



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**FERTILIZACIÓN FOLIAR CON POTASIO, CALCIO
Y SILICIO EN FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.)**

TESIS

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

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



PRESENTA:

**DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES**

DE LA CRUZ MILLÁN MIGUEL GAVIER



CHAPINGO, MÉXICO, MAYO DE 2012

Instituto de Horticultura

FERTILIZACIÓN FOLIAR CON POTASIO, CALCIO Y SILICIO EN FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.)

Tesis realizada por **Miguel Gavier De la Cruz Millán** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

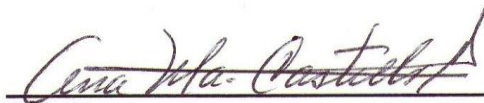
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Director:



Dr. Edilberto Avitia García

Asesor:



Dra. Ana María Castillo González

Asesor:



M.C. Joel Pineda Pineda

Chapingo, México, Mayo de 2012

BIOGRAFIA DEL AUTOR

El autor de la presente tesis, Ingeniero Agrónomo Miguel Gavier De la Cruz Millán, nació un 7 de enero en 1987 en el Municipio de Zumpahuacán, Estado de México. En el 2003 ingreso a la universidad Autónoma Chapingo para cursar propedéutico; y de 2004 a 2008 cursar la especialidad de Parasitología Agrícola. Prestó servicio social a pequeños productores de fresa en su municipio de origen. Fue becario de FIRA dando asesoría a productores de mango en la costa grande de Guerrero. Certifico mango en la junta local de sanidad vegetal de San Blas, Nayarit. Fundador de la Fundación Agroalimentaria Por Ti México.

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 permitirme seguir formándome en su seno.

A mi comité asesor, al Dr. Tarsicio Corona Torres, a los laboratoristas Wences, Angela y Toño, por su disposición y valiosas aportaciones realizadas al desarrollo de este trabajo.

A los profesores del Instituto de Horticultura y compañeros de clase, por compartir sus conocimientos y experiencia.

A mis amigos Edith Angelica, Leonel, Francisco Alejandro, Atonaltzin, Juan Manuel y Guillermo, por hacer ameno y productivo el tiempo durante los estudios de posgrado.

A mi compañera incondicional Maria de los Angeles, por su apoyo, cariño y afecto.

INDICE

	Página
INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN/ABSTRACT	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. REVISION DE LITERATURA	4
3.1. Importancia del Cultivo de Fresa	4
3.1.1. Situación mundial	4
3.1.2. Situación nacional	4
3.2. Descripción del Género <i>Fragaria</i>	5
3.3. Exigencias Nutrimientales de las Plantas	9
3.4. Nutrición del Cultivo de Fresa	11
3.5. Efecto de los Nutrimientos en la Calidad de Fruto	14
3.6. El Potasio en las Plantas	15
3.7. El Calcio en las Plantas	18
3.8. El Silicio en las Plantas	21
IV. MATERIALES Y METODOS	28
4.1. Localización	28
4.2. Material Vegetal Utilizado	28
4.3. Sustrato	28
4.4. Diseño Experimental y Tratamientos	29
4.5. Variables a Evaluar	31
4.5.1. Variables de fruto	31
4.5.2. Variables vegetativas	33
4.6. Análisis Estadístico	35
V. RESULTADOS	36
5.1. Variables de Fruto	36
5.1.1. Rendimiento	36

5.1.2. Peso fresco.....	38
5.1.3. Largo.....	38
5.1.4. Ancho.....	39
5.1.5. Índice de redondez.....	39
5.1.6. Firmeza.....	39
5.1.7. Sólidos solubles totales.....	39
5.1.8. Acidez titulable	40
5.1.9. Sabor	40
5.1.10. pH	40
5.1.11. Antocianinas	41
5.1.12. Azúcares solubles totales	41
5.1.13. Contenido nutrimental en frutos.....	43
5.2. Variables Evaluadas en Hojas	44
5.2.1. Clorofilas	44
5.2.2. Azúcares solubles totales	44
5.2.3. Área foliar	46
5.2.4. Peso seco	46
5.2.5. Contenido nutrimental en hojas	48
VI. DISCUSION	51
VII. CONCLUSIONES	58
VIII. LITERATURA CITADA	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Intervalos de suficiencia foliar para fresa de la mayoría de los elementos críticos, a mediados de verano (Pritts y Handley, 1998).....	13
Cuadro 2. Resultado de análisis de fertilidad del sustrato empleado en el estudio. Características físicas y químicas.....	29
Cuadro 3. Resultado de análisis de fertilidad del sustrato empleado en el estudio. Contenido nutrimental.....	29
Cuadro 4. Tratamientos aplicados foliarmente y fuentes empleadas.....	30
Cuadro 5. Aportación nutrimental total en cada tratamiento.....	30
Cuadro 6. Comparación de medias entre cultivares, de variables de calidad de fruto de fresa.....	40
Cuadro 7. Comparación de medias entre cultivares, de variables de calidad de fruto de fresa.....	41
Cuadro 8. Comparación de medias entre tratamientos, de variables de calidad de fruto de fresa.....	42
Cuadro 9. Comparación de medias entre cultivares, de la concentración nutrimental en frutos de fresa.....	44
Cuadro 10. Comparación de medias entre tratamientos, de la concentración nutrimental en frutos de fresa.....	45
Cuadro 11. Comparación de medias en dos cultivares de fresa, de las variables evaluadas en hojas.....	46
Cuadro 12. Comparación de medias entre tratamientos, de variables evaluadas en hojas de fresa.....	47
Cuadro 13. Comparación de medias, de la concentración nutrimental en plantas entre cultivares de fresa.....	49
Cuadro 14. Comparación de medias entre tratamientos, de la concentración nutrimental en plantas de fresa.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimiento de fruto en fresa 'Jacona' y 'Festival'. K: Potasio; NP: Nitrato de Potasio; Ca: Calcio; NC: Nitrato de Calcio; PK: Phytophos-K; Si: Silicio; SP: Silicato de Potasio.....	36
Figura 2. Rendimiento de fruto en fresa 'Festival'. K: Potasio; NP: Nitrato de potasio; Ca: Calcio; NC: Nitrato de calcio; PK: Phytophos-K; Si: Silicio; SP: Silicato de potasio.....	37
Figura 3. Rendimiento de fruto en fresa 'Jacona'. K: Potasio; NP: Nitrato de potasio; Ca: Calcio; NC: Nitrato de calcio; PK: Phytophos-K; Si: Silicio; SP: Silicato de potasio.....	38

FERTILIZACIÓN FOLIAR CON POTASIO, CALCIO Y SILICIO EN FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.)

Miguel Gavier De la Cruz Millán¹, Edilberto Avitía García²

RESUMEN

Se aplicaron foliarmente dos niveles de fertilización con K, Ca y Si a plantas de fresa 'Festival' y 'Jacona' para evaluar su efecto en el rendimiento y calidad de fruto. Se evaluaron clorofilas, azúcares solubles totales, área foliar y peso seco. En fruto y planta se determinó la concentración nutrimental de N, P, K, Ca, Mg y Si. Los tratamientos aplicados fueron 1,000 y 2,000 mg·litro⁻¹ de K y Ca; 100 y 400 mg·litro⁻¹ de Si; usando como fuentes Nitrato de Potasio y Phytophos-K para el caso de K; Nitrato de Calcio y Silicato de Potasio para Ca y Si, respectivamente; aplicados foliarmente cada 14 días. Con 2,000 mg·litro⁻¹ de K, usando Phytophos-K, se obtuvieron frutos con mayor acidez titulable, mayor concentración de N en fruto y plantas con mayor área foliar. Con 1,000 mg·litro⁻¹ de K, usando Nitrato de Potasio, se obtuvieron frutos con mayor contenido de azúcares solubles totales y concentración de K. Con 400 mg·litro⁻¹ de Si se obtuvo mayor concentración de Ca en fruto y mayor concentración de Si en planta. El mayor peso seco de planta se obtuvo con 2,000 mg·litro⁻¹ de K usando Nitrato de Potasio. La mayor concentración de P en planta se obtuvo con 100 mg·litro⁻¹ de Si, la mayor concentración de Ca y Mg con 2,000 mg·litro⁻¹ de Ca.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: rendimiento, calidad de fruto, clorofilas.

ABSTRACT

Two levels of foliar fertilization with K, Ca and Si, to strawberry plants 'Festival' and 'Jacona' to evaluate the effect on yield and fruit quality were applied. Chlorophyll, total soluble sugars, leaf area and dry weight were measured in the plant. In fruit and plant the nutrient concentration was determined for N, P, K, Ca, Mg and Si. The foliar applied treatments were of 1.000 and 2.000 mg·liter⁻¹ of K and Ca, 100 and 400 mg·liter⁻¹ of Si, using potassium nitrate and potassium Phytophos-K for the case of K, calcium nitrate and silicate potassium for Ca and Si, every 14 days, respectively. With 2.000 mg·liter⁻¹ K, using Phytophos-K, higher acidity fruits were obtained and it was also found a higher concentration of N in fruit and plants with higher leaf area. With 1,000 mg·liter⁻¹ K, using potassium nitrate fruits with a higher total soluble sugar content and concentration of K were found. With 400 mg·liter⁻¹ of Si a higher concentration of Ca was obtained in fruit and a higher concentration of Si in plant. A greater plant dry weight was obtained with 2.000 mg·liter⁻¹ of K using potassium nitrate. The highest concentration of P in plants was obtained with 100 mg·liter⁻¹ of Si and it was found the highest concentration of Ca and Mg with 2.000 mg·liter⁻¹ of Ca.

ADDITIONAL KEY WORDS: yield, fruit quality, chlorophyll.

I. INTRODUCCIÓN

El país líder en producción de fresa es Estados Unidos. México ocupa el quinto lugar a nivel mundial, reportándose para el año 2010 una superficie cosechada de 6,282 ha, con una producción de 226,657 t y un rendimiento promedio de 36.08 t·ha⁻¹ (Anónimo, 2010a); siendo los principales estados productores Michoacán, Baja California, Guanajuato, Baja California Sur, Estado de México y Jalisco (Anónimo, 2010b).

Los componentes de la calidad de un producto están relacionados con las características del alimento (calidad higiénica/inocuidad y/o calidad nutricional y/o calidad organoléptica), calidad de uso o servicio (facilidad de empleo y/o capacidad de conservación) y calidad psicosocial o subjetiva (satisfacción, placer). Entre los índices de calidad que se verifican en la fresa se encuentran: apariencia (color, tamaño, forma, ausencia de defectos), firmeza, sabor (sólidos solubles, acidez titulable y compuestos aromáticos) y valor nutricional (vitamina C) (Mitchell *et al.*, 1996).

Por otro lado, se considera a la fertilización como una herramienta para maximizar la producción; sin embargo, la nutrición mineral también tiene un impacto importante en la calidad y en la vida en anaquel de la fruta cosechada. Entre los factores de deterioro que generan rechazo por baja calidad del fruto se encuentran el tamaño, pérdida de firmeza, color y maduración poco uniforme, bajo contenido de sólidos solubles y la falta de sabor. Muchos de estos problemas pueden ser causados por

deficiencias, desequilibrios o toxicidades nutrimentales. Además, la fertilización afecta la susceptibilidad del cultivo al ataque de plagas y enfermedades, factor que repercute en el rendimiento y calidad de la fruta.

Se conoce que el potencial para obtener buena calidad en postcosecha y mejorar la vida en anaquel de cualquier fruta u hortaliza fresca se determina mucho antes de la cosecha. Por lo tanto, el manejo cuidadoso y la implementación de prácticas adecuadas, incluyendo la fertilización, tienen gran impacto en la calidad del producto cosechado (Prange y DeEll, 1997).

Con respecto a la fresa, a pesar de que por muchos años ha sido un cultivo económicamente importante para nuestro país, hasta la fecha las fertilizaciones se basan principalmente en las características del suelo, en el crecimiento y rendimiento de los cultivares, pero hacen falta estudios de correlación y calibración, considerando contenidos nutrimentales en suelo y tejido vegetal, tanto de los elementos esenciales como aquellos que se ha comprobado su beneficio en los cultivos, que proporcionen información suficiente para programar una fertilización balanceada acorde a lo que tiene el suelo y las necesidades de los diferentes genotipos de fresa existentes en el mercado, que permitan obtener fruto de calidad.

En México, se requieren cultivares económicos, más productivos y con mayor calidad de frutos (Barrera y Sánchez, 2003).

II. OBJETIVOS

- Determinar el efecto de la aplicación foliar de potasio y calcio, usando diferentes fuentes, sobre la calidad de fruto de fresa.
- Determinar el efecto de silicio, aplicado foliarmente, en plantas y frutos de fresa.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1. Importancia del Cultivo de Fresa

3.1.1. Situación mundial

En el año 2010 la superficie mundial cosechada de fresa fue de 243,907 ha, con un volumen de producción de 4,366,662 t; veinte países totalizaron 81.29 % de la superficie cosechada con un volumen de producción de 3, 767,467 t, que representaron 90.17 % del volumen de producción total mundial (Anónimo, 2010a).

Polonia, Estados Unidos, Rusia, Alemania, Turquía y Egipto concentraron 53.94 % de la superficie mundial cosechada de fresa. Sin embargo, en algunos casos se advierte una falta de correspondencia con la producción, resultado de los diferentes rendimientos que logra cada país. Estados Unidos es la nación líder en la producción de fresa, con un volumen de producción de 1,292,780 t, con tan solo una superficie cosechada de 23,060 ha (Anónimo, 2010a).

Los principales exportadores de fresa son España, Estados Unidos, Egipto y México en cuarto lugar. Los principales importadores son Francia, Alemania, Canadá y Estados Unidos (Anónimo, 2010a).

3.1.2. Situación nacional

México ocupa, el lugar número once como país importador con un volumen de 14,070 t, el quinto lugar como productor en el mundo (Anónimo, 2010a) con 226,657.28 t para el 2010, en una superficie cosechada de 6,282 ha, con un

rendimiento promedio de 36.08 t·ha⁻¹. Los principales estados productores son Jalisco, Estado de México, Baja California Sur, Guanajuato, Baja California, y Michoacán; en esta última entidad, se concentra la mayor producción nacional con una superficie cosechada de 3,252.5 ha y una producción superior a las 113,193 t, seguido por el estado de Baja California con una superficie de 1,464.7 ha y una producción de 83,428.82 t; el estado de Guanajuato con una superficie de 1,025.01 ha y una producción de 16,098.68 t; el estado de Baja California Sur con una superficie de 157.7 ha y una producción de 6108.35 t; el Estado de México con una superficie de 252 ha y una producción de 5,474.6 t y por último el estado de Jalisco con una superficie de 118.5 ha y una producción de 2,243.75 t (Anónimo, 2010b).

La “planta madre” de fresa se importa de Estados Unidos de Norteamérica y al llegar a México se establece en viveros para su reproducción y posterior trasplante en las áreas comerciales. Entre los cultivares más utilizados en México se encuentran: ‘Festival’, ‘Sweet Charlie’, ‘Galexia’, ‘Camino Real’, ‘Albión’, ‘Camarosa’, ‘Aromas’, ‘Ventana’ y ‘Diamante’.

3.2. Descripción del Género *Fragaria*

Numerosas especies de fresa son nativas de las zonas templadas del mundo. Una taxonomía precisa de las especies de fresa todavía está en desarrollo. La fresa pertenece a la familia Rosaceae del género *Fragaria*. Sus parientes más cercanos son *Duchesnea* Smith y *Potentilla* L. Hay cuatro grupos básicos de fecundidad en *Fragaria* que se asocian principalmente con su nivel de ploidía o el número de cromosomas. Las especies nativas más comunes, *F. vesca*, tiene 14 cromosomas y

es considerada como un diploide. La fresa cultivada más importante, *F. x ananassa*, es un octaploide con 56 cromosomas. Cruzas Interploides son a menudo muy difíciles, pero las especies con el mismo nivel de ploidía a menudo se pueden cruzar con éxito. De hecho, las fresas más cultivadas, *F. x ananassa*, es un híbrido de dos especies del Nuevo Mundo, *Fragaria chiloensis* (L.) Duch. y *Fragaria virginiana* Duch. (Hancock, 1999).

