferencia significativa (Fisher,  $\alpha \leq 0.05$ ). Dap: densidad aparente; CRH: capacidad de retención de humedad; S: proporción de saturación; EPT: espacio poroso total; CA: capacidad de aireación; AFD: agua fácilmente disponible; AR: agua de reserva; ADD: agua difícilmente disponible; ATD: agua total disponible; DMS: diferencia mínima significativa.

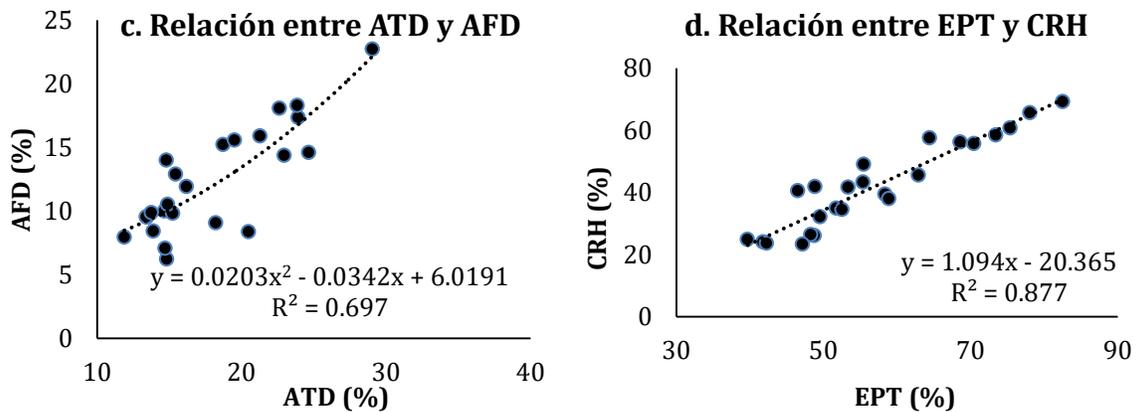
### 5.1.7 Correlación entre variables físicas de los sustratos

Teóricamente se han establecido ciertas relaciones entre variables físicas de sustratos, las cuales han sido descritas a través de diversos modelos y parámetros estadísticos; sin embargo, en función de la naturaleza de cada sustrato, las relaciones pueden mostrar comportamientos diferentes. El EPT es una propiedad básica para caracterizar a los sustratos, aunque no da información respecto del tamaño y naturaleza de los poros, es decir si se trata de poros abiertos como en TE u ocluidos como en PE o con fuerte interacción de carga como en FC. Noguera *et al.* (2003) identificó una alta correlación entre el peso de partículas  $\geq 0.5$  mm con CA, AFD y CRA; sin embargo, se ha documentado que una misma fracción de partícula pero de diferentes materiales o mezclas puede tener características físicas e hidráulicas diferentes. Al respecto, Verdonck y Demeyer (2004) encontraron una relación directa entre el tamaño de partícula de perlita y el porcentaje de volumen de aire y una relación inversa con el AFD; por lo tanto resulta necesario para cada sustrato en particular, evaluar e identificar las posibles relaciones para fines de caracterización y manejo. Acuña *et al.* (2013) trabajó con perlita nueva y reusada y encontraron al primer año de cultivo un incremento en Dap asociada a una reducción de la porosidad; sin embargo, la CA y AFD permanecieron estables sin manifestar efecto alguno sobre crecimiento y producción de melón.

En la Figura 3 se presentan algunas relaciones entre variables físicas, cuyos coeficientes de determinación ( $R^2$ ) resultaron los más altos, independientemente

del sustrato, tipo y tiempo de uso; lo anterior se hizo con el fin de identificar las relaciones con valores más grandes en su  $R^2$  que permita explicar su variación y efectos cuando solo se conoce alguna de ellas. Las relaciones de EPT con ADD y CRH con  $R^2$  0.736 y 0.877, respectivamente, demuestran la importancia de la propiedad EPT en la caracterización de sustratos y su influencia en el comportamiento hídrico del sustrato; las relaciones directas ATD-AFD y ADD-S con  $R^2$  0.62 y 0.69, respectivamente (Figura 3 b, c), tienen importantes consecuencias prácticas, pues indican que a incrementos en el suministro de agua en el sustrato por aplicación de riegos, ocurren incrementos en la proporción de agua fácilmente disponible, pero se incrementan los niveles de saturación (S) y en consecuencia se genera un desbalance en la relación aire-agua.





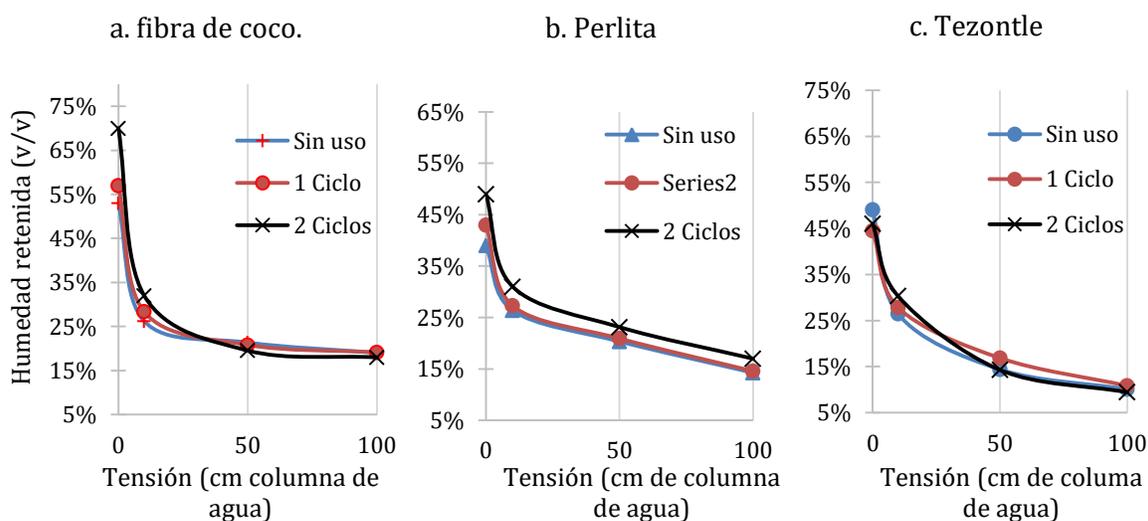
**Figura 3. (a, b, c, d). Relación entre algunas propiedades físicas de sustratos. Dap, densidad aparente; EPT, espacio poroso total; ADD, agua difícilmente disponible; S, índice de saturación; ATD, agua total disponible; AFD, agua fácilmente disponible; CRH, capacidad de retención de humedad. Los valores se expresan en porcentaje, respecto al peso total de la muestra de cada sustrato.  $R^2$  es el coeficiente de determinación.**

### 5.1.8 Curva de retención de humedad (CRH)

La CRH describe la relación funcional entre el contenido de agua y el potencial mátrico, bajo condiciones de equilibrio. Esta curva es una propiedad importante relacionada a la DTP y contenido de materia orgánica (Maher *et al.*, 2008).

Una característica notable de los sustratos es su alta capacidad de retención de humedad y baja capacidad de aireación cuando este se encuentra a capacidad contenedor, condición en que ambos parámetros deben medirse, lo que podría significar falta de oxígeno (anaerobiosis) y en consecuencia una reducción del crecimiento de la planta (Lemaire *et al.*, 2005).

En la Figura 4 (a, b, c,) se observan las curvas de retención de humedad (CRH), para cada clase de sustrato, (fibra de coco, perlita y tezontle) con tres estados de uso (nuevo, 1 ciclo de uso, 2 ciclos de uso), los resultados exhiben evidencias de modificación; en general la FC muestra la mayor tasa de cambio en la curva de retención de humedad, especialmente en las tensiones cero (saturación) y 10 cm de c.a., con variación de 53 a 70 % de humedad retenida. Esta alteración puede ser atribuida a factores como la reducción del índice de grosor de partícula (81.2 a 57.8 %), aumento de partículas con diámetro  $\leq 1$  mm, al incremento en espacio poroso total y al aumento en su capacidad de saturación Cuadro 5.



**Figura 4. Curva de liberación de humedad de fibra de coco (a), tezontle (b) y perlita (c) con tres tiempos de uso: al inicio del cultivo (sin uso), ciclo 1 y ciclo 2. Los valores se expresan en porcentaje del peso del agua retenida respecto al peso total de la muestra seca, a tres niveles de succión (0, 10, 50 y 100 cm de columna de agua).**

Para 50 y 100 cm de tensión no se aprecian diferencias entre los tiempos de uso, lo cual puede ser explicado por la baja cantidad de agua que puede ser extraída a tensiones  $\geq 50$  cm, ya que en general, la mayor cantidad de agua en sustratos se libera a baja tensiones (10 a 50 cm de columna de agua) (Abad *et al.*, 2005; Maher *et al.*, 2008).

En perlita se aprecia una ligera tendencia a incrementar la cantidad de humedad retenida a cero cm de columna de agua, con una variación de 39.5 a 49 % de retención de humedad, no obstante que su EPT no mostró cambio significativo y se mantuvo en un intervalo de 58.38-55.47 % (Cuadro 6); este comportamiento podría ser explicado a partir del proceso de reacomodo de partículas, según su tamaño, asociada a un ligero incremento de Ig de 62.17 a 66.26 %. El tezontle exhibe un nivel de retención de humedad similar a perlita, a una tensión a saturación de agua, durante todo el tiempo de uso, aspecto que revela su propiedad física de estabilidad; sin embargo, el nivel de retención disminuye de acuerdo al nivel de tensión aplicado, hasta llegar a 9 % en promedio para una tensión de 100 cm; este comportamiento se asocia con la baja variación observada en el Ig y DMP de 71.2 a 71.9 % y 2.5 a 2.6 mm, respectivamente (Cuadro 5).

### **5.1.9. Efecto de los sustratos nuevos y usados en algunos componentes de crecimiento de la fresa**

En el Cuadro 7 se exhibe el comportamiento del rendimiento, producción de materia fresca de hoja, corona y área foliar de plantas de fresa. Los datos presentados corresponden al cierre del primer ciclo (C1) para sustratos nuevos, y segundo ciclo (C2) para sustratos usados. Se aprecia mayor materia fresca total en TE y PE, y menor en FC para sustratos nuevos y usados. La Figura 6 muestra que el rendimiento y producción de materia fresca fueron significativamente diferentes entre sustratos, pero no hubo efecto atribuible al reuso de sustratos, aun cuando se existió un efecto de las propiedades físicas de cada material, pero poca o nula afectación por modificación de tales propiedades derivadas de su uso durante uno o dos ciclos (8 y 16 meses, respectivamente). Resultados similares fueron reportados por Acuña *et al.* (2013) con perlita nueva y reusada, en cultivo de melón y por Pineda *et al.* (2012) quien observaron cambios significativos en las propiedades físicas de sustratos formados a partir de mezclas de tezontle y aserrín, después de 4 ciclos (24 meses) de cultivo continuo con jitomate.

La mayoría de las propiedades físicas del TE estuvieron fuera de los intervalos adecuados, según parámetros propuestos por varios autores (Bunt, 1988; Abad *et al.*, 2004; Raviv y Lieth, 2008), especialmente su alta Dap, bajo EPT y baja CRH; sin embargo, tales condiciones fueron mitigadas por el programa de alta frecuencia de riego. No obstante que TE presentó el menor EPT (46.3 %) respecto a FC (64.6 %) y PE (56.3), tuvo la mayor CA (Cuadro 5), lo anterior puede ser

explicado por el Ig del TE (71 %) (Cuadro 4), es decir que, se trata de macroporos, con poca retención de agua, en tanto que la FC y PE con Ig 51 % y 66 % respectivamente, se constituyeron de partículas de menor diámetro, en consecuencia retuvieron más agua y tuvieron menor capacidad para contener aire. El mayor EPT permite una mejor oxigenación de la zona radical para las plantas (Verhagen, 2013), aspecto importante para la respiración y absorción nutrimental (Morard *et al.*, 2000).

En fibra de coco se produjeron los valores más bajos en peso de corona, de hoja y área foliar por planta (Cuadro 7), lo que se relacionó con incrementos en la Dap, mayor retención de humedad y la reducción en la capacidad de aireación del sustrato; además se observó un mayor ataque de *Bradysia* sp, posiblemente a causa de la mayor humedad, mayor descomposición y humificación del material orgánico original, lo cual favoreció la proliferación de larvas que afectaron el cuello de raíz y tallo de las plantas. En adición, se observaron síntomas de deficiencias nutrimentales, posiblemente provocadas por procesos de inmovilización-fijación de nutrientes al darse la descomposición-humificación del material, aspecto que también fue reportado por Pineda (2010) y Vargas-Canales *et al.* (2014).

## **5.2. Producción de biomasa, rendimiento y calidad de fruta y su relación con características de los sustratos**

En el Cuadro 7 se presentan resultados de rendimiento de frutos ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) que corresponden a la etapa de fin de cosecha (220 DDP), para la estimación se consideró: a) una densidad de  $12 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ ; b) una superficie equivalente de 2

m<sup>2</sup> por unidad experimental; c) ocho cortes semanales para cada etapa de muestreo. Se observa que en perlita, el peso fresco de hoja y área foliar tuvieron valores intermedios con respecto a fibra de coco y tezontle; mientras que para el peso de corona no hubo diferencia entre perlita y tezontle.

**Cuadro 7. Rendimiento de fruto al final de la cosecha (220 DDP), peso fresco en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en fibra de coco (FC), perlita (PE) y tezontle (TE).**

Sustrato	Tipo	rendimiento	corona	fruto	hoja
		(kg·m <sup>-2</sup> )	g·planta <sup>-1</sup>	g·planta <sup>-1</sup>	cm <sup>2</sup> ·planta <sup>-1</sup>
fibra de coco	nuevo	2.318	1.929a	41.97a	8.262a
	usado	3.261	1.695a	52.57a	7.947a
	DMS		0.94	19.98	5.9
	CV (%)		23.11	18.64	32.12
perlita	nuevo	3.87	2.77a	93.596a	17.11a
	usado	4.188	3.13a	100.698a	15.37a
	DMS		1.27	19.48	8.128
	CV (%)		19.08	8.84	22.07
tezontle	nuevo	5.594	3.154a	109.127a	18.22a
	usado	5.982	3.265a	112.08a	20.283a
	DMS		1	15.646	15.23
	CV (%)		13.79	6.239	34.85

Letras diferentes en la columna, entre nuevo y usado por sustrato, significan que hay diferencia significativa de medias de Fisher ( $P \alpha \leq 0.05$ ).

Las plantas en FC registraron la más baja producción de materia fresca en las etapas de crecimiento vegetativo e inicio de floración y el menor rendimiento de fruto en dichas etapas; este resultado puede ser atribuible a la reducción en la capacidad de aireación (Cuadro 6) y a la variación inicial de la CE, que puede alcanzar valores de hasta 2.32 mS·cm<sup>-2</sup> (Raviv y Lieth, 2008).

En el Cuadro 8 se comparan sustratos nuevos y usados a lo largo de las diferentes fases del cultivo, que corresponden a desarrollo vegetativo (40 días después de plantación), inicio de floración (100 DDP), plena cosecha (160 DDP) y fin de cosecha (220 DDP), respectivamente; no hubo diferencia significativa en producción de materia fresca para cada sustrato nuevo y usado; sin embargo, se aprecian diferencias, por efecto del sustrato, contrastan los resultados entre fibra de coco y tezontle; el primero con 51.93 y 62.45 g·planta<sup>-1</sup> (nuevo y usado) al final de cosecha y el segundo con 130.5 y 135.72 g·planta<sup>-1</sup> (nuevo y usado) para la misma etapa de desarrollo, mientras que con perlita se obtuvo un peso fresco de 111.75 y 120.94 g·planta<sup>-1</sup> (nuevo y usado).

**Cuadro 8. Producción de materia fresca total (g), en plantas de fresa cultivadas en tres sustratos nuevos y usados.**

DDP	fibra de coco				perlita				tezontle			
	nuevo	usado	DMS	CV (%)	nuevo	usado	DMS	CV	nuevo	usado	DMSH	CV (%)
40	3.22	2.98	0.964	13.72	6.17	6.007	2.06	14.93	6.773	7.183	4.34	27.43
100	13.087	15.617	10.56	32.46	24.103	28.02	9.32	15.77	33.657	43.377	16.87	19.32
160	29.13	32.96	9.23	13.12	73.6	83.46	29.01	16.29	84.81	86.837	27.78	14.28
220	51.93	62.45	25.7	19.88	111.75	120.937	23.31	8.83	130.5	135.727	30.72	10.18

Comparación por sustrato (nuevo contra usado) de medias de Fisher ( $P \alpha \leq 0.05$ ) por muestreo (DDP: días después de la plantación); no hubo diferencia significativa en la comparación entre nuevos y usados dentro de cada sustrato.

De acuerdo con los resultados de modificación de las propiedades físicas de los sustratos (Cuadro 6), es posible considerar que el efecto diferenciado en rendimiento entre fibra de coco nuevo y usado no se deba a procesos de

naturaleza física, sino química como fijación e inmovilización nutrimental. Varios autores refieren que en sustratos orgánicos no estabilizados o composteados, durante los primeros tres meses presentan un proceso de descomposición acelerada que modifica desfavorablemente el medio de crecimiento de la raíz, se incrementa la capacidad de retención de humedad y se reduce la capacidad de aireación del sustrato (Lemaire, 1995; Handreck y Black, 2010).

### **5.2.1. Contenido nutrimental en plantas de fresa 'Festival'**

La variación en la concentración de los macronutrientes N, P, K, Mg y micronutrientes Fe, Cu, Mn y Zn en cada uno de los órganos de la planta, en relación al efecto de los sustratos y sus respectivos tiempos de reuso, durante cuatro etapas de desarrollo de la planta: desarrollo vegetativo (40 DDP), inicio de floración (100 DDP), plena cosecha (160 DDP) y fin de cosecha (220 DDP) se muestran en las Figuras 5 y 6 para fibra de coco nuevo y usado; Figuras 7 y 8 para perlita nuevo y usado y Figuras 9 y 10 para tezontle nuevo y usado. Con base en estos resultados se puede señalar que la concentración nutrimental en planta ocurre en el siguiente orden:  $N \geq K > P \geq Mg$ ; en plantas cultivadas en perlita, el tejido de hoja tuvo los valores 2.7, 2.29, 0.676 y 0.464 % de N, K, P y Mg, respectivamente (Figura 7); en el caso de los micronutrientes, en plantas cultivadas en tezontle, la concentración en tejido de hoja ocurre en el orden  $Fe > Mn > Cu \geq Zn$  (Figura 7) con variación entre 40-217, 72-123, 22.8-31, 33.5-27 de Fe, Mn, Cu, Zn, respectivamente, los cuales se ubican en su mayoría, dentro de los estándares de análisis foliar propuesto por Hancock (1999). Domínguez *et al.* (2009) reportó los siguientes intervalos de variación en hojas de fresa: 110-250,

100-275, 5-30, 32-52 para Fe, Mn, Cu, Zn, respectivamente, los cuales no difieren demasiado respecto a los registrados en la presente investigación.

La concentración de N en tejido vegetal no presentó diferencias significativas atribuibles al sustrato, no obstante se aprecian algunas tendencias. La variación en la concentración de N en corona , desde crecimiento vegetativo hasta el fin de cosecha, fue de 1.3 a 1.1, de 1.3 a 0.87 y de 1.3 a 0.85 % en FC, PE y TE respectivamente; en fruto fue de 1.15 a 1.4, de 1.2 a 1.1 y de 1.5 a 1.4 % en FC, PE y TE, respectivamente (Cuadro 7 ); en hoja fue de 2.2 a 1.9, de 2.4 a 1.9 y de 2.5 a 2.0 % en FC, PE y TE, respectivamente (Cuadro 8). La corona y la hoja exhiben decrementos en las etapas de plena cosecha y fin de cosecha, atribuibles a los mayores requerimientos de nutrimentos del fruto y la translocación de estos a partir de órganos fuente (corona y hojas) a órganos demanda en la planta (Taiz y Zeiger, 2003; Azcon-Bieto, 2006); estos resultados coinciden con lo reportado por Bottoms *et al.* (2013) quien señaló una declinación en la concentración de N, P y K en hojas de fresa desde el inicio de la floración y hasta el final de cosecha; por su parte Demirsoy *et al.* (2010) refiere una reducción en la concentración de N en la etapa de cosecha en hojas de fresa 'Sweet Charlie' expuestas a diferentes niveles de radiación. Además es posible la insuficiencia de nutrimentos en la rizósfera debido a la transformación del material orgánico a formas químicas más estables durante el proceso de humificación (Pineda, 2010; Brady y Weil., 2003).

