



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**FOSFITOS EN LA PRODUCCIÓN DE FRESA**

**ELÍAS ESTRADA ORTIZ**

**T E S I S**  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2010

La presente tesis titulada: **Fosfitos en la producción de fresa**, realizada por el alumno: **Elías Estrada Ortiz**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**EDAFOLOGÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERA:

\_\_\_\_\_

Dra. Libia Iris Trejo-Téllez

ASESOR:

\_\_\_\_\_

Dr. Roberto Núñez Escobar

ASESOR:

\_\_\_\_\_

Dr. Manuel Sandoval Villa

ASESOR:

\_\_\_\_\_

Dr. Fernando Carlos Gómez Merino

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Agosto de 2010

## FOSFITOS EN LA PRODUCCIÓN DE FRESA

Elías Estrada Ortiz, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2010

El efecto de fosfitos en plantas depende fuertemente del estado nutrimental de fósforo en el organismo vivo, ya que plantas deficientes en fósforo son vulnerables a aplicaciones de fosfitos ( $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ ). La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar el efecto del suministro de distintos porcentajes de  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$  en la solución nutritiva, sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en fresa. El experimento se realizó en un invernadero tipo túnel del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, utilizando riego por goteo y tezontle como sustrato, en un diseño experimental en bloques al azar generalizado. Se modificó la solución nutritiva Steiner para utilizarla, en una primera fase al 50%, y al comenzar la fructificación se aumentó al 75%. Estas soluciones fueron complementadas con cinco porcentajes de fosfitos (0, 20, 30, 40 y 50%). Las variables evaluadas fueron: rendimiento, materia seca de vástago, azúcares en hojas y fruto, clorofila, aminoácidos y proteínas en hojas, antocianinas y vitamina C en fruto, así como indicadores de calidad de fruto. La disponibilidad de fósforo en forma de fosfatos con la adición de 20% de fosfitos tuvo efectos positivos en rendimiento, en el tamaño de fruto, y en concentración de azúcares totales en hojas en etapa de floración y en frutos cambiantes. En plantas expuestas al tratamiento que incluyó la adición de 30% de fosfitos se observaron los valores más altos de pH, CE, concentración de antocianinas en frutos, aminoácidos libres totales, proteínas solubles totales, así como clorofilas a, b y total en hojas. Sin embargo, también se observó que valores de fosfitos superiores a 30% en la solución nutritiva tienen efectos negativos sobre rendimiento, tamaño de fruto y °Brix, sin importar que se les suministre el suficiente fósforo en forma de fosfato. No hubo efectos significativos de aplicaciones de fosfitos en la solución nutritiva sobre peso seco de vástago, vitamina C y acidez titulable en fruto.

**Palabras clave:** *Fragaria x ananassa*, fosfitos, rendimiento, calidad de fruto, antocianinas.

## PHOSPHITES IN STRAWBERRY PRODUCTION

Elías Estrada Ortiz, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2010

The effect of phosphite in plants depends heavily upon nutritional status of phosphorus in the living organism, as plants showing phosphorus deficiencies are vulnerable to application of phosphite ( $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ ). This research was carried out to determine the effect of providing different percentages of  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$  in the nutrient solution on growth, yield and fruit quality in strawberry. The experiment was conducted in a tunnel-like greenhouse at Colegio de Postgraduados, in Montecillo, Mexico, using drip irrigation and volcanic rock substrate in an experimental design in random blocks widespread. The nutrient solution used was the Steiner's one, modified for use, in a first phase at 50%, and at the beginning of fruiting was increased to 75%. These solutions were supplemented with five rates of phosphite (0, 20, 30, 40 and 50%). The variables evaluated were: yield, shoot dry matter, leaf and fruit sugars, chlorophyll, amino acids and proteins in leaves, anthocyanins and vitamin C in fruit and fruit quality indicators. Phosphorus availability in the form of phosphates with the addition of 20% of phosphites had positive effects on yield and fruit size, and increased concentration of total sugars in leaves at flowering stage and changing fruit. In plants exposed to treatment that included the addition of 30% of phosphites higher values of pH, EC, concentration of anthocyanins in fruits, total free amino acids, proteins and chlorophyll a, b and total leaves were observed. However, it was also found that phosphites values above 30% in the nutrient solution have negative effects on yield, fruit size and °Brix, regardless enough phosphorus in the form of phosphate is provided. No significant effect of phosphite application in the nutrient solution on shoot dry weight, vitamin C and titratable acidity in fruit.

**Key words:** *Fragaria x ananassa*, phosphites, yield, fruit quality, anthocyanins.

## *Dedicatoria*

*A la mujer que amo, que vino a iluminar mi vida, mi bella esposa Paulina, por estar siempre conmigo, apoyándome en todo momento, ayudándome a forjar nuestro destino; gracias por darme la experiencia tan linda de ser papá de nuestro hermoso hijo Raúl Elías, es la chispa de nuestra alegría.*

*A mis padres Cristina y Elías, gracias por darme la vida, porque supieron hacer de mi un hombre de bien, ustedes que me enseñaron el significado del trabajo, el sentido de la honradez y la responsabilidad y que desde siempre me dieron la confianza y el apoyo, gracias por ser mis padres.*

*A mis hermanos Ángel, Lucía, Felipe, Juve, Mago, Chelo, Tita, por el apoyo incondicional que me han mostrado en todo momento, con cariño para ustedes.*

*A mis sobrinos y sobrinas Vero, Mayra, Luis, Daniel, Cristina, Roberto, Leonel, Gimena, Elías, Felipe, Valeria, por su simpatía de todo momento.*

*A mis suegros Martha y Raúl por su gran amistad, por brindarme la confianza y apoyo.*

*A todos mis amigos, que han formado parte importante a lo largo de mi vida.*

*Con cariño y admiración, sinceramente.....Elías*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, una gratitud eterna, por ayudarme en todo momento, darme el valor y humildad para darle buena cara a la vida y alcanzar una meta más.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado para llevar a cabo mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, por la oportunidad de continuar con mi formación académica.

A la Dra. Libia I. Trejo-Téllez, gran persona que en todo momento me brindó su apoyo incondicional, le agradezco el compartir conmigo sus conocimientos, amistad y la acertada dirección de la presente investigación.

Al Dr. Roberto Núñez Escobar por sus observaciones durante la revisión de la investigación.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa por sus valiosas aportaciones durante la realización de la investigación.

Al Dr. Fernando Carlos Gómez Merino por sus acertadas aportaciones y observaciones realizadas a la presente investigación.

A todos los profesores que participaron en mi formación como Maestro en Ciencias, aportando información valiosa.

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
1.1 Fósforo en plantas superiores.....	1
1.1.1 Acceso nutrimental .....	1
1.1.2 Absorción y transporte .....	1
1.1.3 Funciones fisiológicas.....	3
1.1.4 Efectos de deficiencia de P en la producción de cultivos .....	5
1.2 Fósforo en la producción de fresa.....	6
1.2.1 Requerimientos de fósforo.....	6
1.2.2 Influencia en el crecimiento .....	7
1.2.3 Influencia en el rendimiento y la calidad de fruto .....	8
1.3 Fosfitos en la agricultura .....	9
1.3.1 Control de patógenos .....	9
1.3.2 Rutas de fosfitos en planta .....	11
1.4 CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
1.5 LITERATURA CITADA.....	14
CAPÍTULO 2. FOSFITOS EN LA PRODUCCIÓN DE FRESA.....	19
2.1 INTRODUCCIÓN .....	19
2.2 OBJETIVOS.....	22
2.2.1 Objetivo General .....	22
2.2.2 Objetivos Particulares .....	22
2.3 HIPÓTESIS.....	23
2.3.1 Hipótesis General .....	23
2.3.2 Hipótesis Particulares .....	23

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
2.4.1 Localización geográfica del área experimental.....	24
2.4.2 Sustrato .....	24
2.4.3 Material vegetal .....	24
2.4.4 Descripción de tratamientos .....	26
2.4.5 Diseño experimental .....	28
2.4.6 Manejo del cultivo .....	29
2.4.6.1 Establecimiento de plantas en tezontle .....	29
2.4.6.2 Control fitosanitario.....	30
2.4.7 Variables evaluadas .....	31
2.4.7.1 Indicadores agronómicos .....	31
2.4.7.2 Indicadores fisiológicos .....	31
2.4.7.3 Indicadores de calidad de fruto .....	33
2.4.8 Análisis estadístico .....	36
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
2.5.1 Indicadores agronómicos.....	37
2.5.1.1 Rendimiento .....	37
2.5.1.2 Materia seca de vástago .....	38
2.5.2 Indicadores fisiológicos.....	40
2.5.2.1 Análisis químico foliar.....	40
2.5.2.2 Concentración de azúcares totales en hojas.....	47
2.5.2.3 Concentración de clorofila .....	48
2.5.2.4 Aminoácidos libres totales.....	51
2.5.2.5 Proteínas solubles totales .....	52
2.5.2.7 Antocianinas.....	54
2.5.2.8 Vitamina C.....	55
2.5.3 Indicadores de calidad de fruto.....	56
2.5.3.1 pH y CE en la pulpa del fruto.....	56
2.5.3.2 Concentración de sólidos solubles totales (°Brix).....	58

2.5.3.3 Concentración de azúcares totales .....	60
2.5.3.4 Acidez titulable en fruta .....	61
2.5.3.5 Firmeza del fruto.....	62
2.5.3.6 Uniformidad del fruto .....	63
2.5.3.7 Tamaño de la fruta .....	65
2.5.3.8 Color de la fruta (Luminosidad, Hue y Chroma) .....	66
2.6 CONCLUSIONES .....	69
2.7 LITERATURA CITADA.....	70
APÉNDICE A .....	75

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
<b>Cuadro 1</b> Intervalos de suficiencia nutrimental en hojas recientemente maduras de fresa (Hancock, 1999).	6
<b>Cuadro 2</b> Características morfológicas y fenológicas de planta de Fresa cultivar Festival (Chandler, 2004).	25
<b>Cuadro 3</b> Fuentes de fertilización de macronutrientes para la preparación de la Solución Nutritiva de Steiner al 100% (Steiner, 1984).	26
<b>Cuadro 4</b> Análisis químico del agua de riego en miliequivalentes ( $\text{mol}_e \text{m}^{-3}$ ) utilizada en el experimento, los cuales se le restaron a la solución Steiner para formular las soluciones.	27
<b>Cuadro 5</b> Formulación de soluciones nutritivas empleadas en la fase inicial del cultivo en esta investigación en $\text{g L}^{-1}$ y $\text{mL L}^{-1}$ modificando la Solución Universal de Steiner al 50% (Steiner, 1984).	27
<b>Cuadro 6</b> Formulación de soluciones nutritivas empleadas en la fase avanzada del cultivo en esta investigación en $\text{g L}^{-1}$ y $\text{mL L}^{-1}$ modificando la Solución Universal de Steiner al 75% (Steiner, 1984).	28
<b>Cuadro 7</b> Complemento de micronutrientes para las soluciones nutritivas (Baca, 1983), agregando Mo.	28
<b>Cuadro 8</b> Aplicaciones de agroquímicos.	30
<b>Cuadro 9</b> Escala de clasificación de frutos.	35
<b>Cuadro 10.</b> Peso seco de vástago de fresa cultivar Festival expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes del fósforo total como fosfitos.	39

	Página
<b>Cuadro 11</b> Azúcares totales en hojas de fresa cultivar Festival, en dos etapas fenológicas, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos.	47
<b>Cuadro 12</b> Vitamina C en frutos de fresa cultivar Festival, sometida a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos.	55
<b>Cuadro 13</b> Azúcares totales en frutos de fresa cultivar Festival, en tres estados de madurez, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos.	61
<b>Cuadro 14</b> Acidez titulable en frutos de fresa cultivar Festival, en tres estados de madurez, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos.	62
<b>Cuadro 15</b> Color (luminosidad, hue y chroma) en frutos de fresa cultivar Festival, en tres estados de madurez, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos.	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1</b>	Estructuras químicas de los aniones fosfato (Pi) y fosfito (Phi). 19
<b>Figura 2</b>	Distribución física de los tratamientos dentro de los bloques. 29
<b>Figura 3</b>	Ecala de 1 a 5 de clasificación de frutos. 35
<b>Figura 4</b>	Rendimiento acumulado de fruto fresco de fresa cultivar Festival, durante 4 meses, expuesta a diferentes porcentajes del P total en forma de fosfitos en la solución nutritiva. PMF = peso de materia fresca. Barras con letras distintas tienen diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$ ). 37
<b>Figura 5</b>	Concentración de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en hojas de fresa cultivar Festival, en floración, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ). PMS = peso de materia seca. 42
<b>Figura 6</b>	Concentración de boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn), y zinc (Zn) en hojas de fresa cultivar Festival, en floración, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ). PMS = peso de materia seca. 43
<b>Figura 7</b>	Concentración de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en hojas de fresa cultivar Festival, en fructificación, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ). PMS = peso de materia seca. 45
<b>Figura 8</b>	Concentración de boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu) en hojas de fresa cultivar Festival, en fructificación, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos: Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ). PMS = peso de materia seca. 46

	Página	
<b>Figura 9</b>	Concentración de clorofila a en hojas de fresa cultivar Festival, en dos etapas fenológicas (floración y fructificación), expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ). PMF = peso de materia fresca.	48
<b>Figura 10</b>	Concentración de clorofila b en hojas de fresa cultivar Festival, en dos etapas fenológicas (floración y fructificación), expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ). PMF = peso de materia fresca.	49
<b>Figura 11</b>	Clorofila total en hojas de fresa cultivar Festival, en dos etapas fenológicas (floración y fructificación), expuestas a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ). PMF = peso de materia fresca.	50
<b>Figura 12</b>	Concentración de aminoácidos totales en hojas de fresa cultivar Festival, expuestas a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ). PMF = peso de materia fresca.	51
<b>Figura 13</b>	Concentración de proteínas solubles totales en hojas de fresa cultivar Festival, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ). PMF = peso de materia fresca.	53
<b>Figura 14</b>	Concentración de antocianinas en frutos de fresa cultivar Festival, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ). PMF = peso de materia fresca.	54
<b>Figura 15</b>	pH y CE de frutos de fresa cultivar Festival expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ).	57

	Página
<b>Figura 16</b> °Brix de frutos de fresa cultivar Festival, en diferentes estados de madurez, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ).	59
<b>Figura 17</b> Firmeza de frutos de fresa cultivar Festival, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ).	63
<b>Figura 18</b> Uniformidad de frutos de fresa cultivar Festival, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. La escala fue elaborada de acuerdo a indicadores descritos en el <b>Cuadro 9</b> .	64
<b>Figura 19</b> Tamaño de frutos de fresa cultivar Festival, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$ ).	65

# CAPÍTULO 1

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

### **1.1 Fósforo en plantas superiores**

#### **1.1.1 Acceso nutrimental**

El acceso nutrimental se compone de una serie de fenómenos a través de los cuales las plantas pueden acercarse los nutrientes para posteriormente ser absorbidos; se plantean tres rutas de acceso que son: intercepción, flujo de masas y difusión (Rodríguez *et al.*, 2007).

En general, sólo una pequeña cantidad de nutrientes accede a las raíces por intercepción; para el caso del fósforo (P) es de sólo un 2% de la demanda del cultivo de maíz (Barber, 1984); mientras que, del total del fósforo que demanda un cultivo, sólo entre 2 y 3% llega a la raíz por flujo de masas (Rodríguez *et al.*, 2007).

El movimiento del P en el suelo se realiza principalmente por difusión, se estima que cerca del 95% se moviliza de ésta manera. Esta difusión es conducida por el gradiente de concentración iónica entre la rizósfera y la matriz del suelo. Raíces capaces de absorber P en bajas concentraciones, provocan que este gradiente sea mayor y que incremente la cantidad de iones movilizados (Rubio, 2002). La baja velocidad de difusión ( $10^{-12}$  a  $10^{-15}$  m s<sup>-1</sup>) y la alta velocidad de absorción del fosfato de las plantas crean rápidamente una zona de agotamiento, libre de fosfato, alrededor de la raíz. Todo esto hace del fosfato uno de los elementos menos disponibles de la rizósfera y lo convierten en el segundo mineral, después del nitrógeno, que más limita el crecimiento vegetal (Schachtman *et al.*, 1998).

#### **1.1.2 Absorción y transporte**

Las plantas absorben el P en forma de fosfatos inorgánicos, principalmente como aniones fosfato monobásico ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y aniones fosfato dibásico ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ); no obstante, la planta puede también, a través de sus enzimas, desprender grupos fosfatos de los compuestos orgánicos y posteriormente absorberlos. Este elemento a diferencia del

nitrógeno y azufre, no es reducido en la planta al ser asimilado por ella, sino que es incorporado a los compuestos orgánicos en su mismo estado de oxidación (Alcántar *et al.*, 2007).

La capacidad de las raíces de absorber P está regulada por transportadores de alta y baja afinidad. En las concentraciones normales de fósforo en el suelo, del orden micromolar, sólo el sistema de alta afinidad es el que actúa (Rubio, 2002).

Después de la difusión de fosfato del suelo hasta la superficie de la raíz, es rápidamente absorbido, lo que resulta en una zona de agotamiento de 0.2 a 1.0 mm alrededor de la raíz. Aunque las concentraciones de fosfato en la solución del suelo raramente exceden 2  $\mu\text{M}$ , en las células de la planta es mucho más alto, de 2 a 20  $\mu\text{M}$  (Bielecki, 1973; Schachtman *et al.*, 1998). Para superar esta diferencia de concentración, la planta requiere de un transporte activo para cruzar el plasmalema.

Se ha observado que las plantas poseen múltiples transportadores de fosfato que se expresan de forma diferencial. Existen datos moleculares que revelan la existencia de genes que codifican transportadores de fosfatos. Los transportadores de fosfato de alta afinidad son codificados por un gen *Pht1* y son expresados principalmente en raíz, se inducen rápidamente al haber bajas concentraciones de fosfatos; estos transportadores están asociados con el cotransporte de protones. Los transportadores de baja afinidad son codificados por el gen *Pht2* y se expresan en hojas (Raghothama, 2000; Smith *et al.*, 2002).