Darrow (1966) señala que las especies con más cromosomas tienden a ser más robustas y producir frutos de mayor tamaño.

La fresa es una planta perenne, herbácea, que tiene un tallo central o corona de la que las hojas, raíces, los estolones y las inflorescencias emergen. La corona se compone de un núcleo central rodeado por un anillo vascular. El núcleo está compuesto principalmente de la médula, con una fina capa de cambium que lo rodea. En la parte superior de cada hoja a lo largo de la corona hay una yema axilar, que puede producir los estolones, las cuales desarrollan o permanecen en estado latente, según las condiciones ambientales (Hancock, 1999).

Las hojas están dispuestas en espiral, cada sexta hoja está por encima de la primera. Las hojas son pinnadas y generalmente trifoliadas. Tienen la epidermis y las capas de mesófilo y empalizada típicas de las dicotiledóneas. Sólo tienen estomas en el envés (Darrow, 1966). 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, aunque algunas hojas de *Fragaria chiloensis* permanecen verdes durante todo el invierno, si las temperaturas no bajan sustancialmente por debajo de cero. Las hojas

viejas se sustituyen en la primavera con hojas nuevas que han hibernado como primordios entre las capas de protección de las estípulas. En un brote vegetativo, por lo general hay cinco a diez primordios foliares (Hancock, 1999).

Las raíces emergen de la base de la corona donde entra en contacto con el suelo. La anatomía de la raíz es típica de las dicotiledóneas. Las raíces adventicias surgen de la corona en el periciclo, y empujan a través de la corteza. Las raíces comienzan con 2-5 cm de ramificación y si se dispone de suficiente agua, mantienen la ramificación en una masa fibrosa. En general, hay 20-30 raíces primarias, y hay cientos de raíces secundarias y terciarias. Hasta 50-90% de las raíces se concentran en la parte superior del suelo, a 10-15 cm de profundidad (Dana, 1980). Las raíces laterales pueden vivir de 1 a 2 años, mientras que las raíces primarias pueden vivir durante 2-3 años dependiendo de la especie y las condiciones ambientales.

Los estolones de la mayoría de las especies constan de dos nudos. Una "planta hija" se produce en el segundo nudo, mientras que el primer nudo permanece en estado latente o se desarrolla otro estolón. Cada hijo de la planta tiene la capacidad de producir sus propios estolones. Una planta vigorosa de *F. x ananassa* por lo general produce 10-15 estolones al año, mientras que un clon de *F. virginiana* puede producir dos o tres veces ese número. Estolones de *F. ananassa* y *F. virginiana* sobreviven durante el tiempo de un año, mientras que los de *F. chiloensis* pueden hacerlo varios años. La planta madre puede transferir el agua, nutrimentos y los asimilados a la planta hija durante varias semanas o años, dependiendo del genotipo y de la especie (Darrow, 1966; Alpert, 1991, 1996). Las plantas hijas con raíces por lo general

pueden sobrevivir de forma independiente después de 2 o 3 semanas de estar adjuntas (Hancock, 1999).

La inflorescencia de la fresa es un tallo modificado o cima, terminada con una flor principal. Tras la flor principal, normalmente hay dos secundarias, cuatro terciarias y ocho cuaternarias. Una flor típica tiene diez sépalos, cinco pétalos y 20-30 estambres. Carpelos de 60-600. El mayor número de carpelos se encuentra en la flor principal, disminuyendo sucesivamente en número, de primarias a cuaternarias. Aunque un gran número de las especies de fresas son de flores perfectas, varios géneros las tienen separadas. Algunas son dioicas y están compuestas de plantas pistiladas que no producen polen viable y funcionan sólo como hembras y plantas masculinas estaminadas que no producen ningún fruto y sólo sirven como fuente de polen. Las flores son polinizadas por insectos (Hancock, 1999).

El polen madura antes de abrir las anteras, pero no ocurre la dehiscencia hasta que las flores están abiertas (Darrow, 1966; Hancock *et al*, 1996). El polen sigue siendo viable durante 2-3 días. El estigma permanece receptivo al polen durante 8-10 días. La fecundación ocurre 24-48 horas después de la polinización (Hancock, 1999).

El fruto de la fresa es un "agregado", compuesto por numerosos ovarios, cada uno con un solo óvulo. Las semillas resultantes se denominan "aquenios" y son el verdadero fruto de la fresa. El embrión está formado por dos grandes cotiledones, semielípticos, que contienen proteínas y grasas, pero sin almidón (Darrow, 1966). El receptáculo está compuesto por una capa epidermal, una corteza y una médula. Las

dos últimas capas están separadas por haces vasculares que proporcionan nutrientes a los embriones en desarrollo (Hancock, 1999).

3.3. Exigencias Nutrimientales de las Plantas

Los elementos que son requeridos por todas las plantas para poder completar su ciclo de vida y ningún otro puede sustituir su función por completo, son llamados esenciales (Arnon y Stout, 1939), aquí encontramos a 17 elementos: carbono, hidrógeno y oxígeno que se derivan del aire o agua. Los otros 14 se obtienen del suelo o solución de nutrientes en caso de hidroponía. De acuerdo con la cantidad en que los requieren las plantas (Barker y Pilbeam, 2007), se dividen en:

Macronutrientes. Estos son requeridos en considerables cantidades, llegando a constituir mínimo 0.1 % de la materia seca de los tejidos; nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).

Micronutrientes. Estos son requeridos en pequeñas cantidades por las plantas; por lo general se encuentra una acumulación de cantidades inferiores a 0.01 % de la materia seca de los tejidos de la planta; hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), boro (B), zinc (Zn), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y níquel (Ni).

El que se encuentre un elemento en la planta no es evidencia de que sea esencial, pues las plantas absorben elementos en solución, sin que tengan un papel en su fisiología o metabolismo (Barker y Pilbeam, 2007).

Algunos elementos pueden afectar el crecimiento de las plantas sin ser considerados como esenciales. La mejora del crecimiento no es una característica definitoria de un elemento para considerarlo esencial para las plantas, ya que si bien el crecimiento puede ser estimulado por un elemento, este no es absolutamente necesario para la planta para completar su ciclo de vida. Algunas plantas pueden responder a ciertos elementos, al mostrar un mayor crecimiento y mayores rendimientos; como por ejemplo, lo que ocurre con el suministro de sodio en algunos cultivos (Harmer y Benne, 1945; Johnston *et al.*, 1984).

Algunos elementos pueden parecer ser requeridos por algunas plantas por tener funciones en los procesos metabólicos, como en el caso del cobalto, que es necesario para las plantas fijadoras de nitrógeno (Ahmed y Evans, 1960). La fijación de nitrógeno; sin embargo, no es vital para las plantas, ya que se desarrollarían bien con los suministros minerales o inorgánicos de nitrógeno. También, las plantas que no fijan nitrógeno no tienen ninguna necesidad de cobalto (Epstein y Bloom, 2005). Los elementos que podrían favorecer el crecimiento o que tienen una función en algunas plantas, pero no en todas, se conocen como elementos benéficos (Barker y Pilbeam, 2007).

Entre los elementos benéficos encontramos el silicio, cobalto y el sodio. El selenio, aluminio, vanadio y otros elementos se han sugerido para mejorar el crecimiento de las plantas (Asher, 1991; Epstein y Bloom, 2005). Algunos de los elementos benéficos pueden ser clasificados en el futuro como elementos esenciales, conforme la evolución de los análisis químicos y los métodos de minimizar la contaminación

durante el crecimiento muestren que las plantas no completan su ciclo de vida si la concentración de elementos en los tejidos vegetales ha disminuido lo suficiente. El níquel es un ejemplo de un elemento que se clasificó como benéfico, pero se demostró que es esencial (Brown *et al.*, 1987).

3.4. Nutrición del Cultivo de Fresa

La planta de fresa puede crecer y producir de manera satisfactoria, en una amplia gama de tipos de suelo, desde arenosos a suelos pesados. Es tolerante a un amplio intervalo de pH del suelo pero crecen y producen mejor en suelos con un pH de 6.0-6.5. Los mayores rendimientos se obtienen cuando se cultiva en suelo profundo y fértil, con alto contenido de materia orgánica y buen drenaje (Hancock, 1999).

La fresa es una especie muy exigente en cuanto a elementos nutritivos se refiere. Las cantidades de fertilizante extraídas por hectárea resultan ser las más altas entre las especies hortofrutícolas; debido a sus altos rendimientos, lo corto de su ciclo y lo poco profundo de sus raíces explota intensamente una pequeña capa de suelo (20 cm), requiriendo por consiguiente suelos fértiles y ricos en materia orgánica que constituya una fuente importante de nutrimentos disponibles fácilmente (Bianchi, 1986); dependiendo de ésta para prolongar la permanencia del cultivo (Jurik *et al.*, 1982).

La fresa, al igual que otras plantas, tiene requerimientos críticos para una serie de nutrimentos (Marschner, 1995; May y Pritts, 1990; Maas, 1998). Niveles adecuados de N, P y K son esenciales para el crecimiento y desarrollo (Ruef y Richey, 1925;

Boyce y Matlock, 1966; John *et al.*, 1975). Los niveles de Ca son determinantes de la firmeza de la fruta (Eaves y Leefe, 1962). La deficiencia de Zn produce plantas de hojas pequeñas y frutos pequeños, y por consiguiente la reducción del rendimiento (Ulrich *et al.*, 1980). Deficiencias de Fe conducen a reducir el vigor de la planta y a hojas cloróticas (Hancock, 1999).

Algunos nutrimentos son más limitantes que otros (Pritts, 1998). La adición de N y K casi siempre es necesaria. La incorporación preplantación de P es algunas veces necesaria, pero usualmente el P no es requerido después de la plantación. Las deficiencias de Ca se observan a menudo pero generalmente se deben a factores que limitan el flujo de masas, como la baja humedad del suelo o frío, tiempo nublado, clima húmedo o bajo contenido de Ca en el suelo. El boro es también con frecuencia bajo en las plantaciones de fresa debido a la lixiviación, y puede ser fácilmente llevado a un exceso por sobreaplicación. El Fe, Mg y el Mn son por lo general deficientes en los campos de los productores cuando el pH es demasiado alto o los suelos tienen un alto contenido de cal (King *et al.*, 1950; Berger, 1962; Renquist y Hughes, 1985).

Algunas interacciones nutrimentales pueden jugar un papel importante en la regulación de la productividad de fresa (May y Pritts, 1990). Kirsch (1959) encontró interacciones significativas entre los niveles en el suelo de N, P, K y cal. El P incrementó notablemente los rendimientos sólo cuando no se aplicó N y cal. El K sólo incrementó los rendimientos cuando la cal se añadió. Zurawicz y Stushnoff (1977) encontraron que las plantas más resistentes al frío tuvieron la mayor proporción P: K.

En la aparición de síntomas de deficiencia, las diferencias considerables en los sistemas de cultivo y el medio ambiente pueden jugar un papel crítico. Además, múltiples deficiencias a menudo se presentan juntas, como Fe, Mn, Cu y Zn a pH alto. Las deficiencias se detectan mejor mediante la realización de un análisis de las hojas antes de que las plantas presenten síntomas (Hancock, 1999). El contenido de nutrimentos en las hojas puede dar una representación más precisa de sus necesidades (May y Pritts, 1994).

Cuadro 1. Intervalos de suficiencia foliar para fresa de la mayoría de los elementos críticos, a mediados de verano (Pritts y Handley, 1998).

Nutrimento	Bajo deficiencia	Suficiencia	Exceso
N (%)	1.90	2.0 - 2.8	4.0
P (%)	0.20	0.25 - 0.40	0.5
K (%)	1.30	1.5 - 2.5	3.5
Ca (%)	0.50	0.7 - 1.7	2.0
Mg (%)	0.25	0.3 - 0.5	0.8
S (%)	0.35	0.4 - 0.6	0.8
B (ppm)	23	30 - 70	90
Fe (ppm)	40	60 - 250	350
Mn (ppm)	35	50 - 200	350
Cu (ppm)	3	6 - 20	30
Zn (ppm)	10	20 - 50	80

3.5. Efecto de los Nutrientes en la Calidad de Fruto

Los nutrientes influyen sobre la calidad de los frutos, ya sea de manera directa o indirecta. Los efectos directos dependen del contenido del elemento y del balance nutricional en el fruto.

Para poder manipular el contenido mineral y el balance nutricional en los frutos es importante conocer la función y la dinámica de acumulación de nutrientes en los frutos en desarrollo. Se ha encontrado que para la mayoría de los nutrientes (por ejemplo N, P y K) la translocación a los frutos es vía xilema y floema; mientras que el calcio es proporcionado sólo vía xilema. Las hojas maduras exportan vía floema N, Mg y K a los frutos en desarrollo.

Niveles excesivos de N pueden conducir a desarrollo de frutos blandos, de coloración pobre, con maduración retrasada, bajo rendimiento y un incremento en susceptibilidad a oídio (cenicilla) y ácaros (Stadelbacker, 1963; Voth *et al.*, 1967; May y Pritts, 1990).

El K es requerido para la acumulación y translocación de fotosintatos de las hojas a los frutos (Marshner, 1995; Jones, 2003; Alcántar y Trejo, 2007). Los requerimientos de K hacia los frutos se incrementan progresivamente conforme los frutos se aproximan a la maduración (Tagliavini *et al.*, 2000).

El calcio Interviene en el metabolismo del N y en la translocación de carbohidratos. Mantiene la integridad de la membrana celular aumentando la rigidez de los tejidos; lo cual evita o retrasa el ablandamiento de los frutos durante su maduración y

almacenamiento (Román y Gutiérrez, 1998; Molina, 2002). También reduce la tasa respiratoria y la producción de etileno durante el almacenamiento (Bangerth *et al.*, 1972), lo que hace que la fruta se madure más lentamente, prolongando así la vida en anaquel (Román y Gutiérrez, 1998). Su deficiencia se manifiesta en frutos pequeños, duros, ácidos y con las semillas distribuidas de manera irregular (Lineberry y Burkhart, 1943; Maas, 1998).

El B junto con el Mo, es importante en el contenido de vitamina C y azúcares de los frutos. Las deficiencias de B reducen la producción de polen viable y su germinación, así como la expansión del receptáculo (Neilson y Eaton, 1983); lo cual puede resultar en la formación de frutos deformes y en la disminución del crecimiento radical (Guttridge y Turnbull, 1975; Ulrich *et al.*, 1980; Johanson, 1980).

El Fe es el micronutriente en mayor concentración tanto en los frutos como en el resto de órganos de la planta. Su deficiencia tiene como consecuencia la reducción del rendimiento y el aborto de frutos.

Las deficiencias de Zn producen hojas y frutos más pequeños, reduciéndose el rendimiento.

3.6. El Potasio en las Plantas

Martin Heinrich Klaproth (1743–1817) fue la primera persona en identificar el potasio en la savia de las plantas (Ostwald, 1984).

El potasio es el catión absorbido en mayor cantidad por las plantas. Contienen de 1.0 a 5.0 % del peso seco en tejidos de hoja. Sin embargo, en contraste con otros nutrimentos como el N, P y S, casi no hay compuestos orgánicos con K como elemento constituyente. Las concentraciones más altas se encuentran en las hojas nuevas, pecíolos y tallo de la planta. Altas concentraciones de K conducen a deficiencias de N, Ca y Mg. Los cationes amonio (NH_4^+) juegan un papel importante en el balance de los cationes K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . La forma disponible para la raíz es el catión K^+ . La absorción de K no es afectada de manera significativa por los niveles de Ca en el suelo, debido a que éste último se mueve en el suelo principalmente por flujo de masas; mientras que el K se mueve por difusión, cuya tasa es dependiente de la temperatura. El oxígeno del suelo tiene un gran efecto sobre la absorción de K (Jones, 2003).

El ión K^+ es cofactor de más de 40 enzimas; algunas de ellas esenciales para la respiración y fotosíntesis, que también podrían ser activadas por otras especies de cationes univalentes con un tamaño similar, como el amonio (NH_4^+), rubidio (Rb^+) y cesio (Cs^+) (Nitsos y Evans, 1969). Estos, sin embargo, no juegan un rol mayor bajo condiciones naturales, ya que sus concentraciones en los tejidos son bajas y no alcanzan la concentración de activación requerida. La activación de las enzimas *in vivo* puede ocurrir a una concentración de K tan alta como se ve en experimentos *in vitro*, como se ha demostrado para la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa/oxigenasa (Demmig y Gimmler, 1983).