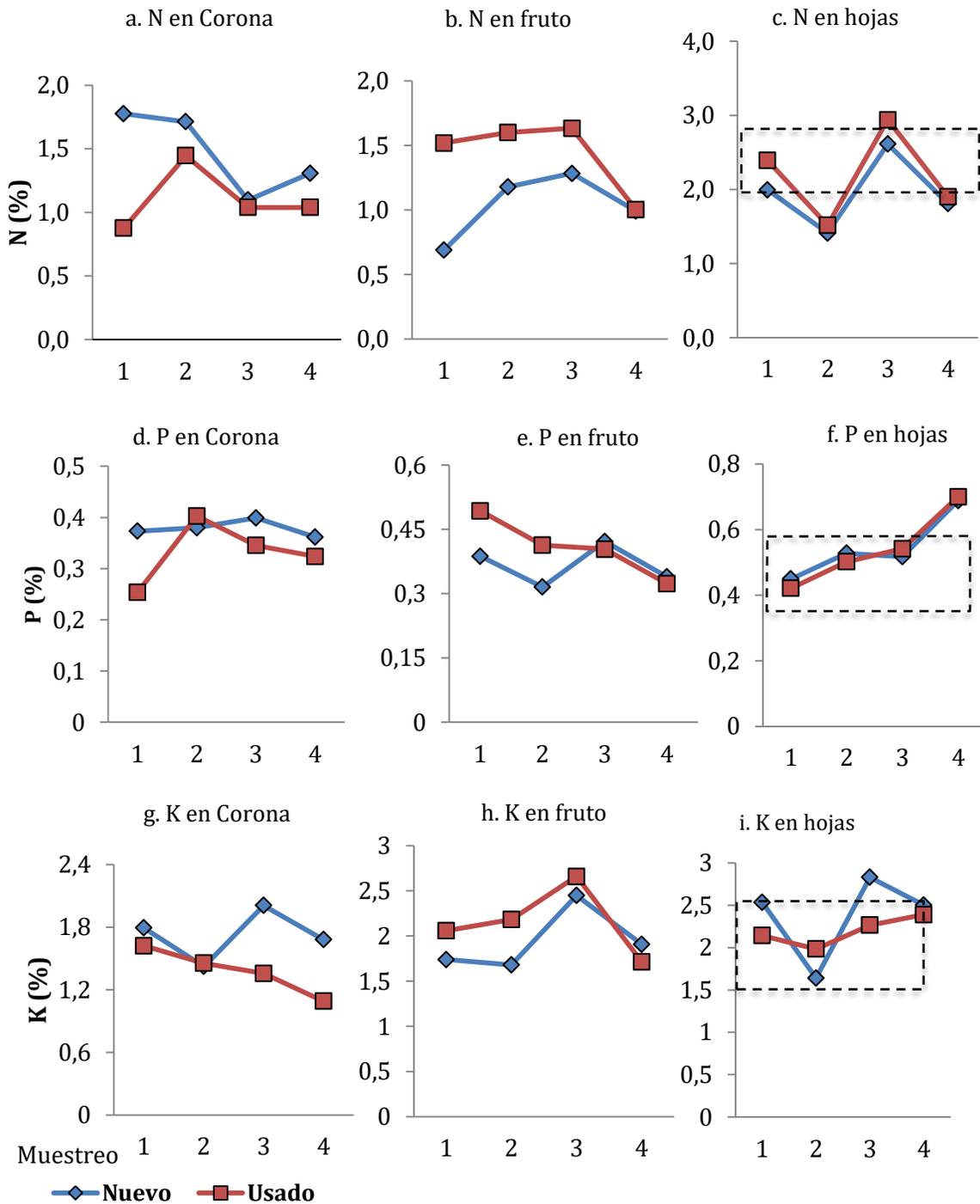
La concentración de N en el fruto, se mantuvo en 1.6 % para plantas en fibra de coco usado y disminuyó a 1.0 % en la etapa final de cosecha, debido a la

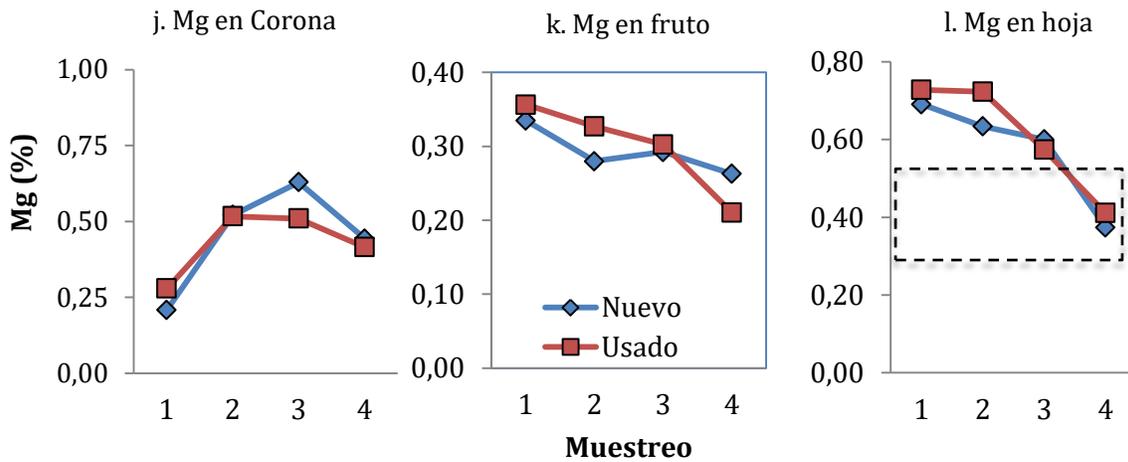
disminución en las reservas de N traslocable y a la reducción en la capacidad de absorción y translocación de la raíz durante el incremento en rendimiento de los frutos (Figura 7b); mientras que en fibra de coco nuevo el N en fruto inicio con 0.7 y se incrementó a 1 % (Figura 8), mostrando el efecto típico de inmovilización nutrimental por degradación de materiales orgánicos, con la posterior liberación de nutrimentos y la recuperación de la planta (Beaton *et al.*, 2005; Fageria *et al.*, 2011; Pineda, 2010). Finalmente el N en la hoja, varió de 2.4 a 1.9 % pasando por una disminución a 1.5 % en diciembre y un máximo de 2.9 % al inicio de la cosecha.

De acuerdo con los estándares de contenido nutrimental foliar en plantas de fresa expuestos en cuadro 1 (Hancock. 1999), la concentración de la mayoría de los nutrimentos se ubicaron como suficiente, en fresa cultivada en fibra de coco nuevo y usado, excepto para el caso de cobre, en cosecha (Figuras 6i, 8i, 10i); no obstante, Domínguez *et al.* (2009) menciona que la adopción de dichos estándares deben considerarse con mucha reserva, pues se han encontrado valores diferentes en hojas de fresa y se considera normal la alta variación de los micronutrimentos.

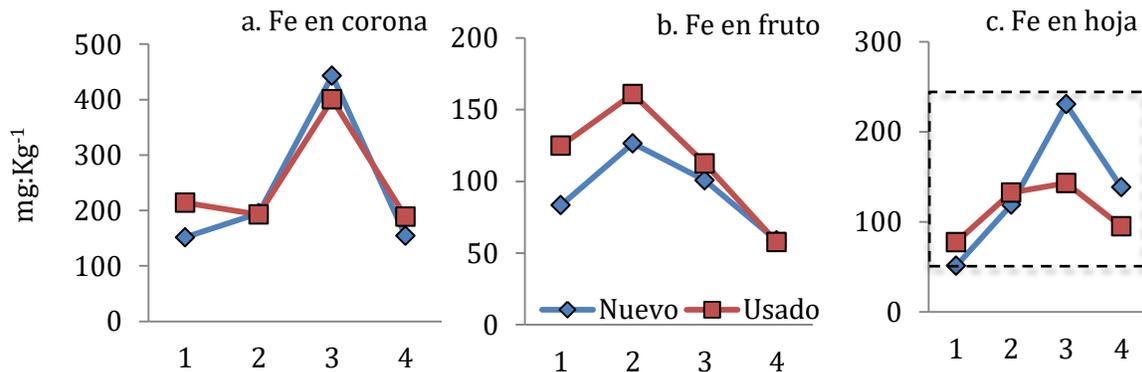
La Figura 5 (c, f, i, l) referidas a la concentración de N, P, K, Mg, la Figura 6 (c, f, i, l) para Fe, Mn, Cu, Zn, todas en fibra de coco y en hoja de fresa, indican que durante las cuatro etapas de desarrollo, se mantuvieron con variaciones, pero en su mayoría dentro del intervalo óptimo de concentración (Hancock, 1999). Daugard (2001) analizó el estado nutrimental de siete cultivares de fresa en dos

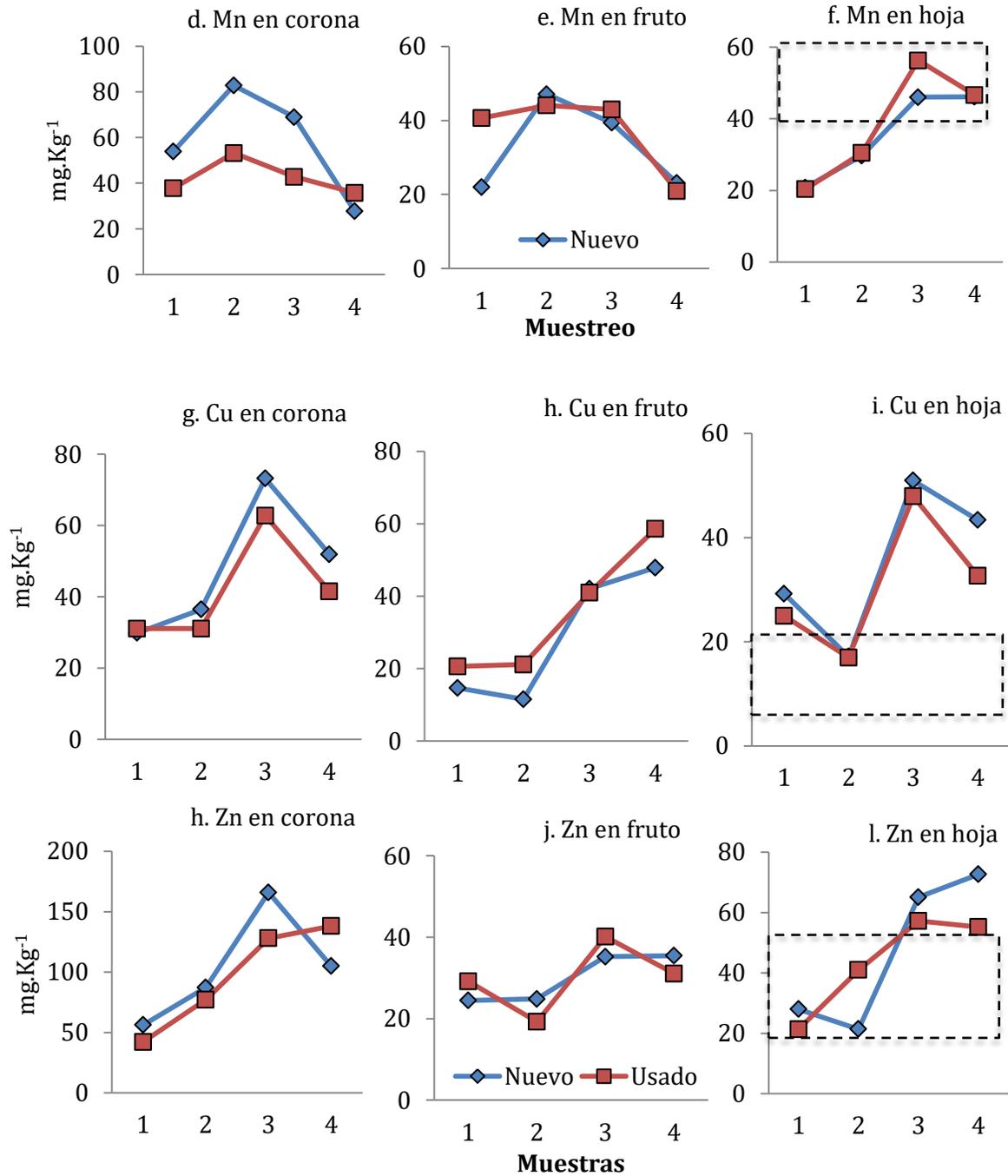
ciclos de producción, encontró diferencias significativas en el contenido nutrimental entre cultivares, concluyó que la capacidad de extracción de nutrimentos es una propiedad específica del cultivar; lo cual debe tomarse en cuenta en la evaluación de la demanda nutrimental de la fresa.





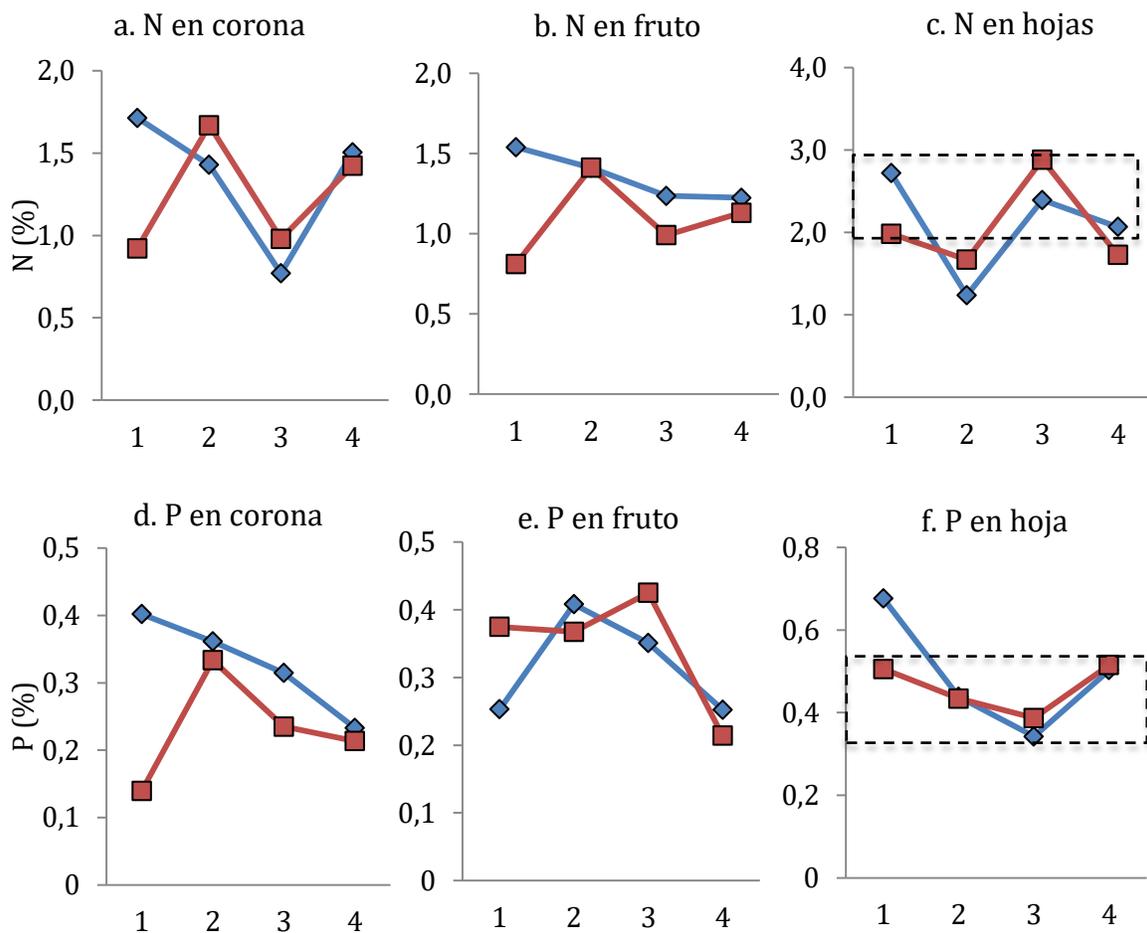
**Figura 5. Concentración (%) de N, P, K y Mg en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en fibra de coco nuevo y usado, a los 40 (1), 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondientes a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente.**

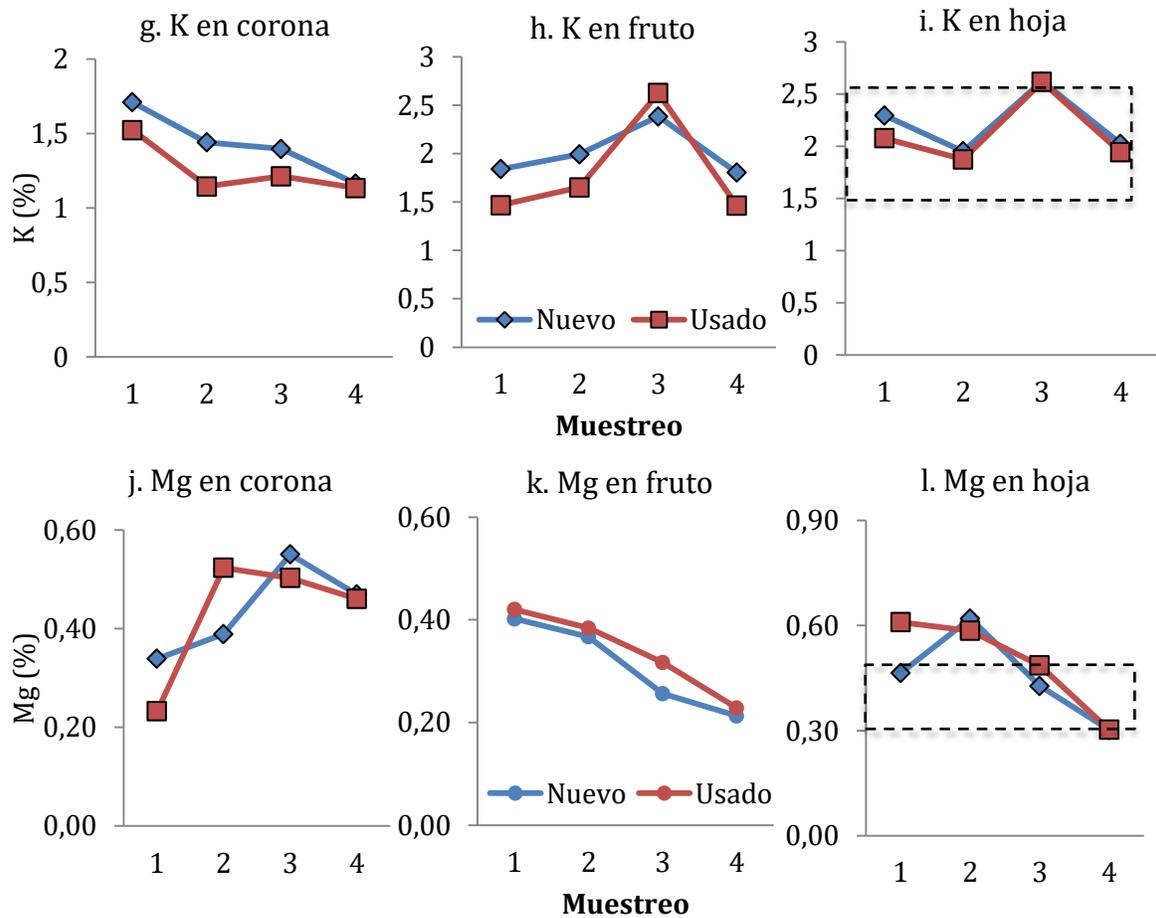




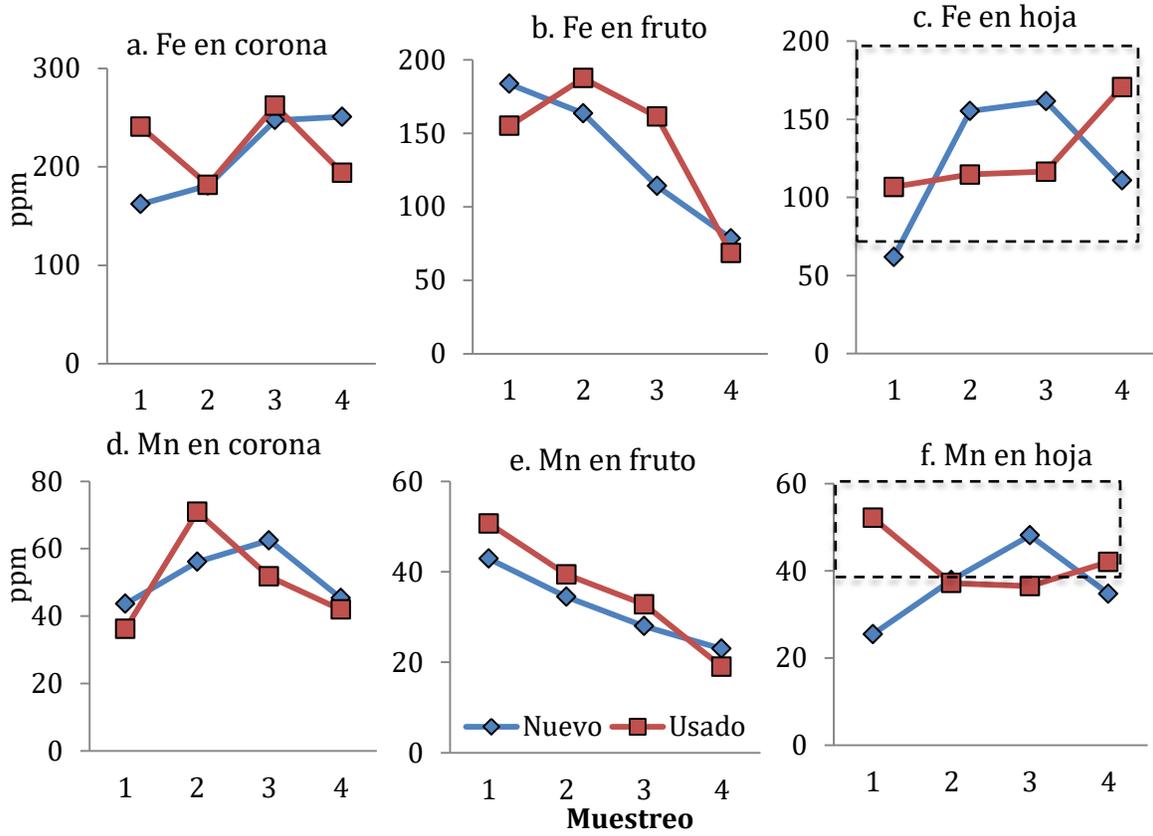
**Figura 6. Concentración (mg·kg<sup>-1</sup>) de Fe, Mn, Cu y Zn en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en fibra de coco nuevo y usado, a los 40 (1), 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondientes a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente.**