Los pelos radicales son células especializadas de la capa exterior del tejido epidérmico de las raíces, que se extienden en forma perpendicular al eje de la raíz. Debido a su forma alargada, avanzan hacia el seno del suelo, incrementando notoriamente la capacidad exploratoria de la raíz. Existen evidencias de que su presencia implica un incremento en la adquisición de nutrientes de lenta movilidad en el suelo como es el P (Gahoonia y Nielsen, 1998; Bates y Lynch, 2000). Hay una amplia variación genotípica en la formación y morfología de pelos radicales (Peterson y Farquhar, 1996; Green *et al.*, 1991). En experimentos realizados con distintas especies, creciendo en un

intervalo de disponibilidades de P, se ha observado el carácter plástico de la formación de pelos radicales. Bajo condiciones de déficit de fósforo, se ha encontrado un incremento en el largo de los pelos radicales (Bates y Lynch, 1996; 2000). Después de seis días de crecimiento, el largo promedio de los pelos radicales de *Arabidopsis thaliana* resultó ser seis veces mayor, en plantas creciendo en un medio deficitario de fósforo, que en un medio bien provisto; este fenómeno no fue observado en respuesta a otros nutrimentos (Bates y Lynch, 1996).

Después del proceso de absorción, el P es un elemento móvil dentro de la planta, puede ser transportado libremente tanto en el xilema como en el floema, y es un elemento que se recicla dentro de la planta cuando hay deficiencias de fosfato o durante la senescencia (Raghothama, 2000).

### **1.1.3 Funciones fisiológicas**

El P es un elemento esencial para el desarrollo y reproducción de la planta y es requerido en grandes cantidades, después del nitrógeno y potasio. Sus funciones no pueden ser realizadas por ningún otro nutrimento. Si no se le agrega la cantidad de fósforo suficiente a la planta, ésta no expresará su máximo potencial en rendimiento, puesto que este nutrimento juega un papel muy importante en almacenamiento y transferencia de energía en las plantas (Fageria, 2008).

El P fomenta la extensión de las raíces, así como su ramificación lateral (Vance, 2004). El P forma parte de los ácidos nucleicos y participa en la síntesis de proteínas, además interviene en todos los procesos metabólicos de transferencia de energía (Alcántar *et al.*, 2007), y es constituyente de numerosos compuestos imprescindibles en el metabolismo vegetal; del papel desempeñado en la síntesis de proteínas (ácidos nucleicos), podemos citar las siguientes funciones esenciales: biosíntesis de glúcidos, biosíntesis de lípidos, síntesis de clorofilas y carotenoides, glucólisis y metabolismo de los ácidos orgánicos, además en estas reacciones intervienen otros compuestos con P como constituyente, tales como nicotinamida adenina dinucleótido fosfato oxidado

(NADP), flavín adenina dinucleótido (FAD), coenzima A (CoAsH) y pirofosfato de tiamina (TPP).

El P se localiza, entre muchos otros compuestos, en los fosfolípidos, que son derivados del ácido fosfoglicérico y sus principales representantes (lectinas y cefalinas) se encuentran ampliamente distribuidos en las plantas. Este tipo de compuestos presentan en su molécula una parte hidrófila, característica que los capacita para actuar como eslabones entre las estructuras lipófilas de la célula, participando activamente en la formación de las membranas, tanto en mitocondrias y cloroplastos, como del plasmalema y otros orgánulos (Alcántar *et al.*, 2007).

Otro importante éster fosfórico se encuentra en los ácidos nucleicos. Entre dichos nucleótidos es particularmente importante adenosina monofosfato o AMP, sustancia origen de la adenosina difosfato (ADP) y de la adenosina trifosfato (ATP), los cuales a su vez son precursores de las coenzimas NAD (nicotinamida adenina dinucleótido) y NADP (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato). El P también se presenta en otros compuestos ricos en energía como: guanina trifosfato (GTP), uridina trifosfato (UTP) y citosina trifosfato (CTP), los cuales funcionan como eslabones comunes uniendo procesos endergónicos a procesos exergónicos (intercambio de energía). Principalmente la estructura del pirofosfato, con su unión de alta energía, determina el carácter y con ello la cantidad de energía de estos compuestos. La fotosíntesis, la glucólisis, el ciclo de Krebs, la  $\beta$ -oxidación, la oxidación directa de la glucosa y la descomposición de los carbohidratos (reacciones de carga), son todos ellos procesos que involucran reacciones de fosforilación. El P se encuentra además como constituyente de nucleoproteínas, y participa también en la división celular y en la transferencia de las características hereditarias (Alcántar *et al.*, 2007).

Las coenzimas más importantes que contienen P son la nicotinamida adenina dinucleótido (NAD, NADP), el flavín mononucleótido (FMN) y el flavín adenina dinucleótido (FAD), todas ellas indispensables en numerosas reacciones redox (Alcántar *et al.*, 2007).

#### **1.1.4 Efectos de deficiencia de P en la producción de cultivos**

La deficiencia de P en las plantas ocasiona retraso en el crecimiento y desarrollo débil de la planta, tanto en su parte aérea como en el sistema radical. Las hojas son más delgadas, erectas y de menor tamaño (Pellerin *et al.*, 2000). Los tejidos deficientes en P toman tonalidades violetas o púrpura, debido a la inhibición de la síntesis de clorofila y a la reducción en la síntesis proteica que provoca un incremento relativo de azúcares, lo que promueve la síntesis de antocianinas. Al ser un elemento altamente móvil en la planta, los síntomas de deficiencia ocurren primero en las hojas viejas. El P es muy importante en la formación de semillas (cereales), su ausencia provoca bajos rendimientos.

En cereales con ausencia de P hay una disminución en el amacollamiento; particularmente en arroz, se observó que al fertilizar adecuadamente se tenía un buen desarrollo y amacollamiento, mientras que al omitir el P se obtuvo una planta delgada y sin suficientes macollos; (Fageria, 2008) en el cultivo de frijol, hay una reducción en crecimiento de plantas que no recibieron P (Fageria, 2008). Plantas de lupino sometidas a un estrés por ausencia de P, desarrollaron estrategias para la adquisición de P, desarrollando una serie de raíces proteoides que acidifican la rizósfera para disolver el P presente (Vance, 2004).

La formación de semillas y frutos es deficiente en plantas que sufren carencia de P, y se observa una reducción en calidad y rendimiento (Mengel y Kirkby, 2001). El fósforo es un componente de la fitina, la cual se encuentra presente en la semilla y es un componente esencial para inducir a la germinación; por lo tanto, deficiencias de P reducen el tamaño de semilla, número de semillas así como su viabilidad (Fageria, 2008).

Se ha observado en maíz, lupino y otras especies, un mecanismo de solubilización de fósforo a través de la modificación del valor de pH, inducido por deficiencia de fósforo la

cual ocasiona un incremento en la liberación de H<sup>+</sup> a la rizósfera (Neuman, 1999; Bertrand *et al.*, 1999).

## 1.2 Fósforo en la producción de fresa

### 1.2.1 Requerimientos de fósforo

El pH óptimo de la solución nutritiva para el cultivo de la fresa es de 5.8, pudiendo variar en un intervalo de 5.3 a 6.3 y la conductividad eléctrica (CE) puede mantenerse entre 1.2 y 1.5 dS m<sup>-1</sup> (Martínez y León, 2004). El P es muy importante en el cultivo de fresa, ya que fortalece el sistema radicular, previene el achaparramiento de la planta y coadyuva a la obtención de un rendimiento óptimo (Martínez y León, 2004). Para un desarrollo adecuado, la fresa necesita mantener un nivel de nutrimentos. En el **Cuadro 1** se presentan las concentraciones nutrimentales definidas como suficientes por Hancock (1999), para hojas de fresa recientemente maduras.

**Cuadro 1.** Intervalos de suficiencia nutrimental en hojas recientemente maduras de fresa (Hancock, 1999).

<b>Nutrimento</b>	<b>Suficiencia</b>
Macronutrimentos (g kg <sup>-1</sup> )	
N	20-28
P	2.5-4.0
K	15-25
Ca	7.0-17.0
Mg	3.0-5.0
S	4.0-6.0
Micronutrimentos (mg kg <sup>-1</sup> )	
B	30-70
Fe	60-250
Mn	50-200
Cu	6-20
Zn	20-50

El P es requerido en ocasiones antes del trasplante para fortalecer el desarrollo de la raíz. Hancock (1999) reporta que el fósforo incrementa marcadamente el rendimiento de fresa, pero únicamente cuando se aplica nitrógeno y cal de manera conjunta, en suelo con pH ácido; asimismo, cuando se utilizan micorrizas en el cultivo de fresa, se incrementa la concentración de P y la acumulación de materia seca, aunque esta técnica no es muy común a nivel comercial.

Un experimento realizado por Lieten y Misotten (1993) mostró que una planta de fresa tiene una tasa de absorción de P que oscila de 1.9 a 1.4 mmol L<sup>-1</sup> entre plantación y floración. Durante el periodo de desarrollo, después de plantación, la planta incrementa hasta tres veces la tasa de absorción de P; y de manera paralela, la producción de materia seca. Sin embargo, de floración hasta fin de la cosecha la tasa de absorción de P es baja (de 1.4 a 1.1 mmol L<sup>-1</sup>) en comparación con la producción de materia seca. No obstante altas cantidades de P se concentraron en el fruto (44%), esto por movilización del P de otros órganos como hojas, pecíolos, raíces, tallos de flores, en donde la concentración de P disminuyó de floración hasta fin de fructificación. Finalmente, una cuarta parte del P se acumuló en hojas y casi 15% en raíces. El P representó cerca del 5% de los macronutrientes en los órganos de la planta.

### **1.2.2 Influencia en el crecimiento**

Castro *et al.* (2005) encontraron diferencias estadísticas significativas en área foliar y en peso de biomasa seca de raíces de fresa entre plantas creciendo en condiciones normales de abastecimiento de P (testigo) y plantas con deficiencia de este nutriente. Estas últimas tuvieron un peso de materia seca de raíces menor en 68% al testigo, debido a que la condición de deficiencia extrema de P afecta los puntos de crecimiento, lo cual causa una reducción de crecimiento de todas las partes de la planta (Muckle, 1993; Castro, 2001; Nestby *et al.*, 2004), que se traduce en una disminución del crecimiento de la planta. El peso de la materia seca de la parte aérea (tallo y hojas) de plantas con deficiencia de P (8.89 g) se redujo significativamente en comparación con

el testigo (14.65 g). De acuerdo con Nestby *et al.* (2004), las deficiencias de nitrógeno y P afectan la síntesis de proteínas y, en general, el metabolismo de la planta.

Las plantas presentan deficiencias de P, cuando la concentración de éste en las hojas es de 0.15% (1.5 g kg<sup>-1</sup>) o menor (Ulrich *et al.*, 1980; Castro, 2001). Los síntomas de deficiencia en las hojas se observan en las hojas viejas con una coloración verde oscuro con manchas negras entre las nervaduras, con bordes de color púrpura, con pecíolos de color rojo (Castro *et al.*, 2005).

### **1.2.3 Influencia en el rendimiento y la calidad de fruto**

El cultivo de fresa requiere de niveles específicos de nutrimentos para obtener fruta de alta calidad; en caso de que algún nutrimento en particular se saliera del intervalo óptimo, puede afectarse tanto el rendimiento como la calidad del fruto dramáticamente (Nestby *et al.*, 2004).

Ulrich *et al.* (1980) concluyeron que plantas con deficiencias de P tienen flores y frutos más pequeños de lo normal, mientras que en cultivares susceptibles ocasionalmente se desarrolla albinismo de frutos.

Aplicaciones foliares de fosfato de potasio (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) en plantas que se desarrollaron en condiciones elevadas de cloruro de sodio, mitigaron el efecto negativo causado por la salinidad en el rendimiento, así como también amortiguó la reducción de sólidos solubles del fruto. Así, altos niveles de salinidad en la planta, pero a la vez bajas cantidades de P reducen el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto de fresa bajo condiciones de estrés salino (Kaya *et al.*, 2001). Resultados similares han sido reportados en otros trabajos, como Penaloso *et al.* (1989) quienes encontraron que bajas cantidades de P en la hoja reducen tanto rendimiento, como contenido de materia seca en jitomate.

## 1.3 Fosfitos en la agricultura

### 1.3.1 Control de patógenos

Los compuestos conocidos como fosfitos, son sales derivadas del ácido fosforoso. A fin de llevar a cabo un manejo integrado de las enfermedades, el uso de los fosfitos debe combinarse con otras prácticas de control; los fosfitos permiten aumentar las defensas de las plantas ante la posible infección de un patógeno y hacer más efectivo el uso de fungicidas específicos (Andreu y Caldiz, 2006). Los fosfitos aumentan la resistencia a las enfermedades a través de un mecanismo que se conoce como resistencia sistémica adquirida (Andreu y Daleo, 2005).

Navarro *et al.* (2004) encontraron que la fertilización fosfórica no produjo cambios significativos en la morfología y la fisiología de árboles forestales del género *Quercus* al final de su cultivo en vivero. Sin embargo, después de la inoculación de *Phytophthora cinnamomi* se produjo una pérdida significativa en la biomasa del sistema radical secundario de los *Quercus*, excepto en el testigo sin inóculo y el tratamiento con fosfito. La fertilización con fosfato no parece mejorar la resistencia a ataques de *P. cinnamomi* en *Quercus*; sin embargo, el tratamiento con fosfito inhibe a corto plazo los ataques de *P. cinnamomi*.

Lobato *et al.* (2008) hicieron un experimento en donde realizaron aplicaciones de fosfito de calcio ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_3)_2$ ) y fosfito de potasio ( $\text{K}_3\text{PO}_3$ ) en tubérculos y en follaje de papa, y encontraron que el fosfito reduce la susceptibilidad de los tubérculos a infecciones de *Phytophthora infestans*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani*, y siendo un mejor tratamiento la aplicación de fosfito de potasio. En aplicaciones foliares de fosfito también observaron una supresión en la incidencia de patógenos.

Förster *et al.* (1998) evaluaron el efecto del uso de formulaciones a base de ácido fosforoso (fosfito), comparado contra tratamientos con fosfato en el desarrollo de plantas de tomate y chile, utilizando dos dosis de fosfito y dos de fosfato (dosis normal y dosis elevada) así como una combinación de fosfato-fosfito (en soluciones nutritivas),

y obtuvieron que las plantas tratadas únicamente con fosfito desarrollaron síntomas de deficiencia de fósforo y una disminución en el crecimiento similares a las del testigo sin fósforo; además observaron que las plantas fertilizadas con fosfato en dosis adecuadas (0.1 mM) tuvieron un desarrollo normal, y registraron menor peso de materia seca de tallos y raíces y disminución de área foliar, para el tratamiento de altos niveles de fosfatos (1 mM). Esto es debido a que, aunque es raro que macronutrientos causen toxicidad, al ser tomados en exceso por la planta, pueden causar desbalances con otros nutrientes y como resultado pobre desarrollo de la planta (Bennett, 1993).

Al combinar en la solución nutritiva niveles suficientes de fosfatos con bajas concentraciones de fosfitos, Förster *et al.* (1998) encontraron que las plantas de chile y tomate mostraron sus mejores niveles de desarrollo y acumulación de materia seca. De manera simultánea, realizaron evaluaciones de los tratamientos para ver la incidencia de *Phytophthora capsici* en plantas de chile después de la inoculación, obteniendo que el testigo sin fósforo tuvo una infestación total y murió al poco tiempo; las plantas tratadas únicamente con fosfato tuvieron un 80% de infestación, en la combinación fosfato-fosfito (1 mM-0.3 mM) tuvieron un 60% de infestación; y para las plantas tratadas con fosfito tuvieron alrededor de un 10% de infección, lo cual demuestra que el fosfito reduce la incidencia de *P. capsici* en raíz de chile, pero a la vez no provee la suficiente cantidad de fósforo para la nutrición de plantas de chile y tomate cuando es utilizado como única fuente de fósforo en sistemas de hidroponía, ya que la acumulación de materia seca de hoja por planta utilizando solo fosfitos es de 200 mg, con fosfato es de 1000 mg planta<sup>-1</sup> y para combinación fosfato-fosfito resultó ser alrededor de 1100 mg planta<sup>-1</sup>; mientras que, el peso de biomasa seca de tallo fue mayor con fosfato con 500 mg planta<sup>-1</sup> y menor con fosfito con 100 mg planta<sup>-1</sup>.

Pilbeam *et al.* (2000) reportan que aplicaciones foliares del 2% de fosfitos en árboles de eucalipto fueron efectivas para detener la colonización de tallos por *Phytophthora cinnamomi*, pero no en raíces.

Se ha observado que hay dos sistemas de defensa contra *P. cinnamomi* del árbol *Xanthorrhoea australis* asociado a aplicaciones de fosfitos; la primera, es por la acumulación de material celular y compuestos fenólicos alrededor del área infectada; y la segunda, la acumulación de compuestos fenólicos y lignina en células corticales y vasculares de tejido infectado (Daniel *et al.*, 2005). Los compuestos fenólicos y sus derivados participan directamente en el sistema de defensa de la planta (Cahill y McComb, 1992). Es conocido que los compuestos fenólicos (precursores de la lignina) inhiben directamente la actividad fungosa actuando como barreras para restringir el avance del patógeno (Hwang *et al.*, 1990).

### **1.3.2 Rutas de fosfitos en planta**

Los fosfitos y fosfatos tienen una gran similitud en sus estructuras, debido a ello los primeros pueden ser absorbidos vía transportadores de fosfatos, y su velocidad de absorción es muy similar. Las diferencias entre fosfatos y fosfitos comienzan a verse al final de la traslocación, porque los fosfitos no pueden ser convertidos a fosfatos dentro de la planta y en consecuencia no participan en las rutas bioquímicas, y por ello se observan los efectos negativos de éstos sobre el metabolismo vegetal (Varadarajan *et al.*, 2002). Los efectos negativos de los fosfitos en la planta se pueden suprimir suministrando concentraciones suficientes de fosfato a la planta, ya que el fosfito no interfiere en las reacciones bioquímicas en presencia de fosfato (Carswell *et al.*, 1996).