El K es un elemento involucrado en el mantenimiento del estado hídrico de la planta, presión de turgencia de las células, apertura y cierre estomático, balance de iones y regulación del pH. Es requerido para la acumulación y translocación de carbohidratos producto de la fotosíntesis (Marshner, 1995; Jones, 2003).

Los fotosintatos deben ser transportados de las hojas a los frutos y el K promueve dicho transporte a través del floema, ya que cuando se acumulan en las hojas la fotosíntesis disminuye; por lo que una rápida exportación de éstos mantiene una alta tasa fotosintética en las hojas. El K también mejora la resistencia a plagas y enfermedades, debido a que incrementa el grosor de las paredes celulares y aumenta la firmeza de tallos y pecíolos. Además, mejora la eficiencia en el uso del N, logrando que el follaje sea menos succulento y propenso al ataque de patógenos. Debido a que el K es un elemento móvil dentro de la planta, la deficiencia de este elemento causa amarillamiento de los márgenes de las hojas más viejas, luego estas áreas se necrosan y al aumentar la severidad del síntoma se produce defoliación, los tallos son delgados y frágiles, los entrenudos se acortan, las frutas son pequeñas y de coloración desuniforme (Alcántar y Trejo, 2007).

En la planta de fresa las deficiencias de K se presentan en los márgenes de las puntas de las hojas de mayor edad, tornándose necróticos o rojizos; mientras que la parte basal permanece verde, causando un patrón triangular. Un segundo síntoma es la caída de las hojas y en las hojas cercanas más jóvenes el pecíolo se torna necrótico, lo cual avanza hacia los ángulos de las venas de los folíolos, extendiéndose posteriormente al resto del folíolo. Otros efectos de la deficiencia

incluyen la reducción de las raíces iniciales (90%); sistema radical pequeño (80%) y estolones pequeños (90%). Las flores son casi normales; los frutos son blandos y con sabor insípido (Maas, 1998).

Durante el crecimiento y maduración del fruto, la fertilización al suelo es a menudo insuficiente para satisfacer la demanda de K por la fruta, debido en parte a la pobre absorción radical durante esa etapa. Esto se debe a la competencia por fotosintatos entre frutos en desarrollo y órganos vegetativos, que finalmente podría limitar el desarrollo radical (Ho, 1988).

Una función probable del potasio es en la síntesis de polipéptidos en los ribosomas, ya que el proceso requiere una alta concentración de K (Wyn y Pollard, 1983). Hasta ahora, sin embargo, no está claro que enzima particular o sitio ribosomal es activado por el K. Hay evidencia indirecta de que la síntesis de proteínas requiere K (Koch y Mengel, 1974).

3.7. El Calcio en las Plantas

Sprengel fue la primera persona en identificar el calcio como un macronutriente en 1828 (Van der Ploeg *et al.*, 1999).

Los contenidos de calcio en el peso seco de las hojas varía de 0.2 a 5.0 %, encontrándose los contenidos más altos en las hojas de mayor edad. La planta lo puede tomar de la solución del suelo como ión Ca^{2+} y como Ca intercambiable en los coloides del suelo (Jones, 2003).

El calcio tiene múltiples funciones en la fisiología celular en los vegetales. Son importantes mensajeros intracelulares, mediando las respuestas a las hormonas, señales de estrés biótico y abiótico y una variedad de procesos de desarrollo (Reddy y Reddy, 2004). Bangerth (1979) sugiere que estas funciones se pueden dividir en cuatro áreas principales: (a) efectos sobre las membranas, (b) efectos sobre las enzimas, (c) efectos en las paredes celulares, e (d) interacción del calcio con fitohormonas; aunque los efectos sobre las enzimas y la interacción con las fitohormonas pudieran incluirse en una misma actividad. Como ion bivalente, el calcio no sólo es capaz de formar complejos intramoleculares, sino que también es capaz de enlazar moléculas de complejos intermoleculares (Clarkson, 1988), lo que parece ser crucial para su función.

El Ca juega un papel importante en el mantenimiento de la integridad celular y permeabilidad de la membrana, mejora la germinación de los granos de polen y el crecimiento de los tubos polínicos. Activa enzimas para la división y expansión celular. Es importante para la síntesis de proteínas y translocación de carbohidratos y puede detoxificar elementos pesados en las plantas (Jones, 2003).

Es un elemento clave en la estructura de las paredes celulares primarias y se encuentra en los pectatos de calcio de la lámina media, que actúa como agente cementante para incrementar la adhesión entre células, dándoles una mejor estabilidad. También interviene en la división y expansión celular. Está ligado a la acción de las auxinas; pues la pérdida de microfibrillas de celulosa en la pared celular está controlada por auxinas y éstas a su vez están influenciadas por el Ca. Un

incremento en la concentración de ácido abscísico en brotes después de la imposición de un déficit hídrico conduce a un incremento en la concentración de Ca^{2+} en las células guarda, lo cual precede al cierre estomático (Poovaiah *et al.*, 1988; Pilbeam y Morley, 2007).

El calcio participa en el equilibrio electrostático de la célula, contribuye al balance de aniones y cationes, forma compuestos quelatados muy estables, activa los tejidos meristemáticos, es importante para la formación de membranas celulares y estructuras lipídicas y es requerido en el mecanismo selectivo de absorción del plasmalema (Alcántar y Trejo, 2007).

Este elemento es muy importante para mantener la firmeza de tallos y pecíolos en las plantas y para regular la absorción de nutrimentos a través de la membrana celular. Interviene en el metabolismo del N y en la translocación de carbohidratos. Mantiene la integridad de la membrana celular aumentando la rigidez de los tejidos; lo cual evita o retrasa el ablandamiento de los frutos durante su maduración y almacenamiento (Román y Gutiérrez, 1998; Molina, 2002). También reduce la tasa respiratoria y la producción de etileno durante el almacenamiento (Bangerth *et al.*, 1972), lo que hace que la fruta se madure más lentamente, prolongando así la vida en anaquel (Román y Gutiérrez, 1998).

Los síntomas de deficiencia de calcio se presentan principalmente en los tejidos nuevos, donde ocurre división celular; en las hojas jóvenes de fresa se muestran como ápices quemados; mientras que en las hojas maduras se presenta además un ondulado de los ápices. El quemado aparece primero en las hojas jóvenes y en las

puntas de los estolones. El sistema radical de plantas deficientes en calcio es reducido (50 %) y presenta áreas de tejido necrótico. El tamaño y número de coronas, así como la longitud de los estolones son reducidos (50 %). Las flores son más pequeñas de lo normal y producen poco polen. Los frutos son pequeños, duros, ácidos y con las semillas distribuidas de manera irregular (Lineberry y Burkhart, 1943; Maas, 1998).

La deficiencia de Ca en los frutos se explica cuando se revisan los mecanismos de absorción y transporte de este nutrimento en la planta. La absorción de Ca por la raíz es un proceso pasivo que depende del movimiento del agua a través del xilema, por esta razón el Ca tiende a acumularse en los tejidos donde ocurre la mayor tasa de transpiración (Molina, 2002).

Tratamientos precosecha y postcosecha con sales de calcio han sido eficaces en el control de varios trastornos fisiológicos, reducir la incidencia de patógenos fúngicos, mantener la firmeza de la fruta (Bakshi *et al.*, 2005) y el contenido de sólidos solubles, sin afectar su calidad sensorial (García *et al.*, 1998; Luna y Barrett, 2000).

3.8. El Silicio en las Plantas

El silicio es el segundo elemento más abundante sobre la superficie terrestre. En la solución del suelo se encuentra a una concentración de 0.1 a 0.6 mol·m⁻³, siendo el doble de la concentración del fósforo. A partir de 1840, numerosos trabajos en laboratorio, invernadero y en campo han demostrado beneficios de su aplicación en arroz (*Oryza sativa* L.), maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), cebada

(*Hordeum vulgare* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y otros cultivos. Este elemento tiene un efecto doble en el sistema planta-suelo. En primer lugar, refuerza la protección contra enfermedades, ataque de insectos y condiciones climáticas desfavorables. Segundo, optimiza la fertilidad del suelo mejorando sus propiedades hídricas, físicas y químicas, y mantiene los nutrientes en formas disponibles para la planta (Snyder *et al.*, 2007).

Análisis de tejido de una amplia variedad de plantas mostró que las concentraciones de silicio varían de 1 a 100 g de Si·kg⁻¹ de materia seca, dependiendo de la especie (Epstein, 1999). La comparación de estos valores con los de otros elementos como N, P, Ca y otros, muestra que el silicio está presente en cantidades equivalentes a las de estos macronutrientes (Snyder *et al.*, 2007).

La planta absorbe el silicio del suelo en forma de ácido monosilícico, también llamado ortosilícico (H₄SiO₄) (Lewin y Reimann, 1969; Yoshida, 1975). La mayor cantidad de silicio es absorbida por la caña de azúcar (300-700 kg de Si·ha⁻¹), arroz (150-300 kg de Si·ha⁻¹), y el trigo (50-150 kg de Si·ha⁻¹) (Bazilevich, 1993). En promedio, las plantas absorben de 50 a 200 kg·ha⁻¹ de Si. Estas cantidades de silicio absorbidas no pueden ser completamente explicadas por absorción pasiva (por ejemplo, la difusión o de flujo de masa), ya que los primeros 20 cm de la capa de suelo sólo contienen un promedio de 0.1 a 1.6 kg·ha⁻¹ de Si como ácido monosilícico (Matichenkov y Ammosova, 1996; Matichenkov *et al.*, 1997; Matichenkov *et al.*, 2000). Algunos resultados han demostrado que las raíces del arroz poseen capacidad específica para concentrar silicio de la solución externa (Takahashi, 1995).

En la planta el Si es transportado desde la raíz a los brotes por medio de la corriente de transporte en el xilema (transpiración). El ácido monosilícico puede penetrar pasivamente a través de las membranas celulares (Aston y Jones, 1976). El transporte activo del ácido monosilícico en las plantas ha tenido poco estudio.

Después de absorberse, el silicio se desplaza rápidamente a las hojas, gracias a la transpiración (Ma, 2003). En las hojas se concentra en el tejido epidérmico como una capa fina de membrana de sílice-celulosa, asociada con pectina y iones calcio (Waterkeyn *et al.*, 1982). De este modo, la doble capa cuticular puede proteger y fortalecer mecánicamente las estructuras de la planta (Yoshida, 1965).

Se han encontrado interacciones entre el silicio y algunos metales tóxicos como el aluminio, manganeso y hierro formando silicatos poco solubles (Horiguchi, 1988; Lumsdon y Farmer, 1995), reduciendo su toxicidad para la planta (Barcelo *et al.*, 1993; Foy, 1992). El anión del ácido monosilícico (H_4SiO_4^-) puede reemplazar el anión fosfato $[\text{HPO}_4]^{2-}$ del calcio, magnesio, aluminio, hierro y fosfatos (Matichenkov y Ammosova, 1996). El silicio puede reemplazar el fosfato de moléculas de ADN y ARN. Como resultado, la nutrición adecuada de silicio es responsable de aumentar la estabilidad de las moléculas de ADN y ARN (Aleshin, 1982; Voronkov *et al.*, 1978). También se ha demostrado que provoca una mayor concentración de clorofila por unidad de superficie en las hojas. Esto implica que una planta pueda tolerar bien los niveles de luz baja o alta mediante el uso de la luz de manera más eficiente. Por otra parte, se le hace responsable de producir concentraciones más altas de la enzima ribulosa bifosfato-carboxilasa en el tejido de la hoja (Adatia y Besford, 1986). Esta

enzima regula el metabolismo de CO₂ y promueve su uso más eficiente por las plantas (Snyder *et al.*, 2007).

El aumento en el contenido de azúcar en la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) (Leibig, 1840; Klechkovsky y Vladimirov, 1934) y caña de azúcar (Ayres, 1966; Fox *et al.*, 1967), como resultado de la aplicación de fertilizantes de silicio puede ser considerada como una influencia bioquímica del silicio. En naranjo la nutrición con silicio resultó en un aumento significativo en los azúcares de la fruta (°Brix) (Matichenkov *et al.*, 2002).

Se ha encontrado al silicio suprimiendo muchas enfermedades de las plantas como cenicilla, *Botrytis*, pudrición de raíz y ataques de insectos como *Spodoptera depravata* (Snyder *et al.*, 2007). El efecto del silicio sobre la resistencia de las plantas a las plagas se atribuye tanto a la acumulación de silicio en el tejido epidérmico y a la expresión de patogénesis inducida como respuesta de defensa del huésped (Aleshin, 1988; Hodson y Sangster, 1988; Waterkeyn *et al.*, 1982).

El silicio también podría formar complejos con compuestos orgánicos en las paredes celulares de las células de la epidermis, aumentando así su resistencia a la degradación por las enzimas liberadas por el hongo, como lo observado en el arroz con el hongo *Magnaporthe grisea* M.E. Barr (Volk, 1958). De hecho, el silicio puede estar asociado con complejos de carbohidratos-lignina en la pared celular de la epidermis de arroz (Inanaga *et al.*, 1995).

Algunas investigaciones señalan el papel del silicio en las plantas como activador y sugieren que el elemento podría ser una señal para la inducción de reacciones de defensa a enfermedades de las plantas. Se ha demostrado que estimula la actividad de la quitinasa y la rápida activación de peroxidasas y polifenoloxidasas después de la infección por hongos (Cherf *et al.*, 1994).

Los depósitos de silicio en las paredes celulares de los vasos del xilema evitan la compresión de éstos en condiciones de transpiración causada por sequía o estrés por calor. La membrana de silicio-celulosa en la epidermis también protege las plantas contra la excesiva pérdida de agua por transpiración (Emadian y Newton, 1989). Esta acción se produce debido a una reducción en el diámetro de poro de estomas (Efimova y Dokynchan, 1986) y, en consecuencia a la reducción de la transpiración de la hoja (Aston y Jones, 1976).

El silicio puede aliviar el estrés salino en las plantas superiores (Liang y Shen, 1994; Matichenkov y Bocharnikova, 2001). Hay varias hipótesis para este efecto: (a) mejora de la actividad fotosintética, (b) mejora de la selectividad K/Na, (c), el aumento de la actividad enzimática y (d) incremento en la concentración de sustancias solubles en el xilema, resultando en una absorción limitada de sodio por las plantas (Matichenkov y Bocharnikova, 2001; Ahmad *et al.*, 1992; Bradbury y Ahmad, 1990; Liang, 1999).

La nutrición adecuada de silicio puede aumentar la resistencia de las plantas al frío (Matichenkov y Bocharnikova, 2001; Matichenkov *et al.*, 1999); Sin embargo, este mecanismo sigue siendo poco conocido.

La optimización de la nutrición de silicio resulta en el aumento de la masa y volumen de las raíces, dándose un incremento total de la superficie de adsorción (Adatia y Besford, 1986; Bocharnikova, 1996; Kim, 1987; Kudinova, 1975; Matichenkov, 1996). Como resultado de la aplicación de fertilizantes de silicio, el peso seco de la cebada aumentó en 21 y 54 % a los 20 y 30 días de crecimiento, respectivamente, en relación con las plantas que no recibieron suplemento de silicio (Kudinova, 1974). La fertilización con silicio aumenta la respiración de las raíces (Yamaguchi *et al.*, 1995).

Un experimento de germinación con cítricos (*Citrus* spp.) demostró que al aumentar la concentración de ácido monosilícico en el agua de riego, el peso de las raíces aumentó más que la de los brotes (Matichenkov *et al.*, 1999). El mismo efecto se observó en el pasto bahía (*Paspalum notatum* Flüggé) (Matichenkov *et al.*, 2000).

El silicio juega un papel importante en la formación de cáscara en el arroz, y a su vez, parece influir en la calidad del grano (Savant *et al.*, 1997). La cáscara de mala calidad y el color blanco lechoso de los cereales (granos) son generalmente por bajo contenido de silicio, que es directamente proporcional a la concentración de silicio en la paja de arroz (Aleshin *et al.*, 1978).