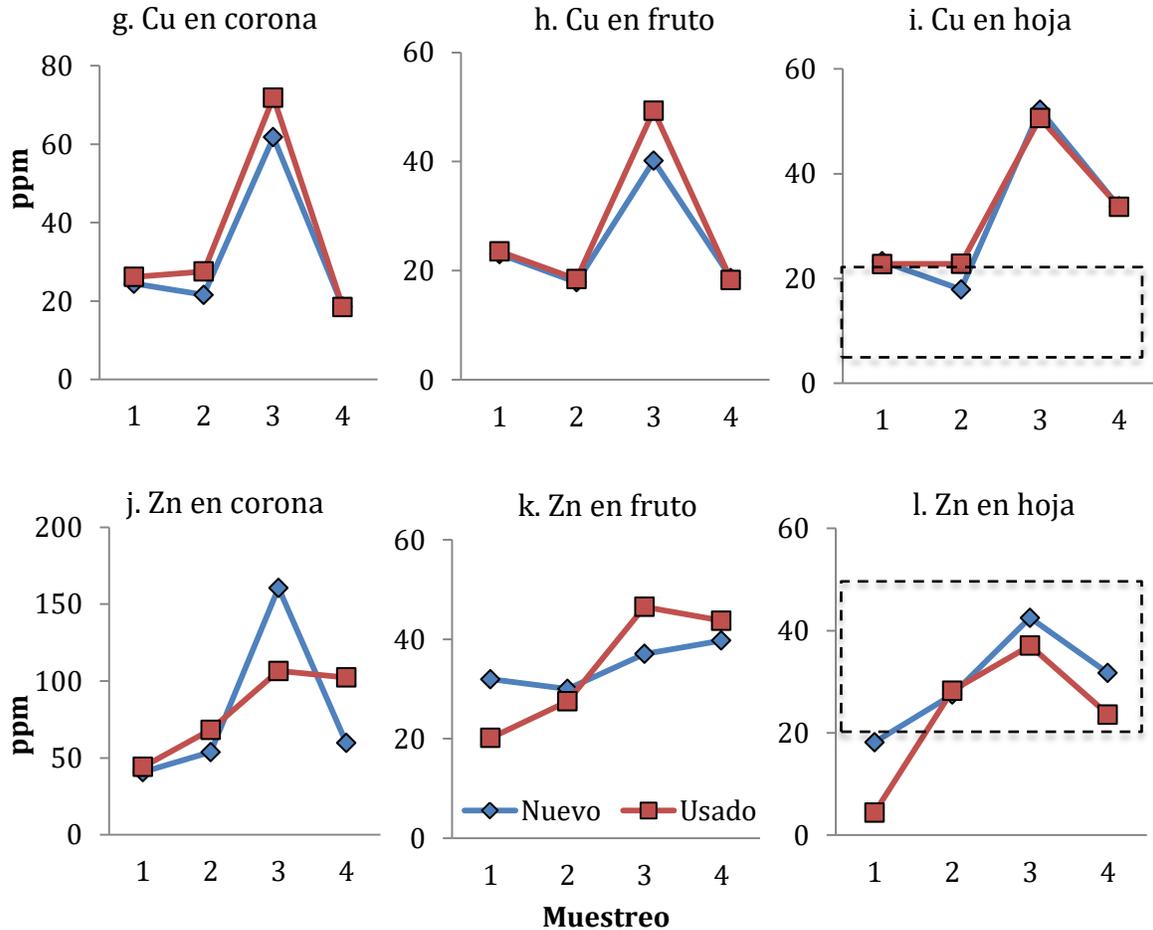
La Figura 7 (c, f, i, l) referida a la concentración de N, P, K, Mg, y Figura 8 (c, f, i, l) para Fe, Mn, Cu, Zn, respectivamente, en hoja de fresa cultivada en perlita nueva y reusada, indican que durante las cuatro etapas de desarrollo, hubo ligera variación en tales nutrientes, pero en su mayoría se mantuvieron dentro del intervalo óptimo de concentración, según estándares propuestos por Hancock (1999).





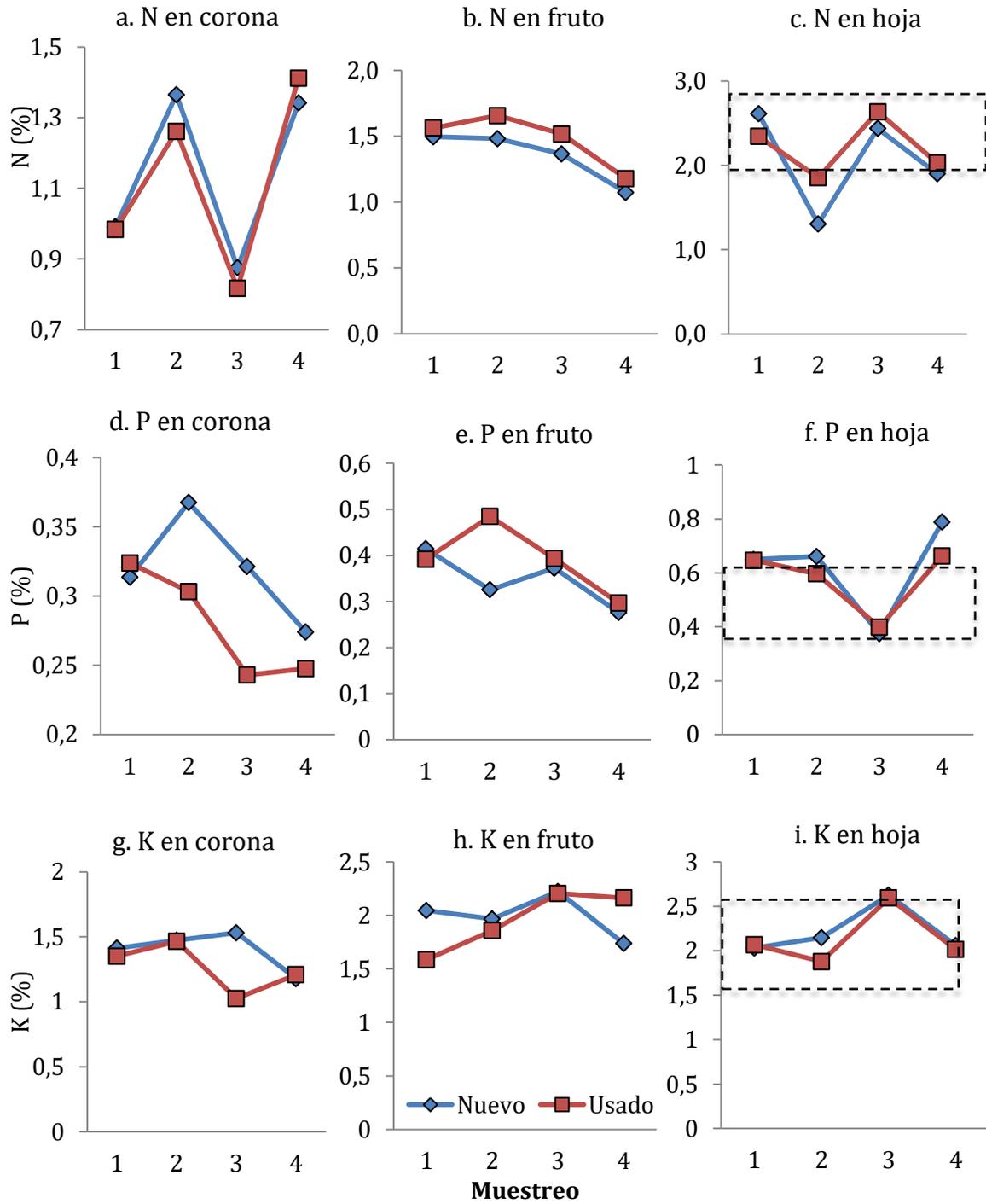
**Figura 7. Concentración (%) de N, P, K Y Mg en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en perlita nueva y reusada, a los 40 (1), 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondiente a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente.**

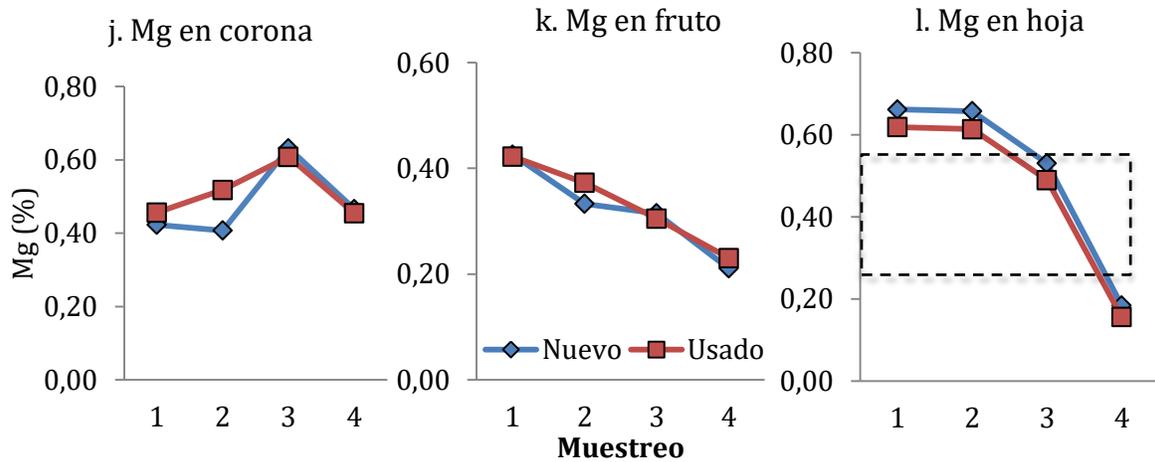




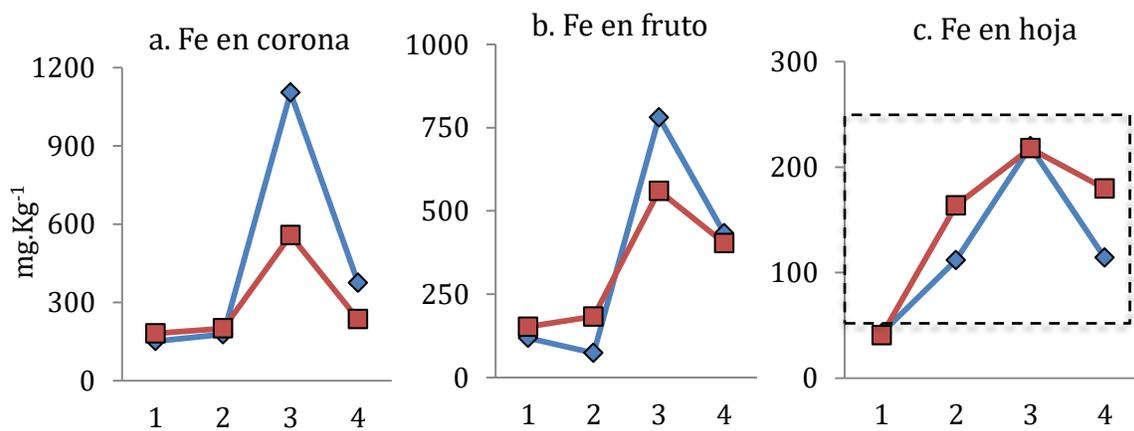
**Figura 8. Concentración ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) de Fe, Mn, Zn y Cu en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en perlita nueva y reusada, a los 40 (1), 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondientes a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente.**

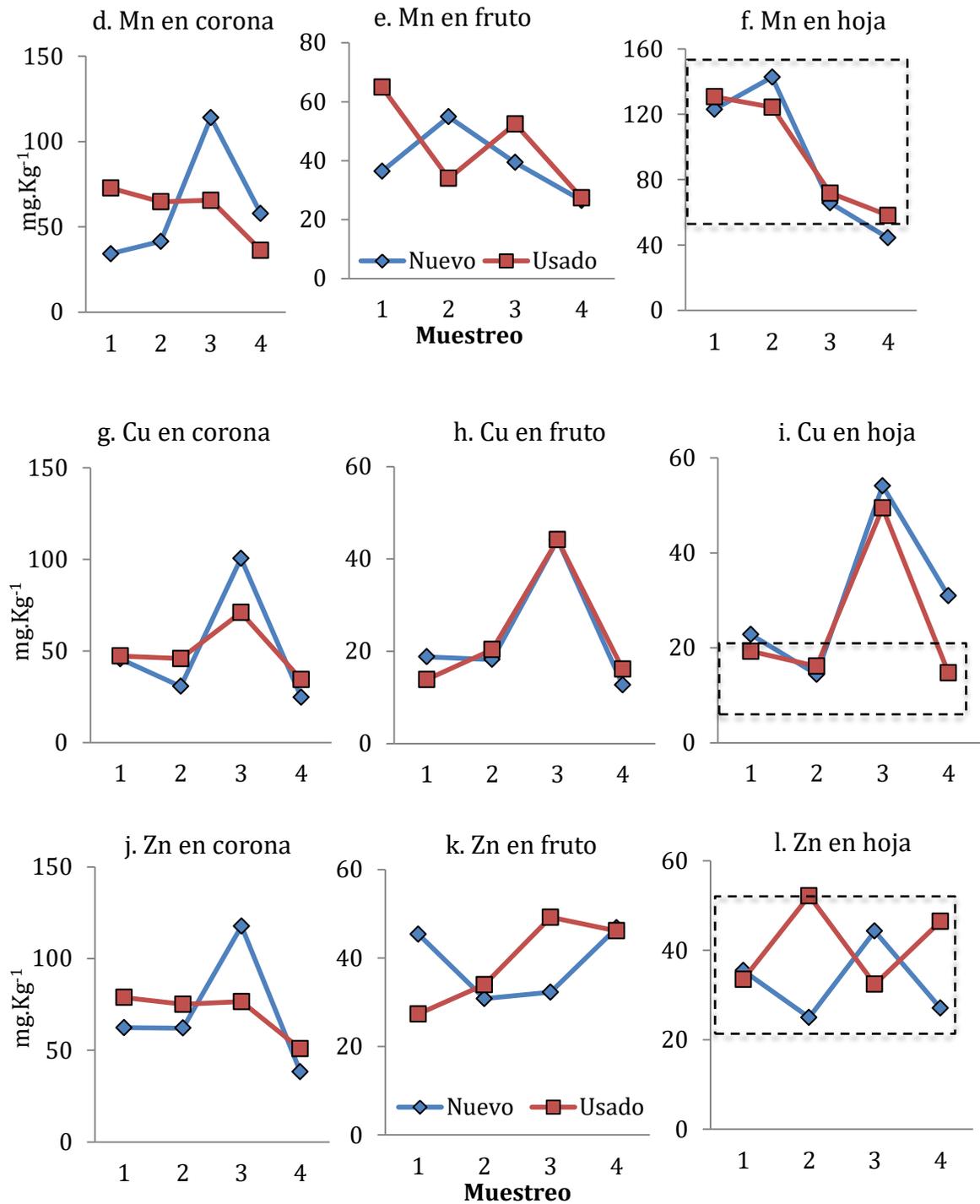
La Figura 9 (c, f, i, l) referida a la concentración de N, P, K, Mg, y Figura 10 (c, f, i, l) para Fe, Mn, Cu, Zn en hoja de fresa cultivada en tezontle nuevo y usado, indican que durante las cuatro etapas de desarrollo, hubo variación en estos nutrientes, pero en su mayoría se mantuvieron dentro del intervalo óptimo de concentración, según estándares propuestos por Hancock (1999).





**Figura 9. Concentración (%)de N, P, K y Mg en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en tezontle nuevo y usado, a los 40 (1), 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondientes a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente.**





**Figura 10. Concentración (mg·kg<sup>-1</sup>) de Fe, Mn, Zn y Cu en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en tezontle nuevo y usado, a los 40 (1) , 100 (2), 160 (3) y 220 (4) DDP, correspondientes a la etapa vegetativa, inicio de la floración, plena cosecha y fin de cosecha, respectivamente.**

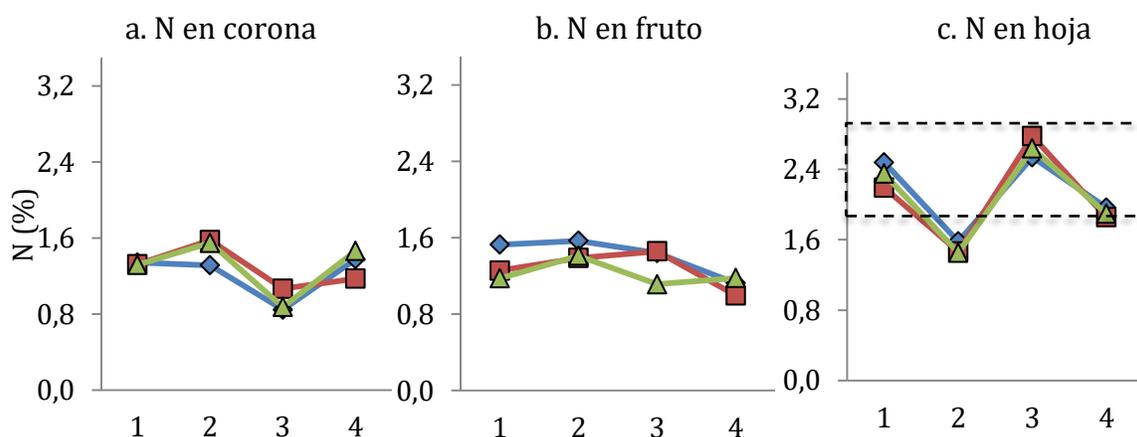
El recuadro con línea punteada en las figuras donde se muestran las concentraciones de minerales en hoja, indican el intervalo de suficiencia, propuestos por Hancock (1999), para análisis foliar. De manera general se observa una mayor concentración mineral en fruto y corona respecto a hoja, por un efecto de translocación de hoja a frutos, la principal fuente de metabolitos removidos a otras partes de la planta (Agüero, 2002).