El ácido fosforoso (fosfito) es realmente absorbido por la planta y es móvil en xilema y floema (Varadarajan *et al.*, 2002). Utilizando cromatografía para su cuantificación Ouimette y Coffey (1990) demostraron que los fosfitos parecen ser muy estables en aguacate y permanecen en esta forma por meses.

Varadarajan *et al.* (2002) encontraron que los fosfitos suprimen la expresión de deficiencias severas de fosfato inducidas por los genes en las plantas. Esta supresión de genes incluye los transportadores de fosfato de alta afinidad, fosfatasas, un homólogo de glicerol-3-fosfato permeasa (*LePS3*), y el gen novel (*TPS11*) inducidos por

bajas concentraciones de P. En general, la supresión de los genes en tomate es muy pronunciada.

Moor *et al.* (2009) encontraron que la fertilización con fosfito no suprime ni promueve el crecimiento de plantas de fresa; es decir, la fertilización a base de fosfito no tiene ventajas sobre la fertilización con fosfatos en lo que al rendimiento respecta. No obstante, la fertilización foliar con fosfito sí modifica el sabor de la fruta, incrementando su acidez y disminuyendo en consecuencia su contenido de azúcares.

Fairbanks *et al.* (2002) reportan que en *Vicia faba* se incrementa el número de células mitóticas anormales en raíces que fueron tratadas con fosfitos a la base de la planta. Por otro lado en plantas de *Petunia hybrida* los fosfitos reducen la fertilidad del polen.

El fosfito aplicado a tubérculos de papa (semilla), tiene efectos en la fisiología de la planta. Las plantas emergieron más rápidamente cuando fueron tratadas con fosfito, que cuando no se les realizó ningún tratamiento; la emergencia temprana es un mecanismo para el escape a posibles enfermedades de suelo (Lobato *et al.*, 2008). Aplicaciones de fosfatos de calcio y potasio, promueven el sistema de defensa en plantas de papa, sin afectar el crecimiento del cultivo, además incrementan el contenido de la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa-oxigenasa (Rubisco).

Albrigo (1999) evaluó la respuesta a una sola aplicación foliar de fosfito antes de floración en naranjas valencia en Florida; esta aplicación incrementó significativamente el número de flores, rendimiento y total de sólidos solubles a la cosecha, 10 meses después, al ser comparado con el testigo. Las respuestas fisiológicas al fosfito pueden estar relacionadas con su efecto en el metabolismo del azúcar, con la estimulación de la ruta del ácido shikímico, con cambios hormonales o químicos internos (Lovatt y Mikkelsen, 2006).

#### 1.4 CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LITERATURA

El P es un nutrimento esencial para las plantas, al participar en procesos de almacenamiento y transferencia de energía y ser constituyente de importantes biomoléculas como los ácidos nucleicos.

Este macronutrimento accesa a la raíz por difusión y es absorbido principalmente como fosfato por transportadores de alta y baja afinidad. Los fosfitos son absorbidos por los mismos sistemas de transporte que los fosfatos, con la diferencia de que éstos no participan en el metabolismo vegetal, por lo que diversos estudios han mostrado que no pueden ser usados como fuente exclusiva de suministro de P.

No obstante, los fosfitos han sido empleados en el control de patógenos en plantas, obteniéndose como resultado la disminución de la incidencia de enfermedades causadas principalmente por hongos del género *Phytophthora*. Además se ha encontrado que los fosfitos permiten activar las defensas de las plantas ante la posible infección de un patógeno.

## 1.5 LITERATURA CITADA

- Albrigo, L. G. 1999. Effects of foliar applications of urea or nutriphite on flowering and yields of Valencia orange trees. Proc. Flo. State Hort. Soc. 112: 1-4.
- Alcántar, G. G., M. Sandoval V., y P. Sánchez G. 2007. Elementos esenciales. pp. 8-47. In: G. G. Alcántar y L. Trejo T. (eds.). Nutrición de cultivos. Colegio de Postgraduados. Editorial Mundi-prensa. México.
- Andreu, A. B. y D. O. Caldiz. 2006. El uso de fosfitos y su contribución al control de tizón tardío y *Fusarium* spp. Instituto de investigaciones Biológicas, Universidad Nacional de Mar de Plata, Argentina 6: 3-7.
- Andreu, A. y G. Daleo. 2005. Resistencia inducida en plantas. XIII Congreso Latinoamericano de Fitopatología. II Taller de la Asociación de Fitopatólogos. Libro de Memorias. Córdoba, Argentina. pp. 171-175.
- Barber, D. A. 1984. Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. John Wiley, New York.
- Bates T. and J. P. Lynch. 1996. Stimulation of root hair elongation in *Arabidopsis thaliana* by low phosphorus availability. Plant Cell Env. 19: 529-538.
- Bates T. and J. P. Lynch. 2000. The efficiency of *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae) root hairs in phosphorus acquisition. Amer. J. Bot. 87: 964-970.
- Bennett, W. F. 1993. Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms. pp. 1-7. In: Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. Bennett (ed.) American Phytopathological Society. St. Paul, MN, USA.
- Bertrand, I., P. Hinsinger, B. Jaillard, and J. C. Arvieu. 1999. Dynamics of phosphorus in the rhizosphere of maize and rape grow on synthetic, phosphate calcite and goethite. Plant Soil 38: 161-175.
- Bieleski, R. L. 1973. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. An. Rev. Plant Physiol. 24: 225-252.
- Cahill, D. M. and J. A. McComb. 1992. A comparison of changes in phenylalanine ammonialyase activity, lignin and phenolic synthesis in the roots of *Eucalyptus calophylla* (field resistant) and *E. marginata* (susceptible) when infected with *Phytophthora cinnamomi*. Physiol. Mol. Plant Pathol. 40: 315-332.
- Carswell, C., B. R. Grant, M. E. Theodorou, J. Harris, J. O. Niere, and W. C. Plaxton. 1996. The fungicide phosphonate disrupts the phosphate starvation response in *Brassica nigra* seedlings. Plant Physiol. 110: 105-110.

- Castro, G. 2001. Nutrición mineral marginal en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Dutch) cv. Chandler crecidas hidrópticamente. Tesis Biol. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Perú.
- Castro, G., D. Rodríguez, and M. Hoyos. 2005. Marginal mineral nutrition of strawberry (*Fragaria x ananassa*) plants grown hydroponically. *Acta Hort.* 697: 321-327.
- Daniel, R., B. A. Wilson, and D. M. Cahill. 2005. Potassium phosphonate alters the defence response of *Xanthorrhoea australis* following infection by *Phytophthora cinnamomi*. *Aust. Plant Pathol.* 34: 541-548.
- Fageria, N. K. 2008. The use of nutrients in crop plants. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Fairbanks, M. M., J. Hardy, and J. A. McComb. 2002. Mitosis and meiosis in plants are affected by the fungicide phosphate. *Aust. Plant Pathol.* 31: 281-289.
- Förster, H., J. E. Adaskaveg, D. H. Kim, and M. E. Stanghellini. 1998. Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown rot in hydroponic culture. *Plant Dis.* 82: 1165-1170.
- Gahoonia T. S. and N. Nielsen. 1998. Direct evidence on participation of root hairs in phosphorus uptake from soil. *Plant Soil* 198: 147-152.
- Green, R., B. Bernard, and M. J. Oprisko. 1991. Root hairs and root lengths in nine warm season turfgrass genotypes. *J Am. Soc. Hort. Sci.* 116: 965-969.
- Hancock, J. F. 1999. Strawberries. CABI Publishing. Cambridge, UK.
- Hwang, B. K., E. Nesbat, W. D. Ibenthal, and R. Heitefuss. 1990. An ultrastructural study of the effect of metalaxyl on *Phytophthora capsici* infected stems of *Capsicum annuum*. *Pesticide Sci.* 29: 151-162.
- Kaya, C., H. Kirnak, and D. Higgs. 2001. An experiment to investigate the ameliorative effects of foliar potassium phosphate sprays on salt-stressed strawberry plants. *Aust. J. Agric. Res.* 52: 995-1000.
- Lieten, F. and C. Misotten. 1993. Nutrient uptake of strawberry plants (cv. Elsanta) grown on substrate. *Acta Hort.* 348: 299-306.
- Lobato, M.C., F. P. Olivieri, E. A. González, E. A. Wolski, G. R. Daleo, D. O. Caldiz, and A. B. Andreu. 2008. Phosphite compounds reduce disease severity in potato seed tubers and foliage. *Eur. J. Plant Pathol.* 122: 349-358.
- Lovatt, C. J. and R. L. Mikkelsen. 2006. Phosphite fertilizers: what are they?, can you use them?, what can they do? *Better Crops* 90: 11-13.
- Martínez, T. J. y G. H. León. 2004. Producción de fresa en invernadero. pp. 123-134. *In: Memoria del IV Simposio de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción.* Torreón, Coah, México.

- Mengel, K., A. Kirkby, H. Kosegarten, and T Appel. 2001. Principles of plant nutrition. Fifth edition. Kluwer Academics. Dordrecht, The Netherlands.
- Moor, U., P. Põldma, T. Tõnutare, K. Karp, M. Starast, and E. Vool. 2009. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. *Sci. Hortic.* 119: 264-269.
- Mukle, E. 1993. Hydroponic nutrients. Easy ways to make your own. Third ed. Growers Press . Princeton, British Columbia, Canada.
- Navarro, C. R. M., L. Gallo, M. E. Sánchez, P. Fernández y A. Trapero. 2004. Efecto de distintas fertilizaciones de fósforo en la resistencia de brizales de encina y alcornoque a *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 13: 550-558.
- Nestby, R., F. Lieten, D. Pivot, C. R. Lacroix, M. Tagliavini, and B. Evenhuis. 2004. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs. A review. *Acta Hort.* 649: 201-206.
- Neuman, G. R. V. 1999. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus deficient plants. *Plant Soil* 211: 121-130.
- Ouimette, D. G. and M. D. Coffey. 1990. Symplastic entry and problem traslocation of phosphonate. *Pestic. Biochem. Physiol.* 38: 18-25.
- Pellerin, S., A. Mollier, and D. Plenet. 2000. Phosphorus deficiency affects the rate of emergence and number of maize adventitious nodal roots. *Agron. J.* 92: 690-697.
- Penaloso, J. M., M. J. Sarro, E. Revilla, R. Carpena, and C. Cadahia. 1989. Influence of P supply on tomato plant nutrition. *J. Plant Nutr.* 12: 647- 657.
- Peterson, R. L. and M. L. Farquhar. 1996. Root hairs: Specialized tubular cells extending root surfaces. *Botanical Rev.* 62: 1-40.
- Pilbeam, R. A., I. J. Colquhoun, B. Shearer, and G. E. St. J. Hardy. 2000. Phosphite concentration: its effect on phytotoxicity symptoms and colonization by *Phytophthora cinnamomi* in three understory species of *Eucalyptus marginata* forest. *Aust. Plant Pathol.* 29: 86-95.
- Raghothama, K. G. 2000. Phosphate transport and signaling. *Curr Opin Plant Biol.* 3:182-187.
- Rodríguez M., M. N., L. Trejo T., y G. Alcántar G. 2007. Acceso, absorción y transporte nutrimental. pp. 160-199. *In:* G. Alcántar G. y L. Trejo T. (eds.). *Nutrición de cultivos.* Colegio de Postgraduados.Mundi-prensa. México.
- Rubio, R. 2002. Conectando el fósforo del suelo con la planta. *In:* Simposio “Enfoque sistémico de la fertilización fosfórica”. Facultad de Agronomía, UBA. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 16: 19-24.

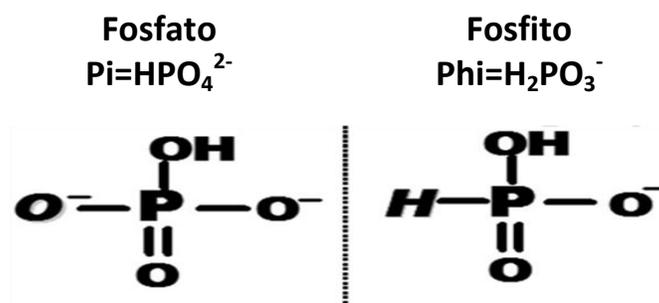
- Schachtman, D. P., R. J. Reid, and S. M. Ayling. 1998. Phosphorus uptake by plants: From soil to cell. *Plant Physiol.* 116: 447-453.
- Smith, F. W., S. R. Mudge, A. L. Rae, and D. Glassop. 2002. Phosphate transport in plants. *Plant Soil* 248: 71-83.
- Ulrich, A., M. A. E. Mostafa, and W. W. Allen. 1980. Strawberry deficiency symptoms: a visual and plant analysis guide to fertilization. *Agric. Exp. Sta., Univ. California. Bull.* pp. 30-31.
- Vance, C. P. 2004. Phosphorus. pp. 872-876. Plant Science Research Unit and University of Minnesota, St. Paul, Minnesota, USA. *In: Encyclopedia of Plant and Crop Science.*
- Varadarajan, D. K., A. S. Karthikeyan, P. D. Matilda, and K. G. Raghothama. 2002. Phosphite, an analog of phosphate, suppresses the coordinated expression of genes under phosphate starvation. *Plant Physiol.* 129: 1232-1240.

## CAPÍTULO 2

## CAPÍTULO 2. FOSFITOS EN LA PRODUCCIÓN DE FRESA

### 2.1 INTRODUCCIÓN

El fosfito (Phi) es un isostero del anión fosfato (Pi) en el cual, uno de los oxígenos unidos al átomo de fósforo (P) es reemplazado por hidrógeno, como se observa en la **Figura 1** (Ouimette y Coffey, 1990).



**Figura 1.** Estructuras químicas de los aniones fosfato (Pi) y fosfito (Phi).

Debido a la similitud estructural entre estos aniones y a las propiedades cinéticas de los sistemas de absorción, el Phi es absorbido por transportadores de fósforo inorgánico (Pi) de alta afinidad a nivel membrana (d'Arcy-Lameta y Bompeix, 1991).

Si bien el Phi puede ser transportado al interior de la célula, este ión no está involucrado en ninguna fase del metabolismo del P (producción de ATP, fotosíntesis o respiración); por lo que, la similitud entre los iones Pi y Phi parece terminar en aspectos relacionados con su asimilación. El Phi no es convertido a Pi dentro de la planta y por lo tanto no participa en las rutas bioquímicas (Varadarajan *et al.*, 2002). Por el contrario, ha sido demostrado que el Phi perturba la fosforilación de proteínas durante deficiencia de Pi. En *Arabidopsis*, los Phi suprimen la actividad de enzimas nucleolíticas y la expresión de la fosfatasa ácida y de los genes transportadores de Pi (Ticconi *et al.*, 2001).

Varios estudios coinciden que los fosfitos tienen un claro efecto fungicida sobre oomicetes (Ouimette y Coffey 1989; Carswell *et al.*, 1996; Orovic *et al.*, 2008), en particular sobre el género *Phytophthora* (Lobato *et al.*, 2008; Rebollar *et al.*, 2010). Los efectos del Phi en plantas son contradictorios. En especies como *Allium cepa* y *Brassica nigra*, se ha demostrado incluso, efectos negativos del Phi sobre el crecimiento (Sukarno *et al.*, 1993; Carswell *et al.*, 1996); este efecto negativo es disminuido con el suministro de Pi (Varadarajan *et al.*, 2002). Por el contrario, Moor *et al.* (2009) indican que la fertilización con Phi no afecta el crecimiento de las plantas, ni representa ventajas en términos de incremento del rendimiento en comparación con la fertilización tradicional con Pi; pero si incrementa la calidad de frutos rojos al activar los mecanismos de defensa de las plantas lo que ocasiona síntesis de ácido ascórbico y antocianinas.

Rickard (2000), enlista una serie de trabajos, en los que aplicaciones foliares de fosfitos incrementan el rendimiento y mejoran calidad en varios cultivos. Sin embargo, hay varios otros reportes recientes en los cuales se indica claramente que plantas con deficiencias de P, son muy sensibles a aplicaciones de fosfitos como fuente de P (Carswell *et al.*, 1996; McDonald *et al.*, 2001; Singh *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2005; Schroetter *et al.*, 2006). En cambio aplicaciones de fosfitos vía raíz en plantas con suficiencia de P parecen presentar un efecto sinérgico al promover mas absorción de P en plantas de tomate (Bertsch *et al.*, 2009) y se suprime el efecto negativo del fosfito (Varadarajan *et al.*, 2002). El efecto de los fosfitos sobre las plantas depende fuertemente del estado nutricional de P de la planta, ya que si no hay suficiencia de P, probablemente las plantas sean vulnerables a aplicaciones de fosfitos (Thao *et al.*, 2008).

Con base en lo anterior, en esta investigación se planteó utilizar una solución nutritiva con completa con suficiencia de P, en donde se utilizaron distintos porcentajes de fosfitos ( $H_2PO_3^-$ ), para investigar el efecto de los fosfitos vía raíz en suficiencia de P,

por un lado sobre la síntesis de antocianinas y ácido ascórbico; y por otro lado, cómo afecta el crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de fresa.

## **2.2 OBJETIVOS**

### **2.2.1 Objetivo General**

Determinar el efecto del suministro de distintos porcentajes de fosfitos ( $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ ) en la solución nutritiva, sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en fresa.

### **2.2.2 Objetivos Particulares**

- Medir la producción de metabolitos antioxidantes en fresa, en respuesta al suministro de distintos porcentajes de  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$  en la solución nutritiva.
- Establecer el efecto que tiene el uso de distintos porcentajes de  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$  en la solución nutritiva, sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto de fresa.

## 2.3 HIPÓTESIS

### 2.3.1 Hipótesis General

El suministro  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$  en bajas concentraciones aumenta el crecimiento de la planta, el rendimiento de frutos y la calidad de fruto.