Los granos de cebada que fueron cosechados de un área fertilizada con silicio tuvieron una mejor capacidad de germinación que las semillas de un suelo pobre en silicio disponible para la planta (Matichenkov, 1990). La mala nutrición de silicio tiene un efecto negativo sobre la floración en el jitomate (*Solanum lycopersicon*) (Miyake, 1993). Es importante señalar que la aplicación de fertilizantes de silicio acelera el crecimiento de los cítricos entre 30 y 80%, acelera la maduración del fruto de 2 a 4

semanas, y aumenta el número de frutos (Taranovskaia, 1939). Una aceleración similar en la maduración de las plantas con aplicación de fertilizantes de silicio se observó en maíz (Matichenkov, 1990).

Numerosos experimentos de campo en diferentes suelos y condiciones climáticas y con varias plantas demuestran claramente los beneficios de la aplicación de fertilizantes de silicio para la productividad y calidad de los cultivos (Snyder *et al.*, 2007).

Wang y Galleta (1998) encontraron que la aplicación foliar de silicio en fresa incrementa el contenido de clorofila en las hojas, los ácidos orgánicos en frutos y los niveles de glico y fosfolípidos, lo que contribuye a mantener la fluidez de la membrana, induciendo la expansión celular, ayudando así a mejorar el crecimiento general de las plantas.

Sin embargo, no todos los estudios que se han realizado reportan efectos benéficos. Lieten *et al.* (2002) encontraron que altas concentraciones de silicio en el agua de riego o en la solución nutritiva incrementan el albinismo en frutos de fresa (disminución de antocianinas).

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Localización

El desarrollo del estudio se llevó a cabo en un invernadero de cristal en la Universidad Autónoma Chapingo, que se localiza a 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, a una altitud de 2,250 m.

4.2. Material Vegetal Utilizado

Se utilizaron plantas de fresa de los cultivares Jacona y Festival. Previo al trasplante se dio un tratamiento a las coronas con metalaxil a una dosis de 3.5 ml·litro⁻¹ de agua. El trasplante se realizó el 8 de octubre de 2010 para el cultivar Jacona y el 15 de octubre del mismo año para 'Festival', plantándose una corona por maceta.

4.3. Sustrato

Se usó como sustrato una mezcla de suelo, turba y agrolita, en proporción 6:4:2, a la cual se le realizó un análisis de fertilidad y una desinfestación con Bromuro de Metilo a una dosis de 30 g.m⁻³ de sustrato. Se plantó en macetas de plástico de 1.3 litros de volumen, previa desinfestación con hipoclorito de sodio 1 %.

El análisis de fertilidad resultó rico a muy rico en contenido de nutrimentos según los criterios de interpretación de Castellanos *et al.* (2000) (Cuadros 2 y 3), por lo que se considero no ser necesaria una fertilización complementaria a los tratamientos.

Cuadro 2. Resultado de análisis de fertilidad del sustrato empleado en el estudio. Características físicas y químicas.

	Variables físicas y químicas			
	pH	MO (%)	Dap (t·m ⁻³)	Textura
Resultado de análisis	6.33	9.28	0.87	Franco arenoso
Interpretación (Castellanos <i>et al.</i> , 2000)	Moderadamente ácido	Muy rico	Volumen de poros mayor a 62 %	Media

Cuadro 3. Resultado de análisis de fertilidad del sustrato empleado en el estudio. Contenido nutrimental.

	Nutrimentos (mg·kg ⁻¹)									
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Resultado de análisis	55.7	439.52	724	5294	1536	35.74	3.35	15.23	49.66	3.23
Interpretación (Castellanos <i>et al.</i> , 2000)	Alto	Extremadamente alto	Alto	Alto	Muy alto	Alto	Alto	Muy alto	Alto	Muy alto

4.4. Diseño Experimental y Tratamientos

El diseño experimental fue un factorial completamente al azar con 9 tratamientos (Cuadro 4) dentro de cada cultivar, con diez repeticiones en cada tratamiento, siendo la unidad experimental una planta por maceta.

Cuadro 4. Tratamientos aplicados foliarmente y fuentes empleadas.

TRATAMIENTO mg·litro ⁻¹		FUENTE	Concentración del elemento de interés según etiqueta
1	Testigo	NINGUNA	
2	1 000 K	Nitrato de Potasio (KNO ₃)	44% K ₂ O
3	2 000 K	Nitrato de Potasio (KNO ₃)	
4	1 000 Ca	Nitrato de Calcio [Ca(NO ₃) ₂]	26% CaO
5	2 000 Ca	Nitrato de Calcio [Ca(NO ₃) ₂]	
6	1 000 K	Phytophos-K	36 % K ₂ O
7	2 000 K	Phytophos-K	
8	100 Si	Silicato de Potasio (K ₂ SiO ₃)	39.2% K ₂ SiO ₃
9	400 Si	Silicato de Potasio (K ₂ SiO ₃)	

Cuadro 5. Aportación nutrimental total en cada tratamiento.

TRATAMIENTO mg·litro ⁻¹		FUENTE	N	P	K	Ca	Mg	Si
			mg·litro ⁻¹ aportados					
1	Testigo	Ninguna	0	0	0	0	0	0
2	1 000 K	KNO ₃	356.2	0	1,000	0	0	0
3	2 000 K	KNO ₃	712.4	0	2,000	0	0	0
4	1 000 Ca	Ca(NO ₃) ₂	834.6	0	0	1,000	0	0
5	2 000 Ca	Ca(NO ₃) ₂	1,669.2	0	0	2,000	0	0
6	1 000 K	Phytophos-K	5	46	1,000	0	0.754	0
7	2 000 K	Phytophos-K	10	92	2,000	0	1.507	0
8	100 Si	K ₂ SiO ₃	0	0	277.33	0	0	100
9	400 Si	K ₂ SiO ₃	0	0	1,110.71	0	0	400

La aplicación de los tratamientos se realizó cada 14 días. Las sales (fuentes) se diluyeron en agua destilada, se agregó el coadyuvante (adherente-dispersante) Inex a una dosis de $0.5 \text{ ml}\cdot\text{litro}^{-1}$; por último se ajustó el pH entre 5 y 5.2 con Buffex y/o Hidróxido de Sodio (NaOH) a una concentración de 2 N.

4.5. Variables Evaluadas

La cosecha inició en febrero y terminó en abril, realizándose dos cortes por semana.

4.5.1. En fruto

Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$). Se cosechó y pesó el total de frutos en cada tratamiento y se dividió entre el número de plantas en cada tratamiento.

Peso fresco (g). En cada corte se tomó el peso fresco de un promedio de 10 frutos por tratamiento, de forma individual, usando una balanza digital marca OHAUS modelo Scout Pro.

Índice de redondez. Para determinar esta variable fue necesario tomar los datos de diámetro ecuatorial y longitud de los frutos, en milímetros, lo cual se realizó con un vernier digital marca GENERAL No. 143, de un promedio de 15 frutos por tratamiento. Los resultados de la relación longitud/diámetro fueron utilizados para determinar las formas de los frutos; donde valores menores a uno fueron considerados como frutos achatados, mayores a uno considerados como frutos alargados y valores de cero considerados como frutos redondos (Martínez *et al.*, 2008).

Firmeza ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$). Se midió esta variable en un promedio de 15 frutos por tratamiento, de los que se procuró se encontraran en el mismo estado de madurez, con un penetrómetro marca Qa SUPPLIES modelo FT O2, con puntal de 1.9 mm de grosor.

Sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$). La concentración fue determinada con el uso de un refractómetro digital ATAGO modelo PAL-1, de un promedio de diez frutos por tratamiento, de cada una de las muestras se extrajeron directamente algunas gotas de jugo y se colocaron en el refractómetro para efectuar la lectura

Acidez titulable (% Ac. Cítrico). La determinación se realizó con base en la metodología descrita por la Asociación de Química Analítica Oficial (Anónimo, 1980). Se determinó en un fruto de seis plantas en cada tratamiento. El porcentaje de acidez se calculó con relación al ácido cítrico ($\text{meq} = 0.064$), el cual se encuentra en mayor proporción en frutos de fresa (Hancock, 1999).

Sabor. Se obtuvo de la relación sólidos solubles totales/acidez titulable. Se determinó dividiendo la cantidad de $^{\circ}\text{Brix}$ del fruto entre el porcentaje (%) de ácido cítrico que contenía ese mismo fruto.

pH. Se midió aprovechando el licuado resultante del procedimiento en el que se midió la acidez titulable, con ayuda de un potenciómetro marca CONDUCTRONIC modelo PC45.

Antocianinas ($\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ de fruto fresco). Se determinó la cantidad de la antocianina antocianidina en un fruto de cuatro plantas por tratamiento. Para hacer

estas determinaciones se usó el procedimiento de Craher (1971). Las lecturas se hicieron en un espectrofotómetro Marca Thermo Spectronic Modelo Genesys 10UV.

Azúcares solubles totales (%). Se determinaron por el método de antrona descrito por Witham *et al.* (1971), en un fruto de cuatro plantas en cada tratamiento, las lecturas se hicieron en un espectrofotómetro Marca Thermo Spectronic Modelo Genesys 10UV.

4.5.2. En Planta

Área foliar ($\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$). Se determinó el área foliar total con un integrador de área foliar marca LICOR Modelo 3100, de todas las plantas en cada tratamiento.

Clorofilas ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ de peso fresco). Se determinaron las clorofilas a, b y clorofila total, en 100 mg de hoja de cuatro plantas en cada tratamiento, por los métodos descritos por la Asociación de Química Analítica Oficial (Anónimo, 1980) y Witham *et al.* (1971). Las lecturas se hicieron en un espectrofotómetro Marca Thermo Spectronic Modelo Genesys 10UV.

Azúcares solubles totales (%). Se determinaron los azúcares solubles totales, en 2.5 g de hoja de cuatro plantas en cada tratamiento, al igual que en fruto, se determinaron por el método de antrona descrito por Witham *et al.* (1971), las lecturas se hicieron en un espectrofotómetro Marca Thermo Spectronic Modelo Genesys 10UV.

Peso seco ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$). Para el peso seco se cortó toda la planta, excepto las raíces, se cortó el total de plantas de cada tratamiento, se metió a secar en bolsas de papel a una temperatura de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 horas, en una estufa con aire forzado marca BINDER hasta peso constante, una vez seca se sacó cada planta de la bolsa de papel y se pesó en una balanza digital marca OHAUS modelo Scout Pro, obteniéndose el peso en gramos.

Concentración nutrimental (en % para macronutrientes y en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de materia seca para silicio). Se determinó la concentración nutrimental de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y silicio (Si) en planta y en fruto, para lo cual se metieron a secar los frutos a la estufa de aire forzado por el mismo tiempo que las plantas. En planta se hizo la determinación en cinco plantas en cada tratamiento; la determinación de silicio (Si) se hizo en cinco plantas, únicamente en los tratamientos testigo y aquellos donde se aplicó silicio. En fruto se determinó en un fruto de cuatro plantas en cada tratamiento. La determinación de silicio (Si) se hizo en un fruto de dos plantas, también únicamente en los tratamientos testigo y aquellos donde se aplicó silicio.

Para la determinación de los nutrientes N, P, K, Ca y Mg en planta, se pesó una muestra de 0.25 g de materia seca en una balanza analítica digital MARCA OHAUS, Modelo Adventurer Pro. Para determinar estos nutrientes la muestra se sometió a digestión húmeda con una mezcla de solución diácida de H_2SO_4 y HClO_4 (2:1, v/v), a la cual se agregaron 4 ml y 2 ml de peróxido de hidrógeno 30 %. Después de la

digestión se aforó a 25 ml con agua desionizada. En fruto se utilizaron 0.15 g de materia seca. Después de la digestión se filtró y aforó a 10 ml con agua desionizada.

Para la determinación de Si en planta y fruto se pesó una muestra de 0.15 g de materia seca y se sometió a una digestión húmeda con una mezcla de solución triácida (HNO_3 , HClO_4 y H_2SO_4) (10:2:1, v/v) Después de la digestión se filtró y aforó a 10 ml con agua desionizada.

La determinación de la concentración de N se hizo por el método de microkjeldahl. Las concentraciones de P, Ca y Mg se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica de plasma por inducción acoplada (ICP-AES) marca VARIAN modelo Liberty series II. Las concentraciones de K y Si se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica marca VARIAN modelo spectrAA 220 de acuerdo con el procedimiento descrito por Alcántar y Sandoval (1999).

En todos los casos las concentraciones se calcularon en base al peso seco.

4.6. Análisis Estadístico

Los datos se sometieron a un análisis estadístico de análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.01$, altamente significativo y $P \leq 0.05$, significativo), utilizando el paquete estadístico SAS.

V. RESULTADOS

5.1. Variables Evaluadas en Fruto

5.1.1. Rendimiento

Con el cv. Jacona se obtuvo mayor rendimiento en la mayoría de los tratamientos, en comparación a 'Festival', a excepción de los tratamientos con 2,000 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de K (Fuente Phytophos-K) y 1,000 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de K (Fuente KNO_3) (Figura 1).

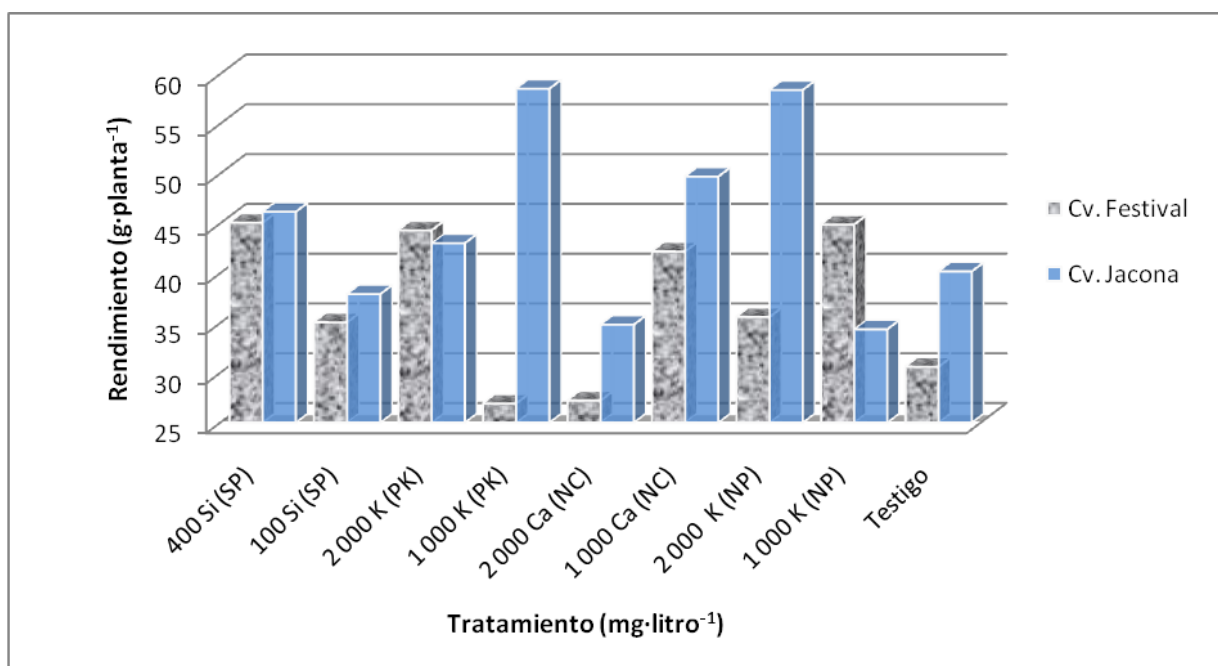


Figura 1. Rendimiento de fruto en fresa 'Jacona' y 'Festival'. K: Potasio; NP: Nitrato de Potasio; Ca; Calcio; NC: Nitrato de Calcio; PK: Phytophos-K; Si: Silicio; SP: Silicato de Potasio.

En el cv. Festival el tratamiento con el que se obtuvo mayor rendimiento fue el de 400 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de silicio, usando como fuente el Silicato de Potasio, con el que se obtuvo 47.3 % más, en comparación con el testigo. Solo con los tratamientos 2,000

mg·litro⁻¹ de Ca y 1,000 mg·litro⁻¹ de K (Fuente Phytophos-K) se obtuvieron rendimientos menores al testigo (Figura 2).