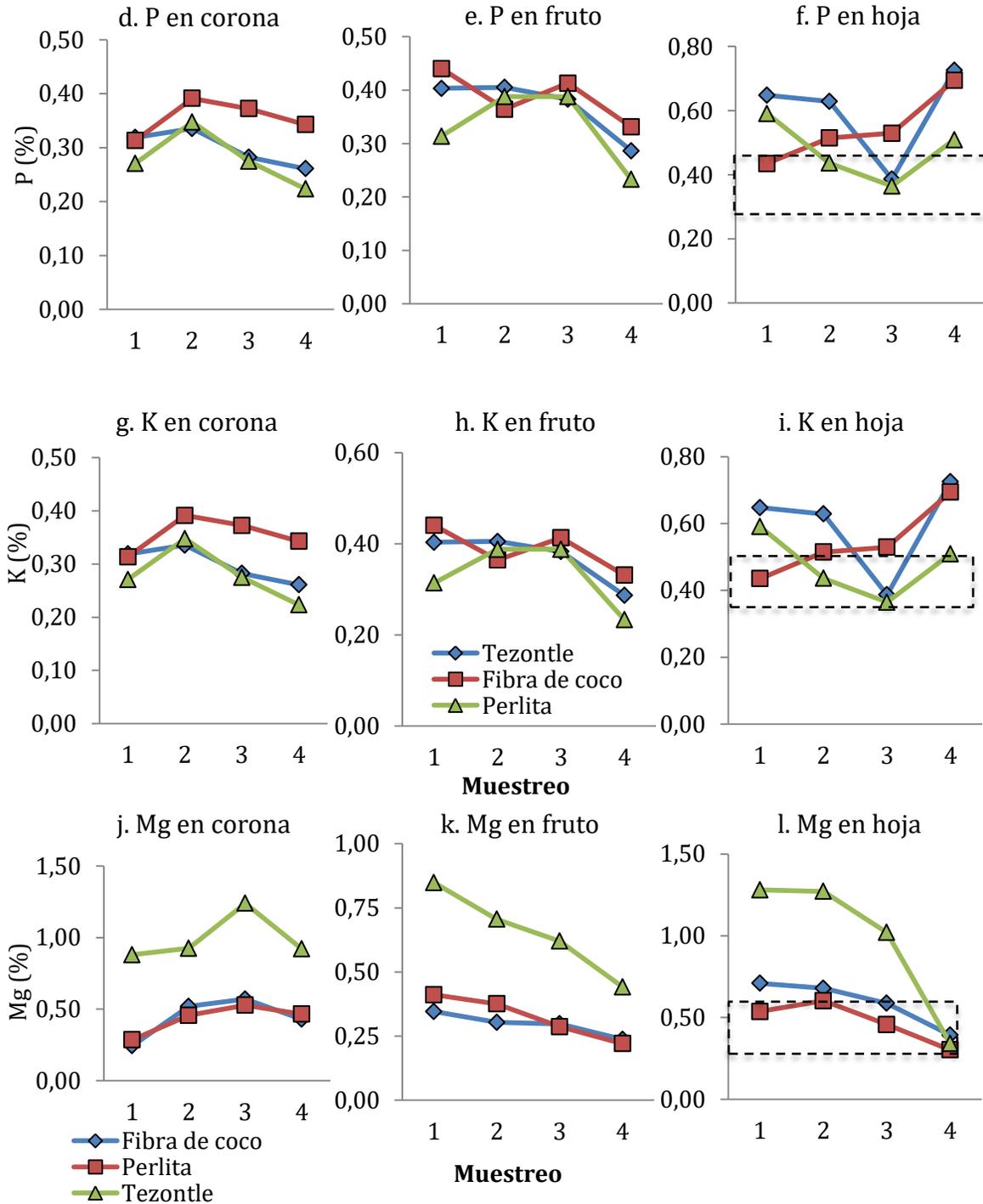
Domínguez *et al.* (2009) menciona que el nivel de N en hojas de fresa se mantuvo estable en 3-3.5 % con disminución al final del ciclo de cultivo hasta 2.25 %; para P señalan intervalos de 0.45 a 0.65 % después de la plantación, reduciéndose a 0.35-0.45 %; en K reportan niveles de 2.2-2.6 % en la primera mitad del ciclo de cultivo y 1.75-2.10 % al final el ciclo. Para el caso de micronutrientes, estos autores también reportan una variación significativa durante todo el ciclo de cultivo, lo que coincide con los resultados de la presente investigación; no obstante se pueden destacar algunas tendencias, el Fe y Mn mostraron un comportamiento más estable entre 100-200 mg·kg<sup>-1</sup>, en tanto que Cu y Zn fueron más inestables, con variaciones de 16-49 mg·kg<sup>-1</sup> y de 33-52 mg·kg<sup>-1</sup>, respectivamente; Domínguez *et al.* (2009) reporta concentraciones de 5-30 para Cu y 32-52 mg·kg<sup>-1</sup> para Zn.

Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con los obtenidos por otros autores (Domínguez *et al.*, 2009; Ullio, 2010) y con los estándares de suficiencia más utilizados (Jones *et al.*, 1996; Hancock, 1999), el

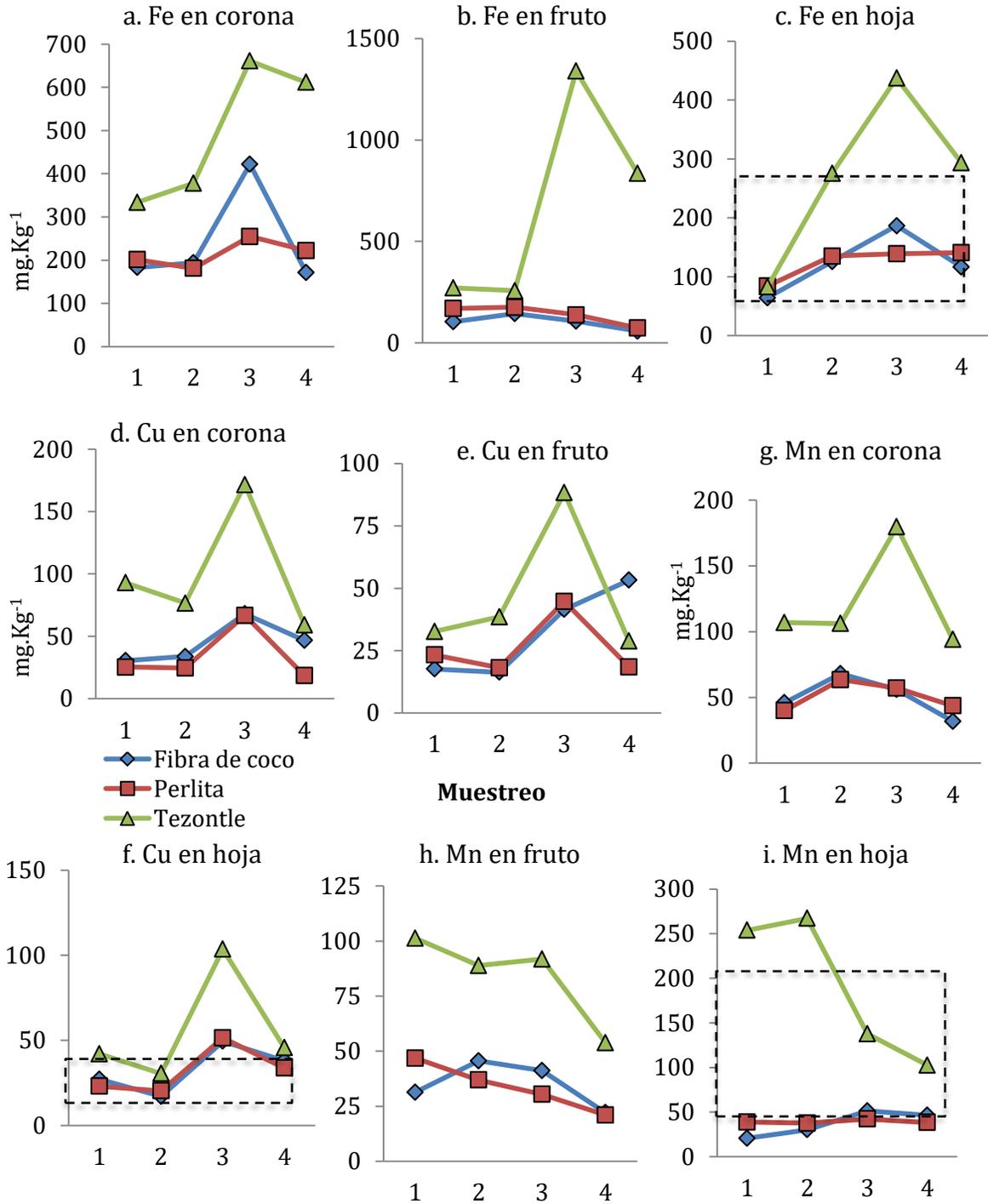
análisis sugiere que se debe tomar con reserva las recomendaciones establecidas como suficientes, insuficientes o excesivas, a fin de minimizar el riesgo de hacer una interpretación equivocada de los análisis de laboratorio y en consecuencia inadecuado suministro nutrimental en hidroponía.

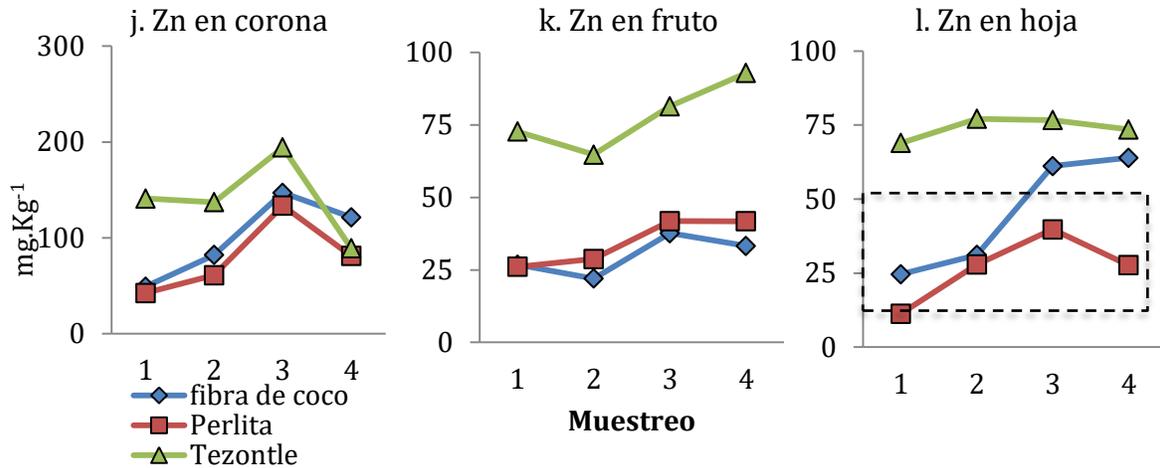
A partir de los resultados de la concentración de N, P, K, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn, en tejidos de corona, fruto y hoja (Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10), se pueden señalar dos aspectos relevantes: 1) Los niveles de concentración en hoja presentan intervalos de variación que en su mayoría se encuentran dentro del intervalo considerado como óptimo, de acuerdo con Hancock (1999) y Jones *et al.* (1996); 2) La variabilidad en las concentraciones muestra un incremento gradual en la etapa de crecimiento vegetativo con un máximo en la etapa de floración y plena cosecha, mientras que en al final de la cosecha se exhibe una reducción generalizada en la concentración, tanto en sustratos nuevos como reutilizados.





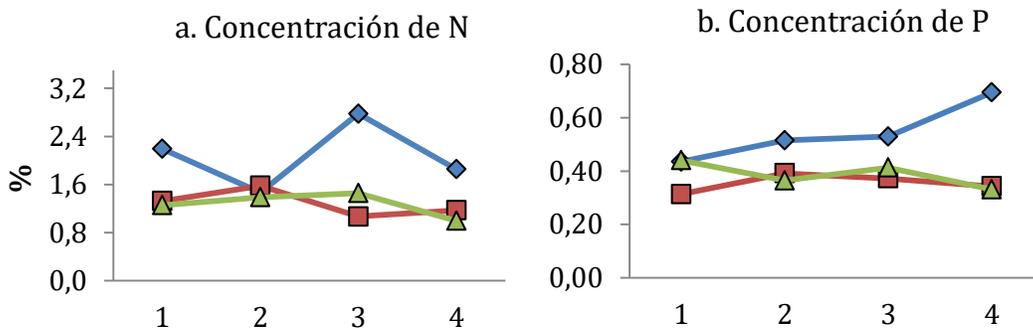
**Figura 11. Variación de la concentración (%) de N, P, K y Mg en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en fibra de coco, perlita y tezontle, en etapa vegetativa (40 DDP), en floración (100 DDP), en plena cosecha (160 DDP) y al final de la cosecha (220 DDP), muestreos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.**

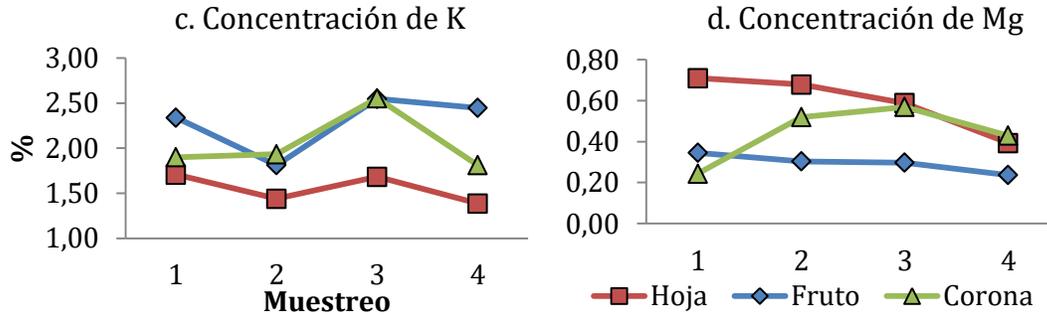




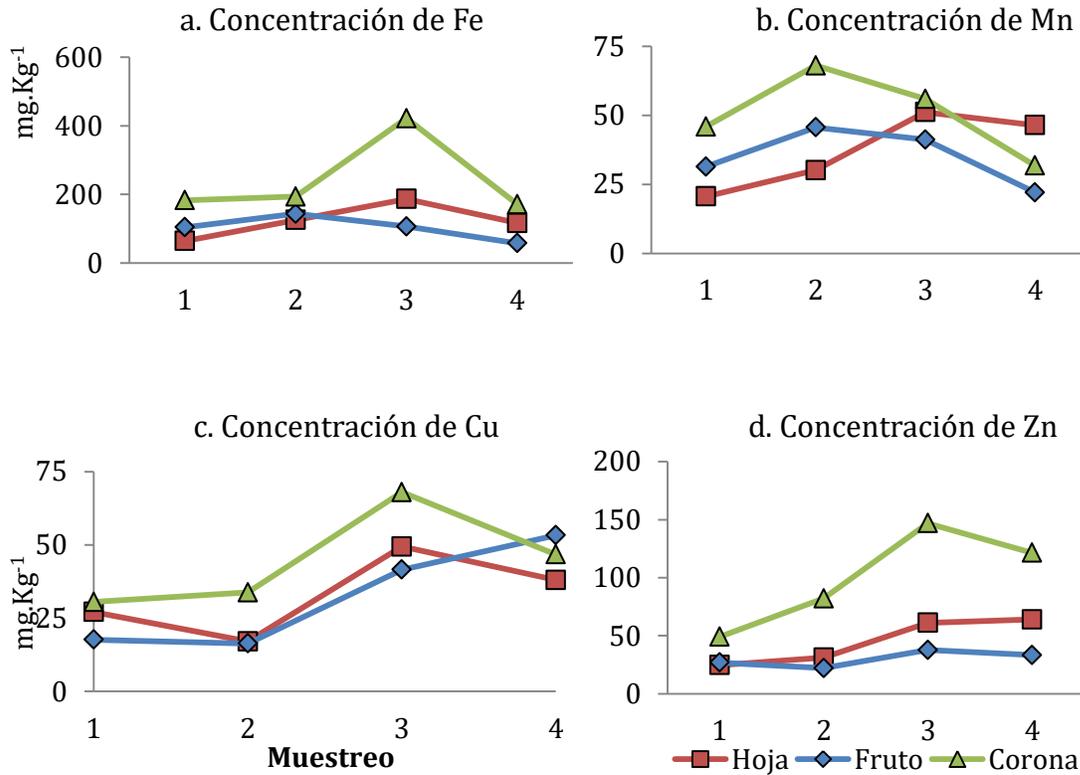
**Figura 12. Variación de la concentración ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) Fe, Mn, Cu y Zn en corona, fruto y hoja de fresa cultivada en fibra de coco, perlita y tezontle, en etapa vegetativa (40 DDP), en floración (100 DDP), en plena cosecha (160 DDP) y al final de la cosecha (220 DDP), muestreos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.**

En las Figuras 11 y 12 se puede apreciar que la concentración de N, P y K en corona, fruto y hoja no varió entre sustratos; mientras que el magnesio 11(j, k, l) en tezontle, presentó una mayor concentración, en todos los tejidos y una mayor variabilidad temporal.

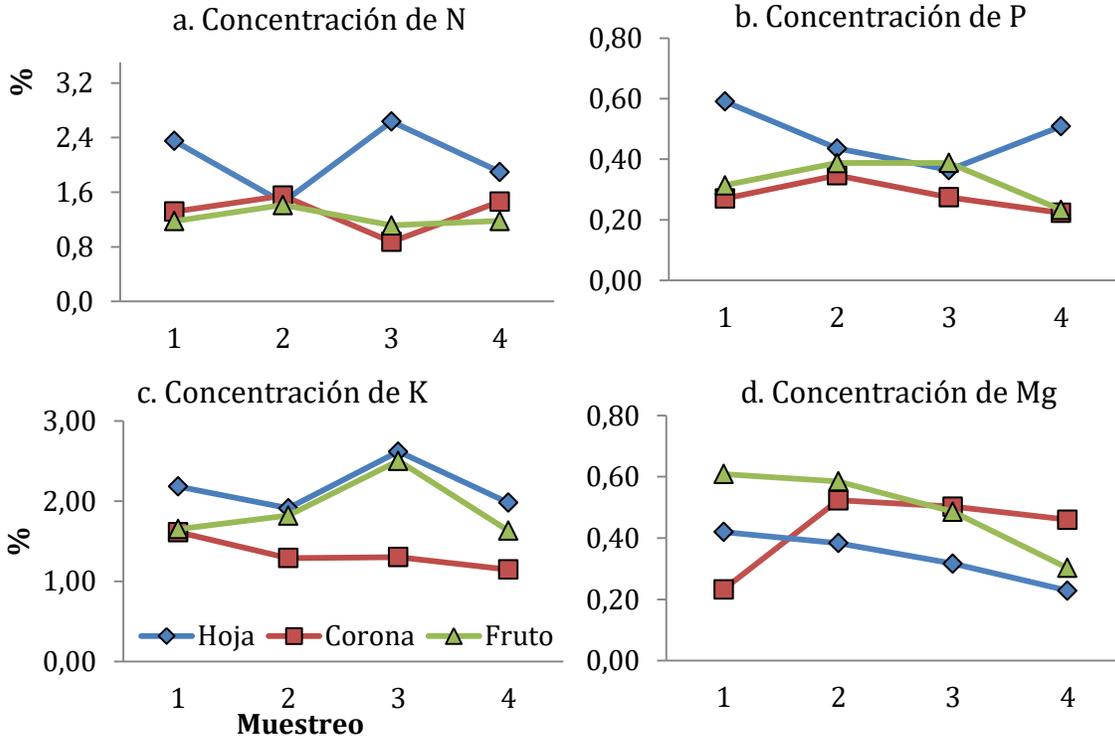




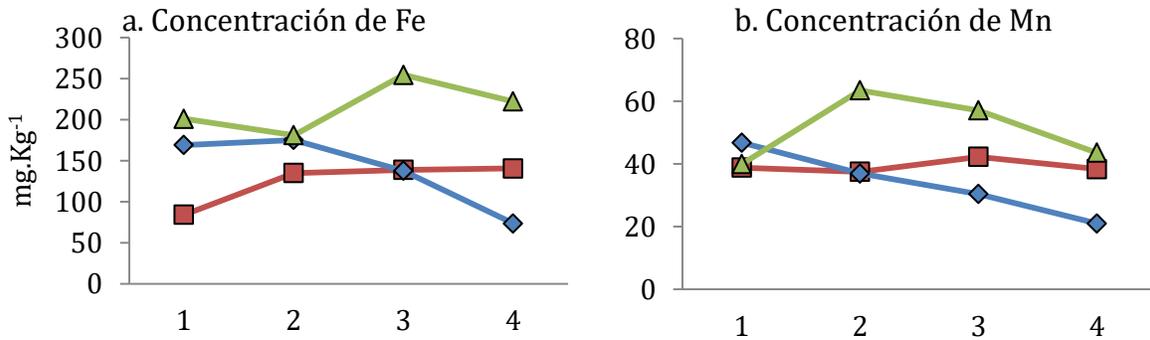
**Figura 13. Concentraciones de N, P, K, Mg (%) en órganos de planta de fresa cultivadas en fibra de coco; muestreos 1, 2, 3, 4 corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente.**