### 2.3.2 Hipótesis Particulares

- La producción de antocianinas y ácido ascórbico se incrementan en fresa, cuando ésta es nutrida con soluciones nutritivas que contienen  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ .
- El abastecimiento de  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$  en bajas concentraciones incrementa el crecimiento en fresa, manifestado en el aumento de la producción de biomasa seca, así como incrementa el rendimiento y calidad de fruto.

## **2.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.4.1 Localización geográfica del área experimental**

El presente trabajo se realizó en un invernadero tipo túnel del área de Nutrición Vegetal-Edafología, del Campus Montecillo del Colegio Postgraduados; localizado a 19° 29´ latitud norte, 98° 53´ longitud oeste y una altura de 2250 m de altitud; con una temperatura promedio de día de 23.68 °C y una temperatura promedio nocturna de 10.67 °C durante el experimento.

### **2.4.2 Sustrato**

Como sustrato se utilizó tezontle rojo, el cual fue cribado para obtener un tamaño de partícula de 3 a 5 mm de diámetro. Los contenedores utilizados fueron bolsas negras con una medida de 30 x 30 cm.

### **2.4.3 Material vegetal**

Se utilizaron plantas de fresa cultivar Festival. Este cultivar fue seleccionado porque en años recientes ha sido ampliamente utilizado en varias regiones freseras de México, en particular en la zona de Zamora Michoacán, obteniendo buenos rendimientos.

Las características morfológicas y fenológicas de este cultivar fueron descritas por Chandler (2004) y se muestran en el **Cuadro 2**.

**Cuadro 2.** Características morfológicas y fenológicas de planta de fresa cultivar Festival (Chandler, 2004).

<b>Características</b>	
<b>Fresa cultivar Festival</b>	Este cultivar es de día corto, se caracteriza por ser una planta vigorosa que tiende a producir numerosos estolones, la altura y el ancho de una planta madura es de 23 y 30 cm respectivamente. Tiene moderada susceptibilidad a <i>Botrytis</i> , <i>Sphaerotheca macularis</i> y una relativa susceptibilidad a <i>Tetranychus urticae</i> .
<b>Pecíolos</b>	En promedio tiene una longitud y un diámetro de 120 y 3.5 mm respectivamente; de color verde amarillento y con una pubescencia media.
<b>Hojas</b>	El largo y ancho de hojas terminales es de 78 y 73 mm respectivamente; el largo y ancho de hojas secundarias es de 69 y 72 mm. Los márgenes aserrados y tienen en promedio 21 serraciones por hoja terminal y 26 por hojas secundarias. La superficie superior de la hoja es de color verde gris oscuro, la superficie inferior de la hoja es de un color verde gris claro.
<b>Flores</b>	Tienen en promedio 5.3 pétalos y 24 estambres. Los pétalos tienen en promedio un largo y ancho de 1.1 cm. El diámetro de la corola (los pétalos en conjunto) es de 2.8 cm. El cáliz es largo y vistoso y de color verde amarillo.
<b>Pedicelos</b>	Los pedicelos de la fruta primaria tienen una longitud de 188 a 240 mm, 2.5 mm de diámetro y son de color verde amarillo.
<b>Fruto</b>	El fruto primario es en forma de cuña cónica, mientras que el secundario y terciario tiene forma cónica. El color externo de un fruto maduro es rojo intenso y brillante, y el color interno es rojo brillante. El fruto es muy firme, moderadamente jugoso y con un excelente sabor, tiene 7.4% de sólidos solubles y una acidez titulable de 0.79%.

#### 2.4.4 Descripción de tratamientos

En este experimento se evaluaron cinco soluciones nutritivas completas, con niveles óptimos de macro y micronutrientes y que varían únicamente en su porcentaje de  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ ; éstas se formularon tomando como referencia la Solución Nutritiva Universal de Steiner (1984) mostrada en el **Cuadro 3**.

**Cuadro 3.** Fuentes de fertilización de macronutrientes para la preparación de la solución nutritiva de Steiner al 100% (Steiner, 1984).

Fuente	Peso molecular	Peso equivalente	$\text{mol}_c \text{ m}^{-3}$	$\text{g L}^{-1}$
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	236.15	118.08	9	1.06
$\text{KNO}_3$	101.10	101.10	3	0.30
$\text{K}_2\text{SO}_4$	174.30	87.15	3	0.26
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246.50	123.25	4	0.49
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	136.09	136.09	1	0.14

Los fosfitos fueron suministrados a partir de ácido fosfónico o fosforoso ( $\text{H}_3\text{PO}_3$ ). Las cantidades evaluadas en porcentajes, (tomando en cuenta fosfatos y fosfitos o sea el P total) fueron:

Tratamiento 1.  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ : 0%

Tratamiento 2.  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ : 20%

Tratamiento 3.  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ : 30%

Tratamiento 4.  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ : 40%

Tratamiento 5.  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ : 50%

Para restar los nutrientes presentes en el agua de riego se realizó un análisis químico de agua el cual se muestra en el **Cuadro 4**. En los **Cuadros 5 y 6** se presentan las formulaciones de las soluciones nutritivas empleadas en esta investigación, modificando la solución Steiner al 50% en una fase inicial y posteriormente la solución Steiner al 75%, habiendo restado previamente la cantidad de los elementos presentes en el agua para ambas concentraciones. Estas soluciones nutritivas fueron

complementadas con una mezcla de micronutrientes (**Cuadro 7**), en la cual el Mn, Cu y Zn se suministraron en forma de sulfatos; el B como  $H_3BO_3$  (Baca, 1983), Mo como  $H_2MoO_4$  y el Fe como quelato (Fe-EDTA) de acuerdo al método descrito por Steiner y van Winden (1970).

**Cuadro 4.** Análisis químico del agua de riego en miliequivalentes ( $mol_c m^{-3}$ ) utilizada en el experimento, los cuales se le restaron a la solución Steiner para formular las soluciones.

	<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>P-H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	<b>S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>
<b>mol<sub>c</sub> m<sup>-3</sup></b>	0.294	0.098	0.172	0.186	1.235	1.469	2.775

**Cuadro 5.** Formulación de soluciones nutritivas empleadas en la fase inicial del cultivo en esta investigación en g L<sup>-1</sup> y mL L<sup>-1</sup> modificando la Solución Universal de Steiner al 50% (Steiner, 1984).

<b>Nombre del fertilizante</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	<b>Solución 4</b>	<b>Solución 5</b>
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.358	0.358	0.358	0.358	0.358
Nitrato de amonio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197
Ácido nítrico	HNO <sub>3</sub>	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029
Ácido fosfórico	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
Ácido fosfónico	H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>	0	0.003	0.006	0.009	0.014

**Cuadro 6.** Formulación de soluciones nutritivas empleadas en la fase avanzada del cultivo en esta investigación en g L<sup>-1</sup> y mL L<sup>-1</sup> modificando la Solución Universal de Steiner al 75% (Steiner, 1984).

Nombre del fertilizante	Fórmula química	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	Solución 5
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.624	0.624	0.624	0.624	0.624
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	0.174	0.174	0.174	0.174	0.174
Nitrato de amonio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
Fosfato monopotásico	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079
Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086
Ácido fosfónico	H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>	0	0.005	0.009	0.014	0.020

**Cuadro 7.** Complemento de micronutrientos para las soluciones nutritivas (Baca, 1983), agregando Mo.

Micronutrientos	Mn	Cu	B	Zn	Mo	Fe
Concentración (mg L <sup>-1</sup> )	1.600	0.110	0.865	0.023	0.048	5.000

Se preparó la solución manteniendo un pH de entre 5.5 y 5.8, ya que es considerado como el óptimo, y rango en donde está disponible los fosfitos, y cuando se presentaron variaciones se realizaron ajustes, utilizando NaOH (1 N) o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (al 97%) para subir o bajar el pH, respectivamente, hasta alcanzar el pH indicado.

#### 2.4.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques al azar generalizado (BAG), teniendo cinco bloques y en cada uno de ellos se ensayó cada tratamiento tres veces (15 repeticiones por tratamiento). La unidad experimental fue una bolsa de polietileno negro de 30 x 30 conteniendo una planta de fresa. La distribución de los tratamientos dentro de los bloques se puede observar en la **Figura 2**.

Bloques	I	II	III	IV	V
	T1R8	T2R9	T5R15	T2R2	T3R14
	T5R1	T4R13	T315	T4R6	T4R4
	T2R15	T5R11	T2R11	T5R6	T2R12
	T3R11	T1R5	T4R15	T3R2	T1R7
	T1R14	T2R5	T3R12	T1R12	T5R9
	T4R10	T5R7	T1R10	T5R2	T3R3
	T2R6	T3R1	T4R3	T2R4	T4R7
	T4R2	T1R11	T5R14	T1R15	T5R5
	T3R9	T4R1	T3R7	T3R10	T1R4
	T5R10	T3R13	T1R1	T5R12	T2R10
	T1R3	T2R1	T2R7	T4R14	T4R5
	T4R8	T3R6	T5R4	T3R8	T1R2
	T2R8	T1R13	T4R11	T1R6	T2R3
	T5R13	T4R12	T1R9	T2R13	T3R4
	T3R5	T5R8	T2R14	T4R9	T5R3

**Figura 2.** Distribución física de los tratamientos dentro de los bloques.

## 2.4.6 Manejo del cultivo

### 2.4.6.1 Establecimiento de plantas en tezontle

Ya teniendo el diseño experimental, se procedió a establecer un sistema de riego por goteo, ajustándolo a las necesidades del diseño experimental. Posterior a ello, antes de hacer el trasplante se realizó la desinfección del tezontle con agua clorada al 1%, realizándose tres lavados.

Previo al trasplante, el día que se obtuvo la planta del vivero, se metió al refrigerador durante toda la noche, para quitar el calor de campo, evitar pudriciones y ganar horas frío.

El 19 de agosto del 2009 se realizó el trasplante de las plantas de fresa. La distancia entre las plantas fue de 30 cm y entre hileras de 1 m. Para disminuir el estrés se

mantuvo un buen nivel de humedad y se colocó una malla sombra durante los primeros 15 días.

Una semana después se comenzó a regar con una solución Steiner al 25%, para ayudar al establecimiento del cultivo y uniformizarlo; dicha solución se aplicó hasta el 28 de septiembre. Establecidas las plantas, el día 8 de septiembre se realizó una poda total, para tratar de uniformizar las plantas.

Una vez establecido el cultivo y de tamaño uniforme, el día 29 de septiembre se comenzó la aplicación de tratamientos con las soluciones modificadas de Steiner al 50% (**Cuadro 5**). Posteriormente el 15 de noviembre de 2009 al iniciar la fructificación, se incrementó la concentración de la solución, utilizando las soluciones modificadas de Steiner al 75% (**Cuadro 6**).

#### 2.4.6.2 Control fitosanitario

Se realizaron aspersiones de manera preventiva y curativa, en función de los insectos plaga y enfermedades que se presentaron durante el experimento (**Cuadro 8**).

**Cuadro 8.** Aplicaciones de agroquímicos.

<b>Producto</b>	<b>Dosis de producto comercial</b>	<b>Fecha</b>	<b>Insecto plaga o enfermedad objetivo</b>
Fosetil-aluminio	1 g L <sup>-1</sup>	8/09/2009	Enfermedades de raíz
Cipermetrina	1 mL L <sup>-1</sup>	14/09/2009	Gusano soldado
Cipermetrina	1 mL L <sup>-1</sup>	27/09/2009	Gusano soldado
Cipermetrina	1 mL L <sup>-1</sup>	9/11/2009	Gusano soldado
Diazinón	1.5 mL L <sup>-1</sup>	9/11/2009	Mosca blanca
Tiabendazol	2 g L <sup>-1</sup>	15/11/2009	<i>Botrytis</i>
Abamectina	1.5 mL L <sup>-1</sup>	18/11/2009	Araña de dos puntos
Tiofanato metílico	2 g L <sup>-1</sup>	21/11/2009	<i>Botrytis</i> y antracnosis
Oxicloruro de cobre	1 g L <sup>-1</sup>	1/12/2009	Antracnosis
Tiofanato metílico	2 g L <sup>-1</sup>	17/12/2009	<i>Botrytis</i>
Extracto de ajo	2 mL L <sup>-1</sup>	13/01/2010	Araña de dos puntos
Tiabendazol	2 g L <sup>-1</sup>	30/01/2010	<i>Botrytis</i>

## **2.4.7 Variables evaluadas**

### **2.4.7.1 Indicadores agronómicos**

**Rendimiento.** Se determinó considerando el peso total de fruta por planta. Cosechando desde el 23 de noviembre de 2009 hasta el 30 de marzo de 2010.

**Materia seca de vástago.** La parte aérea de cada planta se colocó en una estufa (Riossa, HCF-125D, México) durante 48 h a una temperatura de 70 °C y después se pesaron en una balanza analítica.

### **2.4.7.2 Indicadores fisiológicos**

**Análisis químico foliar.** Se realizó en dos etapas fenológicas, al inicio de la floración de acuerdo a lo indicado por Daugaard (2007) y en fructificación. El contenido de N total se determinó empleando el método Semimicro-Kjeldahl (Bremner, 1965). La determinación de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B se realizó mediante digestión húmeda del material seco con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). Los extractos obtenidos se leyeron en un equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma ICP-AES (VARIAN™, Liberty II, Mulgrave, Victoria, Australia).

**Azúcares totales en hojas.** Se determinaron en hojas por el método descrito por Southgate (1976) empleando antrona, ácido sulfúrico y alcohol al 80%. La absorbancia fue determinada a una longitud de onda de 620 nm en un espectrofotómetro (Espectronic 20, Bausch & Lomb, USA). Se utilizó glucosa como estándar para elaborar la curva de calibración.

**Concentración de clorofila.** Se determinó por el método de Harborne (1973), las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro (Espectronic 20, Bausch & Lomb,

USA) a 663 y 645 nm. Posteriormente se realizó el cálculo de clorofilas a, b y totales según las ecuaciones correspondientes para cada una de éstas.

**Aminoácidos libres totales.** Se realizó la extracción etanólica siguiendo la metodología de Geiger *et al.* (1998) y se empleó el método de la ninhidrina (Moore y Stein, 1954). Se utilizó leucina para la elaboración de la curva estándar y se leyó a una longitud de onda de 570 nm en un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific, Genesys 10 UV, Madison, WI 53711, USA).

**Proteínas solubles totales.** Se realizó una extracción de acuerdo a lo descrito por Höfner *et al.* (1989). La cuantificación se hizo empleando la solución de Bradford (1976) y albúmina de suero bovino como proteína estándar; posteriormente las muestras fueron procesadas en un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific, Genesys 10 UV, Madison, WI 53711, USA) a una longitud de onda de 640 nm.

**Antocianinas.** Se utilizó el método descrito por Mancinelli (1975) utilizando como solución extractora metanol 95% y HCl 1.5 N a una proporción 85:15 (v/v). Se pesó un gramo de fruto previamente homogeneizado y se le agregaron 10 mL de la solución extractora, dejándose reposar en refrigeración a 4 °C durante 48 h, y transcurrido ese tiempo se tomó 1 mL, agregando 4 mL de la solución extractora y se leyeron en un espectrofotómetro (Espectronic 20, Bausch & Lomb, USA) a 530 nm.

**Vitamina C.** Se utilizó el método de la AOAC (Boland, 1990), por titulación con solución de Tillman (DFI-2,6 diclorofenol indofenol 0.02%). Se tomaron 3 g de fruta homogenizada previamente y se licuaron con 30 mL de ácido oxálico (0.5%). Se tomaron 5 mL de alícuota de la solución y se tituló con la solución de Tillman hasta notar el vire de color a rosa pálido visible por un minuto. Para el cálculo se utilizó la ecuación obtenida a partir de la elaboración de la curva estándar con ácido ascórbico.

### 2.4.7.3 Indicadores de calidad de fruto

**pH en la pulpa del fruto.** Se emplearon 10 g de fruto fresco y se licuaron con 50 mL de agua destilada, el pH de esta mezcla se determinó con un potenciómetro (Conductronic, PC18, Puebla, México).

**Conductividad eléctrica (CE).** En el extracto obtenido para la determinación del pH se midió la CE empleando un potenciómetro a 25 °C (Conductronic, PC18, Puebla, México).

**Concentración de sólidos solubles totales (°Brix).** Se determinó empleando un refractómetro digital ATAGO, PR-100 de 0-32% (Honcho, Itabashi-Ku, Tokyo 173, Japón), colocando una gota del jugo de la fruta directamente sobre la celda del aparato.

**Concentración de azúcares totales.** Se determinaron por el método descrito por Southgate (1976), indicado en la determinación de concentración de azúcares totales realizada en hojas.

**Acidez titulable en fruta.** Se utilizó el método de la AOAC (Boland, 1990), para lo cual se pesaron 10 g de fruta, y se licuaron con 50 mL de agua destilada. Se midió el volumen total, y se tomó una alícuota de 5 mL, la cual se tituló con NaOH al 0.01 N, previa adición de 3 gotas de fenoftaleína, como indicador. El porcentaje de acidez, con base al ácido cítrico, se calculó con la siguiente expresión:

$$\% \text{ ácido} = \frac{(\text{mL NaOH gastados})(\text{N del NaOH})(\text{meq del ácido})(\text{V})(100)}{(\text{peso de la muestra})(\text{alícuota})}$$

Donde:

N = Normalidad del NaOH

meq = peso de un miliequivalente del ácido que se encuentra en mayor proporción en el fruto (ácido cítrico = 0.064)

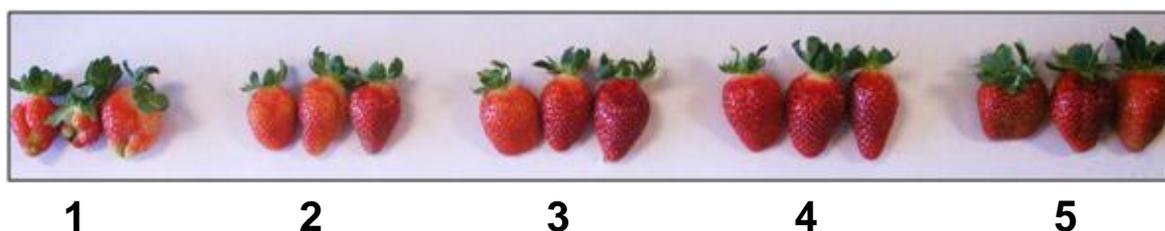
V = volumen total (mL de agua más gramos de fruto)

**Firmeza del fruto.** La firmeza del fruto expresada en Newton, se determinó empleando un texturómetro Chatillon, mod. FDV- 30 (Greenwich, CT 06836, USA), con puntal cónico. Se registró la fuerza necesaria para penetrar el fruto; esta variable se midió en los lados opuestos ecuatoriales.