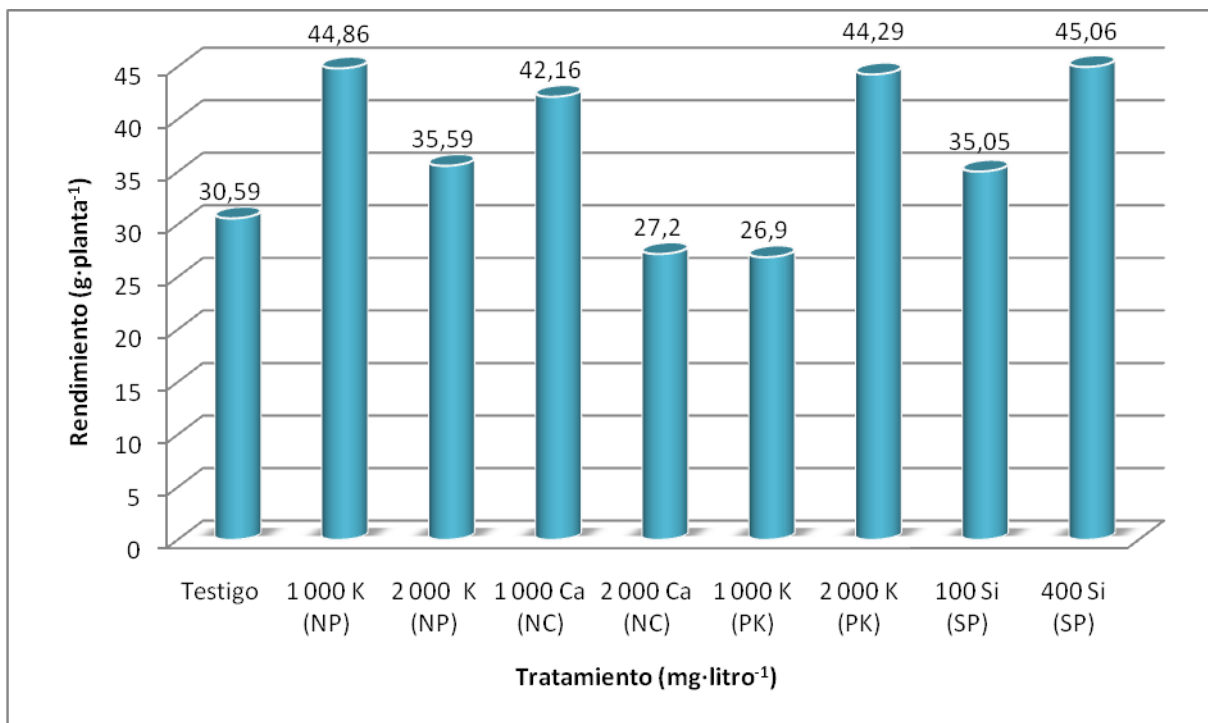


Figura 2. Rendimiento de fruto en fresa 'Festival'. K: Potasio; NP: Nitrato de potasio; Ca: Calcio; NC: Nitrato de calcio; PK: Phytophos-K; Si: Silicio; SP: Silicato de potasio.

En el cv. Jacona el mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento de 1,000mg·litro⁻¹ de K usando como fuente Phytophos-K, superando al testigo en 45.67 %. Solo en los tratamientos con 1,000 mg·litro⁻¹ de K (Fuente KNO₃), 2,000 mg·litro⁻¹ de Ca y 100 mg·litro⁻¹ de Si se obtuvieron rendimientos inferiores al testigo (Figura 3).

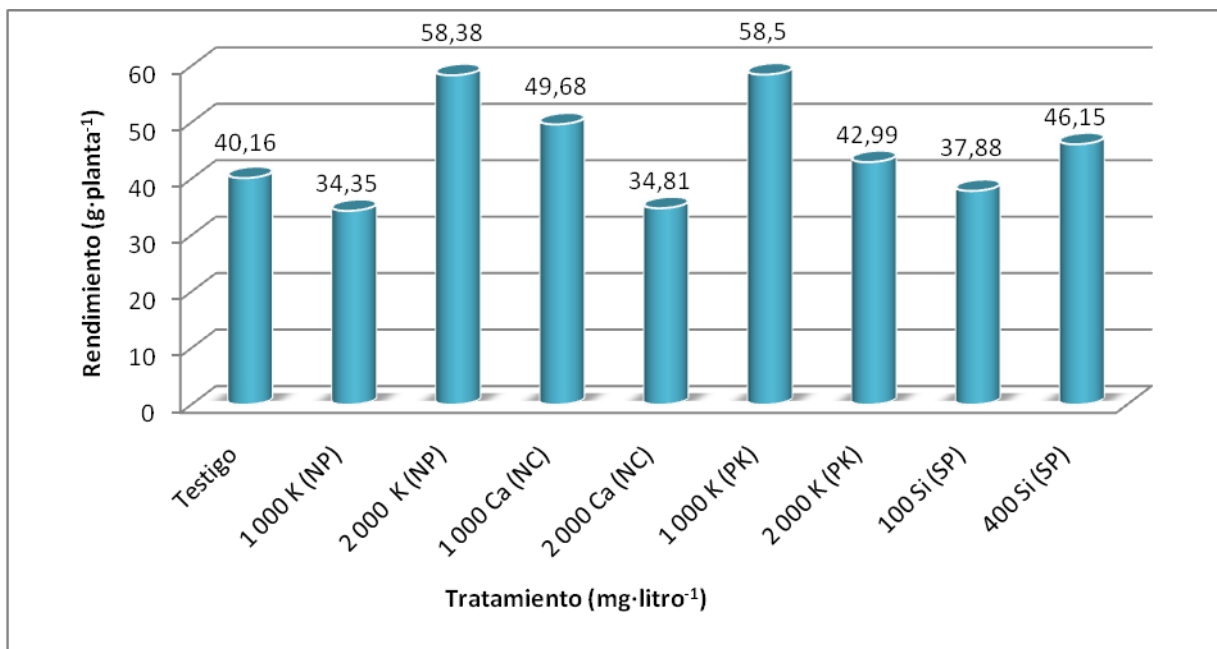


Figura 3. Rendimiento de fruto en fresa 'Jacona'. K: Potasio; NP: Nitrato de potasio; Ca: Calcio; NC: Nitrato de calcio; PK: Phytophos-K; Si: Silicio; SP: Silicato de potasio.

5.1.2. Peso fresco

Frutos de mayor peso se obtuvieron con el cv. Jacona (Cuadro 6). Para esta misma variable no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 8).

5.1.3. Largo

No hubo diferencias significativas entre cultivares para la variable largo de fruto (Cuadro 6), ni hubo entre tratamientos (Cuadro 8).

5.1.4. Ancho

No hubo diferencias significativas entre cultivares para la variable ancho de fruto (Cuadro 6), ni la hubo entre tratamientos (Cuadro 8).

5.1.5. Índice de redondez

En base a la relación longitud/diámetro de los frutos, la forma de estos en ambos cultivares en todos los tratamientos fueron achatados, por lo que no hubo diferencias significativas entre cultivares para la variable índice de redondez (Cuadro 6), ni la hubo entre tratamientos (Cuadro 8).

5.1.6. Firmeza

No hubo diferencias significativas entre cultivares para la variable firmeza de fruto (Cuadro 6), ni la hubo entre tratamientos (Cuadro 8).

5.1.7. Sólidos solubles totales

No hubo diferencias significativas entre cultivares para la variable sólidos solubles totales (Cuadro 6), ni la hubo entre tratamientos (Cuadro 8).

Cuadro 6. Comparación de medias entre cultivares, de variables de calidad de fruto de fresa.

CULTIVAR	PF g	LARGO mm	ANCHO mm	INRE	FIRMEZA g·cm⁻²	SST °Brix
Festival	8.12 b	32.79 a	24.63 a	0.78 a	203.67 a	6.89 a
Jacona	9.51 a	30.85 a	24.19 a	0.79 a	216.54 a	6.57 a
DMS	0.63	2.77	1.13	0.03	14.52	0.45
CV (%)	23.50	28.57	15.21	13.32	19.83	19.44

PF: Peso Fresco; INRE: Índice de Redondez; SST: Sólidos Solubles Totales; DMS: Diferencia Mínima Significativa; CV: Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

5.1.8. Acidez titulable

El cv. Jacona fue el que presentó la mayor acidez titulable con un valor de 1.02 % de ácido cítrico (Cuadro 7), entre tratamientos el valor más alto se obtuvo con 2,000 mg·litro⁻¹ de K usando como fuente Phytophos-K, presentando igualdad estadística con todos los tratamientos, excepto con 2,000 mg·litro⁻¹ de Ca (Cuadro 8).

5.1.9. Sabor

Los valores más altos se obtuvieron en el cv. Festival (Cuadro 7) y no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 8).

5.1.10. pH

Los frutos del cv. Festival presentaron valores más altos de pH (Cuadro 7). Entre tratamientos no hubo diferencia significativa (Cuadro 8).

5.1.11. Antocianinas

El mayor contenido de antocianidina se obtuvo en los frutos del cv. Jacona (Cuadro 7), aunque no hubo diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 8).

5.1.12. Azúcares solubles totales

No hubo diferencias significativas entre cultivares en el contenido de azúcares solubles totales (Cuadro 7), pero si entre tratamientos; resultando 1,000 mg·litro⁻¹ de K usando como fuente Nitrato de Potasio en el que se obtuvo el más alto valor, presentando igualdad estadística con todos los tratamientos, excepto con 1,000 mg·litro⁻¹ de Ca (Cuadro 8).

Cuadro 7. Comparación de medias entre cultivares, de variables de calidad de fruto de fresa.

CULTIVAR	ACIT	SABOR	pH	ANT	AST
	% Ac. Cítrico			mg·100 g ⁻¹ PF	%
Festival	0.89 b	7.85 a	2.44 a	28.25 b	3.76 a
Jacona	1.02 a	6.80 b	2.21 b	40.24 a	3.71 a
DMS	0.05	0.71	0.04	10.38	0.46
CV (%)	16.15	28.06	5.12	54.91	22.43

ACIT: Acidez Titulable; ANT: Antocianinas; PF: Peso Fresco; AST: Azúcares Solubles Totales; DMS: Diferencia Mínima Significativa; CV: Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 8. Comparación de medias entre tratamientos, de variables de calidad de fruto de fresa.

TRAT mg·litro ⁻¹	FUENTE	PF g	LARGO mm	ANCHO mm	INRE	FIRM g·cm ⁻²	SST °Brix	ACIT % Ac. Cítrico	SAB	pH	ANT mg·100 g ⁻¹ PF	AST %
Testigo		8.60 a	30.41 a	24.78 a	0.82 A	221.67 a	6.25 a	0.95 ab	7.1 a	2.29 a	47.80 a	3.91 ab
1 000 K	KNO ₃	9.65 a	31.71 a	23.97 a	0.76 A	204.67 a	6.32 a	0.94 ab	6.8 a	2.32 a	40.00 a	4.73 a
2 000 K	KNO ₃	9.22 a	35.72 a	23.23 a	0.73 A	202.50 a	6.82 a	0.93 ab	7.5 a	2.35 a	23.85 a	3.27 ab
1 000 Ca	Ca(NO ₃) ₂	8.56 a	29.14 a	23.09 a	0.80 A	215.48 a	7.52 a	0.92 ab	8.5 a	2.30 a	36.99 a	2.94 b
2 000 Ca	Ca(NO ₃) ₂	8.69 a	29.11 a	23.96 a	0.83 A	203.81 a	6.53 a	0.86 b	7.8 a	2.35 a	39.80 a	4.01 ab
1 000 K	Phytophos-K	8.17 a	33.66 a	26.00 a	0.77 A	219.32 a	6.33 a	1.00 ab	6.3 a	2.27 a	29.84 a	4.17 ab
2 000 K	Phytophos-K	9.55 a	34.09 a	25.11 a	0.74 A	200.24 a	6.78 a	1.06 a	6.7 a	2.34 a	33.05 a	3.53 ab
100 Si	K ₂ SiO ₃	8.50 a	31.09 a	25.46 a	0.82 A	204.87 a	6.18 a	0.95 ab	6.6 a	2.30 a	35.14 a	3.16 ab
400 Si	K ₂ SiO ₃	8.40 a	30.94 a	24.07 a	0.79 A	219.66 a	7.54 a	0.98 ab	8.1 a	2.35 a	21.73 a	3.90 ab
DMS		2.14	9.37	3.83	0.11	49.23	1.54	0.18	2.4	0.14	35.80	1.59
CV (%)		23.50	28.57	15.20	13.30	19.83	19.44	16.15	28.1	5.12	54.91	22.42

TRAT: Tratamiento; PF: Peso Fresco; INRE: Índice de Redondez; FIRM: Firmeza; SST: Sólidos Solubles Totales; ACIT: Acidez Titulable; SAB: Sabor; ANT: Antocianinas; PF: Peso Fresco; AST: Azúcares Solubles Totales; DMS: Diferencia Mínima Significativa; CV: Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

5.1.13. Concentración nutrimental en frutos

En la concentración de N en frutos no hubo diferencias significativas entre cultivares (Cuadro 9), aunque si las hubo entre tratamientos; obteniendo la mayor concentración con 2,000 mg·litro⁻¹ de K usando como fuente Phytosphos-K, presentando igualdad estadística con todos los tratamientos, excepto con 1,000 mg·litro⁻¹ de Ca (Cuadro 10).

Los valores más altos en concentración de P se encontraron en el cv. Festival (Cuadro 9), no encontrándose diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 10).

El cv. Festival tuvo el más alto valor en concentración de K (Cuadro 9), presentándose también diferencias significativas entre tratamientos, con 1,000 mg·litro⁻¹ de Ca se obtuvo la mayor concentración de K, presentando igualdad estadística con todos los tratamientos, excepto 100 y 400 mg·litro⁻¹ de Si (Cuadro 10).

En frutos del cv. Festival se obtuvo la mayor concentración de Ca (Cuadro 9). El tratamiento con 400 mg·litro⁻¹ de Si fue el que presentó la mayor concentración de Ca, presentándose igualdad estadística con todos los tratamientos, excepto con 2,000 mg·litro⁻¹ de K usando como fuente Phytosphos-K (Cuadro 10).

En concentración de Mg no hubo diferencias significativas entre cultivares (Cuadro 11), ni entre tratamientos (Cuadro 10).

La más alta concentración de Si se obtuvo en frutos del cv. Jacona (Cuadro 9); sin embargo, no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 10).

Cuadro 9. Comparación de medias entre cultivares, de la concentración nutrimental en frutos de fresa.

CULTIVAR	N	P	K	Ca	Mg	Si
			%			mg·kg ⁻¹ MS
Festival	0.945 a	0.228 a	2.29 a	0.13 a	0.11 a	778.57 b
Jacona	0.883 a	0.200 b	0.80 b	0.11 b	0.12 a	1069.07 a
DMS	0.098	0.018	0.38	0.01	0.01	229.46
CV (%)	20.45	15.55	47.32	15.45	14.31	17.58

N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Si: Silicio; MS: Materia Seca; DMS: Diferencia Mínima Significativa; CV: Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

5.2. Variables Evaluadas en Hojas

5.2.1. Clorofilas

No hubo diferencia significativa entre cultivares para las variables clorofila a, clorofila b y clorofila total (Cuadro 11); tampoco la hubo entre tratamientos (Cuadro 12).

5.2.2. Azúcares solubles totales

En las hojas del cv. Jacona se obtuvo el más alto contenido de azúcares solubles totales (Cuadro 11), no presentándose diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 12).

Cuadro 10. Comparación de medias entre tratamientos, de la concentración nutrimental en frutos de fresa.