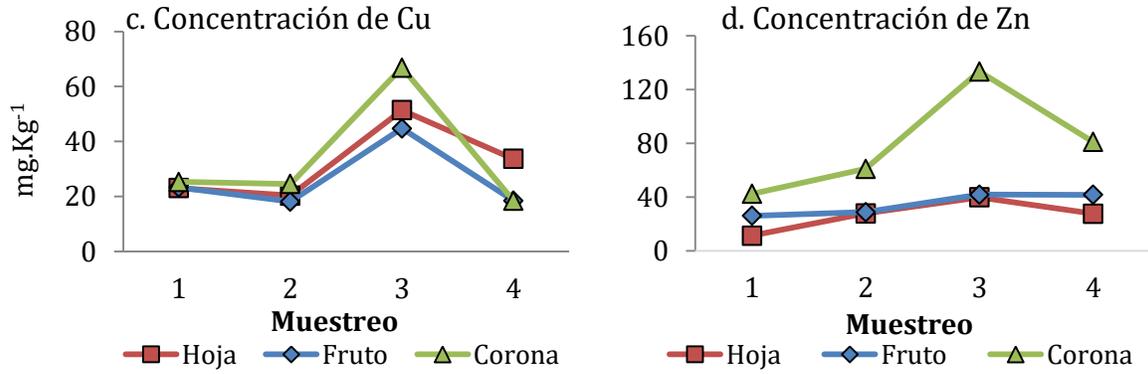


**Figura 14. Concentraciones de Fe, Mn, Zn y Cu (mg·kg<sup>-1</sup>) en órganos de planta de fresa cultivada en fibra de coco. Muestreos 1, 2, 3, 4 corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente.**

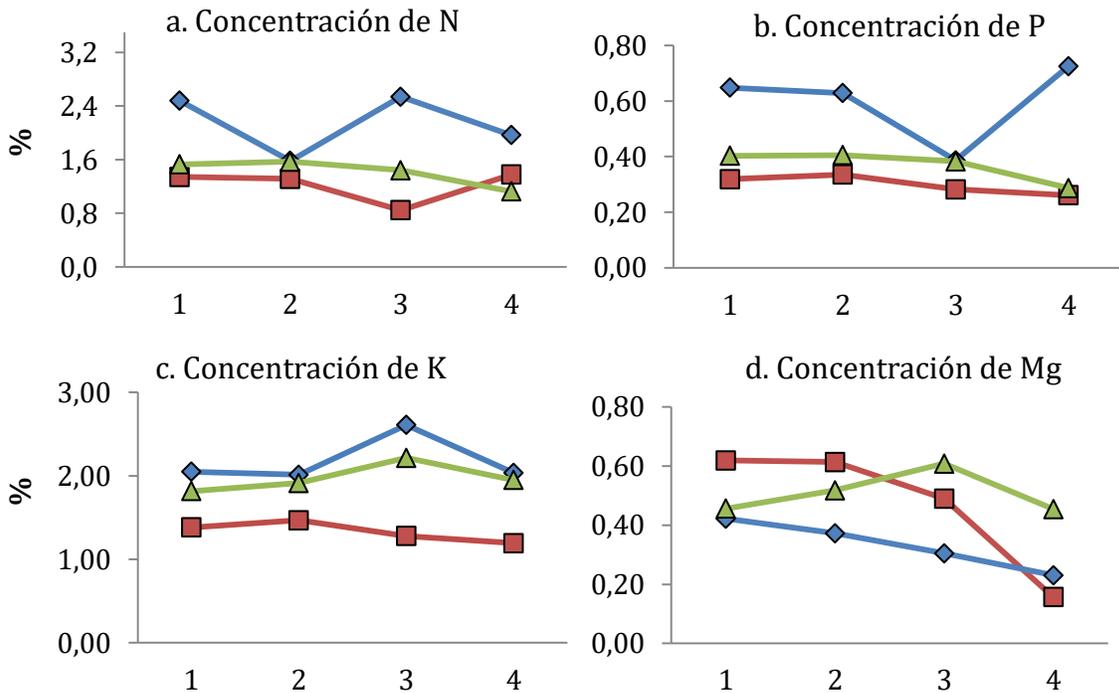


**Figura 15. Concentraciones de N, P, K, Mg (%) en órganos de planta de fresa cultivadas en perlita; muestreos 1, 2, 3, 4 corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente.**

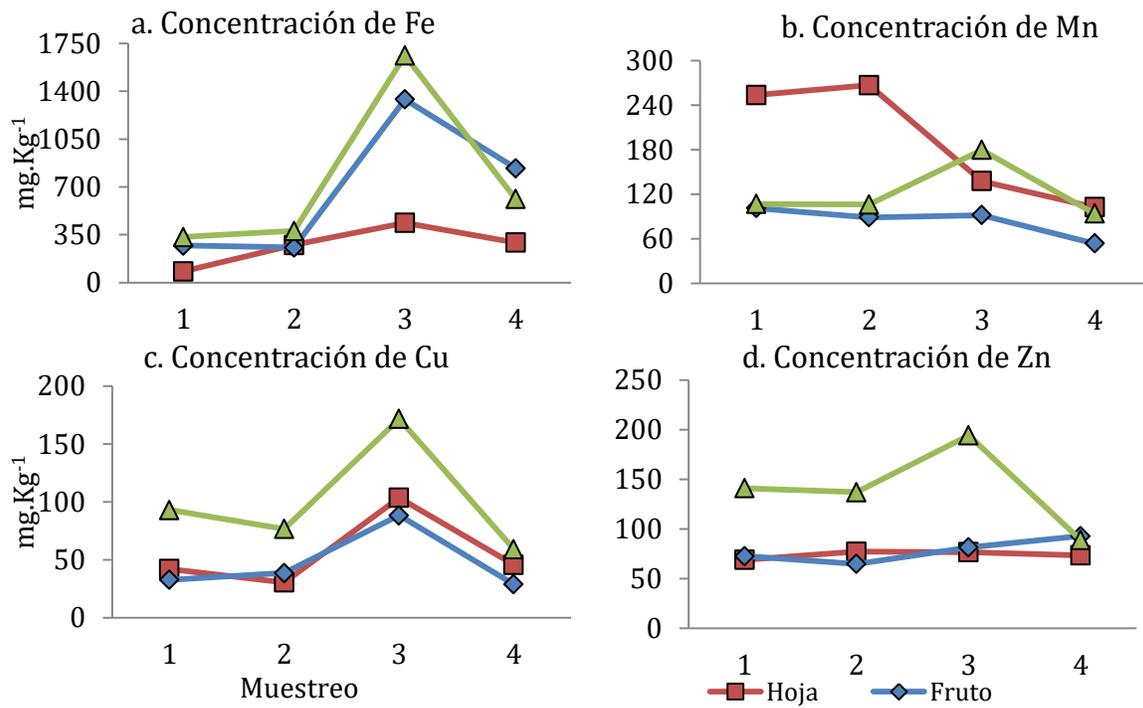




**Figura 16. Concentraciones de Fe, Mn, Zn y Cu (mg·kg<sup>-1</sup>) en órganos de planta de fresa cultivadas en perlita; muestreos 1, 2, 3, 4 corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente.**



**Figura 17. Concentraciones de N, P, K, Mg (%) en órganos de planta de fresa cultivadas en tezontle; muestreos 1, 2, 3, 4 corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente.**



**Figura 18. Concentraciones de Fe, Mn, Zn y Cu (mg·kg<sup>-1</sup>) en órganos de planta de fresa cultivadas tezontle; muestreos 1, 2, 3, 4 corresponden a 40, 100, 120, 220 DDP, respectivamente.**

**Cuadro 9. Concentración (%) y extracción de N, P, K, Mg en corona (mg-planta<sup>-1</sup>) en diferentes etapas fenológicas de plantas de fresa cultivadas en fibra de coco, perlita y tezontle.**

Elemento	Etapa:		Vegetativa		floración		Plena cosecha		Final de cosecha								
	Sustrato	Conc.	Extrac.	Conc.	Extrac.	Conc.	Extrac.	Conc.	Extrac.								
N	Fibra de coco	1.325a	a	4.957	b	1.579	a	9.662	b	1.068	a	8.786	b	1.173	a	21.108	b
	Perlita	1.318a	a	8.895	a	1.549	a	19.088	a	0.875	b	22.66	a	1.464	a	43.652	a
	Tezontle	1.342a	a	9.856	a	1.138	b	14.727	a	0.846	b	21.414	a	1.377	a	44.55	a
	DMS	0.605		4.583		0.318		6.353		0.188		5.968		0.317		12.30	
	CV (%)	37.00		47.13		18.19		35.62		16.40		27.52		19.25		27.43	
P	Fibra de coco	0.33a	a	1.184	b	0.391	a	2.387	b	0.372	a	3.032	b	0.343	a	6.069	b
	Perlita	0.271a	a	1.842	a	0.347	a	4.214	a	0.275	b	7.043	a	0.223	b	6.573	b
	Tezontle	0.319a	a	2.439	a	0.335	a	4.52	a	0.282	b	7.321	a	0.261	b	8.349	a
	DMS	0.123		1.175		0.058		1.700		0.072		2.334		0.055		1.556	
	CV (%)	32.55		52.387		13.22		37.269		18.90		32.70		16.19		18.07	
K	Fibra de coco	1.541a	a	5.524	b	1.44	a	8.937	b	1.683	a	13.409	b	1.386	a	25.152	b
	Perlita	1.616a	a	10.43	a	1.293	a	15.38	a	1.305	ab	33.535	a	1.149	a	34.331	ab
	Tezontle	1.382a	a	10.37	a	1.302	a	17.024	a	1.278	b	32.536	a	1.193	a	38.369	a
	DMS	0.371		3.700		0.337		5.1685		0.399		9.155		0.310		10.703	
	CV (%)	19.95		34.267		20.34		30.479		22.79		28.08		20.26		26.67	
Mg	Fibra de coco	0.244b	b	0.866	b	0.519	a	3.129	b	0.569	ab	4.542	b	0.429	a	7.843	b
	Perlita	0.286b	b	1.874	b	0.456	a	5.747	a	0.527	b	13.71	a	0.465	a	13.809	a
	Tezontle	0.44aa	a	3.319	a	0.463	a	6.631	a	0.62	a	15.866	a	0.46	a	14.556	a
	DMS	0.080		1.034		0.128		3.400		0.086		3.825		0.105		3.879	
	CV (%)	20.01		41.622		21.71		53.448		12.22		27.33		18.98		26.12	

DDP: días después de plantación; las comparaciones de medias de concentración y extracción se aplicaron entre sustratos, por cada nutrimento y para cada muestreo, letras diferentes denotan diferencia significativa (Fisher,  $\alpha < 0.05$ ). 1, 2, 3 y 4 número de muestreo; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

**Cuadro 10. Concentración (%) y extracción de N, P, K, Mg en frutos (mg-planta<sup>-1</sup>) en diferentes etapas fenológicas de plantas de fresa cultivadas en fibra de coco, perlita y tezontle.**

Elemento	Etapa	Vegetativa		Floración		Plena cosecha		Final de cosecha	
	Sustrato	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.
N	Fibra de coco	1.149 a	8.065 c	1.389 a	131.7 b	1.374 ab	337.71 c	0.998 a	470.4 b
	Perlita	1.176 a	17.745 b	1.412 a	192.32 b	1.114 b	630.5 b	1.178 a	1147.9 a
	Tezontle	1.529 a	24.61 a	1.569 a	351.91 a	1.441 a	914.19 a	1.126 a	1253.5 a
	DMS	0.441	6.771	0.305	87.27	0.324	200.14	0.343	328.42
	CV (%)	27.89	32.74	17.0	31.48	20.09	25.92	25.36	27.879
P	Fibra de coco	0.44 a	3.085 b	0.365 a	34.27 b	0.413 a	100.52 b	0.348 a	164.36 b
	Perlita	0.314 b	4.726 b	0.388 a	52.91 b	0.388 a	219.13 a	0.233 b	227.98 b
	Tezontle	0.404 ab	6.46 a	0.405 a	93.46 a	0.383 a	243.18 a	0.287 ab	316.27 a
	DMS	0.117	1.670	0.107	31.00	0.068	51.70	0.071	75.295
	CV (%)	24.66	28.523	22.52	41.84	14.06	22.40	20.04	25.904
K	Fibra de coco	1.9 a	13.29 b	1.933 a	175.71 b	2.555 a	624.3 b	1.812 a	851.1 c
	Perlita	1.654 a	24.94 a	1.822 a	243.42 b	2.505 a	1416.2 a	1.633 a	1563.6 b
	Tezontle	1.817 a	28.919 a	1.913 a	429.35 a	2.215 a	1397.1 a	1.951 a	2157.7 a
	DMS	0.503	7.036	0.408	91.59	0.375	290.92	0.510	436.59
	CV (%)	22.83	25.543	17.55	26.32	12.56	20.63	23.03	23.278
Mg	Fibra de coco	0.346 a	2.43 b	0.304 b	28.52 b	0.298 a	71.91 c	0.237 a	111.7 b
	Perlita	0.411 a	6.158 a	0.375 a	51.18 b	0.286 a	161 b	0.221 a	215.46 a
	Tezontle	0.424 a	6.815 a	0.353 ab	81.35 a	0.31 a	196.95 a	0.221 a	243.83 a
	DMS	0.095	1.391	0.070	26.04	0.042	35.28	0.037	41.20
	CV (%)	19.63	22.013	16.51	39.42	11.53	20.01	13.33	17.59

DDP: días después de plantación; las comparaciones de medias de concentración y extracción se aplicaron entre sustratos, por cada nutrimento y para cada muestreo, letras diferentes denotan diferencia significativa (Fisher,  $\alpha < 0.05$ ).

1, 2, 3 y 4 número de muestreo, ; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

**Cuadro 11. Concentración (%) y extracción de N, P, K y Mg en hojas (mg-planta<sup>-1</sup>) durante diferentes etapas fenológicas de plantas de fresa cultivadas en fibra de coco, perlita y tezontle.**

Elemento	Etapa	Vegetativa		Floración		Plena cosecha		Final de cosecha	
	Sustrato	Concentración	Extracción.	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.
N	Fibra de coco	2.193 a	45.59 b	1.464 a	64.47 c	2.777 a	168.61 b	1.855 a	145.95 b
	Perlita	2.351 a	92.75 a	1.453 a	162.4 b	2.637 a	509.3 a	1.896 a	306.57 a
	Tezontle	2.479 a	115.44 a	1.581 a	234.25 a	2.538 a	505.21 a	1.966 a	372.76 a
	DMS	0.574	36.886	0.398	59.57	0.428	168.04	0.284	80.55
	CV (%)	19.90	35.432	21.58	31.49	13.13	34.62	12.11	23.79
P	Fibra de coco	0.435 b	8.99 b	0.515 ab	21.23 c	0.53 a	32.38 b	0.694 a	56.85 b
	Perlita	0.591 a	23.697 a	0.437 b	49.78 b	0.365 b	70.98 a	0.509 b	82.78 b
	Tezontle	0.648 a	29.583 a	0.629 a	92.65 a	0.387 b	76.54 a	0.725 a	142.47 a
	DMS	0.15	8.452	0.135	22.23	0.10	26.92	0.125	46.33
	CV (%)	21.85	33.09	20.87	33.11	19.06	36.48	15.74	40.03
K	Fibra de coco	2.339 a	47.81 b	1.812 a	77.9 c	2.548 a	152.56 b	2.446 a	198.96 b
	Perlita	2.185 a	86.75 a	1.912 a	216.64 b	2.619 a	504.52 a	1.983 a	332.46 a
	Tezontle	2.05 a	93.79 a	2.012 a	295.47 a	2.61 a	518.66 a	2.037 a	384.79 a
	DMS	0.319	25.351	0.284	65.86	0.327	144.71	0.482	129.04
	CV (%)	11.84	27.07	12.08	27.21	10.25	30.01	18.17	34.34
Mg	Fibra de coco	0.709 a	14.463 b	0.678 a	29.71 c	0.587 a	35.35 b	0.393 a	32.03 a
	Perlita	0.537 b	21.226 b	0.602 a	67.57 b	0.457 b	88.63 a	0.302 ab	47.27 a
	Tezontle	0.64 a	29.433 a	0.636 a	93.95 a	0.51 b	101.02 a	0.171 b	38.39 a
	DMS	0.319	8.145	0.107	22.69	0.06	29.07	0.132	30.95
	CV (%)	12.21	30.49	13.58	28.93	8.64	31.50	37.22	64.11

DDP: días después de plantación; las comparaciones de medias de concentración y extracción se aplicaron entre sustratos, por cada nutrimento y para cada muestreo, letras diferentes denotan diferencia significativa (Fisher,  $\alpha < 0.05$ ). 1, 2, 3 y 4 número de muestreo; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

**Cuadro 12. Concentración (mg·Kg<sup>-1</sup>) y extracción de Fe, Mn, Cu y Zn (mg·planta<sup>-1</sup>) en corona durante diferentes etapas fenológicas de plantas de fresa cultivadas en fibra de coco, perlita y tezontle.**

Elemento	Etapa:	40 DDP (1)		100 DDP (2)		160 DDP (3)		220 DDP (4)	
	Sustrato	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.
Fe	Fibra de coco	182.95 a	0.0654 b	193.9 a	0.118 b	421.9 a	0.334 c	171.5 b	0.3097 c
	Perlita	201.28 a	0.129 a	181.2 a	0.22 ab	254.6 b	0.6516 b	222.3 ab	0.6571 b
	Tezontle	166.78 a	0.124 a	189.2 a	0.258 a	530.6 a	1.405 a	305.8 a	0.9895 a
	DMS	63.21	0.054	36.93	0.102	120.7	0.41	126.8	0.371
	CV (%)	27.97	41.073	15.96	41.74	24.37	41.84	44.17	46.269
Mn	Fibra de coco	45.88 a	0.017 b	68.03 a	0.0419 b	55 b	0.0425 c	31.78 b	0.0584 b
	Perlita	39.92 a	0.025 ab	63.5 a	0.0745 a	55.9 b	0.149 b	43.6 a	0.1291 a
	Tezontle	53.47 a	0.0433 a	53.08 a	0.0778 a	88.83 a	0.223 a	47.02 a	0.1507 a
	DMS	22.137	0.023	24.86	0.039	30.11	0.074	16.06	0.052
	CV (%)	38.751	66.065	32.83	49.326	36.19	43.31	31.98	37.19
Cu	Fibra de coco	30.483 b	0.0106 b	33.79 ab	0.021 b	67.98 a	0.0532 b	46.73 a	0.085 a
	Perlita	25.3 b	0.0168 b	24.55 b	0.031 ab	66.83 a	0.1745 a	18.5 c	0.054 b
	Tezontle	46.488 a	0.0335 a	38.3 a	0.056 a	75.83 a	0.1966 a	29.62 b	0.0954 a
	DMS	9.7266	0.008	12.18	0.0274	17.92	0.063	7.929	0.027
	CV (%)	23.1852	31.659	30.73	61.95	20.73	35.91	20.38	28.45
Zn	Fibra de coco	49.083 b	0.017 b	82.08 a	0.0497 b	97.13 b	0.1166 c	121.5 a	0.2175 a
	Perlita	42.45 b	0.0274 b	61.03 a	0.0776 a	133.5 ab	0.346 a	81 b	0.242 a
	Tezontle	70.533 a	0.0535 a	68.58 a	0.0977 a	146.9 a	0.2407 b	44.53 b	0.147 b
	DMS	16.266	0.017	23.17	0.051	37.96	0.099	37.87	0.107
	CV (%)	24.4684	41.168	26.68	55.155	24.51	34.32	37.38	42.78

DDP: días después de plantación; las comparaciones de medias de concentración y extracción se aplicaron entre sustratos, por cada nutriente y para cada muestreo, letras diferentes denotan diferencia significativa (Fisher,  $\alpha < 0.05$ ). 1, 2, 3 y 4 número de muestreo; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

**Cuadro 13. Concentración (mg·kg<sup>-1</sup>) y extracción de Fe, Mn, Cu y Zn (mg·planta<sup>-1</sup>) en frutos durante diferentes etapas fenológicas de plantas de fresa cultivadas en fibra de coco, perlita y tezontle**