**Uniformidad del fruto.** Se elaboró una escala, la cual se numeró del 1 al 5, siendo el número 5 la fruta de mayor tamaño y calidad, y la 1 la más pequeña y deforme (**Figura 3**). La escala de uniformidad de fruto se definió para realizar agrupaciones considerando el tamaño, la superficie, la forma y estructura de frutos típicos de la fresa cultivar Festival. En el **Cuadro 9** se describe las características de cada agrupación de la escala.

**Cuadro 9.** Escala de clasificación de frutos.

<b>Escala</b>	<b>Características</b>
<b>1</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Frutos pequeños y deformes (resultado de una mala polinización).</li><li>- Frutos atípicos.</li></ul>
<b>2</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Frutos de tamaño pequeño, pero bien formados, con una longitud de fruto que va de 30 a 40 mm.</li></ul>
<b>3</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Frutos bien formados de tamaño mediano, con una longitud que va de 40 a 47 mm, de forma cónica.</li></ul>
<b>4</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Frutos ligeramente grandes, de forma cónica, longitud que va de 47 a 52 mm.</li></ul>
<b>5</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Frutos grandes, anchos, punta achatada y ensanchada, con una longitud que va de 40 mm en adelante y un diámetro ecuatorial de fruto mayor a 40 mm.</li></ul>



**Figura 3.** Escala de 1 a 5, de clasificación de frutos.

**Tamaño de la fruta.** La clasificación de la fruta por tamaño se realizó de acuerdo a los resultados obtenidos en la clasificación de la escala de uniformidad de fruto, ya que en dicha escala se cuantificaron los frutos de acuerdo a la descripción; y se tomaron varios frutos por tratamiento, representativos de la escala para cada tratamiento y se les midió longitud y diámetro.

**Color de la fruta.** Se agruparon frutos en función de la intensidad del rojo de la fruta, empleando el colorímetro HunterLab D25-PC2 (Reston, Virginia, USA), considerándose de mayor calidad los frutos color rojo intenso y brillante. La evaluación del color se realizó considerando la lectura de tres parámetros: “L” que mide la luminosidad; “a” registra las tonalidades correspondientes al color verde con valores negativos (-a) o positivos para el color rojo (+a); y “b” el cual registra tonalidades correspondientes al amarillo (-b) y un valor negativo (-b) para el azul (Minolta, 1994). A partir de estos parámetros se calculó el ángulo de tono (hue) y la pureza de color (chroma), con base en las fórmulas siguientes: el ángulo de tono  $\text{hue} = \tan^{-1}(b/a)$ ; pureza de color  $\text{chroma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$ ; y el valor de brillo L se obtuvo con una medición directa del colorímetro.

#### **2.4.8 Análisis estadístico**

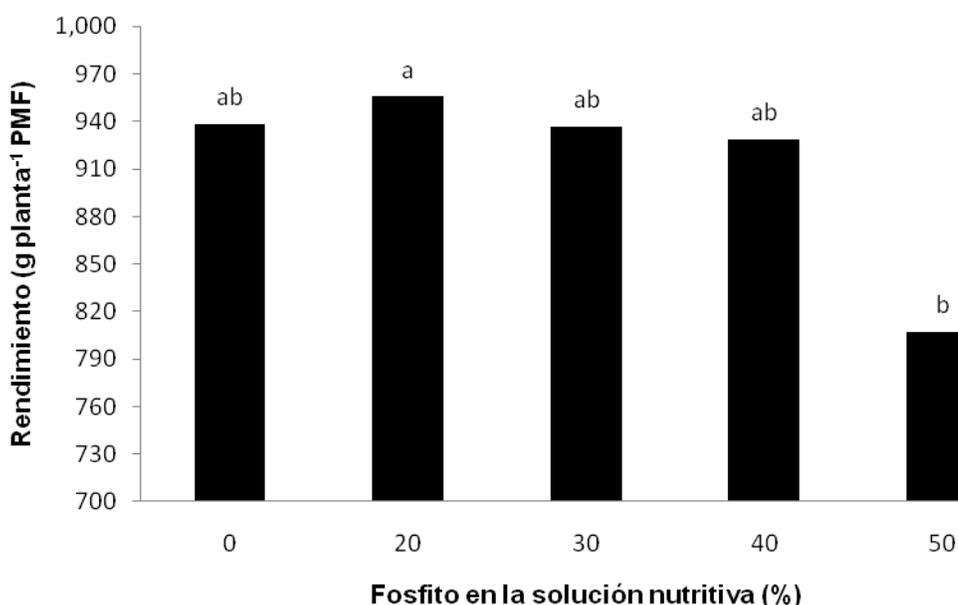
Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey (Tukey,  $P \leq 0.05\%$ ), para lo cual se utilizó el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, Institute, 2002; Cary, NC, USA).

## 2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.5.1 Indicadores agronómicos

#### 2.5.1.1 Rendimiento

El rendimiento de fresa mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) según el análisis de varianza (**Apéndice Cuadro 1A**). El tratamiento que tuvo el mayor rendimiento ( $955.63 \text{ g planta}^{-1}$ ) se alcanzó con plantas suministradas con 20% de fosfitos; sin embargo, no hubo diferencias estadísticas significativas de éste con 0, 30 y 40% de fosfitos (**Figura 4**). Por otro lado, la más alta proporción de fosfito en la solución nutritiva evaluada; 50%, redujo 15.46% el rendimiento respecto al alcanzado con plantas con 20% de fosfitos.



**Figura 4.** Rendimiento acumulado de fruto fresco de fresa cultivar Festival, durante 4 meses, expuesta a diferentes porcentajes del P total en forma de fosfitos en la solución nutritiva. PMF = peso de materia fresca. Barras con letras distintas tienen diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

El suministro del 20% del P en forma de fosfitos, en la solución nutritiva, originó un incremento en el rendimiento. Incrementos en rendimiento son reportados en naranja por Lovatt (1999) y Albrigo (1999). Lovatt (1999) encontró que aplicaciones foliares de fosfitos incrementaron el número de frutos por árbol así como rendimiento, en naranja navel; de forma similar Albrigo (1999) menciona un claro efecto positivo en la aplicación foliar de fosfitos incrementando la intensidad floral y rendimiento en naranja valencia. Adicionalmente, con 20% del P en forma de fosfitos no se observaron síntomas de toxicidad o deficiencia ocasionada por la competencia existente entre fosfitos y fosfatos por los transportadores de éstos últimos. En relación con esto, Ratjen y Gerendás (2009) encontraron que aplicaciones de fosfitos al suelo como fuente de P, en calabacita causó fitotoxicidad al cultivo, y no logró formar flores ni frutos. Por otro lado, Schroetter *et al.* (2006) encontraron que hay efectos negativos de aplicaciones foliares de fosfitos en rendimiento y éstos son más evidentes si dichas aplicaciones se realizan en plantas que se encuentran en suelos con deficiencia de P.

En esta investigación se observó que proporciones de fosfito mayores al 20%, disminuyen el rendimiento. Moor *et al.* (2009) indican que la fertilización con fosfitos no representa ventajas en términos de incremento del rendimiento en fresa, en comparación con la fertilización tradicional con fosfato.

#### **2.5.1.2 Materia seca de vástago**

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias estadísticas significativas en materia seca de vástago de fresa debida a los tratamientos (Tukey,  $P > 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 2A**); las plantas sin fosfito presentaron la mayor cantidad de materia seca, y conforme se incrementó el porcentaje de fosfitos disminuyó la materia seca de vástago (**Cuadro 10**). Estos resultados muestran concordancia con lo obtenido por Schroetter *et al.* (2006); por un lado, el peso de materia seca de plantas de maíz con deficiencias de P se vio fuertemente disminuido habiendo diferencias estadísticas significativas al aplicar fosfitos, en comparación con el testigo y con las plantas tratadas con fosfatos; no obstante, se registró que en plantas de maíz con suficiencia de P no

hubo diferencias significativas al aplicar fosfito, respecto al testigo y a las tratadas con fosfato. Moor *et al.* (2009) encontraron que los fosfitos no suprimen ni promueven el crecimiento de plantas de fresa.

**Cuadro 10.** Peso seco de vástago de fresa cultivar Festival expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes del fósforo total como fosfitos.

Fosfito en la solución nutritiva (%)	Peso seco de vástago (g planta <sup>-1</sup> PMS)
0	83.78 a <sup>§</sup>
20	78.65 a
30	77.92 a
40	75.72 a
50	71.81 a
DMS <sup>†</sup>	21.08

<sup>§</sup>Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $P > 0.05$ ).

<sup>†</sup>DMS: diferencia mínima significativa. PMS: peso de materia seca.

Bertsch *et al.* (2009) en un experimento con plantas de banano, lechuga y tomate, encontraron que cuando dichas plantas crecieron en soluciones nutritivas con fosfato y fosfato-fosfito, la acumulación de peso seco resultó significativamente mayor que el de las plantas que crecieron en soluciones nutritivas que contenían únicamente fosfito, ya que éstos mostraron un comportamiento similar al tratamiento sin P. Por otro lado Ratjen y Gerendás (2009) observaron una disminución drástica del crecimiento y de materia seca de plantas de calabacita al aplicar al suelo fosfitos como fuente de P. De forma similar, Thao *et al.* (2008) obtuvieron que en plantas de espinaca aplicaciones de diferentes relaciones fosfato-fosfito, causaron una disminución significativa en el peso seco de la planta con respecto al testigo con fosfato, dicho decremento fue mayor a medida que se aumentaba la proporción de fosfito.

## 2.5.2 Indicadores fisiológicos

### 2.5.2.1 Análisis químico foliar

El análisis químico de tejido vegetal, comúnmente denominado análisis foliar, es una técnica de diagnóstico que permite utilizar la concentración mineral de las plantas como indicador de su situación nutrimental, asociado al logro de altos rendimientos y mejores características de calidad del producto cosechado, en relación con el grado de abastecimiento y disponibilidad nutrimental del sustrato (Sánchez *et al.*, 2007). En esta investigación se realizaron los análisis de concentraciones nutrimentales en dos fases fenológicas, floración y fructificación; a continuación se presentan los resultados obtenidos.

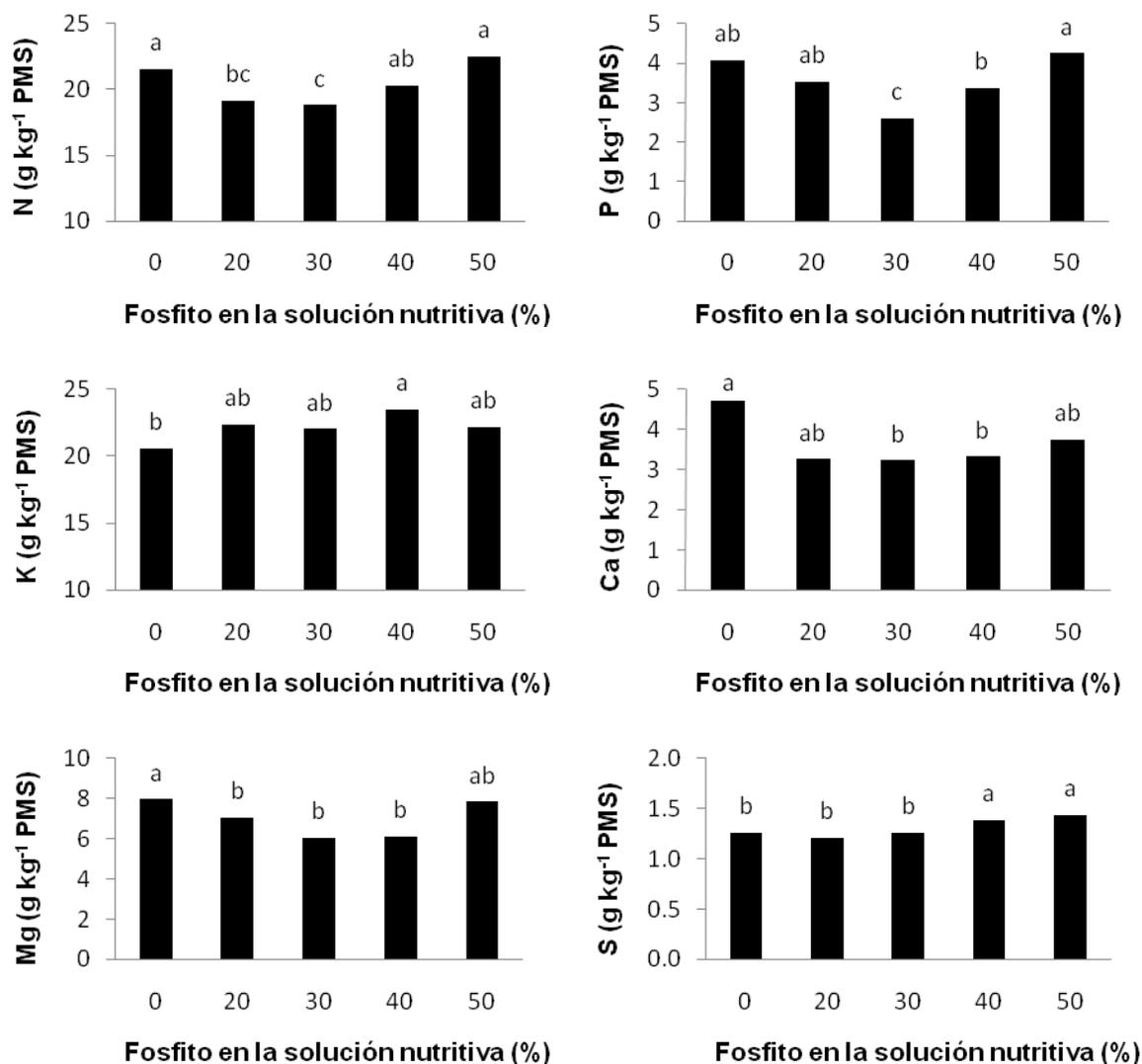
#### 2.5.2.1.1 Primer análisis nutrimental: en floración

En las **Figuras 5 y 6** se muestran los resultados del primer análisis realizado correspondiente a la etapa de floración y se observó que todos los nutrimentos analizados presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según el análisis de varianza (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 3A-12A**).

La mayor concentración de N se presentó en el tratamiento sin fosfitos, y los tratamientos adicionados con 40 y 50% de fosfitos, los cuales tienen niveles adecuados de suficiencia en las hojas según Hancock (1999). Los tratamientos con 20 y 30% de fosfitos presentaron las menores concentraciones de N, las cuales son menores a aquellas consideradas como óptimas (Hancock, 1999). Las concentraciones de P y Mg siguieron una tendencia similar a la del N (**Figura 5**), encontrándose las de P en niveles adecuados en todos los tratamientos, y las de Mg excediendo el intervalo considerado óptimo.

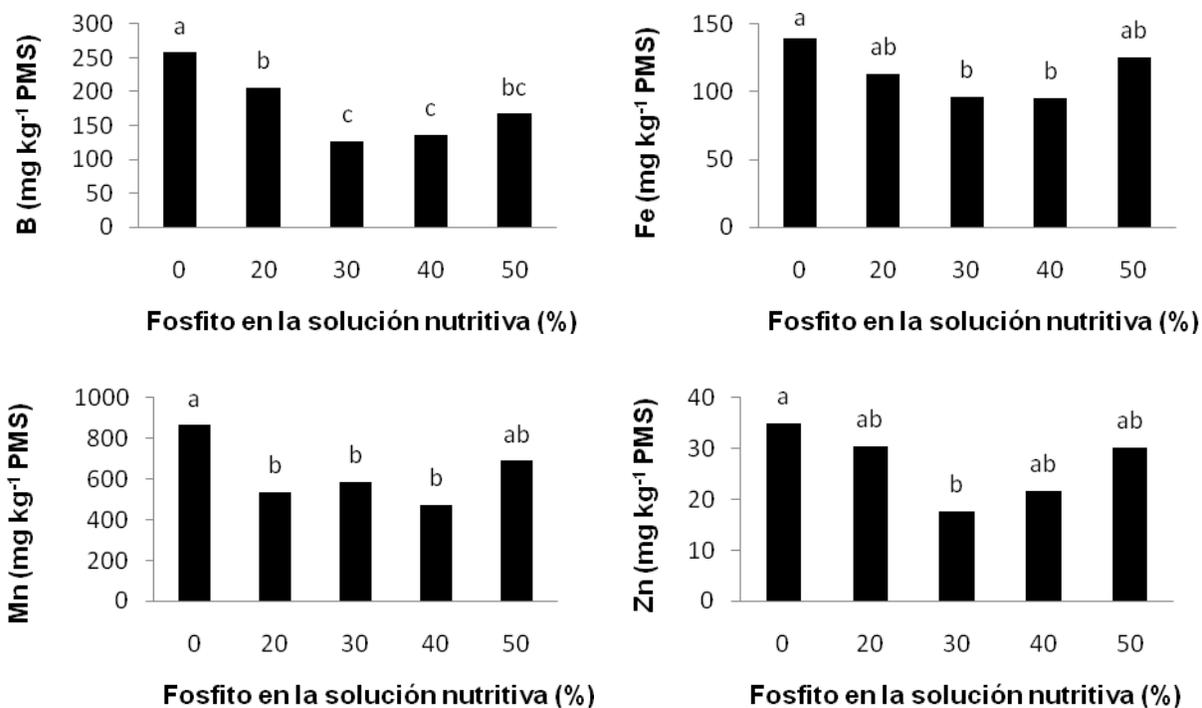
Por otro lado, se observó que las plantas sin fosfitos presentaron menor concentración de K que el resto de los tratamientos; sin embargo, todas las concentraciones están dentro del intervalo adecuado de suficiencia; caso contrario son las concentraciones de

Ca donde plantas sin fosfitos registraron la mayor concentración, pero en todos los tratamientos evaluados las concentraciones de Ca registradas son clasificadas como bajas (Hancock, 1999). Al igual que para Ca, los valores de concentración de S, fueron inferiores a los niveles de suficiencia en todos los tratamientos, pero se observó una relación positiva entre la concentración de S en hoja y la de fosfitos en la solución nutritiva, es decir, al incrementar el contenido de fosfito en la solución, aumentó la concentración de S en el tejido vegetal (**Figura 5**).