TRATAMIENTO mg·litro ⁻¹	FUENTE	N	P	K	Ca	Mg	Si
				%			mg·kg ⁻¹ MS
Testigo		0.84 ab	0.20 a	1.46 ab	0.12 ab	0.12 a	880.0 a
1 000 K	KNO ₃	0.89 ab	0.22 a	2.51 a	0.11 ab	0.11 a	ND
2 000 K	KNO ₃	0.81 ab	0.22 a	1.90 ab	0.12 ab	0.12 a	ND
1 000 Ca	Ca(NO ₃) ₂	0.80 b	0.19 a	1.30 ab	0.11 ab	0.11 a	ND
2 000 Ca	Ca(NO ₃) ₂	0.89 ab	0.23 a	1.89 ab	0.13 ab	0.11 a	ND
1 000 K	Phytophos-K	1.13 ab	0.23 a	1.64 ab	0.11 ab	0.11 a	ND
2 000 K	Phytophos-K	1.15 a	0.20 a	1.52 ab	0.10 b	0.10 a	ND
100 Si	K ₂ SiO ₃	0.95 ab	0.21 a	1.12 b	0.13 ab	0.12 a	971.4 a
400 Si	K ₂ SiO ₃	0.84 ab	0.22 a	0.85 b	0.14 a	0.12 a	920.1 a
DMS		0.34	0.06	1.33	0.03	0.03	352.4
CV (%)		20.44	15.55	47.32	15.45	14.31	17.6

N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Si: Silicio; MS: Materia Seca; ND: No determinado; DMS: Diferencia Mínima Significativa; CV: Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

5.2.3. Área foliar

Para esta variable no hubo diferencias significativas entre cultivares (Cuadro 11), pero si la hubo entre tratamientos, siendo superior 2,000 mg·litro⁻¹ de K en el que se usó como fuente Phytophos-K, presentando igualdad estadística con todos los tratamientos, excepto con 100 mg·litro⁻¹ de Si (Cuadro 12).

5.2.4. Peso seco

No hubo diferencias significativas entre cultivares para la variable peso seco (Cuadro 11), en tratamientos el mayor valor se obtuvo con 2,000 mg·litro⁻¹ de K en el que se usó Nitrato de Potasio como fuente, presentándose igualdad estadística con todos los tratamientos, excepto para 1,000 mg·litro⁻¹ de K donde se usó Nitrato de Potasio como fuente, 2,000 mg·litro⁻¹ de Ca y para 100 mg·litro⁻¹ de Si (Cuadro 12).

Cuadro 11. Comparación de medias en dos cultivares de fresa, de las variables evaluadas en hojas.

CULTIVAR	CLO _a mg·g ⁻¹ de peso fresco	CLO _b mg·g ⁻¹ de peso fresco	CLO _{tot} mg·g ⁻¹ de peso fresco	AST %	ARFO cm ² ·planta ⁻¹	PECO g·planta ⁻¹
Festival	1.20 a	0.478 A	1.677 a	2.82 b	528.11 a	4.244 a
Jacona	1.16 a	0.472 A	1.635 a	8.73 a	520.25 a	4.305 a
DMS	0.11	0.050	0.160	0.55	45.37	0.452
CV (%)	19.85	22.211	20.412	13.72	29.32	35.826

CLO_a: Clorofila a; CLO_b: Clorofila b; CLO_{tot}: Clorofila total; AST: Azúcares Solubles Totales; ARFO: Área foliar; PECO: Peso seco; DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

Cuadro 12. Comparación de medias entre tratamientos, de variables evaluadas en hojas de fresa.

TRATAMIENTO	FUENTE	CLO _a	CLO _b	CLO _{tot}	AST	ARFO	PECO
mg·litro ⁻¹			mg·g ⁻¹ de peso fresco		%	cm ² ·planta ⁻¹	g·planta ⁻¹
Testigo		1.17 a	0.466 a	1.63 a	6.18 a	528.00 ab	4.21 ab
1 000 K	KNO ₃	1.16 a	0.459 a	1.62 a	6.30 a	507.59 ab	3.90 b
2 000 K	KNO ₃	1.00 a	0.394 a	1.40 a	6.12 a	600.48 ab	5.52 a
1 000 Ca	Ca(NO ₃) ₂	1.19 a	0.484 a	1.67 a	6.86 a	552.02 ab	4.68 ab
2 000 Ca	Ca(NO ₃) ₂	1.21 a	0.499 a	1.71 a	6.72 a	458.04 ab	3.59 b
1 000 K	Phytophos-K	1.17 a	0.468 a	1.64 a	6.86 a	493.04 ab	4.06 ab
2 000 K	Phytophos-K	1.29 a	0.502 a	1.79 a	6.51 a	611.07 a	4.41 ab
100 Si	K ₂ SiO ₃	1.19 a	0.498 a	1.69 a	5.49 a	451.87 b	3.53 b
400 Si	K ₂ SiO ₃	1.24 a	0.500 a	1.74 a	5.63 a	515.28 ab	4.56 ab
DMS		0.38	0.170	0.55	1.87	153.27	1.53
CV (%)		19.85	22.211	20.41	13.72	29.32	35.83

CLO_a: Clorofila a; CLO_b: Clorofila b; CLO_{tot}: Clorofila total; AST: Azúcares Solubles Totales; ARFO: Área foliar; PECO: Peso seco; DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$).

5.2.5. Concentración nutrimental en hojas

Para la concentración de N en la planta no hubo diferencias significativas entre cultivares (Cuadro 13), lo mismo sucedió entre tratamientos (Cuadro 14).

El más alto valor en concentración de P se obtuvo en el cv. Festival (Cuadro 13). Entre tratamientos la mayor concentración se encontró con 1,000 y 2,000 mg·litro⁻¹ de K donde se usó como fuente Phytophos-K y 100 mg·litro⁻¹ de Si, presentándose igualdad estadística con el testigo, 1,000 mg·litro⁻¹ de K donde se usó como fuente Nitrato de Potasio y con 2,000 mg·litro⁻¹ de Ca (Cuadro 14).

El cv. Festival presentó el más alto valor en concentración de K (Cuadro 13). Entre tratamientos no hubo diferencia significativa (Cuadro 14).

La mayor concentración de Ca se obtuvo en plantas del cultivar Festival (Cuadro 13). Entre tratamientos se obtuvo el mayor valor con 2,000 mg·litro⁻¹ de Ca, presentándose igualdad estadística con todos los tratamientos, excepto con 2,000 mg·litro⁻¹ de K donde se usó como fuente Nitrato de Potasio (Cuadro 14).

Plantas del cv. Festival tuvieron la mayor concentración de Mg (Cuadro 13). Los tratamientos con 2,000 mg·litro⁻¹ de Ca y 100 mg·litro⁻¹ de Si, fue donde se encontraron las mayores concentraciones entre los tratamientos, presentándose igualdad estadística con todos los tratamientos, excepto con 2,000 mg·litro⁻¹ de K donde se usó como fuente Nitrato de Potasio (Cuadro 14).

Las plantas del cv. Jacona presentaron las más altas concentraciones de Si (Cuadro 13). La concentración de los tratamientos donde se aplicó Si (100 y 400 mg·litro⁻¹) resultó con valores más altos en comparación con el testigo (Cuadro 14).

Cuadro 13. Comparación de medias, de la concentración nutrimental en plantas entre cultivares de fresa.

CULTIVAR	N	P	K	Ca	Mg	Si
			%			mg·kg⁻¹MS
Festival	1.01 a	0.58 a	1.69 a	1.14 a	0.61 a	418.08 b
Jacona	0.96 a	0.37 b	0.99 b	1.01 b	0.53 b	941.99 a
DMS	0.10	0.04	0.14	0.10	0.04	61.18
CV (%)	24.25	19.68	25.40	22.87	16.88	11.77

N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Si: Silicio; MS: Materia Seca; DMS: Diferencia Mínima Significativa; CV: Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 14. Comparación de medias entre tratamientos, de la concentración nutrimental en plantas de fresa.

TRATAMIENTO mg·litro ⁻¹	FUENTE	%						mg·kg ⁻¹ MS
		N	P	K	Ca	Mg	Si	
Testigo		0.960 a	0.480 abc	1.31 a	1.06 ab	0.56 ab	519.07 b	
1 000 K	KNO ₃	0.880 a	0.457 abc	1.53 a	1.05 ab	0.58 ab	ND	
2 000 K	KNO ₃	0.900 a	0.374 c	1.61 a	0.85 b	0.47 b	ND	
1 000 Ca	Ca(NO ₃) ₂	0.930 a	0.407 bc	1.44 a	1.04 ab	0.51 ab	ND	
2 000 Ca	Ca(NO ₃) ₂	1.180 a	0.518 ab	1.21 a	1.28 a	0.64 a	ND	
1 000 K	Phytophos-K	1.030 a	0.553 a	1.17 a	1.11 ab	0.60 ab	ND	
2 000 K	Phytophos-K	1.030 a	0.568 a	1.34 a	1.19 ab	0.61 ab	ND	
100 Si	K ₂ SiO ₃	1.010 a	0.579 a	1.23 a	1.10 ab	0.62 a	697.61 a	
400 Si	K ₂ SiO ₃	0.940 a	0.375 c	1.23 a	0.94 ab	0.53 ab	783.10 a	
DMS		0.344	0.136	0.49	0.35	0.14	90.64	
CV (%)		24.254	19.685	25.40	22.87	16.88	11.77	

N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Si: Silicio; MS: Materia Seca; ND: No Determinado; DMS: Diferencia Mínima Significativa; CV: Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

VI. DISCUSIÓN

El mayor rendimiento de fruto en el cv. Jacona, en comparación con 'Festival', también ha sido reportado por Rodríguez (2010) y Estrada (2011) en estudios con cultivares mexicanos y americanos de fresa, obteniendo además con 'Jacona' frutos con mayor peso, atribuyendo los resultados a una mayor tasa de fotosíntesis neta; por lo que a mayor peso mayor rendimiento; aunque Martínez *et al.* (2008) reportan que 'Jacona' produce gran cantidad de frutos deformes, lo cual también puede estar influenciado por la fertilización nitrogenada.

'Jacona' presentó mayor rendimiento con la dosis alta de K cuando se usó como fuente Nitrato de Potasio; sin embargo, se presentó una situación inversa cuando se usó Phytosphos-K. 'Festival' obtuvo mayor rendimiento con la dosis baja de K cuando se usó Nitrato de Potasio; sin embargo, cuando se usó Phytosphos-K tuvo mayor rendimiento con la dosis alta; por lo que debería hacerse un estudio más amplio para este nutrimento, con ambas fuentes y ambos cultivares, pues pareciera que se tiene efecto del cultivar. En ambos cultivares esperaríamos mayor rendimiento con la dosis alta de K cuando se usó Nitrato de Potasio, por el sinergismo que existe entre NO_3^- con Mg^{2+} , Ca^{2+} y K^+ , por efecto del ion acompañante, y con la dosis alta cuando se usó Phytosphos-K por los demás compuestos que este aporta.

Para el caso de Ca el mayor rendimiento se obtuvo con la concentración baja del nutrimento, obteniendo incluso en ambos cultivares, menor rendimiento que el testigo con la dosis alta; por lo que el efecto podría venir desde el suelo, ya que

también fue con la concentración baja con la que se obtuvieron mayores valores en otras variables.

Con Si se obtuvo mayor rendimiento con la dosis alta, en ambos cultivares; tal vez favorecida por la aportación de K en conjunto, gracias a que se usó Silicato de Potasio como fuente.

En cuanto a índice de redondez, la forma de fruto achatado que se obtuvo en ambos cultivares corresponde a lo observado por Martínez *et al.* (2008), quienes de acuerdo a la relación longitud/diámetro consideraron a los frutos con valores menores a 1 como achatados, mayores a 1 como alargados y valores de 0 como frutos redondos. Larson y Shaw (2000) mencionan que la forma y el tamaño de los frutos son características varietales, aunque se ven influenciados por la posición en la inflorescencia y otros factores ambientales como la fertilización nitrogenada.

Los resultados obtenidos en firmeza difieren de los encontrados por Martínez *et al.* (2008) quienes reportan al cv. Festival con frutos con mayor firmeza respecto a 'Jacona', no encontrándose diferencia para este caso, por lo que habría que probar mas niveles de cada nutrimento en condiciones de mayor control como hidroponía. Mitchell *et al.* (1996) mencionan que a menor firmeza los frutos son más susceptibles a daños durante la selección, empaque, transporte y distribución; mayor susceptibilidad al ataque de patógenos y menor capacidad de conservación del fruto y su calidad (Maroto y López, 1988; Paraskevopoulou y Vassilakakis, 1995).

En cuanto a sólidos solubles totales (°Bx) los resultados obtenidos en cada cultivar y en tratamientos quedan dentro del intervalo de 4.6-11.9 % establecido por Dale y Luby (1991) para esta variable; aunque ningún tratamiento fue superior al testigo. Martínez *et al.* (2008) no encontraron diferencias significativas entre ambos cultivares; resultados que pudieron ser influenciados por el propio cultivar (Hamano *et al.*, 2002; Hancock, 1999); así como por la época de cosecha (Anagnostou y Vasilakakis, 1995; Cadlar y Paydas, 2002; Hakala *et al.*, 2002). Alavoine y Crochon (1989) y Montero *et al.* (1996) mencionan que el mayor contenido de SST en frutos les confiere una mayor calidad. Perkins (1995) menciona que los azúcares son los principales compuestos solubles en los frutos de fresa; de los cuales fructosa, glucosa y sacarosa son los que se encuentran en mayor cantidad, siendo este último quien determina los grados Brix (Wrolstad y Shallenberger, 1981; Hidekazu, 2002; Hamano *et al.*, 2002).

Los resultados obtenidos en acidez titulable expresada en % de ácido cítrico, en cultivares y tratamientos, concuerdan con el intervalo de 0.42 – 1.24 % establecido por Dale y Luby (1991). ‘Jacona’ fue superior, concordando con los resultados reportados por Martínez *et al.* (2008). La mayor concentración de ácido cítrico se obtuvo con la dosis alta de K usando como fuente Phytophos-K, tal vez por las demás sustancias y nutrimentos (ácidos policarboxílicos, B, Cu, Mn, Zn y Mo) que este producto aporta; la menor concentración se obtuvo con la dosis alta de Ca (2,000 mg·litro⁻¹), teniendo con esta un suministro de N de 1,669.2 mg·litro⁻¹; de acuerdo con Ojeda *et al.* (2008) también usando como fuente Nitrato de Calcio reportan que el contenido de los ácidos orgánicos disminuye su concentración al

aumentar el nivel de fertilización nitrogenada. Kader (1999) recomienda una concentración máxima de ácido cítrico de 0.8 % para un sabor aceptable, valor que ambos cultivares superaron. Las principales normas de calidad para exportación de fresa (Anónimo, 2002; Anónimo, 2006) no determinan la concentración de ácido cítrico requerida en frutos de fresa para su consumo en fresco; frutos menos ácidos podrían ser preferidos para el consumo en fresco, mientras que con los de mayor concentración de ácido cítrico se pueden obtener productos procesados de mayor calidad (Quian *et al.*, 2005). Cordenunsi *et al.* (2002) mencionan que el ácido cítrico contribuye con 92 % a la acidez de la fresa; por lo que ésta se establece en términos de porcentaje de ácido cítrico. Otro ácido orgánico importante para establecer la calidad en la fresa es el ácido ascórbico, también conocido como vitamina C y que además está asociado con la salud de los consumidores (Pérez *et al.*, 1997).

Frutos del cultivar Festival fueron los que presentaron la mayor relación SST/AT (mejor sabor) (no encontrándose diferencia de tratamientos con respecto al testigo) característica que acorde a Montero *et al.* (1996) y Kader (1999) les confiere mayor calidad para su consumo en fresco, debido a que el cociente de la relación SST/AT es usado para determinar la aceptabilidad del consumidor. Sin embargo, los resultados aquí obtenidos difieren de los reportados por Martínez *et al.* (2008) que observaron valores estadísticamente iguales en ambos cultivares de 'Jacona', en comparación con 'Festival'.

En los frutos de 'Jacona' se tuvieron valores de pH más bajos en comparación a 'Festival', lo cual corresponde a la mayor concentración de ácido cítrico encontrado

en 'Jacona'. En ambos cultivares y en tratamientos se obtuvieron valores inferiores de pH a los que Dale y Luby (1991) mencionan de entre 3.18- 4.10.