Elemento	Etapas	40 DDP (1)		100 DDP (2)		160 DDP (3)		220 DDP (4)									
		Sustrato	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.							
Fe	Fibra de coco	104.080	c	0.073	b	143.700	a	1.283	b	106.670	b	2.577	c	58.130	b	2.791	b
	Perlita	169.280	a	0.254	a	175.500	a	2.433	ab	137.730	b	7.728	b	73.530	b	7.058	b
	Tezontle	135.470	b	0.218	a	128.330	a	3.095	a	453.800	a	28.014	a	418.070	a	46.18	a
	DMS	30.929		0.048		54.148		1.53		89.755		3.895		66.806		7.333	
	CV (%)	18.44296		21.4323		29.50		54.82		31.339		24.78229		29.62569		31.91	
Mn	Fibra de coco	31.350	a	0.022	b	45.600	a	0.431	b	41.167	a	0.999	c	22.050	a	1.025	c
	Perlita	46.820	a	0.070	a	36.933	a	0.509	b	30.417	b	1.732	b	21.017	a	2.016	b
	Tezontle	50.650	a	0.083	a	44.433	a	0.946	a	45.917	a	2.933	a	26.900	a	2.979	a
	DMS	25.984		0.042		16.193		0.31		9.295		0.72		6.463		0.623	
	CV (%)	49.1745		59.09875		31.092		39.85		19.2844		30.83		22.52		25.22	
Cu	Fibra de coco	17.650	b	0.012	c	16.350	a	0.161	b	41.517	a	1.000	b	53.233	a	2.618	a
	Perlita	23.283	a	0.035	a	18.167	a	0.248	b	44.750	a	2.516	a	18.483	b	1.787	a
	Tezontle	16.333	b	0.026	b	19.283	a	0.441	a	44.150	a	2.798	a	14.417	b	1.604	a
	DMS	5.102		0.007		7.136		0.171		5.519		0.447		13.077		1.032	
	CV (%)	21.71931		21.86932		32.33549		49.04		10.31608		17.25		37.01128		41.8604	
Zn	Fibra de coco	26.800	a	0.019	b	22.033	b	0.201	b	37.667	a	0.910	b	33.267	a	1.601	b
	Perlita	26.067	a	0.039	ab	28.783	a	0.394	b	41.800	a	2.350	a	41.747	a	4.054	a
	Tezontle	36.350	a	0.058	a	32.383	a	0.749	a	40.733	a	2.614	a	46.467	a	5.232	a
	DMS	17.336		0.027		6.428		0.263		11.957		0.809		18.596		2.09	
	CV (%)	47.37082		57.17242		18.83464		47.77		24.2511		33.56		37.31883		46.73229	

DDP: días después de plantación; las comparaciones de medias de concentración y extracción se aplicaron entre sustratos, por cada nutrimento y para cada muestreo, letras diferentes denotan diferencia significativa (Fisher,  $\alpha < 0.05$ ). 1, 2, 3 y 4 número de muestreo; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

**Cuadro 14. Concentración ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y extracción de micronutrientes Fe, Mn, Cu y Zn ( $\text{mg}\cdot\text{planta}^{-1}$ ) en hoja durante diferentes etapas fenológicas de plantas fresa cultivadas en fibra de coco, perlita y tezontle.**

		Hoja							
Elemento	Etapa Sustrato	40 DDP (1)		100 DDP (2)		160 DDP (3)		220 DDP (4)	
		Conc.	Extr.	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.	Conc.	Extr.
Fe	Fibra de coco	64.220 ab	0.129 b	125.700 a	0.525 b	186.700 ab	1.159 b	116.670 a	0.948 b
	Perlita	84.330 a	0.332 a	135.000 a	1.516 a	139.030 b	2.602 b	140.800 a	2.304 a
	Tezontle	41.480 b	0.200 b	137.770 a	2.049 a	218.730 a	4.401 a	146.870 a	2.852 a
	DMS	22.761	0.116	41.641	0.668	66.186	1.522	47.471	1.204
	CV (%)	29.20	42.956	25.476	39.78	29.635	45.466	28.621	48.082
Mn	Fibra de coco	20.600 b	0.043 b	30.120 b	0.134 b	51.167 b	0.313 c	46.418 a	0.390 b
	Perlita	38.800 b	0.151 b	37.520 b	0.419 b	42.300 b	0.787 b	38.383 a	0.627 b
	Tezontle	126.880 a	0.577 a	133.550 a	1.903 a	68.833 a	1.383 a	51.283 a	0.953 a
	DMS	23.731	0.156	37.763	0.580	12.055	0.390	16.826	0.301
	CV (%)	31.056	49.375	45.759	57.56	18.108	38.259	30.143	37.233
Cu	Fibra de coco	27.083 a	0.056 b	17.050 ab	0.072 b	49.417 a	0.298 b	37.983 a	0.297 a
	Perlita	23.033 ab	0.091 a	20.350 a	0.232 a	51.417 a	0.991 a	33.717 ab	0.554 a
	Tezontle	21.033 b	0.096 a	15.267 b	0.219 a	51.783 a	1.030 a	22.833 b	0.452 a
	DMS	4.2921	0.027	4.043	0.066	3.719	0.282	12.348	0.261
	CV (%)	14.706	26.80	18.716	30.66	5.941	29.598	31.843	48.758
Zn	Fibra de coco	26.617 a	0.051 b	31.150 a	0.136 b	61.133 a	0.371 b	63.930 a	0.516 a
	Perlita	11.317 b	0.046 b	27.880 a	0.314 ab	39.800 b	0.766 a	27.670 a	0.451 a
	Tezontle	34.483 a	0.155 a	38.570 a	0.567 a	38.333 b	0.760 a	66.930 a	1.477 a
	DMS	12.568	0.048	22.201	0.258	12.52	0.301	46.722	1.248
	CV (%)	43.51	46.20	55.452	61.74	21.92	38.63	71.844	124.54

DDP: días después de plantación; las comparaciones de medias de concentración y extracción se aplicaron entre sustratos, por cada nutriente y para cada muestreo, letras diferentes denotan diferencia significativa (Fisher,  $\alpha < 0.05$ ). 1, 2, 3 y 4 número de muestreo; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación

En los Cuadros 7, 8 y 9 se observa que la concentración de los macronutrientos presentó variación en los diferentes órganos de la planta; sin embargo, se pueden establecer algunas generalizaciones al respecto. Tanto en la corona como en frutos y hojas de fresa hubo diferencias significativas entre algunos nutrientes en las diferentes etapas fenológicas para los diferentes sustratos. En concentración nutricional no existe una tendencia definida que favorezca o minimice la efectividad para suministrar nutrientes por algún sustrato. Esto sugiere que las diferencias en la producción de materia fresca entre plantas en diferente sustrato, no afectaron la concentración nutricional, posiblemente debido a que la solución nutritiva fue la misma para todos los sustratos y la diferencia en producción de materia fresca se debió más a efectos ambientales y de sustrato o la interacción sustrato-ambiente y no debido a una variación nutricional en el tejido. En fruto, la concentración de N y Mg mostraron un ascenso desde los primeros cortes y hasta inicio de cosecha, pero en plena cosecha se presentó una disminución; los intervalos de variación fueron 2.19 a 1.85 %, 0.70 a 0.34 % en N y Mg, respectivamente (Cuadro 8), comportamiento observado y descrito por Bottoms *et al.* (2003). Las concentraciones de P y K a través de las etapas de desarrollo mostraron los valores mayores en la etapa de floración, sin embargo, fueron los elementos con menos variación; los intervalos de variación fueron 0.44 a 0.69, 2.34 a 2.5 % en P y K, respectivamente (Cuadros, 7, 8, y 9). Esto coincide con lo obtenido por Domínguez *et al.* (2009) quien reportó un comportamiento estable descendente de N y Mg, desde inicio de cultivo hasta final de cosecha.

Respecto al contenido de N en hojas, corona y fruto de plantas de fresa 'Festival', hubo diferencia significativa entre sustratos; el contenido de N en hojas varió de 1.9 a 2.6 % en tezontle, de 1.4 a 2.9 % en fibra de coco y de 1.2 a 2.7 % en perlita; en tanto que en corona varió de 0.8 a 1.7 %, de 0.8 a 1.77 % y de 0.77 a 1.71 % en tezontle, fibra de coco y perlita, respectivamente (Cuadros 7, 8 y 9). May y Pritts (1990) establecieron que un nivel de N foliar entre 2.0 y 2.8 % es considerado como suficiente para plantas de fresa; sin embargo, encontraron una variación de 1.54 a 1.19 % de nitrógeno en hojas de fresa; los resultados que se exponen sugieren que los intervalos de variación en la concentración de N en hojas se encuentran dentro de los valores sugeridos como adecuados.

Demirsoy *et al.* (2010) observó que el contenido de nitrógeno en todos los órganos de las plantas (hojas, corona y raíz) decrecieron durante la cosecha, atribuyendo esta disminución a la demanda por la formación de frutos; los autores señalan que el contenido de N en diferentes órganos de la planta decrece desde el inicio del periodo de fructificación y hasta el final del mismo.

May y Pritts (1990) señalan como un contenido adecuado de P en hojas de fresa, entre 0.25 y 0.40 %; Stanislavljević *et al.* (1997) reportó un contenido de N en hojas de fresa de 2.32 % y en corona de 0.92 % con un comportamiento descendente a lo largo del desarrollo de la planta; y al cierre de cosecha la concentración de N fue de 2.7 %, pero asociada a una mayor producción de materia seca de éste órgano. Los mismos autores reportaron una concentración de P de 0.28 % en hoja y un 0.14 % en corona. Para el caso de K se reportaron

concentraciones de 1.06 y 0.45 % en hojas y corona, respectivamente (Cuadros 7 y 9). Los resultados de la presente investigación muestran que el contenido de P, estuvo dentro de los intervalos considerados adecuados; sin embargo, se aprecia un ligero descenso en el contenido de P en corona y hojas (0.36 a 0.24, 0.40 a 0.25), especialmente en la etapa de plena cosecha, que ocurrió a mediados de Marzo de 2015, cuando se dio una aceleración de la floración y fructificación, por aumento de la radiación y temperatura.

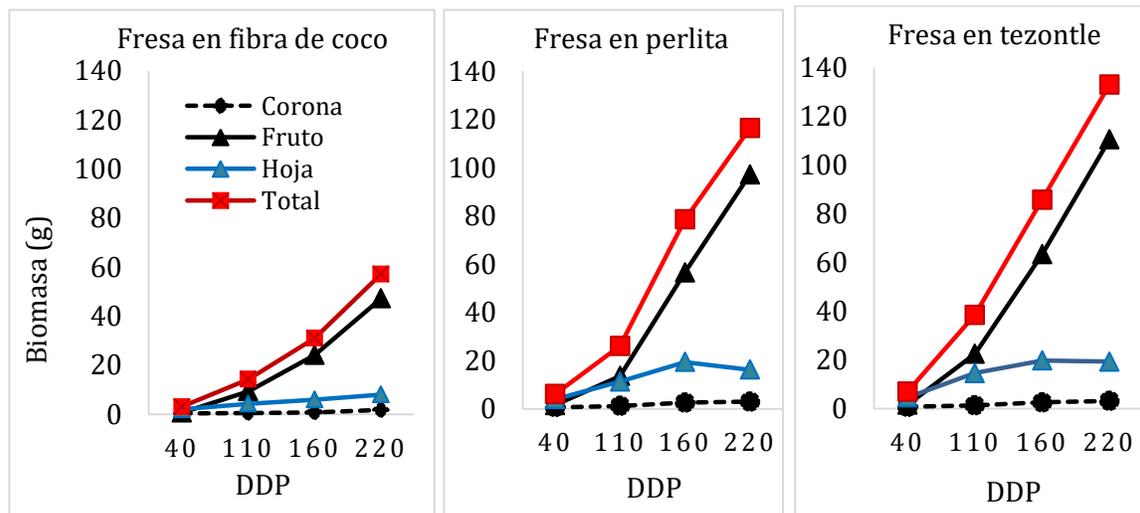
### **5.2.2. Producción de biomasa**

Los resultados de materia seca y calidad de fruto, correspondientes al final de cosecha se muestran en los Cuadros 13, 14 y 15; estos indican que, independientemente de la producción de materia seca total en cada tipo de sustrato, la distribución proporcional de esta entre órganos, fue similar en todos los tratamientos: 14, 83 y 3% para hoja, fruto y corona, respectivamente, en relación al total de la planta; esta proporción en la distribución de materia seca es atribuible, más a características genéticas de la planta que a factores externos o condiciones ambientales (Agüero, 2002).

La Figura 19 demuestra que existen diferencias importantes de producción de materia seca entre sustratos; al finalizar la cosecha se registró una producción de materia seca en fruto de 47.3, 97.1 y 110.6 g·planta<sup>-1</sup>, para fibra de coco, perlita y tezontle, respectivamente; para hoja fue de 8.1, 16.2 y 19.3 g·planta<sup>-1</sup> y para corona fue de 1.8, 2.9, 3.3 g·planta<sup>-1</sup> en el mismo orden de sustratos; la fibra de

coco fue el sustrato donde se registró la menor producción de materia seca, en tanto que perlita y sobre todo tezontle promovieron una mayor producción.

La acumulación ( $\text{mg}\cdot\text{órgano}^{-1}$ ) de N, fue en el orden fruto>hoja>corona, un comportamiento similar se observó para P, K, Mg (Figura 19).



**Figura 19. Producción de biomasa acumulada total y por órganos de planta de fresa ‘Festival’, cultivada en fibra de coco (a), perlita (b) y tezontle (c) durante diferentes etapas de desarrollo del cultivo (desarrollo vegetativo a fin de cosecha, 40 a 220 DDP).**

Varios autores han demostrado una estrecha correlación entre la producción de biomasa y la extracción nutrimental específica (Agüero, 2002; Sonneveld y Voogt, 2009); sin embargo, dicha correlación puede verse modificada por las características del cultivo, las proporciones de iones en la solución nutritiva de aporte, la etapa y órgano de crecimiento que se analice y la parte útil cosechada (Agüero, 2002).

**Cuadro 15. Acumulación de biomasa y de macro nutrientes en órganos de plantas de fresa en tezontle, durante la de cosecha (160 DDP).**

	Órgano	biomasa		N	P	K	Mg
		g·órgano <sup>-1</sup>	Proporción (%)				
<b>Tezontle</b>	Hoja	19.301	14%	372.759	142.466	384.79	38.387
	fruto	110.604	83%	1253.493	316.2696	2157.69	243.835
	Corona	3.209	2%	44.549	8.349	38.368	14.555

**Cuadro 16. Acumulación de biomasa y de macro nutrientes en órganos de plantas de fresa en perlita, durante la etapa de cosecha (160 DDP).**

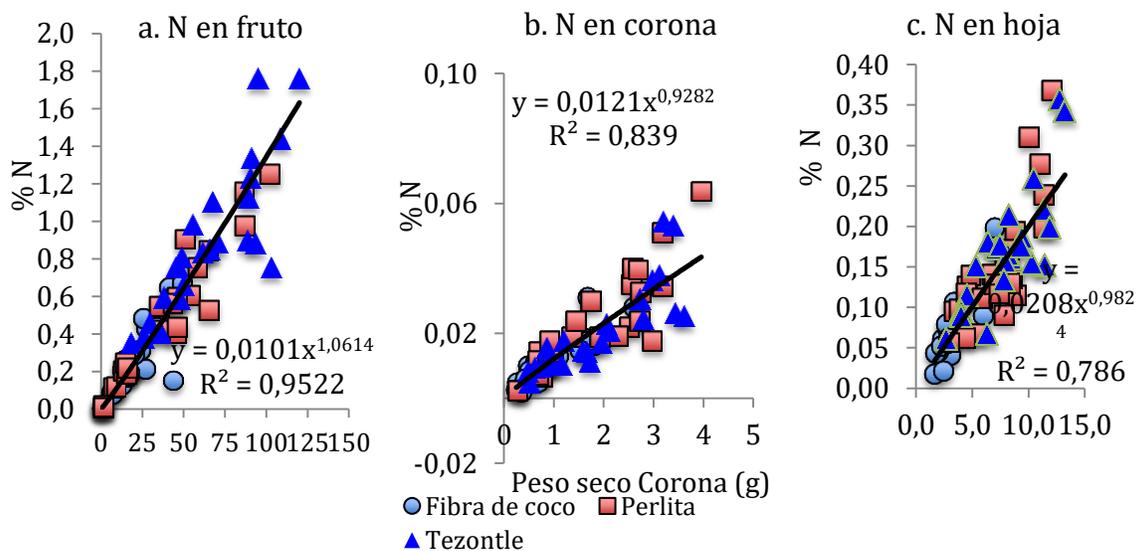
	Órgano	biomasa		N	P	K	Mg
		g·órgano <sup>-1</sup>	Proporción (%)				
<b>Perlita</b>	Hoja	16.243	14%	306.569	82.784	332.462	47.269
	fruto	97.147	84%	1147.877	227.976	1563.558	215.46
	Corona	2.953	3%	43.652	6.572	34.331	13.808

**Cuadro 17. Acumulación de biomasa y de macro nutrientes en órganos de plantas de fresa en fibra de coco, durante la etapa de cosecha (160 DDP).**

	Órgano	biomasa		N	P	K	Mg
		g·órgano <sup>-1</sup>	Proporción (%)				
<b>Fibra de coco</b>	Hoja	8.1043	14%	145.947	56.852	198.961	32.0335
	fruto	47.274	83%	470.413	164.36	851.08	111.695
	Corona	1.812	3%	21.108	6.069	25.152	7.843

Cuadros 15, 16 y 17: g·órgano<sup>-1</sup> y mg·órgano<sup>-1</sup> para producción y extracción acumulada de biomasa y nutrientes durante la etapa de fin de cosecha, respectivamente; la proporción de materia seca (%), es con referencia a la suma de los tres órganos.

La concentración de los nutrientes puede aumentar o disminuir en relación a la producción de biomasa (Agüero, 2002), aunque la tasa de incremento o decremento varía de acuerdo al órgano de la planta, en función de los procesos metabólicos y fisiológicos que determinan la partición de biomasa (Bertsch, 2009; Sonneveld y Voogt, 2009). Independientemente de los tratamientos, el fruto presentó la mayor tasa de incremento en concentración de nitrógeno con una correlación  $R^2$  de 0.95 con el incremento en materia seca, la corona también muestra una correlación alta entre concentración de N y materia seca con una  $R^2$  de 0.84, aunque su tasa de incremento es la más baja; en tanto que la hoja exhibe la correlación más baja con una  $R^2$  de 0.78 entre concentración de N e incremento en biomasa (Figura 20).



**Figura 20. Concentración de nitrógeno en fruto (a), corona (b) y hoja (c) de plantas de fresa cultivada en fibra de coco, perlita y tezontle.**

Este comportamiento confirma el patrón de partición de los nutrimentos, en función de la actividad metabólica de cada órgano; la hoja como fuente y translocación de nutrimentos y el fruto y raíz como sumidero de los mismos (Taiz y Zeiger, 2003; Azcón-Bieto y Talón, 2008).

### **5.2.3. Calidad de fruto**

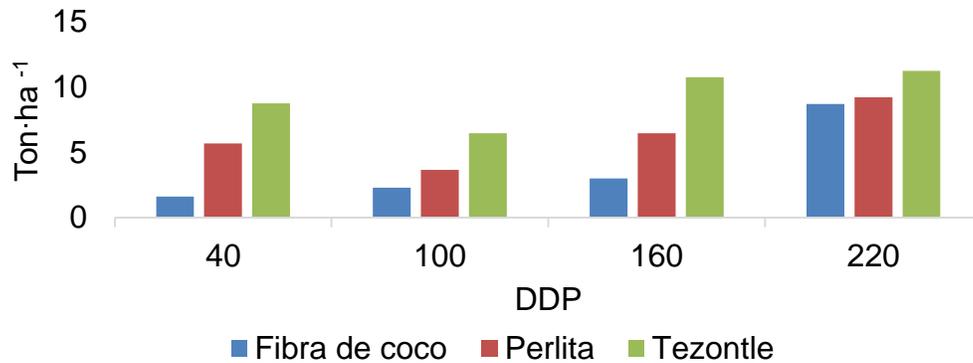
Se analizó la acidez titulable (AT) (% de ácido cítrico) y sólidos solubles totales (SST) (°Brix) en fruto, con el fin de identificar variaciones atribuibles al uso de sustratos nuevos y usados; los resultados se muestran en el Cuadro 16. Se pueden destacar tres aspectos: 1) el contenido de SST de 8-8-32 °Brix, fue similar a lo reportado por Martínez-Bolaños, (2008) en fresa 'Festival', Montero *et al.*, (1996) menciona que el mayor contenido de SST en frutos, les confiere una mayor calidad para consumo en fresco ; 2) A pesar de que las principales normas de calidad para exportación de fresa no determinan las concentraciones de AT requeridas en frutos de fresa para su consumo en fresco, frutos menos ácidos son preferidos, una concentración máxima de 0.8%, es recomendada para un sabor aceptable (Montero, *et al.*, 1996); los valores encontrados( 0.34 %) son menores a los reportados por Martínez-Bolaños de 0.47 % de AT en fresa 'festival', cosechada en mayo; 3) La calidad del fruto no se vio afectada por el sustrato ni por el tiempo de uso, lo cual sugiere que para la partición de minerales, la formación y desarrollo del fruto es prioritaria (Marschner, 2003; Mengel y Kirky, 2001).