**Figura 5.** Concentración de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en hojas de fresa cultivar Festival, en floración, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). PMS = peso de materia seca.

La concentración de Fe y Zn obtenidas en tejido foliar en todos los tratamientos se encuentran comprendidas dentro del intervalo de suficiencia; las concentraciones de B y Mn en hoja fueron mayores a aquellas consideradas óptimas para fresa, según lo indicado por Hancock (1999) (**Figura 6**), pero no se observó ninguna toxicidad por dichos nutrientes.



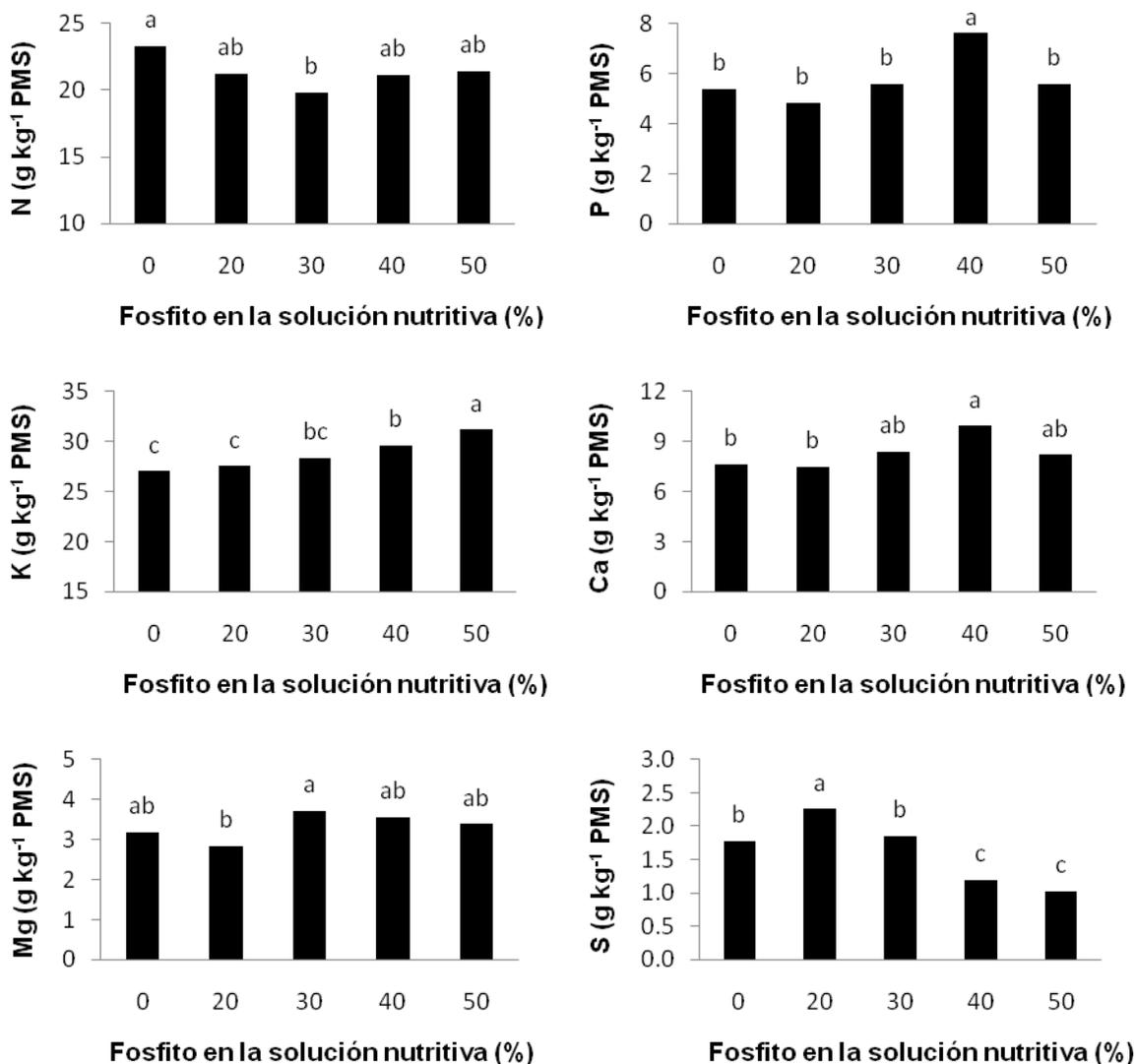
**Figura 6.** Concentración de boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn), y zinc (Zn) en hojas de fresa cultivar Festival, en floración, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). PMS = peso de materia seca.

#### 2.5.2.1.2 Segundo análisis nutricional: en fructificación

El segundo análisis foliar nos muestra, según Hancock (1999), que los elementos que se encuentran en niveles de suficiencia son N, Ca, Mg, Fe y Zn; los que exceden los valores del intervalo de suficiencia son P, K, Mn y B; mientras que el elemento que presentó niveles bajos fue el S, sin que se observaran deficiencias en las plantas (**Figura 7 y 8**). A pesar de que las concentraciones de los elementos antes citados se clasificaron dentro del mismo grupo por suficiencia, el análisis de varianza mostró que hay diferencias estadísticas significativas tanto para los macronutrientes como para micronutrientes analizados (Tukey,  $P \leq 0.05$ ), con excepción de B y Fe (**Figura 7 y 8**) (**Apéndice Cuadro 13A-23A**).

El N presentó una mayor concentración en las plantas sin fosfito (23.33 g kg<sup>-1</sup>), existiendo únicamente diferencias estadísticas significativas entre éste y el de las

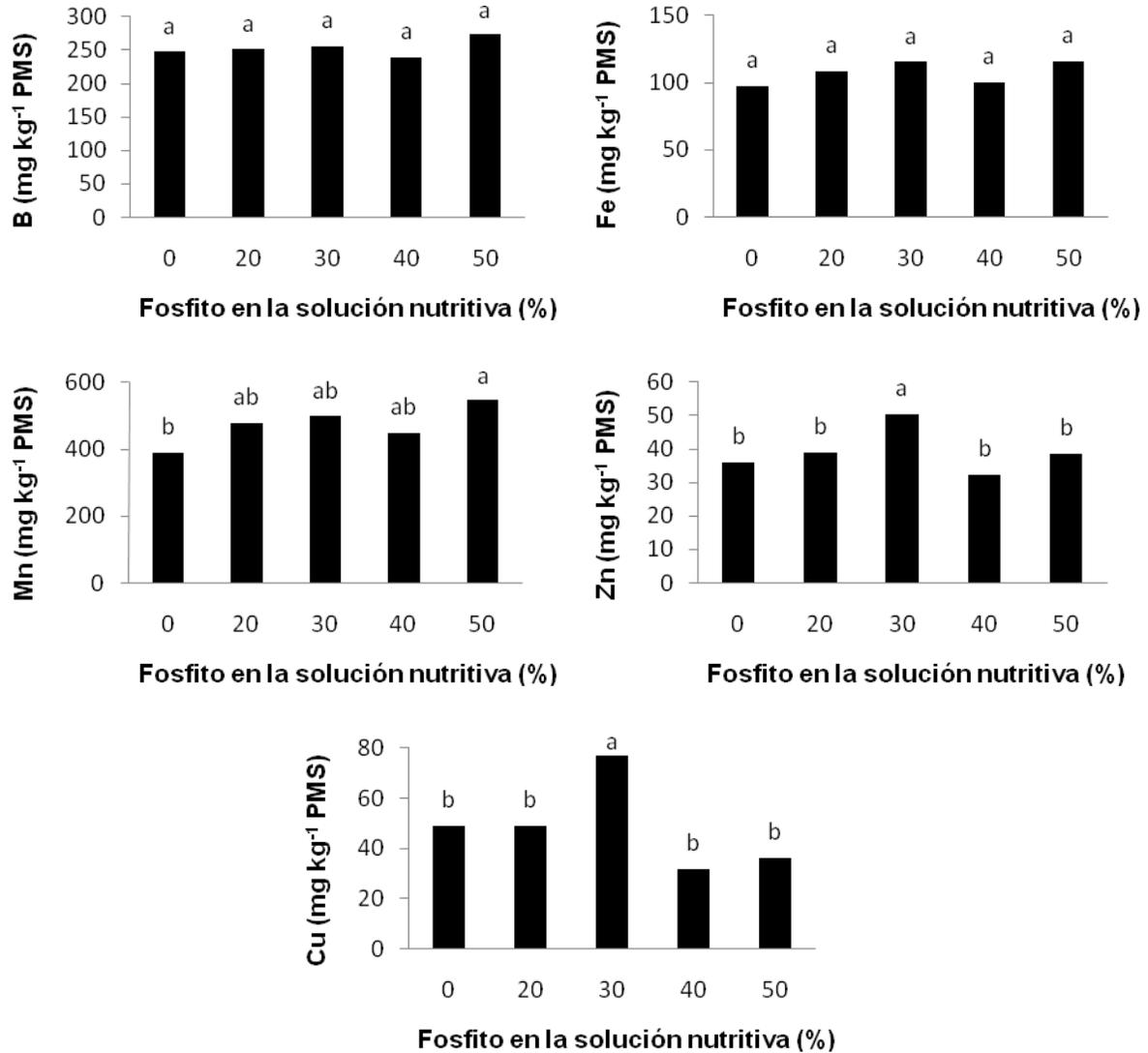
plantas con 30% de fosfitos, que tuvo una concentración de N de  $19.83 \text{ g kg}^{-1}$ . El K siguió una tendencia de aparente sinergismo con fosfito, ya que al incrementar el porcentaje de fosfito en la solución se observó un aumento de la concentración de K en las hojas; por el contrario, el S siguió una tendencia opuesta a la del K ya que a medida que se incrementó el fosfito en la solución nutritiva, la concentración de azufre se vio disminuida, ocurriendo un gran contraste con lo observado en el primer análisis. El P y Ca tuvieron una tendencia similar entre ellos, y al igual que en el caso del K, su nivel más alto se presentó al aplicar 40% de fosfitos en la solución nutritiva. La concentración de Mg fue mayor en los tratamientos con 30, 40 y 50% de fosfitos, mientras que la concentración registrada en el tratamiento con 20% tuvo la menor concentración de este elemento (**Figura 7**).



**Figura 7.** Concentración de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en hojas de fresa cultivar Festival, en fructificación, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). PMS = peso de materia seca.

Por otro lado B y Fe no se vieron afectados por los diferentes tratamientos, al no presentar diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ); las concentraciones de Cu y Zn tuvieron una tendencia muy similar, al encontrarse las medias más altas en las hojas de plantas tratadas con 30% de fosfitos; la concentración de Mn se

incrementó de manera general al aumentar la proporción de fosfito en la solución nutritiva (**Figura 8**).



**Figura 8.** Concentración de boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu) en hojas de fresa cultivar Festival, en fructificación, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos: Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). PMS = peso de materia seca.

### 2.5.2.2 Concentración de azúcares totales en hojas

Una alta concentración de carbohidratos en la planta favorece producción precoz y altos rendimientos (Stapleton *et al.*, 2001); por otro lado, la ausencia de carbohidratos en las plantas, genera alteraciones en los procesos metabólicos disminuyendo la actividad enzimática relacionada con el metabolismo de azúcares, respiración, reducción de nitratos y síntesis de proteínas (Journet *et al.*, 1986; Brouquisse *et al.*, 1992).

El análisis de varianza indicó que los azúcares totales en hojas de fresa, únicamente presentaron diferencias estadísticas significativas en la etapa de floración (Tukey,  $P \leq 0.05$ ); mientras que en la fase de fructificación no se observan diferencias estadísticas (Tukey,  $P > 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 24A y 25A**). La prueba de comparación de medias muestra en la fase de floración, que el tratamiento con una proporción de 20% de fosfitos en la solución nutritiva tuvo una mayor concentración de azúcares en hojas (**Cuadro 11**).

**Cuadro 11.** Azúcares totales en hojas de fresa cultivar Festival, en dos etapas fenológicas, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos.

Fosfitos en la solución nutritiva (%)	Azúcares totales en hojas ( $\text{mg g}^{-1}$ PMF)	
	Floración	Fructificación
0	21.08 b <sup>§</sup>	27.68 a
20	25.14 a	24.30 a
30	21.08 b	25.75 a
40	20.07 b	26.24 a
50	19.92 b	28.17 a
DMS <sup>†</sup>	3.404	4.475

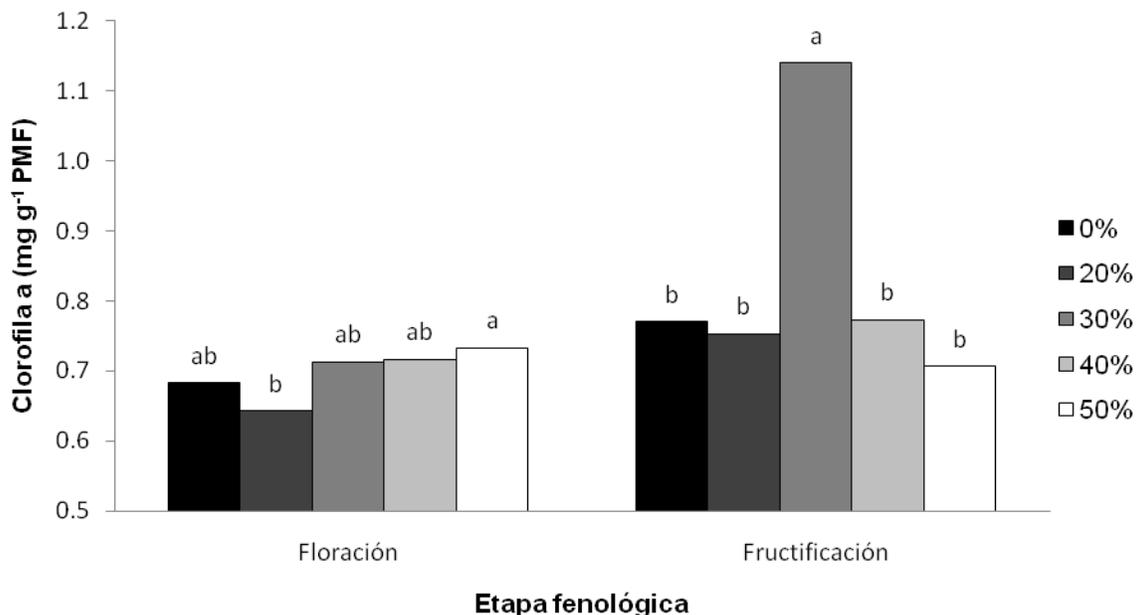
<sup>§</sup>Valores con diferente letra entre columnas, son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup>DMS: diferencia mínima significativa. PMF: peso de materia fresca.

### 2.5.2.3 Concentración de clorofila

En la concentración de clorofila a tanto en floración como en fructificación se encontró que hay diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 26A y 29A**). En la etapa de floración el tratamiento que tuvo menos clorofila a en sus hojas diferenciándose significativamente de los demás fue el de plantas con 20% de fosfito; y que el tratamiento con 50% de fosfito fue el que presentó mayor concentración de clorofila a ( $0.73 \text{ mg g}^{-1}$ ), superando a los tratamientos sin fosfito, con 30 y 40% de fosfito (**Figura 9**).

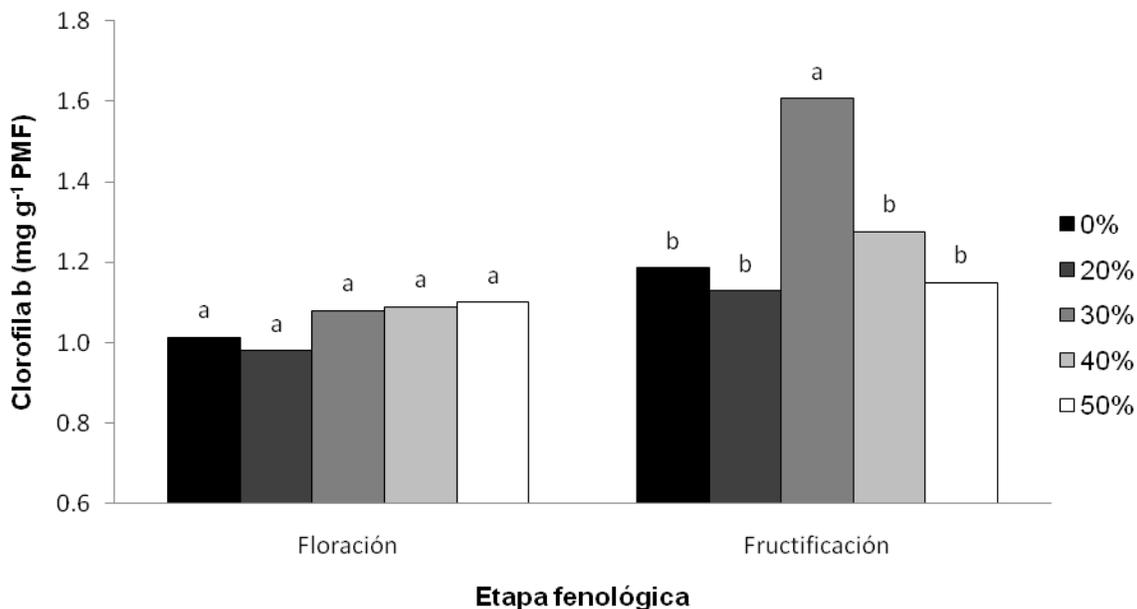
Por otro lado en la etapa de fructificación la comparación de medias demostró que el tratamiento con 30% de fosfito mostró diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) con el resto de los tratamientos, superándolos en más de 32% (**Figura 9**).