Dale y Luby (1991) establece un rango en contenido de antocianinas de 55- 145 mg·100 g⁻¹ de peso fresco en frutos de fresa; por lo que en cultivares y en tratamientos los valores obtenidos se encontraron por debajo de este rango; sin embargo, Gross (1987) establece un rango de 45- 70 mg·100 g⁻¹ de peso fresco, el cual solo el testigo alcanzo. El cv. Jacona tuvo mayor contenido de antocianinas respecto a 'Festival', lo cual difiere con lo encontrado por Martínez *et al.* (2008) que aunque no determinaron antocianinas directamente, si obtuvieron valores estadísticamente iguales de los componentes del color entre frutos de 'Jacona' y 'Festival'.

Los resultados obtenidos en la concentración de azúcares solubles totales en 'Festival' y 'Jacona' corresponden a los encontrados en sólidos solubles totales en los que no hubo diferencia entre cultivares; si se considera que la fructosa y glucosa junto con la sacarosa, son los que se encuentran en mayor cantidad en los frutos de fresa, según Hidekazu (2002), Hamano *et al.* (2002) y Wrolstad y Shallenberger (1981) Sin embargo, los valores obtenidos en cultivares son inferiores a los que Dale y Luby (1991) menciona, quien establece que el rango en concentración de azúcares solubles totales en frutos de fresa es de 4.1 – 6.6 %. Sólo con la dosis baja de K usando como fuente Nitrato de Potasio y Phytophos-K se obtuvieron valores dentro del rango que Dale y Luby (1991) establecen, tal vez, para el caso en que se usó Nitrato de Potasio la razón podría ser que al aumentar la aportación de K también se

aumentó la de N, lo cual llevó a efectos no deseados, pese a que el K mejora la eficiencia en el uso de N; sin embargo, con Phytosphos-K esto no ocurre, por lo que la razón podría ser otra.

No hubo diferencias en concentración de clorofila, en área foliar como tampoco en peso seco entre cultivares, lo cual concuerda con Rodríguez (2010), quien no encontró diferencias para estas mismas variables entre 'Jacona' y 'Festival'; y con Estrada (2011) quien menciona que el aparato fotosintético correlaciona positivamente con la producción de materia fresca y seca.

El tratamiento con la dosis alta de K en el que se usó Phytosphos-K produjo mayor área foliar, lo cual podría deberse al resto de sustancias y nutrimentos (ácidos policarboxílicos, B, Cu, Mn, Zn y Mo) que contiene la fuente empleada; pues el mayor peso seco de planta se obtuvo con la dosis alta de K pero cuando se usó Nitrato de Potasio; lo cual podría deberse a que el K mejora la eficiencia en el uso del N (Alcántar y Trejo, 2007), siendo este el principal elemento que se encuentra en las formas inorgánicas y orgánicas en la planta (Jones, 2003); y a que las concentraciones más altas de K se encuentran en las hojas nuevas, pecíolos y tallo de la planta (Jones, 2003); de modo que aunque en un tratamiento se obtenga la mayor área foliar no significa que sea en éste donde se obtenga la mayor cantidad de materia seca.

No existen valores de referencia de concentración nutrimental en frutos de fresa. El cv. Festival tuvo mayor concentración de P, K y Ca; mientras que 'Jacona' tuvo la mayor concentración de Si. Entre tratamientos solo se observaron diferencias en la

concentración de los nutrimentos que se aplicaron y en aquellos que formaban parte de la fuente empleada. En concentración de N, la mayoría estuvieron en igualdad estadística, tal vez se deba a que el N es un elemento móvil dentro de la planta, y se mueve de los tejidos más viejos a los sitios de crecimiento activo como lo son los frutos. La mayor concentración de K en igualdad estadística con testigo, se obtuvo con la dosis baja de K cuando se usó Nitrato de Potasio; y la mayor concentración de Ca en igualdad estadística con testigo, con la dosis alta de Si.

De acuerdo con los valores de referencia de Pritts y Handley (1998) de concentración nutrimental foliar para fresa, solo se tuvo deficiencia para los nutrimentos N y K. De N en ambos cultivares y en todos los tratamientos; de K en 'Jacona' y en todos los tratamientos, excepto con las dosis alta y baja de K cuando se usó como fuente Nitrato de Potasio. N y K son los mayores componentes de la fruta (Hancock, 1999); por lo que las deficiencias fueron el resultado de no haber aplicado fertilización al sustrato, ya que por el alto rendimiento, lo corto de su ciclo y lo poco profundo de sus raíces, la fresa explota intensamente una pequeña capa de suelo (20 cm) (Bianchi, 1986). Para el Si no existen valores de referencia; el mayor contenido de Si encontrado en planta corresponde a lo encontrado en fruto en 'Jacona' para la dosis alta de Si.

VII. CONCLUSIONES

Con las concentraciones aplicadas de los nutrimentos K, Ca y Si, bajo las condiciones de desarrollo del estudio no fue posible determinar sus efectos de manera bien diferenciada, observando lo siguiente:

Con la aplicación foliar de K a plantas de fresa, a dosis de $1,000 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ usando como fuente Nitrato de Potasio, se obtuvieron frutos con mayor contenido de azúcares solubles totales.

Con la aplicación foliar de K a plantas de fresa, a dosis de $2,000 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ usando como fuente Phytosphos-K, se obtuvieron frutos con mayor acidez titulable.

Con la aplicación foliar de Ca a plantas de fresa, a dosis de $2,000 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ usando como fuente Nitrato de Calcio, se obtuvieron frutos con el mayor porcentaje de azúcares solubles totales.

Con la aplicación foliar de Si a plantas de fresa, a dosis de $100 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ usando como fuente Silicato de Potasio, se obtuvo la mayor concentración de P, Ca y Mg en planta; en frutos la mayor concentración de N.

Con la aplicación foliar de Si a plantas de fresa, a dosis de $400 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$, usando como fuente Silicato de Potasio, se obtuvo en planta la mayor área foliar, peso seco y la mayor concentración de Si; en frutos, la mayor acidez titulable y azúcares solubles totales y la mayor concentración de Ca.

Bajo las condiciones de este estudio el cv. Jacona respondió mejor a las aplicaciones de Si; sin embargo, no se observaron efectos benéficos para algunas variables evaluadas en las que algunos autores reportan resultados satisfactorios, por lo que habrá que explorar un intervalo más amplio en las mismas o en diferentes condiciones, donde se tenga más control de los factores que intervienen en el desarrollo del cultivo.

El cv. Jacona fue más productivo, sus frutos tuvieron mayor acidez titulable, pH más bajo (más dulces para consumo en fresco) y mayor contenido de antocianinas. Las plantas de este cultivar tuvieron la mayor concentración de Si, tanto en fruto como en planta; además de mayor contenido de azúcares solubles totales.

Los frutos de 'Festival' tuvieron mejor sabor, pH más alto, las más altas concentraciones de P, K y Ca; las plantas tuvieron además de los tres nutrimentos encontrados en fruto, Mg en mayor concentración.

VIII. LITERATURA CITADA

- ADATIA, M.H.; BESFORD, R.T. 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Ann. Bot.* 58:343–351.
- AHMED, S.; EVANS, H.J. 1960. Cobalt: a micronutrient for the growth of soybean plants under symbiotic conditions. *Soil Sci.* 90:205–210.
- AHMAD, R.; ZAHEER, S.; ISMAIL, S. 1992. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Sci.* 85:43–50.
- ALAVOINE, F.; CROCHON, M. 1989. Taste quality of strawberry. *Acta Horticulturae* 265: 449-452.
- ALCÁNTAR, G.G.; SANDOVAL V.M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- ALCÁNTAR, G.G.; TREJO, T.L.I. 2007. Nutrición de Cultivos. Mundi–Prensa. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 438 p.
- ALESHIN, N.E. 1982. The content of silicon in DNA of rice. *Doklady VASHNIL* 6:6–7.
- ALESHIN, N.E. 1988. About the biological role of silicon in rice. *Vestnik Agric. Sci.* 10:77–85.
- ALESHIN, E.P.; ALESHIN, N.E.; AVAKIAN, A.R. 1978. The effect of various nutrition and gibberellins on SiO₂ content in hulls of rice. *Agrochemistry* 7:64–68.
- ALPERT, P. 1991. Nitrogen-sharing among ramets increases clonal growth in *Fragaria chiloensis*. *Ecology*, 72: 69-80.
- ALPERT, P. 1996. Nutrient sharing in natural clonal fragments of *Fragaria chiloensis*. *Journal of Ecology* 84: 395-406.

- ANAGNOSTOU, K.; VASILAKAKIS, M.D. 1995. Effect of substrate and cultivar on earliness, plant productivity, and fruit quality of strawberry. *Acta Horticulturae* 379: 267-274.
- ANÓNIMO. 1980. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemistry (AOAC). 12th Ed. Washington, D.C. USA. p. 1018.
- ANÓNIMO. 2002. Reglamento (CE) Núm. 843/2002 de la Comisión de 21 de mayo de 2002 por el que se establecen las normas de comercialización de las fresas y se modifica el Reglamento (CEE) Núm. 899/87. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Comisión de las Comunidades Europeas (CCE)
- ANÓNIMO. 2006. United States Standards for Grades of Strawberries. USDA.
- ANÓNIMO. 2010a. Base de datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT) <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>
- ANÓNIMO. 2010b. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426
- ARNON, D.I.; STOUT, P.R. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.* 14:371–375.
- ASHER, C.J. 1991. Beneficial elements, functional nutrients, and possible new essential elements. *In*: J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman, R.M. Welch, eds. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wis.: Soil Science Society of America, Book Series No. 4. pp. 703–723.
- ASTON, M.J.; JONES, M.M. 1976. A study of the transpiration surfaces of *Avena sterilis* L. var. algerian leaves using monosilicic acid as a tracer for water movement. *Planta* 130:121–129.

- AYRES, A.S. 1966. Calcium silicate slag as a growth stimulator for sugarcane on low-silicon soils. *Soil Sci.* 101:216–227.
- BAKSHI, P.; FA, M.; GS, C.; TA, S. 2005. Role of calcium in post-harvest life of temperate fruits: A review. *Journal of Food Science and Technology – Mysore*, 42, 1–8.
- BANGERTH, F. 1979. Calcium related physiological disorders of plants. *Annu. Rev. Phytopath.* 17: 97–122.
- BANGERTH, F.; DILLEY, D.R.; DEWEY, D.H. 1972. Effect of postharvest calcium treatments on internal breakdown and respiration of apple fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97(5): 679-682.
- BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. 2007. *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA.
- BARCELO, J.; GUEVARA, P.; POSCHENRIEDER, C.H. 1993. Silicon amelioration of aluminum toxicity in teosinte (*Zea mays* L. ssp. *mexicana*). *Plant Soil* 154:249–255.
- BARRERA, C.G.; Sánchez, B.C. 2003. Caracterización de la Cadena Agroalimentaria/Agroindustrial Nacional, identificación de sus demandas tecnológicas: Fresa. Morelia, Michoacán. México. 79 p.
- BAZILEVICH, N.I. 1993. *The Biological Productivity of North Eurasian Ecosystems*. RAS Institute of Geography, Moscow: Nayka.
- BERGER, K.C. 1962. Micronutrient deficiencies in the US. *Agricultural Food Chemistry* 10: 178-181.
- BIANCHI, P.G. 1986. *Guía Completa del Cultivo de Fresas*. 1a ed. Editorial De Vecchi, España. 57p.
- BOCHARNIKOVA, E.A. 1996. The study of direct silicon effect on root demographics of some cereals. In: *Proceedings of the Fifth Symposium of the International*

Society of Root Research. Root Demographics and Their Efficiencies in Sustainable Agriculture, Grasslands, and Forest Ecosystems, Madrea Conference Center-Clemson, South Carolina, 14–18 July.

BOYCE, B.R.; MATLOCK, D.L. 1966. Strawberry nutrition. In: Childers, N.F. (ed.) *Nutrition of Fruit Crops*. Horticultural Publication. Rutgers University, New Brunswick, New Jersey. Pp. 518-548.

BRADBURY, M.; AHMAD, R. 1990. The effect of silicon on the growth of *Prosopis juliflora* growing in saline soil. *Plant Soil* 125:71–74.

BROWN, P.H.; WELCH, R.M.; CARY, E.E. 1987. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiol.* 85:801–803.

CADLAR, H.; PAYDAS, S. 2002. Changes of quality and aroma compounds of hybrids and some strawberry cultivars during harvest periods. *Acta Horticulturae* 567: 203-206.

CASTELLANOS, J.Z.; UVALLE, B.J.X.; AGUILAR S.A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2^a. ed. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola . Colección INCAPA. Celaya, Guanajuato, México.

CHERF, M.; MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; BOPGDANOFF, C.; BELANGER, R.R. 1994. Yield of cucumber infected with *Pythium aphanidermatum* when grown with soluble silicon. *HortScience* 29:896–897.

CLARKSON, D.T. 1988. Movement of ions across roots. In: D.A. Baker, J.L. Hall, eds. *Solute Transport in Plant Cells and Tissues. Monographs and Surveys in Biosciences*. New York: Wiley. pp. 251–304.

CORDENUNSI, B.; OLIVEIRA, J.; GENOVESE, M.; LAJOLO, F. 2002. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 2581-2586.

- CRAHER, L.E. 1971. Postharvest color promotion in cranberry with ethylene. *HortScience* 6: 37-139.
- DALE, A.; LUBY, J.J. 1991. The Strawberry Into the 21st Century. Proceedings of the Third North American Strawberry Conference. Houston, Texas. 14-16 February 1990. Timber Press. Portland, Oregon. 152 p.
- DANA, M.N. 1980. The strawberry plant and its environment, p. 32-44, *In*: N.F. Childers, (ed.). The strawberry. Horticultural Publications, Gainesville, Fla.
- DARROW, G.M. 1966. The Strawberry. History, Breeding and Physiology. Holt, Rinehart and Winston, New York.
- DEMMIG, B.; GIMMLER, H. 1983. Properties of the isolated intact chloroplast at cytoplasmic K concentrations. I. Light-induced cation uptake into intact chloroplasts is driven by an electrical potential difference. *Plant Physiol.* 73:169–173.
- EAVES, C.A.; J.S. LEEFE. 1962. Note on the influence of foliar sprays of calcium on the firmness of strawberries. *Can. J. Plant Sci.* 42:746-747.
- EFIMOVA, G.V.; DOKYNCHAN, S.A. 1986. Anatomico-morphological construction of epidermal tissue of rice leaves and increasing of its protection function under silicon effect. *Agric. Biol.* 3:57–61.
- EMADIAN, S.F.; NEWTON, R.J. 1989. Growth enhancement of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon. *J. Plant Physiol.* 134:98–103.
- EPSTEIN, E. 1999. Silicon. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50:641–664.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives, 2nd ed. Sunderland, Mass.: Sinauer. p. 400.
- ESTRADA, N.C. 2011. Caracterización fisiológica y productiva de dos variedades mexicanas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) para el subtrópico. Tesis de

Maestría en Ciencias. Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.

FOX, R.L.; SILVA, J.A.; YOUNGE, O.R.; PLUCKNETT, D.L.; SHERMAN, G.D. 1967. Soil and plant silicon and silicate response by sugar cane. *Soil Sci. Soc. Am.* 31:775–779.

FOY, C.D. 1992. Soil chemical factors limiting plant root growth. *Adv. Soil Sci.* 19:97–149.

GARCÍA, M.A.; MARTINO, M.N.; ZARITZKY, N.E. 1998. Plasticized starch based coatings to improve strawberry (*Fragaria ananassa*) quality and stability. *J. Agric. Food Chem.* 46: 3758-3767.

GROSS, J. 1987. *Pigments in Fruits*. Academic Press. Hebrew University of Jerusalem, Israel.

GUTTRIDGE, C.G.; TURNBULL, J.M. 1975. Improving anther dehiscence and pollen germination in strawberry with boric acid and salts of divalent cations. *Horticultural Research*. 14: 73-79.

HAKALA, M.R.; HUOPALAHTI, T.R.; LAPVETELÄINEN, A. 2002. Quality factors of finnish strawberries. *Acta Horticulturae* 567: 727-729.

HAMANO, M.Y.; YAMAZAKI, Y.H.; MIURA, H. 2002. Change in sugar contents and composition of strawberry fruit during development. *Acta Horticulturae* 567: 369-372.

HANCOCK, J.F. 1999. *Strawberries*. CAB International Publishing. New York, USA. 237 p.