**Cuadro 18. Peso fresco promedio de fruto y calidad de frutos de fresa en sustratos nuevos y usados.**

<b>Sustrato</b>	<b>Peso fresco fruto (g·fruto<sup>-1</sup>)</b>	<b>Sólidos solubles totales (°Brix)</b>	<b>ácido cítrico (%)</b>
tezontle nuevo	11.36	8.01	0.34
tezontle usado	11.15	8.32	0.35
perlita nuevo	9.85	8.07	0.34
perlita usado	10.56	8.05	0.34
fibra de coco nuevo	9.21	8.26	0.34
fibra de coco usado	9.96	8.18	0.35

#### **5.2.4. Rendimiento de frutos**

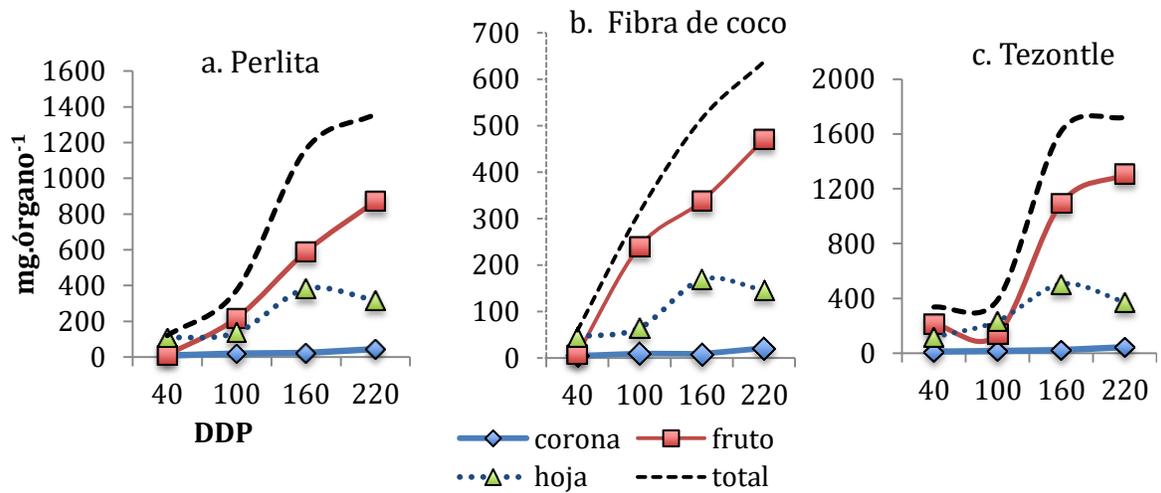
Respecto al rendimiento, no se detectó diferencia entre sustratos a los 220 DDP; sin embargo, se aprecia en la figura 21, una diferencia en los muestreos 40, 100 y 160 DDP. Destaca que: 1) Desde el inicio de cosecha y hasta el cierre de la misma, el tezontle registró mayor cantidad de frutos cosechados; en tanto la fibra de coco inicio con un bajo rendimiento (40 DDP) de fruto y fue hasta los dos últimos meses (220 DDP) que logró una recuperación para colocarse al nivel de producción obtenido en perlita; 2) Se percibe una caída del rendimiento general a los 100 DDP, atribuible a un efecto ambiental (bajas temperaturas, baja humedad relativa, días cortos) y ataque de araña roja (promovida por las condiciones del ambiente); 3) Los rendimientos promedio por hectárea reflejan los efectos directos e indirectos de las propiedades de cada sustrato: 30.2, 41.87 y 57.87 t·ha<sup>-1</sup> para fibra de coco, perlita y tezontle, respectivamente.



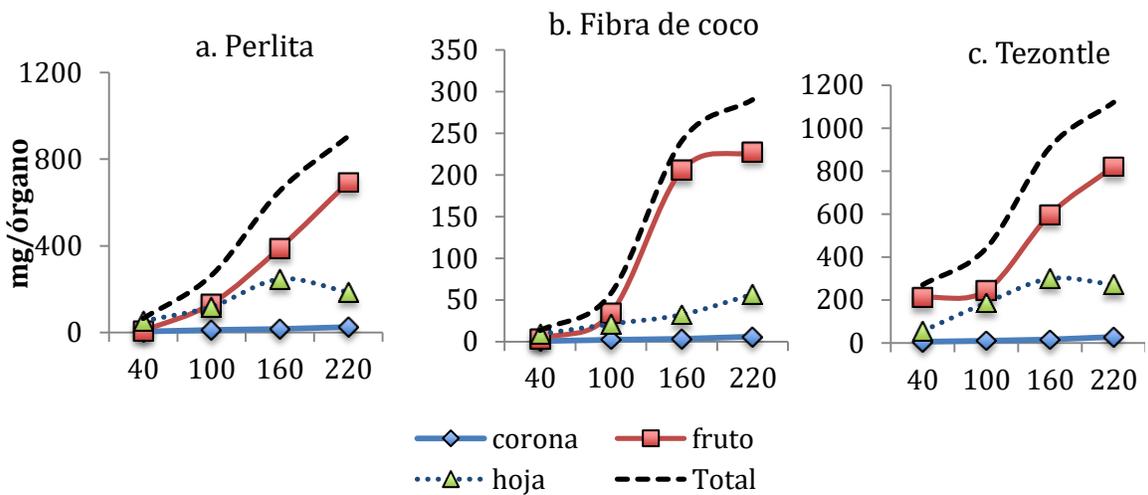
**Figura 21. Rendimiento ( $t \cdot ha^{-1}$ ), de fresa cultivada en tres sustratos.**

### **5.2.5. Curvas de extracción de macronutrientes en plantas de fresa y su relación con el sustrato de cultivo.**

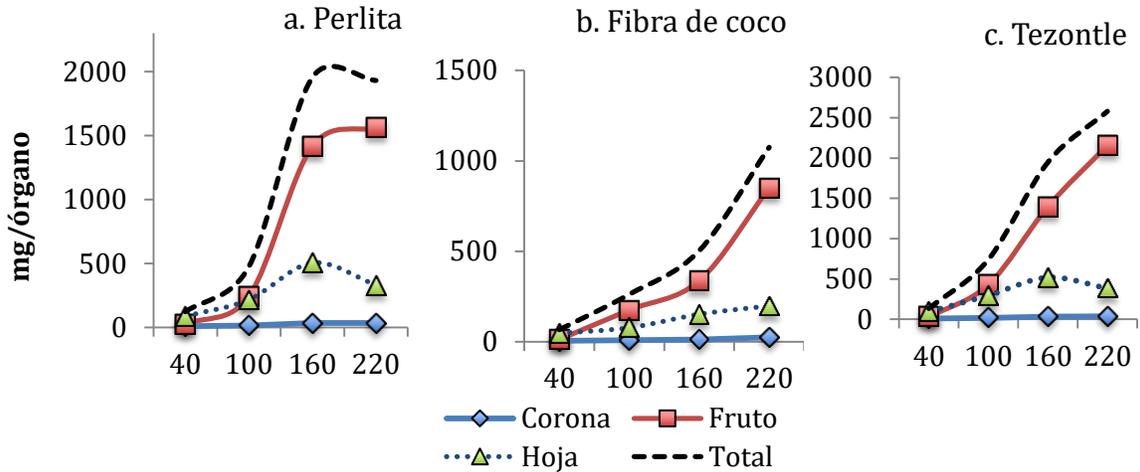
De acuerdo con los resultados mostrados en las Figuras 22, 23 se puede decir que el fruto es el órgano que domina la tasa de absorción de nutrientes, de tal manera que la planta es capaz de trascolar los asimilados producidos en las hojas a otras partes de la misma con alta actividad metabólica, como el fruto en fresa que se cosecha semanalmente y de manera continua se promueve nueva floración. De no existir una adecuada nutrición y balance nutrimental, se presenta una disminución de la concentración de nutrientes en las hojas. Fageria *et al.*, (2008) señala que una vez absorbidos los nutrientes por la planta, las diferencias de partición hacia los diferentes órganos corresponden a las diferencias en la capacidad de utilización de esos minerales regulados por relaciones fuente-demanda (Taiz y Zeiger, 2003; Nobel, 2009).



**Figura 22. Extracción de N en órganos de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico.**



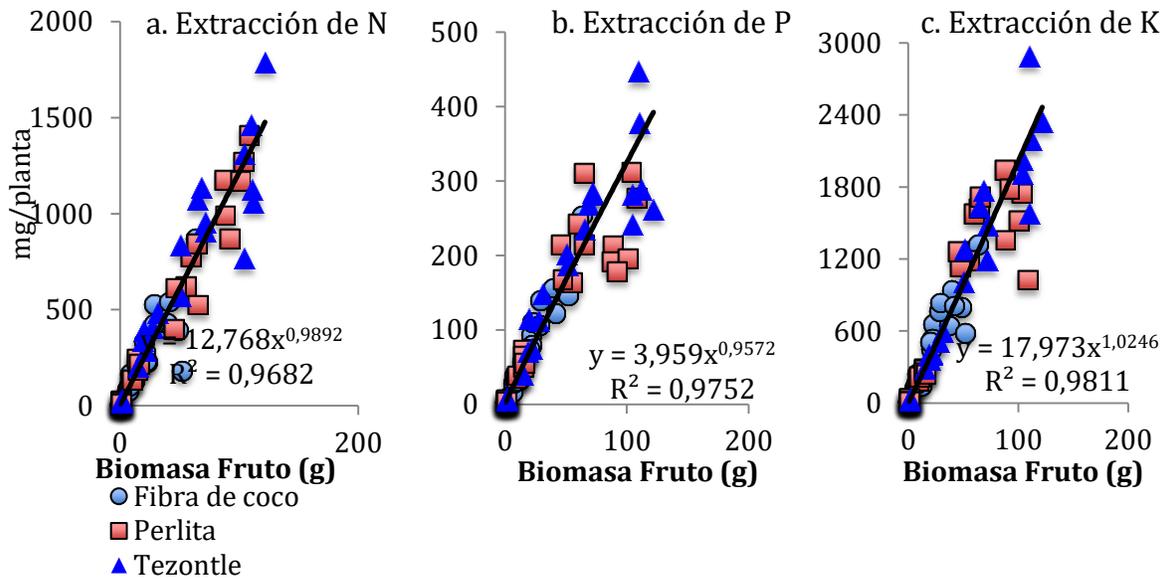
**Figura 23. Extracción de P en órganos de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico.**



**Figura 24. Extracción de K en órganos de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico.**

En la Figura 25 se presentan los datos de la extracción de N, P, K ( $\text{mg}\cdot\text{planta}^{-1}$ ) en función de la biomasa del fruto, de manera independiente al sustrato de cultivo; las líneas de tendencia y los valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) sugieren que existe una relación estrecha y positiva entre la producción de materia seca en fruto y la extracción nutrimental.

En el cuadro 19 se muestran los resultados de la evaluación de las relaciones entre nutrientes absorbidos por la planta en los tres órganos corona, fruto y hoja; a través del coeficiente de correlación de Pearson ( $R^2$ ) se determinó si existen o no relación directa o inversa de extracción entre los nutrientes; para los valores de extracción de N, P, K correlacionados en pares con los valores de extracción de N, P, K, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn. Destacan dos aspectos relevantes:



**Figura 25. Extracción de N, P y K en relación con la biomasa de frutos de fresa cultivada en tres sustratos diferentes, en un sistema hidropónico.**

- 1) El modelo que genera la mayor  $R^2$  fue  $Y = aX^b$  que explica las relaciones mencionadas durante las etapas de mayor producción y extracción nutricional;
- 2) Se observa que en el fruto, todas las correlaciones de pares de nutrientes generan una  $R^2 > 0.7$ , en tanto que la hoja presentó el menor número de valores con  $R^2 > 0.7$ ; este comportamiento posiblemente está asociado al proceso de translocación de nutrientes, del órgano fuente más importante que es la hoja, hacia el órgano de asimilación más activo que es el fruto.

A partir de los resultados expuestos se puede decir que: 1) A mayor acumulación de materia seca corresponde una mayor extracción de nutriente como se muestra en la Figura 24.

**Cuadro 19. Coeficientes de correlación de Pearson ( $R^2$ ) entre pares de valores de extracción nutrimental de N, P, K, con macro y micronutrientes, en corona, fruto y hoja de plantas de fresa en hidroponía.**

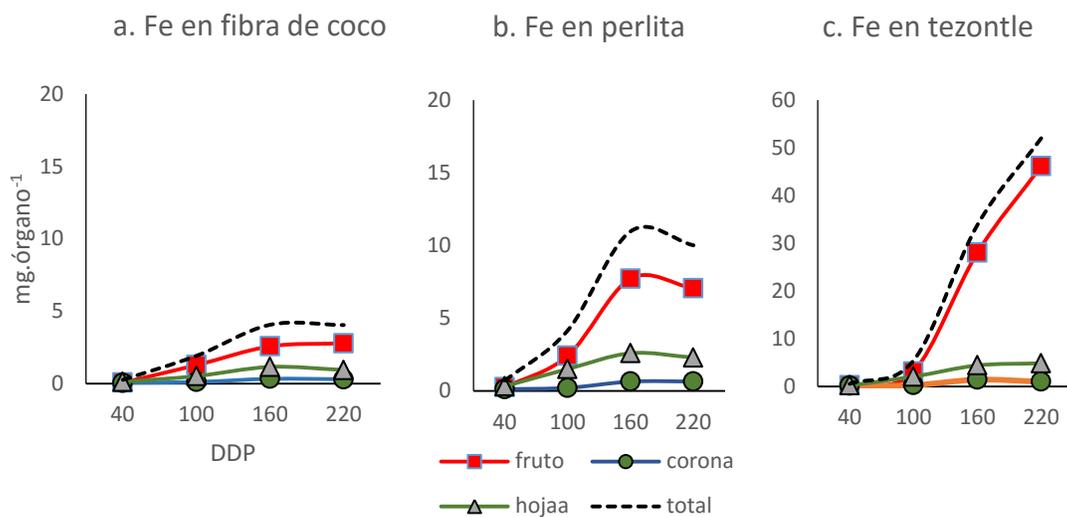
Elemento	N			P			K		
	corona	fruto	hoja	corona	fruto	hoja	corona	fruto	hoja
P	0.78	0.93	0.75						
K	0.71	0.92	0.88	0.84	0.94	0.79			
Fe	0.37	0.79	0.70	0.64	0.79	0.67	0.73	0.81	0.82
Mn	0.41	0.90	0.64	0.72	0.88	0.69	0.70	0.86	0.65
Cu	0.31	0.75	0.85	0.66	0.82	0.60	0.69	0.84	0.85
Zn	0.41	0.86	0.57	0.72	0.86	0.54	0.71	0.90	0.60
Mg	0.69	0.93	0.48	0.85	0.93	0.4	0.84	0.91	0.53

2) La tasa de extracción puede verse afectada por factores externos, como es el caso del tipo de sustratos (Figuras 22, 23 y 24), a partir de los datos mostrados en los cuadros 7, 8 y 9, se sumaron las extracciones por nutrimento (N, P, K, Mg) de todos los órganos de cada planta, para estimar la extracción total; los resultados indican que la fibra de coco fue el que tuvo la menor extracción nutrimental y acumulación de materia seca, siguiéndole la perlita y finalmente el tezontle con 1417.08, 3153.8 y 3862.4  $\text{mg}\cdot\text{planta}^{-1}$  de N. respectivamente; para el caso de la extracción de fósforo de plantas en perlita, la extracción total por planta fue 434.3, 751.6 1023.24  $\text{mg}\cdot\text{planta}^{-1}$  mientras que para tezontle fue 2194.6, 4484.2, 5404.07  $\text{mg}\cdot\text{planta}^{-1}$ . No hubo diferencia significativa entre sustratos nuevo y usado, excepto para la fibra de coco, en los muestreos de desarrollo vegetativo y floración (40 y 100 DDP), atribuible al proceso de degradación e inmovilización nutrimental que experimentan los sustratos orgánicos; 3) Se aprecia que en desarrollo vegetativo y floración (40 y 100 DDP) la extracción fue similar entre sustratos, es

decir que la perlita y sobre todo el tezontle no mostraron una mayor extracción; sin embargo, para la etapa de plena cosecha se observan diferencias significativas entre sustratos: la extracción de N en corona fue significativamente diferente con 8.78, 22.6 y 21.41 mg·planta<sup>-1</sup> para FC, PE y TE, respectivamente; la extracción de P en corona fue de 3.03, 7.04, 7.32 mg·planta<sup>-1</sup> para los mismos sustratos, para Mg en corona fue de 71.91, 161, 196 mg·planta<sup>-1</sup>, respectivamente; en igual sentido, la extracción de N en hoja fue significativamente diferente con 168.6, 509.3 y 505 mg·planta<sup>-1</sup> para FC, PE y TE.

#### **5.2.6. Curvas de extracción de micronutrientes en plantas de fresa y su relación con el sustrato de cultivo**

Respecto a la extracción de micronutrientes, los resultados expuestos en los Cuadros 10, 11 y 12, muestran comportamientos contrastantes; para el caso de la corona, desde la etapa de crecimiento vegetativo (40 DDP) y hasta el inicio de cosecha (100 DDP), el Fe y Mn mantuvieron concentraciones similares; destaca que durante esta etapa el crecimiento vegetativo de la planta no fue tan rápido por efecto de las bajas temperaturas de invierno; sin embargo Cu y Zn mostraron diferencias desde el inicio; sin embargo, en tezontle se mantuvo una mayor concentración (46.48, 70.53 ppm, de Cu y Zn, respectivamente), en tanto que fibra de coco se mantuvo con 30.483, 49.08 ppm, en los mismos nutrientes; al aumentar la cosecha y hasta el término del ciclo, se presentaron diferencias en la concentración de micronutrientes en el siguiente orden tezontle  $\geq$  perlita > fibra de coco.



**Figura 26. Extracción de Fe en órganos de plantas de fresa cultivadas en tres sustratos, en un sistema hidropónico.**

Para el caso de extracción de micronutrientes en fruto, el comportamiento fue similar al de corona, en los tres sustratos, destaca que la cantidad extraída fue, con el orden de extracción  $Fe \geq Mn > Cu \geq Zn$ .

## 9. CONCLUSIONES

El tiempo de uso de los sustratos perlita y tezontle, no afectaron la producción de biomasa, rendimiento y calidad de fruto, la fibra de coco presentó diferencias significativas entre nueva y reusada, al menos hasta inicio de floración.

Los sustratos fibra de coco, perlita y tezontle usados durante dos ciclos de cultivo, presentaron alteraciones en las variables físicas espacio poroso total, retención de humedad, capacidad de aireación, agua fácilmente disponible, densidad aparente y distribución de tamaños de partículas; en perlita y tezontle los cambios más pronunciados se registraron hasta el segundo ciclo de reuso.

La mayor correlación entre propiedades físicas se encontró entre espacio poroso total con capacidad de retención de humedad y agua difícilmente disponible, independientemente de la naturaleza del sustrato.

Los cambios en las propiedades físicas de los sustratos perlita y tezontle, no fueron suficientes para modificar de manera significativa el comportamiento de sus respectivas curvas de retención de humedad, después de dos ciclos de cultivo.

El agua de reserva y agua difícilmente disponible fueron las propiedades más estables en los tres sustratos, durante los dos ciclos de cultivo.

La descomposición de la fibra de coco se asoció con incrementos en la capacidad de retención de humedad, espacio poroso total, agua fácilmente disponible y agua difícilmente disponible.

La estabilidad en las propiedades físicas del tezontle durante dos ciclos de cultivo continuo, se asoció con mayor producción de biomasa y mayor rendimiento de fruta.