**Figura 9.** Concentración de clorofila a en hojas de fresa cultivar Festival, en dos etapas fenológicas (floración y fructificación), expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). PMF = peso de materia fresca.

El análisis de varianza mostró que en clorofila b hay únicamente diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en la etapa de fructificación (Tukey,  $P \leq$

0.05) (**Anexo Cuadro 27A y 30A**), en floración la concentración de clorofila b no se vio influenciada significativamente por los tratamientos (Tukey,  $P > 0.05$ ). En fructificación el tratamiento con mayor concentración de clorofila b fue el de 30% de fosfitos ( $1.61 \text{ mg g}^{-1}$ ) valor estadísticamente diferente al del resto de los tratamientos (**Figura 10**). Se observó que en fructificación la concentración de clorofila a y b siguieron la misma tendencia (**Figura 9 y 10**).

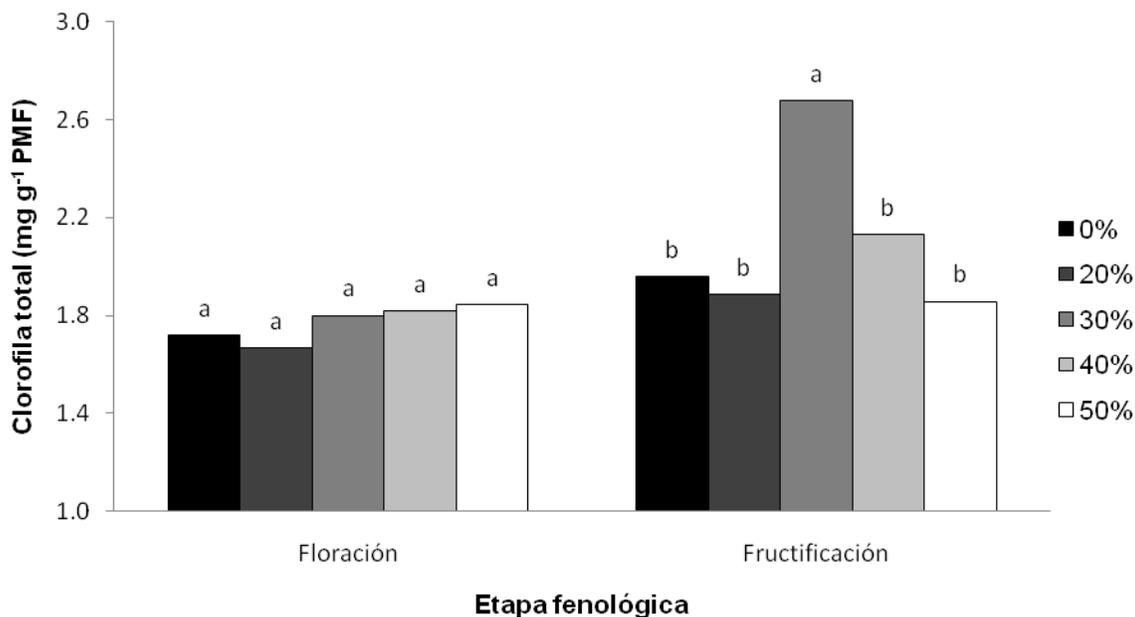


**Figura 10.** Concentración de clorofila b en hojas de fresa cultivar Festival, en dos etapas fenológicas (floración y fructificación), expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). PMF = peso de materia fresca.

En la concentración de clorofila total, el análisis de varianza mostró que hay diferencias estadísticas significativas sólo en la etapa fenológica de fructificación (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Anexo Cuadro 28A**), en floración no hubo diferencia estadística significativa (Tukey,  $P > 0.05$ ) (**Anexo Cuadro 31A**).

La comparación de medias mostró que en fructificación el tratamiento que mayor concentración de clorofila total presentó fue el tratamiento con 30% de fosfitos ( $2.68 \text{ mg g}^{-1}$ ) siendo estadísticamente diferente al resto de los tratamientos evaluados (**Figura**

11). Se observó que la concentración de clorofila total conservó la misma tendencia que las clorofilas a y b en ambas etapas fenológicas (**Figuras 9, 10 y 11**).



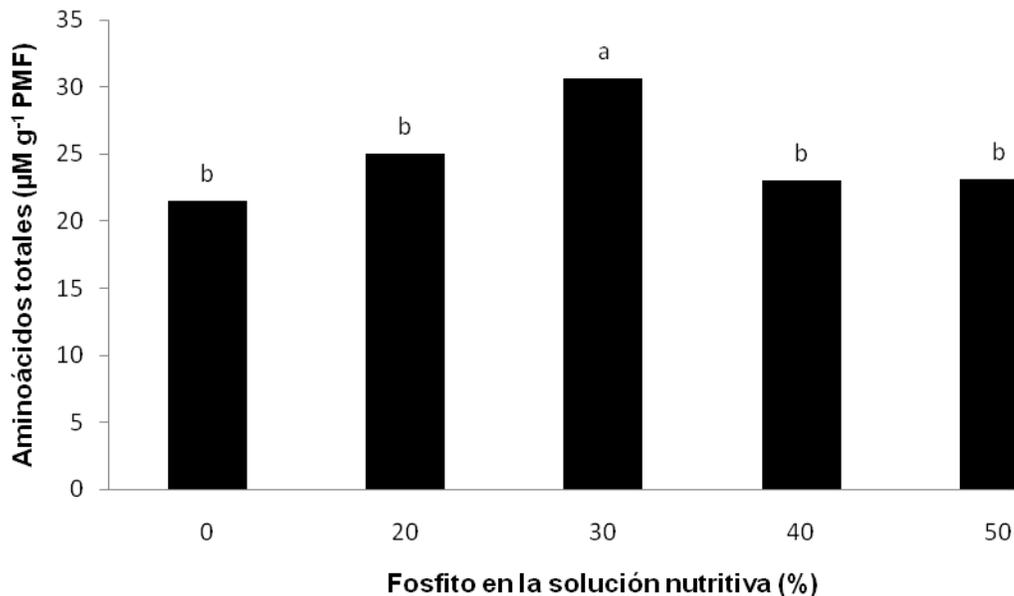
**Figura 11.** Clorofila total en hojas de fresa cultivar Festival, en dos etapas fenológicas (floración y fructificación), expuestas a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). PMF = peso de materia fresca.

Blanque (2002) encontró que la concentración de clorofila total en hojas de fresa en fructificación oscila entre 1.5 y 2 mg g<sup>-1</sup> PMF, lo cual concuerda con lo obtenido en este experimento, excepto en el tratamiento con 30% de fosfitos en fructificación, en donde en particular se observó que la solución nutritiva con una proporción del P total en forma de fosfitos de 30%, incrementó la concentración de este pigmento en las hojas; el mismo autor señala que en hojas de fresa hay una mayor producción de clorofila a que de clorofila b, en una relación de 3-4:1 respectivamente; y por el contrario en esta investigación se observó que la concentración de clorofila b fue ampliamente mayor a la de clorofila a para todos los tratamientos.

#### 2.5.2.4 Aminoácidos libres totales

Los aminoácidos libres totales presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 32A**); tales diferencias se observaron entre el tratamiento con 30% de fosfitos y el resto, al tener el primero la mayor concentración de aminoácidos en hojas de fresa ( $30.677 \mu\text{M g}^{-1}$ ) (**Figura 12**).

Los aminoácidos en las hojas se evaluaron en el periodo de fructificación y los resultados observados correlacionan de manera positiva con los niveles más elevados de clorofilas, ya que para el tratamiento con fosfitos al 30% en la solución nutritiva se observaron los valores más elevados de aminoácidos, al igual que las concentraciones de proteínas.

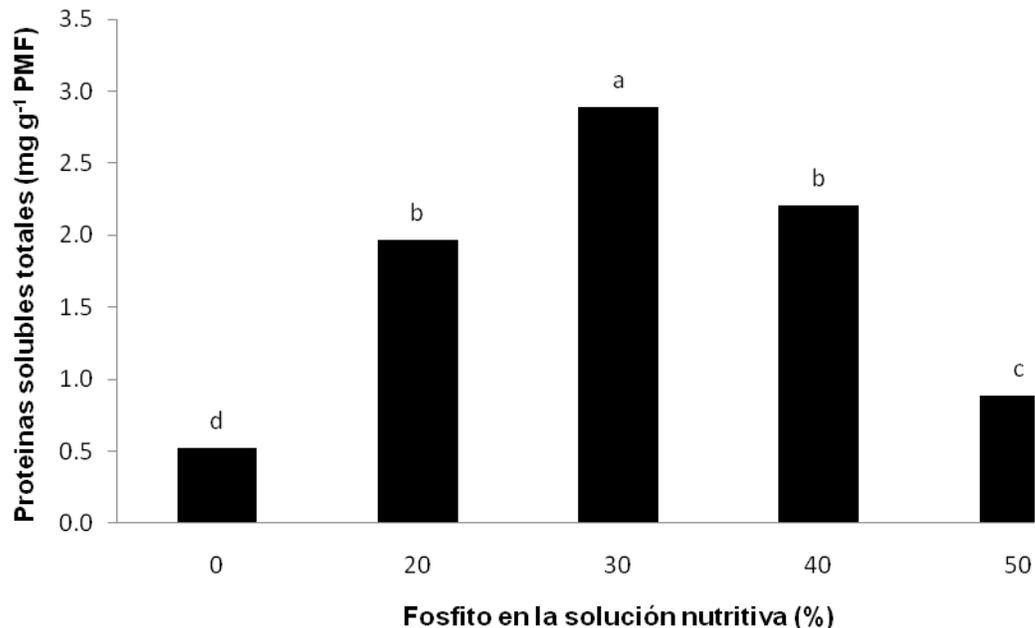


**Figura 12.** Concentración de aminoácidos totales en hojas de fresa cultivar Festival, expuestas a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). PMF = peso materia fresca.

Gilbert *et al.* (1998) encontraron que en condiciones de estrés salino se dio una acumulación de aminoácidos en tejido vegetal, principalmente arginina, asparagina y serina en *Coleus blumei*. De manera similar Hernández *et al.* (2000) reportan que en hojas de fresa *in vitro*, sometida a estrés salino e inoculadas con *Glomus*, se incrementó la concentración de aminoácidos libres, en particular de asparagina, ácido aspártico y glutamina. Se ha comprobado que las plantas bajo algún tipo de estrés incrementan la concentración de aminoácidos libres totales, situación que también se observó en este experimento, al utilizar fosfitos al 30%, ya que supera al testigo que se encontraba bajo situación normal.

### **2.5.2.5 Proteínas solubles totales**

Los resultados obtenidos del análisis de varianza indicaron que para proteínas solubles totales hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 33A**). El tratamiento con la mayor concentración de proteínas totales fue 30% de fosfito ( $2.889 \text{ mg g}^{-1}$ ), habiendo diferencias significativas entre éste y el resto de los tratamientos; el testigo fue el que presentó menor cantidad de proteínas solubles totales ( $0.525 \text{ mg g}^{-1}$ ); entre el tratamiento con 20 y 40% de fosfito no hay diferencias estadísticas significativas, quedando únicamente por debajo del tratamiento con 30%, mientras que el tratamiento de 50% quedó por debajo de los tratamientos con 20, 30 y 40 % de fosfito, siendo únicamente superior al tratamiento sin fosfito (**Figura 13**).



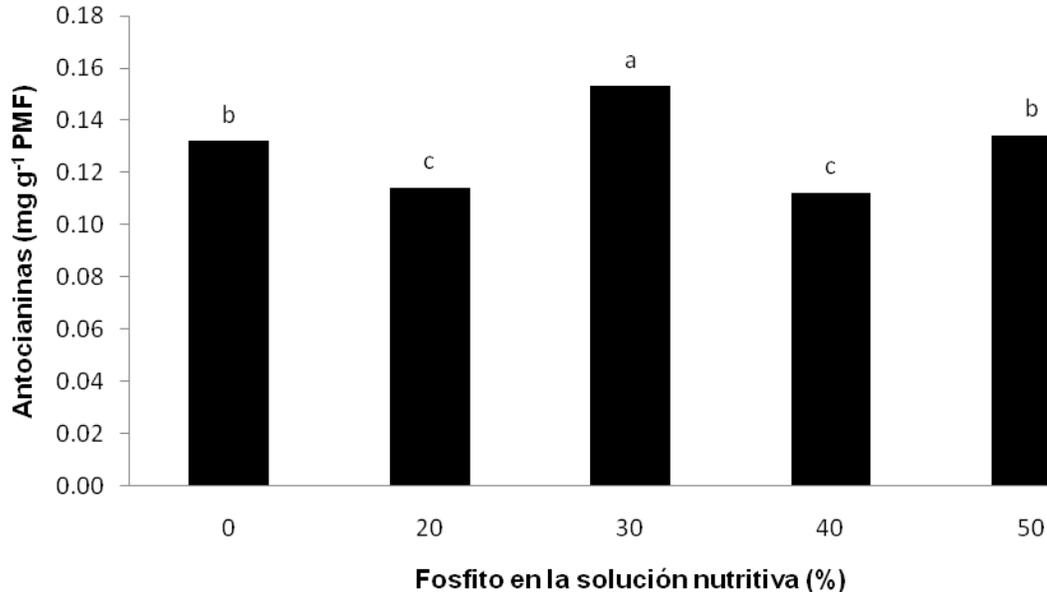
**Figura 13.** Concentración de proteínas solubles totales en hojas de fresa cultivar Festival, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). PMF = peso fresco.

La concentración de proteínas se correlaciona en forma positiva con los datos observados para clorofilas y aminoácidos solubles, ya que nuevamente se observó una mayor concentración de proteínas en el tratamiento con 30% de fosfitos, mostrando efectos positivos a dicha concentración.

Gulen y Eris (2004) encontraron que al someter plantas de fresa a estrés por calor, a medida que se incrementa la temperatura disminuye la concentración de proteínas en las hojas, ya que se da una disminución en la síntesis de proteínas y quizá a temperaturas superiores a 40 °C una desnaturalización de éstas. En el presente experimento, las plantas se sometieron a un estrés con fosfitos, y se observó que a diferencia del estrés por temperatura, a ciertas concentraciones de fosfitos en la solución nutritiva, principalmente 30%, se da un incremento significativo en la síntesis de proteínas en hojas de fresa.

### 2.5.2.7 Antocianinas

En antocianinas, el análisis de varianza indicó que se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 34A**). La comparación de medias mostró que el tratamiento con 30% de fosfitos en la solución nutritiva tuvo una mayor concentración de antocianinas en frutos ( $0.153 \text{ mg g}^{-1}$ ), seguido del tratamiento sin fosfito y el tratamiento con 50% de fosfito, sin haber diferencias estadísticas entre éstos dos últimos; los que presentaron menor concentración de antocianinas fueron los tratamientos con 20 y 40% de fosfito (**Figura 14**).



**Figura 14.** Concentración de antocianinas en frutos de fresa cultivar Festival, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). PMF = peso de materia fresca.

La concentración más elevada de antocianinas en fruta se observó al utilizar 30% de fosfitos, lo cual quiere decir que empleando las cantidades adecuadas de fosfitos se promueve la formación de antocianinas; estos resultados concuerdan con lo obtenido

por Moor *et al.* (2009), ya que encontraron que al agregar fosfitos se incrementó la concentración de antocianinas en la fruta. En *Arabidopsis* se registra acumulación de antocianinas cuando hay deficiencias de P y presencia de fosfitos (Ticconi *et al.*, 2001).

### 2.5.2.8 Vitamina C

La concentración de vitamina C no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey,  $P > 0.05$ ) (Apéndice Cuadro 35A). La media con mayor concentración de vitamina C fue la del testigo (**Cuadro 12**).

**Cuadro 12.** Vitamina C en frutos de fresa cultivar Festival, sometida a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos.

Fosfitos en la solución nutritiva (%)	Vitamina C (mg g <sup>-1</sup> PMF)
0	0.7603 a <sup>§</sup>
20	0.6825 a
30	0.6908 a
40	0.6998 a
50	0.7518 a
DMS <sup>†</sup>	0.0974

<sup>§</sup>Valores con la misma letra entre columnas, son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup>DMS: diferencia mínima significativa. PMF: peso de materia fresca.

Lee y Kader (2000) reportaron que existen diversos factores de precosecha que pueden modificar severamente la concentración de ácido ascórbico; entre ellos la intensidad luminosa que puede incrementar la producción de azúcares, y éstos a su vez, en consecuencia incrementar la síntesis de ácido ascórbico. Por otro lado, las altas temperaturas del día y la noche pueden causar un efecto inverso, al disminuir la síntesis de azúcares y ácido ascórbico (Wang y Camp, 2000). La concentración más elevada de ácido ascórbico en un fruto de fresa se da cuando son verdes (Ferreyra *et al.*, 2007).