HANCOCK, J.F.; SCOTT, D.H.; LAWRENCE F.J. 1996. *Strawberries*. In J. Janick and J. N. Moore [eds.], *Fruit breeding*, vol. II, Vine and small fruits, 419-470. Wiley, New York, New York, USA.

HARMER, P.M.; BENNE, E.J. 1945. Sodium as a crop nutrient. *Soil Sci.* 60:137–148.

- HIDEKAZU, I. 2002. Potential on near infrared spectroscopy for nondestructive determination of °Brix in strawberries. *Acta Horticulturae* 567: 751-754.
- HO, L.C. 1988. Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 39:355-378.
- HODSON, M.J.; SANGSTER, A.G. 1988. Silica deposition in the influence bracts of wheat (*Triticum aestivum*). 1 Scanning electron microscopy and light microscopy. *Can. J. Bot.* 66:829–837.
- HORIGUCHI, T. 1988. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plant. IV. Effect of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 34:65–73.
- INANAGA, S.; OKASAKA, A.; TANAKA, S. 1995. Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant? *Japan J. Soil Sci. Plant Nutr.* 11:111–117.
- JOHN, M.K.; DAUBENY, H.A.; MCELROW, E.D. 1975. Influence of sampling time on elemental composition of strawberry leaves and petioles. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 100,513-517.
- JOHANSON, F. 1980. Hunger in strawberries. K and H. Printers, Everett, Washington.
- JOHNSTON, M.; Grof, C.P.L.; Brownell, P.F. 1984. Responses to ambient CO₂ concentration by sodium-deficient C₄ plants. *Aus. J. Plant Physiol.* 11:137–141.
- JONES, J. B. JR. 2003. *Agronomic Handbook. Management of Crops, Soils, and Their Fertility.* CRC Press. Boca Raton. FLA. 450 p.
- JURIK, T. W.; CHABOT, J. F.; CHABOT, B.F. 1982. Effects of light and nutrients on leaf size, CO₂ exchange, and anatomy in wild strawberry (*Fragaria virginiana*). *Plant Physiology.* 70: 1044-1048.

- KADER, A.A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *In*: Michaleczuk, L. (ed) Proc. Intl. Symp. on effects of pre- and postharvest factors on storage of fruit. *Acta Horticulturae* 485: 203-208.
- KIM, H.M. 1987. The influence of nitrogen and soil conditioners on root development, root activity and yield of rice. 3. The effects of soil conditioners on development of root, rooting zone and rice yield. *Research Rep. Rural Development Admin., Plant Environ., Mycol. & Farm Prod Util, Korea Republic* 29:12–29.
- KING, T.H.; TRIET, M.; BASKIN, A.D. 1950. Sprays to control chlorosis in flax and strawberries grown on alkaline soil in Minnesota. *Phytopathology* 40:14-15.
- KIRSCH, K. 1959. The importance of interaction effects in fertilizer and lime studies with strawberries. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 73:181-188.
- KLECHKOVSKY, V.M.; VLADIMIROV, A.V. 1934. New fertilizer. *Chem. Soc. Agric.* 7:55.
- KOCH, K.; MENGEL, K. 1974. The influence of the level of potassium supply to young tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.) on short term uptake and utilisation of nitrate nitrogen (15N). *J. Sci. Food Agric.* 25:465–471.
- KUDINOVA, L.I. 1974. The effect of silicon on weight of plant barley. *Sov. Soil Sci.* 6:39–41.
- KUDINOVA, L.I. 1975. The effect of silicon on growth, size of leaf area and sorbed surface of plant roots. *Agrochemistry* 10:117–120.
- LARSON K. D.; SHAW, D.V. 2000. Soil fumigation and runner plant production: A synthesis of four years of strawberry nursery field trials. *Horticulturae Science.* 35:642-646.
- LEIBIG, J. 1840. Organic Chemistry in Its Application to Agriculture and Physiology. From the manuscript of the author by Lyon Playfair. London: Taylor & Walton.

- LEWIN, J.; REIMANN BEF. 1969. Silicon and plant growth. *Annual Review of Plant Physiology* 20, 289-304.
- LIANG, Y. 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant Soil* 209:217–224.
- LIANG, Y.; SHEN, Z. 1994. Interaction of silicon and boron in oilseed rape plants. *J. Plant Nutr.* 17:415–425.
- LIETEN, P.; HORVATH, J.; ASARD, H. 2002. Effect of silicon on albinism of strawberry. *Acta Hort.* 567:361-364.
- LINEBERRY, R.A.; BURKHART L. 1943. Nutrient deficiencies in the strawberry leaf and fruit. *Plant Physiol.* 18: 324-333.
- LUMSDON, D.G.; FARMER, V.C. 1995. Solubility characteristics of proto-imogolite sols: how silicic acid can detoxify aluminium solutions. *Eur. Soil Sci.* 46:179–186.
- LUNA, G.S.J.; BARRETT, D.M., 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupe. *Postharvest Biol. and Technol.*, 19: 61-72.
- MA, J.F. 2003. Function of silicon in higher plants. *Prog. Mol. Subcell. Biol.* 33:127–147.
- MAAS, J.L. (ed.). 1998. *Compendium of Strawberry Diseases*. Amer. Phytopath. Soc. St. Paul, Minnesota, USA. 138 p.
- MAROTO, B.J.V.; LÓPEZ, G.S. 1988. *Producción de fresas y fresones*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 119 p.
- MARTÍNEZ, B.M.; NIETO A.D.; TÉLIZ, O.D.; RODRÍGUEZ, A.J.; MARTÍNEZ, D.M.T.; VAQUERA, H.H.; CARRILLO, M.O. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo. Serie Horticultura.* 14(2): 113-119.

- MARSCHNER, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. Academic Press Inc. San Diego, CA. 889 p.
- MATICHENKOV, V.V. 1990. Amorphous oxide of silicon in soddy podzolic soil and its influence on plants. Autoref. Diss. Cand., Moscow State University, Moscow.
- MATICHENKOV, V.V. 1996. The silicon fertilizer effect of root cell growth of barley. Abstr. in *The fifth Symposium of the International Society of Root Research*, Clemson, SC, USA, p. 110.
- MATICHENKOV, V.V.; AMMOSOVA, M.Y. 1996. Effect of amorphous silica on soil properties of a sod-podzolic soil. *Euras. Soil Sci.* 28:87–99.
- MATICHENKOV, V.V.; BOCHARNIKOVA, E.A. 2001. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, H. Korndorfer, eds. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: Elsevier. pp. 209–219.
- MATICHENKOV, V.V.; AMMOSOVA, Y.M.; BOCHARNIKOVA, E.A. 1997. The method for determination of plant-available silica in soil. *Agrochemistry* 1:76–84.
- MATICHENKOV, V.V.; BOCHARNIKOVA, E.A.; CALVERT, D.V.; SNYDER, G.H. 1999. Comparison study of soil silicon status in sandy soils of South Florida. *Proc. Soil Crop Sci. Florida* 59:132–137.
- MATICHENKOV, V.V.; BOCHARNIKOVA, E.A.; CALVERT, D.V.; SNYDER, G.H. 2000. Comparison study of soil silicon status in sandy soils of south Florida. *Soil Crop Sci. Soc. Florida Proc.* 59:132–137.
- MATICHENKOV, V.V.; BOCHARNIKOVA, E.A.; CALVERT, D.V. 2002. Response of citrus to silicon soil amendments. *Proc. Florida State Hortic. Soc.* 114:94–97.
- MATICHENKOV, V.V.; CALVERT, D.V.; SNYDER, G.H. 1999. Silicon fertilizers for citrus in Florida. *Proc. Florida State Hortic. Soc.* 112:5–8.

- MATICHENKOV, V.V.; CALVERT, D.V.; SNYDER, G.H. 2000. Effect of Si fertilization on growth and P nutrition of bahiagrass. *Proc. Soil Crop Sci. Soc. Florida* 60:30–36.
- MAY, G.; PRITTS, M. 1990. Strawberry nutrition. *Adv. Strawberry Prod.* 9:10-23.
- MAY, G.; PRITTS, M. 1994. Seasonal patterns of growth and tissue nutrient content in strawberries. *Journal of Plant Nutrition* 17:1149-1162.
- MITCHELL, F.G.; MITCHAM, E.; THOMPSON, J.F.; WELCH, N. 1996. Handling strawberries for fresh market. Oakland, CA: Univ. Calif. Agr. Nat. Resources, Special Publ. 2442, 14 p.
- MIYAKE, Y. 1993. On the environmental condition and nitrogen source to appearance of silicon deficiency of the tomato plant. *Sci. Rep. of the faculty of Agriculture Okayama Univ., Japan* 81:27–35.
- MOLINA, E. 2002. Fertilización foliar de cultivos frutícolas. *In: Memorias Seminario Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones.* G. Meléndez y E. Molina (eds.). Laboratorio de Suelos CIA-UCR/ACCS, San José, Costa Rica. p. 85-104.
- 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.
- NEILSON, B.V.; EATON G.W. 1983. Effects of boron nutrition upon strawberry yield components. *HortScience* 18:932-934.
- NITSOS, R.E.; EVANS, H.J. 1969. Effects of univalent cations on the activity of particulate starch synthetase. *Plant Physiol.* 44:1260–1266.
- OJEDA, R.L.A.; CÁRDENAS, N.R.; LOBIT, P.; GRAGEDA, C.O.; VALENCIA, C.E.; MACÍAS, R.L. 2008. Efecto de la nutrición nítrica y sistemas de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura.* 14(1):61-70.

- OSTWALD, W. 1984. In: G. Bugge, ed. Das Buch der grossen Chemiker: Weinheim Verlag Chemie, pp. 405–416.
- PARASKEVOPOULOU, P.G.; VASSILAKAKIS, C.D.M. 1995. Effects of temperature, duration of cold storage and package on postharvest quality of strawberry fruit. *Acta Horticulturae* 379: 337-344.
- PÉREZ, A.; OLÍAS, R.; ESPADA, J.; OLÍAS, J.; SANZ, C. 1997. Rapid determination of sugars, nonvolatile acids, and ascorbic acid in strawberry and other fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45, 3545-3549.
- PERKINS, V.P. 1995. Growth and ripening of strawberry fruit. *Horticultural Reviews* 17: 267-297.
- PILBEAM, D.J.; MORLEY, P.S. 2007. Calcium. p. 121-144. *In: Handbook of Plant Nutrition*. Barker, A.V. and Pilbeam, D.J. (eds.). Taylor & Francis Group. CRC Press. Boca Raton, FLA.
- POOVAIAH, B.W.; GLEN, G.M.; REDDY, A.S.N. 1988. Calcium and fruit softening: *Physiol. and Bioch. Hort. Rev.* 10: 107-152.
- PRANGE, R.; DEELL, J. 1997. Preharvest factors affecting postharvest quality of berry crops. *HortScience* 32(5): 824-829.
- PRITTS, M.P. 1998. Strawberry nutrition and nutrient deficiencies. *In: Mass, J.L.* (ed.). *Compendium of Strawberry Diseases*. APS Press, St Paul, Minnesota, 98 p.
- PRITTS, M.P.; HANDLEY, D. (eds.). 1998. Strawberry production guide for the Northeast, Midwest and eastern Canada. Cornell Univ. Coop. Ext. NRAE-88.
- QUIAN, M.; FINN, C.; SCHROEDER, J.M. 2005. Objective flavor comparison of Oregon strawberries and those from other climatic conditions. Progress report FY 2004-2005, Oregon Strawberry Commission, USA. 7 p.

- REDDY, V.S.; REDDY, A.S.N. 2004. Proteomics of calcium-signaling components in plants. *Phytochemistry*, 65, 1745–1776.
- RENQUIST, A.R.; HUGHES, H.G. 1985. Strawberry cultivar evaluation in Colorado: 1982-1984. *Adv. Strawberry Prod.* 4:53-55.
- RODRÍGUEZ, B.G. 2010. Capacidad de multiplicación, productividad e indicadores de calidad de consumo de nuevas variedades mexicanas de fresa. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad Fruticultura. Montecillo, Texcoco, México.
- ROMÁN, L.F.; GUTIÉRREZ, M.A. 1998. Evaluación de ácidos carboxílicos y nitrato de calcio para incrementar calidad, cantidad y vida en anaquel en tres tipos de melón. *Terra* 16(1): 49-54.
- RUEF, J.V.; RICHEY, H.W. 1925. A study of flower bud formation in the Dunlap strawberry. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 22:252-260.
- SAVANT, N.K.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E. 1997. Silicon management and sustainable rice production. *Adv. Agron.* 58:151–199.
- SNYDER, G.H.; MATICHENKOV, V.V.; DATNOFF, L.E. 2007. Silicon. p. 121-144. In: *Handbook of Plant Nutrition*. Barker, A.V. and Pilbeam, D.J. (eds.). Taylor & Francis Group. CRC Press. Boca Raton, FLA.
- STADELBACKER, G.J. 1963. Why so much variation in strawberry fertilizer recommendations and practices. *In*: Smith, C.R. and Childers, N.F. (eds) *The Strawberry*. Rutgers State University, New Brunswick, New Jersey.
- TAGLIAVINI, M.; ZAVALLONI, C.; ROMBOLA, A.D.; QUARTIERI, M.; MALAGUTI, D.; MAZZANTI, F.; MILLARD, P.; MARANGONI, B. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. *Acta Hort.* 512(2):131-140.

- TAKAHASHI, E. 1995. Uptake mode and physiological functions of silica. *Japan J. Soil Sci. Plant Nutr.* 49:357–360.
- TARANOVSKAIA, V.G. 1939. The silicication of subtropic greenhouse and plantations. *Sov. Subtropics* 7:32–37.
- ULRICH, A.; MOSTAFA, M.; ALLEN, W. 1980. Strawberry Deficiency Symptoms: a Visual and Plant Analysis Guide to Fertilization, University of California Agricultural Science Publication. 4098.
- VAN DER PLOEG, R.R.; BÖHM, W.; KIRKHAM, M.B. 1999. On the origin of the theory of mineral nutrition of plants and the Law of the Minimum. *Soil Sci. Am. J.* 63:1055–1062.
- VOLK, R.J. 1958. Silicon content of the rice plant as a factor influencing its resistance to infection by the blast fungus *Piricularia oryzae*. *Phytopathology* 48:179–184.
- VORONKOV, M.G.; ZELCHAN, G.I.; LYKEVIC, A.Y. 1978. *Silicon and Lie*. Riga: Zinatne.
- VOTH, V.; URIN, K.; BRINGHURST, R.S. 1967. Effect of high nitrogen applications on yield, earliness, fruit quality and leaf composition of California strawberries. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 91, 249-256.
- WANG, S.Y.; GALLETTA, G.J. 1998. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. *J. Plant Nutrition*. 21(1): 157-167.
- WATERKEYN, L.; BIENTAIT, A.; PEETERS, A. 1982. Callose et silice epidermiques rapports avec la transpiration cuticulaire. *La Cellule* 73:263–287.
- WITHAM, F.H.; BLAYDES, D.F.; DEVLIN, R.M. 1971. Experiments in plant physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York. 245 pp.
- WROLSTAD, R.E.; SHALLENBERGER, R.S. 1981. Free sugars and sorbitol in fruits - a compilation from the literature. *Journal of the Association of Official Analytical Chemist* 64: 91-103.

- WYN JONES, R.G.; POLLARD, A. 1983. Proteins, enzymes and inorganic ions. In: A. Läuchli, R.L. Bielecki, eds. *Inorganic Plant Nutrition*. New York: Springer. pp. 528– 562.
- YAMAGUCHI, T.; TSUNO, Y.; NAKANO, J.; MANO, P. 1995. Relationship between root respiration and silica:calcium ratio and ammonium concentration in bleeding sap from stem in rice plants during the ripening stage. *Jpn. J. Crop Sci.* 64:529–536.
- YOSHIDA, S. 1965. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. *Bull. Nat. Inst. Agric. Sci. Series B* 15:1–58.
- YOSHIDA, S. 1975. The physiology of silicon in rice. *ASPAC Food Fert. Technol. Cent. Ext. Bull.* 52. 25 pp.
- ZURAWICZ, E.; STUSHNOFF, C. 1977. Influence of nutrition on cold tolerance of 'Redcoat' strawberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102:342-346.