El tiempo de uso de los sustratos tezontle, perlita y fibra de coco nuevos y usados no afectó la concentración de nutrimentos en el tejido vegetal, ni en la partición de éstos en corona, hoja y fruto de fresa.

El fruto fue el órgano que presentó la mayor extracción de nutrimentos, relacionada directamente con el incremento en biomasa; mientras que la hoja exhibió la más baja correlación entre extracción de nutrimentos e incremento en biomasa.

La extracción nutrimental fue afectada por la naturaleza del sustrato pero no por su tiempo de uso: las plantas de fresa cultivadas en tezontle presentaron

la mayor extracción y acumulación de biomasa, siguiéndole la perlita y finalmente la fibra de coco.

## V BIBLIOGRAFIA CITADA

- ABAD, B. M.; NOGUERA, M.P.; CARRIÓN, B. C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: *Tratado de cultivo sin suelo*. G. M. Urrestarazu (Ed.), (3ra ed.). España: Ediciones Mundi Prensa. pp. 113-237.
- ABAD-ELMONIEM, E.M.; EL-BEHAIRY, U.A. 2005. Effect of reusing perlite and pumice as a substrate on yield and Mineral composition of strawberry plants. *Egypt Journal of Horticulture* (31), 13-21.
- ACUÑA, R.; BONACHELA, S.; MAGÁN, J.; MARFÀ, O.; HERNÁNDEZ, J.; CÁCERES, R. 2013. Reuse of rockwool slabs and perlite grow-bags in a low-cost greenhouse: Substrates' physical properties and crop production. *Scientia Horticulturae*, 160, 139-147.
- ADAMS, P. 2004. Aspectos de la nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo. In: Urrestarazu, G. M. (ed). *Tratado de Cultivo sin Suelo*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 81-111.
- AGÜERO, J.J. 2002. Bases nutricionales del cultivo de la frutilla (*fragaria x ananassa* Duch). (Magister), Universidad de Buenos Aires, Tucumán. 78 p.
- AGÜERO, J.J.; KIRSCHBAUM, D.S. 2015. Response to fertilization associated to leaf mineral content in strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 38(1), 116-126.
- ALCANTAR G.; SANDOVAL V.M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 155 p.
- ANDRIOLO, J.L.; ERPEN, L.C.; FRANCIELI L.; COCCO, C.; CASAGRANDE, G.S.; JÄNISCH, D.I. 2011. Nitrogen levels in the cultivation of strawberries in soilless culture. *Horticultura Brasileira*(29), 516-519.
- AOAC. 2012. *Analysis of AOAC International*. G.BloW. Latimer (Ed), 18 ed. Gaithersburg, Maryland USA.: AOAC International. 10 p.

- AVITIA-GARCÍA, E.; PINEDA-PINEDA, J.; CASTILLO-GONZÁLEZ, A. M.; TREJO-TÉLLEZ, L. I.; CORONA-TORRES, T.; CERVANTES-URBÁN, E. 2014. Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(3):519-524.
- AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN, M. 2008. *Fundamentos de Fisiología vegetal*. Ed. Universitat de Barcelona, (2da. Ed). España. 651 p.
- BERTSCH, F. 2009. *Absorción de Nutrientes por los Cultivos*. Ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 308 p.
- BLOK, C.; DE KREIJ, C.R.; BAAS.; WEVER, G. 2008. Analytical Methods Used in Soilless Cultivation. In: *Soilless Culture: Theory and Practice* M. Raviv and J. H. Lieth (Eds.). United States of America: Editorial Elsevier. pp. 245-290
- BONET-GIGANTE, J. 2010. *Desarrollo y caracterización de herramientas genómicas en fragaria diploide para la mejora del cultivo de fresa*. (Ph.D.), Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España. 241 p.
- BOTTOMS, G.T.; BOLDA, P.M.; GASKELL, L.M.; HARTZ, K.T. 2013. Determination of Strawberry nutrient optimum ranges through diagnosis and recommendation integrated system analysis. *HortTechnology*, 23(3):312-318.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. 2002. *The nature and properties of soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River N J. USA. 965 p.
- CADAHÍA, C. 2005. *Fertirrigación: Cultivos hortícolas y ornamentales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp 299-354.
- CAMPBELL, R.; MINER, G.S. 2000. Strawberry, annual hill culture. In C. R. Campbell (Ed.), *Reference sufficiency ranges of plant analysis in the Southern Region of the US* (pp. 111-112). Raleigh, NC: North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services Agronomic Division.
- CHAPMAN, H. D. Y P. F. PRATT. 1979. *Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas*. Ed. Trillas. D.F., México. pp. 67-70.

- CASO, C.; CHANG, M.; RODRÍGUEZ-DELFÍN, A.; MARTÍNEZ, P. 2009. Effect of the growing media on the strawberry production in column system. Paper presented at the International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics, Lima, Peru, 25-28 August 2008.
- CIMMYT, 2013. Distribución de los agregados del suelo tamizado en seco: guía útil para comparar las prácticas de manejo del suelo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México. 4 p.
- CONAFRE. 2011. Sistema Producto Fresa: Plan Rector Nacional 2012. Zamora, Mich.: Consejo Nacional de la Fresa A.C. Comité de la Agroindustria y Productores de la Fresa A.C. 43 p.
- D'ANNA, F.; INCALCATERRA, G.; MONCADA, A.; MICELI, A. 2003. Effects of Different Electrical Conductivity Levels on Strawberry Grown in Soilless Culture. *Acta Horticulturae*, 609:355-360.
- DÁVALOS-GONZÁLEZ, P. A.; AGUILAR-GARCIA, R.; JOFREY-GARFIAS, A. E.; HERNÁNDEZ-RAZO, A.R.; VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, M. N. 2011. Tecnología para sembrar viveros de fresa (INIFAP-SAGARPA Ed. 1ra. ed. Vol. 3). Celaya, Gto.: INIFAP.
- DE BOODT, M.; VERDONCK, O.; CAPPAERT, I. 1974. Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Horticulturae*, 37:2054-2062. doi:<http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.1974.37.20>
- DEMIRSOY, L.; DEMIRSOY, H.; ERSOY, B.; BALCI, G.; KIZILKAYA, R. 2010. Seasonal variation of N, P, K and Ca content of leaf, crown and root of 'Sweet Charlie' strawberry under different irradiation. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97(1):23-32.
- DÍAZ-RODRÍGUEZ, E.; PÉREZ-SALCEDO, E. R.; MACIAS-RODRÍGUEZ, D. EGUIARTE-GONZÁLEZ, R.; S. MUNGUÍA-MENA, S. 2013. Reuso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoamericana*, 31(4):275-284.

- DOMÍNGUEZ, A.; MARTÍNEZ, E.; TRIGO, A.; ALONSO, D.; GARCÍA, R.; SÁNCHEZ, R., TOMÁS, T. 2009. Seasonal Changes in Leaf Mineral Content May Affect Foliar Diagnostic in Strawberry. *Acta Horticulturae*, 842:147-150. 4. doi:DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.842.16
- DONG, J.; ZHANG, Y.T.; WANG, G.X.; JIN, W.M. 2009. Effects of Substrate Culture on Strawberry Growth and Development in Greenhouse. *Acta Horticulturae*, 842:1007-1010.
- EVANS, M.R.; KONDURU, S.; STAMPS, R.H. 1996. Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *HortScience*, 31(6): 965-967.
- FAGERIA, N.K.; LI, V.C. 2008. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. *Journal of Plant Nutrition* 31:1121-1157.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, CH.A. 2011. Growth and mineral nutrition of field crops. Third Edition. CRC Press, 560 p.
- FERRE, D.C.S.; E.J. (1988). Seasonal plant shading growth and fruiting in "Earligrow" strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:322-327.
- FONTENO, W.; HARDIN, C.; BREWSTER, J. 1995. Procedures for determining physical properties of horticultural substrates using the NCSU Porometer. Horticultural Substrates Laboratory, North Carolina State University. 23 p.
- GIUFFRIDA, F.; LEONARDI, C.; MARFÀ, O. 2008. Substrate reuse in tomato soilless cultivation. *Acta Horticulturae*, 801:1577-1581.
- HANCOCK, J.F. 1999. Crop production science in horticulture 11. Strawberries. CAB International Publishing. London, UK. 236 p.
- HANDRECK, K.A.; BLACK, N. 2010. Growing media for ornamental plant and turf. Revised edition. New South Wales University Press. Kensington, Australia. 544 p.
- HOCHMUTH, G.; ALBREGTS, E. 2003. Fertilization of strawberries in Florida *CIR*. 1141. University of Florida, IFAS Extension. 5 p.

- HOGAN, J.D.; MURRAY, E.E.; HARRISON, M.A. 2006. Ethylene production as an indicator of stress conditions in hydroponically-grown strawberries. *Scientia Horticulturae*, 110(4):311-318.
- JAFARNIA, S.; KHOSROWSHAHI, S.; HATAMZADEH, A.; TEHRANIFAR, A. 2010. Effect of substrate and variety on some important quality and quantity characteristics of strawberry production in vertical hydroponics system. *Advances in Environmental Biology*, 4(3):360-363.
- JONES J.B. JR. 1998. Plant Nutrition Manual. CRC Press. Florida, USA. 149 p.
- JONES, J.B.; WOLF, B.; MILL, H.A. 1996. Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide (1 ed.). Athens, Georgia: MicroMacro Publishing. 213 p.
- LEMAIRE, F. 1995. Physical Chemical and Biological Properties of Growing Medium. *Acta Horticulturae*, 396:273-284. doi:10.17660/ActaHortic.1995.396.33.
- LEMAIRE, F.; DARTIGUES. A.; RIVIERE. L.M.; CHARPENTER, S.; MODEL, P. 2005. Cultivos en Maceta y Contenedores. Principios Agronomicos y Aplicaciones. Ediciones Mundi-Prensa. 2da edición. Madrid, España. 210 p.
- LIETEN, F.; MARCELLE, R. 1993. Relationships between fruit mineral content and the albinism in 'Elsanta' Strawberry plants. *Acta Horticulturae* 348: 249-298.
- LIETEN, F.; MISOTTEN, C. 1993. Nutrient Uptake of Strawberry Plants ( cv. Elsanta) Grown on Substrate. *Acta Horticulturae*, 348:299-306.
- MAHER, M.; PRASAD, M.; RAVIV, M. 2008. Organic Soilless Media Components. In: *Soilless Culture: Theory and Practice*. M. Raviv & J. H. Lieth (Eds.), (1ra ed.). San Diego, CA: Elsevier. 459-494.
- MARFÁ, O. 2000. Recirculación en cultivos sin suelo. Compendios de Horticultura 14. Ediciones de Horticultura S. L. España, 177 p.

- MARSCHNER, P. 2012. Marschner's Mineral nutrition of higher plants. Third edition. Academic Press. London. 649 p.
- [http:// www.sciencedirect.com/science/book/9780123849052](http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123849052)
- MARTÍNEZ-BOLAÑOS, M., NIETO-ANGEL, D., TÉLIZ-ORTIZ, D., RODRÍGUEZ-ALCAZAR, J., MARTÍNEZ-DAMIAN, MA. T., VAQUERA-HUERTA, H., CARRILLO-MENDOZA, O.. (2008). Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. Revista Chapingo. Serie horticultura, 14(2): 113-119.
- MAY, G.M.; PRITTS, M.P. 1990. Strawberry nutrition. *Adv. Strawberry Prod.* 9:10-14.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. 2001. Principles of Plant Nutrition. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher. 849 p.
- MONTERO, J.I.; ANTÓN, A.; TORRELLAS, M.; RUIJS, M. 2012. *EUphoros*, Deliverable 5. Report on economic and environmental profile of new technology greenhouses at the three scenarios. Retrieved from EUphoros Report (IRTA), The Netherlands. 103 p.
- MONTERO, T. M.; MOLLÁ, E. M.; ESTEBAN, R. M.; ANDRÉU, F., J. L. 1996. Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae* 65:239–250.
- MORARD, P.; LACOSTE, L.; SILVESTRE, L. 2000. Effect of oxygen deficiency on uptake of water and nutrients by tomato plants in soilless culture. *J. Plant Nutr.* 3(8):1063-1078.
- MORGAN, L. 2006. Hydroponic Strawberry Production: A technical guide to the hydroponic production of strawberries (1 ed.). New Zealand: Suntec International Hydroponic Consultants. 117 p.
- NOGUERA, P.A.; PUCHADES, A. M.; NOGUERA, V. 2003. Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container

medium. *Communications in soil science and plant analysis*, 34(3-4):593-605.

OJODEAGUA, A.J.L.; CASTELLANOS, R.J.Z.; MUÑOZ, R.J.J.; ALCÁNTAR, G. G.; TIJERINA, CH.L.; VARGAS, T.P.; ENRÍQUEZ, R.S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(4):367-374.

OROZCO, R.; MARFÀ, O. 1995. Granulometric alteration, air-entry potential and hydraulic conductivity in perlites used in soilless cultures. *Acta Horticulturae*. 408:147-161

PARANJPE, A.; CANTLIFFE, D.J.; LAMB, E.M.; STOFFELLA, P.J.; POWELL, C. 2003. Winter strawberry production in greenhouses using soilless substrates: an alternative to methyl bromide soil fumigation. *Proceedings of the Florida State for Horticultural Science*, 116(1):98-105.

PARDOSSI, A.; CARMASSI, G.; DIARA, C.; INCROCCI, L.; MAGGINI, R.; MASSA, D. 2011. *Fertigation and substrate Management in closed soilless culture*. Retrieved from EUphoros Project: KBB-2007.

<http://www.wageningenur.nl/en/Research-Results/Projects-and-programmes/Euphoros-1/Reports.htm>

PÉREZ-BUENAFUENTE, A.; REGALADO, C.M.; CID, M.C. 2004. Consecuencias hidrológicas de la compactación en fibra de coco. *Actas VII Jornadas del Grupo de Sustratos de la Sociedad Española de ciencias hortícolas SECH.*, 71-76 pp.

PIMENTEL, J.L.; VELÁZQUEZ, M. 2008. Impacto socioeconómico de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del río Duero y su importancia en la producción de fresa; Informe técnico. Zamora, Mich. : SAGARPA-CONAFRE A.C. 120 p.

PINEDA-PINEDA, J.; AVITIA-GARCÍA, E.; CASTILLO-GONZÁLEZ, A.M.; CORONA-TORRES, T.; VALDEZ-AGUILAR, L. A.; GÓMEZ-HERNÁNDEZ,

- J. 2008. Extracción de Macronutrientos en Frambueso Rojo. *Terra Latinoamericana*. 26:333-340.
- PINEDA-PINEDA, J.; SÁNCHEZ-DEL CASTILLO, F.; RAMÍREZ-ARIAS, A.; CASTILLO-GONZÁLEZ, A. M.; VALDÉS-AGUILAR, L. A.; MORENO-PÉREZ, E. DE C. 2012. Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(1):95-111.
- PINEDA-PINEDA, J. 2010. Caracterización del aserrín de pino como sustrato hidropónico durante cinco ciclos de cultivo con jitomate. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. México. 138 p.
- RAVIV, M.; LIETH, J.H. 2008. *Soilless Culture: Theory and Practice*. Editorial Elsevier. United States of America. 625 p.
- REGAGBA, Z.; MYUNG, J.; LATIGUI, A.; MEDERBAL, K.; LATIGUI, A. 2014. Effect of various Mg concentrations in nutrient solution on growth and nutrient uptake response of strawberry (*Fragaria x Ananassa Duch*) "Selhyang" grown in soilless culture. *Journal of Biological Sciences*, 14(4):226-236.
- RICHARDS, D.; LANE, M.; BEARDSELL, D.V. 1986 The influence of particle size distribution in pinebark: sand: brown coal potting mixes on water supply, aeration and plant growth. *Sci. Hort.* 29:1-14
- RIVIERE, L. M.; CARON, J. 1999. Research on Substrates: State of the Art and Need for the coming 10 years. *Acta Horticulturae*, 548:29-42.
- SAS. 2012. *Statistical Analysis System 9.3 TS1M2* (1-7). Cary, N.C., USA
- SIAP. 2015. *Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera*. SAGARPA <http://www.siap.gob.mx>.
- SONNEVELD, C.; VOOGT, W. 2009. *Plant Nutrition of greenhouse crops*. Springer. 431 p.

- SONNEVELD, C.; VOOGT, W. 2009b. Determination of micro nutrients in substrates by water extraction and interpretation of the analytical data. *Acta Horticulturae*, 819:87-98.
- STANISLAVLJEVIĆ, M.; GAVRILOVIĆ-DAMJANOVIĆ, J.; MITROVIĆ, O.; MITROVIĆ, V. 1997. Dynamics and contents of minerals in some strawberry organs and tissues. *Acta Horticulturae*, 439(2):705-708.
- STEINER, A.A. 1984. The Universal Nutrient Solution, Proceedings of IWOSC 1984 6th International Congress on Soilless Culture, pp. 633-650, ISSN 9070976048, Wageningen, Netherlands.
- TAGLIAVINI, M.; BALDI, E.; LUCCHIC, P.; ANTONELLI, M.; SORRENTI, G.; BARUZZI 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria x Ananassa* Dutch.) grown in soil and soilless culture. *European Journal of Agronomy* 23:15-25.
- TAGLIAVINI, M.; BALDI, E., NESTBY, R.; RAYNAL-LACROIX, C.; LIETEN, P.; SALO, T.; FAEDI, W. 2004. Uptake and partitioning of major nutrients by strawberry plants. *Acta Horticulturae* 640:197-200.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2006. *Fisiología vegetal* (P. d. I. U. d. Jaume Ed. Tercera Ed. ed. Vol. 1). Castello de la Plana: Universitat Jaume. 580 p.
- ULLIO, L. (2010). Strawberry fertilizer guide. from Primefact 941 [https://apps1.cdfa.ca.gov/FertilizerResearch/docs/Fresa\\_Esp.html](https://apps1.cdfa.ca.gov/FertilizerResearch/docs/Fresa_Esp.html)
- ULRICH, A.; MOSTAFA, M.A.E.; ALLEN, W.W. 1980. *Strawberry deficiency symptoms. A visual and plant analysis guide to fertilization*. University of California Press, Bul. 4098.
- URRESTARAZU, M.; MAZUELA, P.; MARTÍNEZ, G.A. 2007. Effect of substrate reutilization on yield and properties of melon and tomato crops. *Journal of Plant Nutrition* 31:2031-2043. doi:10.1080/01904160802405420
- URRESTARAZU, G.M; SUÁREZ, E.F.; MAZUELA, P. 2005. Reutilización de residuos de la industria hortícola. *Revista Vida Rural*: 26-29 pp. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1348719&orden=0&info=link>

- URRESTARAZU, G.M. 2015. Manual práctico de cultivo sin suelo e hidroponía. Ed. Mundi-Prensa; Madrid, Esp. ISBN: 978-84-8476-668-1. 241 p.
- URRESTARAZU, M.; GUILLÉN, C.; MAZUELA, P.C.; CARRASCO, G. 2008. Wetting agent effect on physical properties of new and reused rockwool and coconut coir waste. *Scientia Horticulturae*, 116(1):104-108. doi:doi:10.1016/j.scienta.2007.10.030
- VARGAS-CANALES, J.M.; CASTILLO-GONZÁLEZ A.M.; PINEDA-PINEDA J.; RAMÍREZ-ARIAS J.A.; AVITIA-GARCÍA, E. 2014. Extracción nutrimental de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20(1):71-88.
- VERDONCK, O.; DEMEYER, P. 2004. The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. *Acta Horticulturae*, 644:99-101. doi:10.17660/ActaHortic.2004.664.10.
- VERHAGEN, J. 2013. Oxygen diffusion in relation to physical characteristics of growing media. *Acta Horticulturae*, 1013, 313-318. Whitaker, M. V., Bielinski, M. S. and Peres, A. N. (2015). University of Florida Strawberry Cultivars *HS1199*(4), 1-4. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- WHITAKER, M.V.; BIELINSKI, M.S.; PERES, A.N. 2015. University of Florida Strawberry Cultivars *HS1199*(4), 1-4. <http://edis.ifas.ufl.edu>
- YILMAZ, H.; YILDIZ, K.; KINA, A.; OGUZ, H.H. 2009. Changes of some Macro and Micronutrients accumulations of strawberries plants (*Fragaria X ananassa* Duch) under salt stress. *Asian Journal of Chemistry*, 21(4):2761-2768.
- YOON, H.S.; HWANG, Y.H.; HWANG, H.J.; SHON, G.M.; SONG, G.W. 2006. Effect of reuse of organic substrate on growth and yield of strawberry in soilless culture. Paper presented at the 2006 Abstracts 27th International Horticultural Congress & Exhibition.