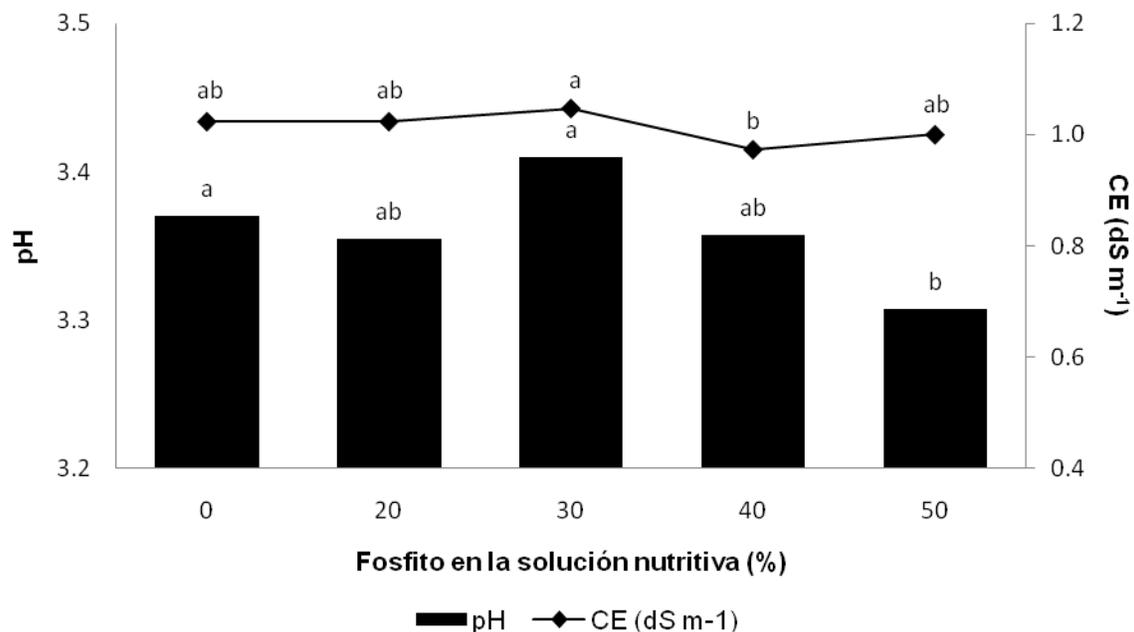
Moor *et al.* (2009) indican que la adición de fosfitos en la solución nutritiva a plantas de fresa, tuvieron un efecto positivo en la formación de compuestos bioactivos como ácido ascórbico, en comparación con aquellas fertilizadas con fosfato. Lo anterior difiere de los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que al aplicar fosfitos a la solución nutritiva no se vio modificada la concentración de vitamina C.

## **2.5.3 Indicadores de calidad de fruto**

### **2.5.3.1 pH y CE en la pulpa del fruto**

El pH del fruto presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 36A**). Se observó que el tratamiento con 30% de fosfito fue el que tuvo frutos menos ácidos (pH=3.41), sin haber diferencias estadísticas de éste con los tratamientos sin fosfito, 20 y 40% de fosfito; por el contrario, si las hay con el tratamiento con 50%, en el que se tuvieron los frutos más ácidos (pH=3.30) (**Figura 15**).

Al igual que el valor de pH, la conductividad eléctrica en frutos también mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 37A**). El tratamiento con 30% fue el de mayor valor de CE (1.04 dS m<sup>-1</sup>), sin tener diferencias significativas con los tratamientos sin fosfito, 20 y 50% de fosfito; siendo los frutos del tratamiento con 40% los de menor CE (0.97 dS m<sup>-1</sup>) y habiendo diferencias estadísticas significativas con el de 30% de fosfito (**Figura 15**).



**Figura 15.** pH y CE de frutos de fresa cultivar Festival expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

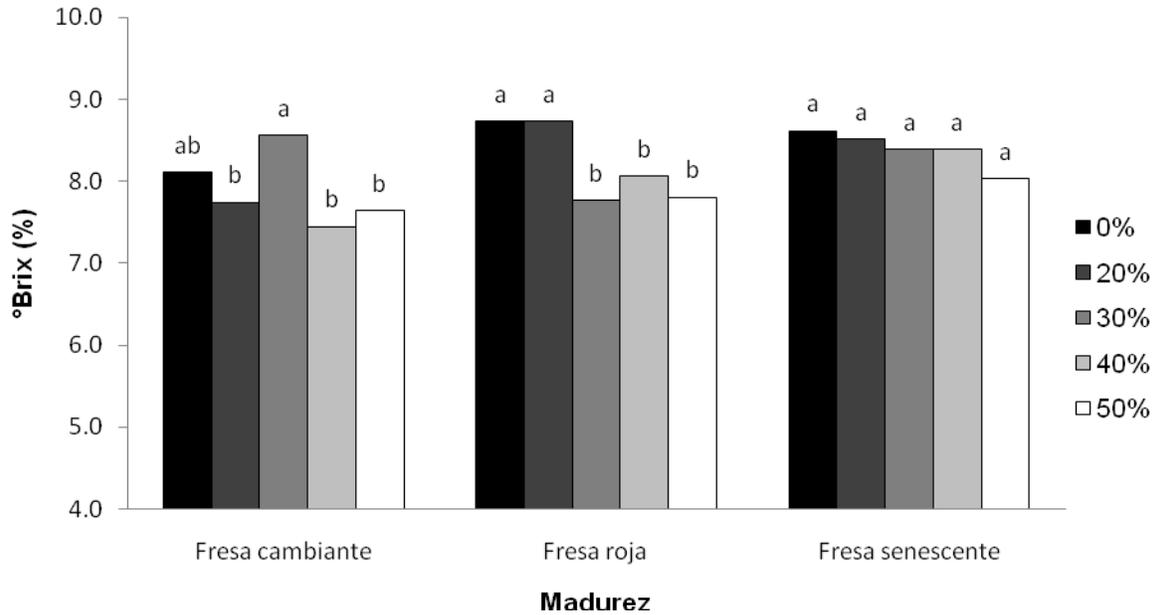
Se puede observar en la Figura 15 que prácticamente la CE de los frutos se mantuvo en un intervalo muy reducido (similar en todos los tratamientos), por lo que la concentración de sales del fruto fue poco afectada por la adición de fosfitos, excepto en el tratamiento con 40% de fosfito en el cual se registró el menor valor de CE. Por otro lado se observó que el pH del fruto fue un poco más afectado por los tratamientos. Comparando con los valores de pH obtenidos por Pérez de Camacaro *et al.* (2005), se encontró que de manera general en este experimento se tuvieron frutos con pH más ácido, lo cual demerita la calidad al ser frutos más ácidos; lo anterior coincide con lo que reportan Roudeillac y Trajkovski (2004) ya que consideran que un pH de frutos de fresa sea el cultivar que sea, para considerarse de calidad en Europa es mínimo de 3.7, pero no se encontró información puntual para la fresa cultivar festival aquí empleado.

### 2.5.3.2 Concentración de sólidos solubles totales (°Brix)

En °Brix en fresas cambiante y roja, se observaron diferencias estadísticas significativas en el análisis de varianza (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 38A y 39A**), mientras que en fresas senescentes no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey,  $P > 0.05$ ) (**Figura 16; Apéndice Cuadro 40A**).

Las pruebas de Tukey mostraron para fresas cambiantes, que el mayor valor de °Brix se obtuvo en el tratamiento con 30% de fosfito (8.56%); no obstante, no existieron diferencias estadísticas significativas con los frutos del testigo; y por el contrario los tratamientos significativamente inferiores en °Brix fueron con 20, 40 y 50% de fosfitos (**Figura 16**).

Para fresas rojas, las de mayor porcentaje de °Brix fueron las de los tratamientos sin fosfito y 20% de fosfito sin haber diferencias estadísticas entre éstos; existiendo diferencias estadísticas significativas entre éstos y los tratamientos con 30, 40 y 50% de fosfito.



**Figura 16.** °Brix de frutos de fresa cultivar Festival, en diferentes estados de madurez, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

Roudeillac y Trajkovski (2004) señalan que para que un fruto de fresa pueda ser clasificado como de buena calidad, debe tener como mínimo 7% de °Brix y como óptimo de 9 a 10%, por tal motivo podemos considerar que los frutos cosechados en este experimento se encontraron dentro del intervalo de calidad, si se considera sólo esta variable.

Moccia *et al.* (2007) obtuvieron que los sólidos solubles totales (°Brix) presentaron un incremento durante el periodo de almacenamiento en las fresas cultivar Festival; lo cual para algunos de los tratamientos concuerda con lo observado en la **Figura 16**.

Moor *et al.* (2009) indicaron que los sólidos solubles disminuyeron con aplicaciones foliares de fosfitos, al mismo tiempo que la acidez del fruto se incrementó, causando un sabor más ácido y menos dulce del fruto; lo cual coincide con los resultados de este experimento, ya que de manera general se puede observar en los tres estados de

madurez, que a medida que se incrementa la concentración de fosfitos en la solución nutritiva, disminuye el porcentaje de °Brix.

### **2.5.3.3 Concentración de azúcares totales**

En frutos de fresa, los azúcares solubles totales son uno de los mayores componentes de la materia seca, ocupando entre 8 a 10% del valor de ésta. Así la concentración de azúcares totales es uno de los parámetros más importantes para caracterizar la aceptación de la fruta de fresa por los consumidores (Keutgen y Pawelzik, 2007). Los azúcares de frutos de fresa están compuestos principalmente por glucosa, fructosa y sacarosa, los cuales constituyen cerca del 99% del contenido de azúcares (Forney y Breen, 1986).

Del análisis de varianza se obtuvo que en la variable de azúcares totales hay diferencias significativas entre tratamientos para frutos cambiantes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 41A**), mientras que para frutos rojos y frutos senescentes no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P > 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 42A y 43A**).

El tratamiento en el que se registraron frutos con la mayor concentración de azúcares totales fue el de 20% de fosfito; sin embargo, no existieron diferencias estadísticas significativas con el testigo; los tratamientos con 30, 40 y 50% tuvieron concentraciones de azúcares totales menores y significativamente diferentes con los primeros dos tratamientos (**Cuadro 13**).

**Cuadro 13.** Azúcares totales en frutos de fresa cultivar Festival, en tres estados de madurez, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos.

<b>Azúcares totales en frutos (mg g<sup>-1</sup> PMF)</b>			
<b>Fosfitos (%)</b>	<b>Frutos cambiantes</b>	<b>Frutos rojos</b>	<b>Frutos senescentes</b>
0	41.590 ab <sup>§</sup>	53.437 a	39.773 a
20	46.997 a	46.190 a	43.253 a
30	37.723 b	47.157 a	43.250 a
40	36.563 b	48.120 a	41.510 a
50	37.723 b	50.537 a	42.670 a
DMS <sup>†</sup>	9.170	18.071	14.529

<sup>§</sup>Valores con la misma letra entre columnas, son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup>DMS: diferencia mínima significativa. PMF: peso de materia fresca.

#### 2.5.3.4 Acidez titulable en fruta

Se observó en el análisis de varianza que para acidez titulable en fruta, no hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en ninguno de los grados de madurez analizados (Tukey,  $P > 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 44A, 45Ay 46A**). Los frutos más ácidos fueron los senescentes, seguidos de los cambiantes; por el contrario los frutos menos ácidos fueron los que tenían coloración roja (**Cuadro 14**).

Pérez de Camacaro *et al.* (2005) reportaron que para que un fruto de fresa se considere de calidad, debe tener una acidez titulable de entre 0.7 y 1.53 % de ácido cítrico. En el presente trabajo, los valores obtenidos en acidez titulable estuvieron entre 0.8 y 1.3 % de ácido cítrico, por lo cual, de acuerdo a lo anterior, se encontraron dentro de valores aceptables.

**Cuadro 14.** Acidez titulable en frutos de fresa cultivar Festival, en tres estados de madurez, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos.

<b>Acidez titulable (% ácido cítrico)</b>			
<b>Fosfitos (%)</b>	<b>Frutos cambiantes</b>	<b>Frutos rojos</b>	<b>Frutos senescentes</b>
0	1.113 a <sup>§</sup>	1.103 a	1.293 a
20	1.060 a	0.880 a	1.247 a
30	1.087 a	0.887 a	1.273 a
40	1.037 a	0.897 a	1.260 a
50	1.123 a	0.920 a	1.207 a
†DMS	0.138	0.266	0.260

<sup>§</sup>Valores con la misma letra entre columnas, son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

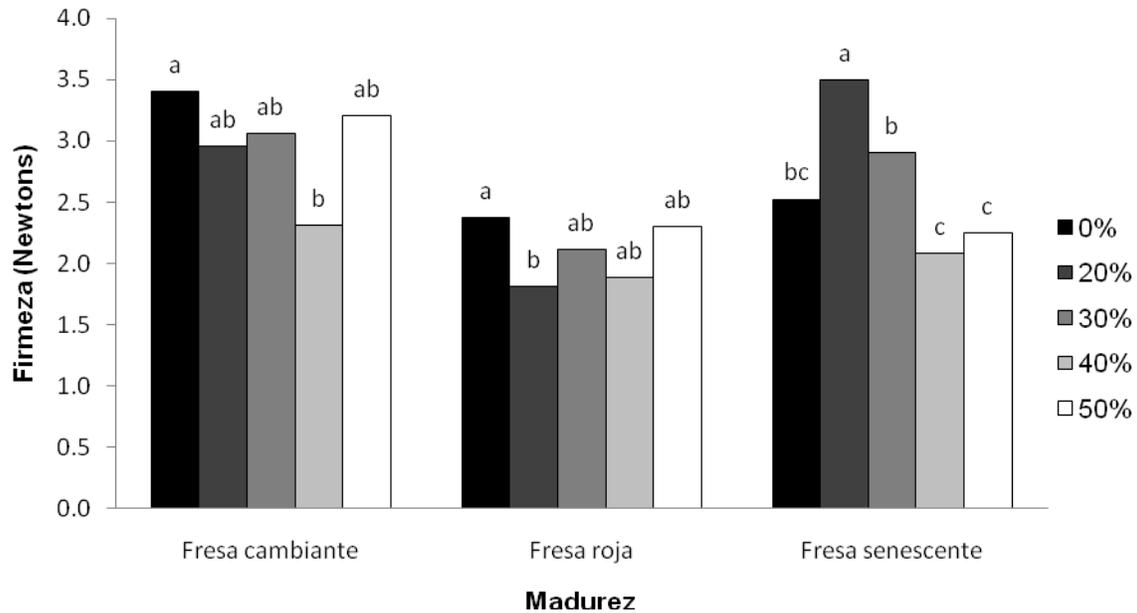
†DMS: diferencia mínima significativa.

Moor *et al.* (2009) encontraron que los tratamientos con fosfitos incrementaron significativamente el porcentaje de acidez titulable en la fruta de fresa. Lo cual no se observó en ésta investigación al no haber efectos significativos de los fosfitos.

### 2.5.3.5 Firmeza del fruto

En firmeza de frutos se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en frutos cambiantes, frutos rojos y en frutos senescentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 47A, 48A y 49A**). Los frutos cambiantes del tratamiento testigo tuvieron una mayor firmeza (3.4 Newton), sin haber diferencias estadísticas significativas con los frutos de los tratamientos con 20, 30 y 50% de fosfitos; pero sí entre los tratamientos antes citados y el tratamiento con 40% de fosfito (2.31 Newton) (**Figura 17**). En frutos rojos se encontró que el tratamiento en donde se registró la mayor firmeza fue nuevamente el testigo, pero no hubo diferencias estadísticas entre éste y los tratamientos con 30, 40 y 50% de fosfito; el valor más bajo se obtuvo en frutos del tratamiento con 20%, el cual fue diferente estadísticamente al resto (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Figura 17**). En fruta senescente, se registró la mayor firmeza en el tratamiento de 20% y la menor en frutos de los tratamientos de 40 y 50% de fosfito (**Figura 17**);

cabe mencionar que en frutos senescentes los frutos se pusieron un poco chiclosos, por lo cual aumentó su firmeza, por otro lado puede ser que el tratamiento con 20% proporcione mayor vida de anaquel.



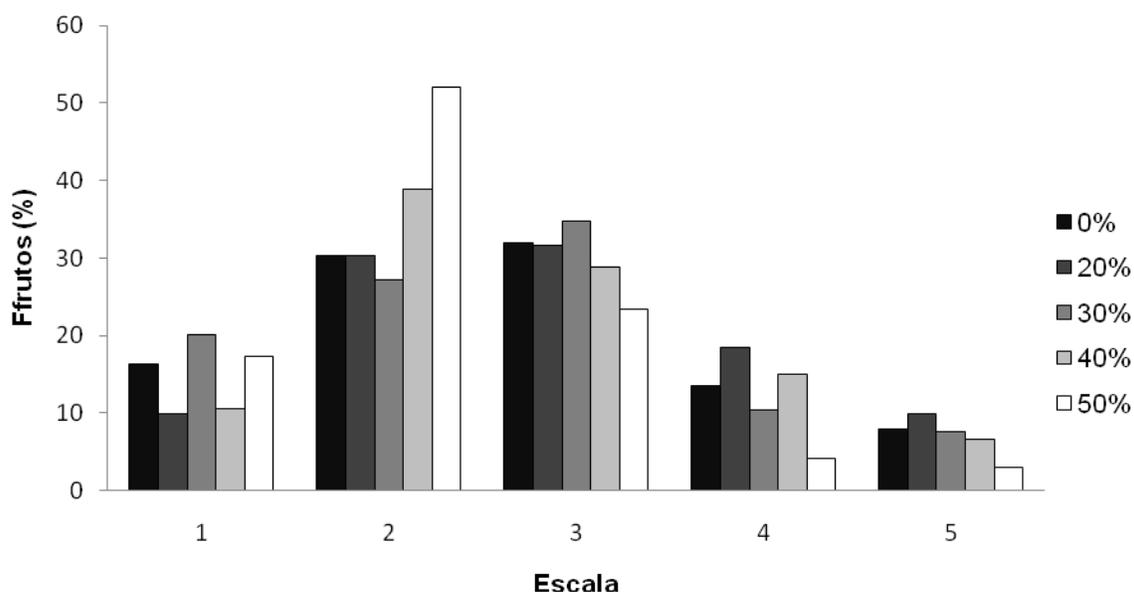
**Figura 17.** Firmeza de frutos de fresa cultivar Festival, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

Se observó una tendencia no significativa a una mayor firmeza en los frutos del tratamiento testigo en fresa roja y fresa cambiante.

### 2.5.3.6 Uniformidad del fruto

Se elaboró una escala de uniformidad del fruto, la cual oscila del 1 al 5, correspondiendo el número 5 a frutos de mayor tamaño y calidad; mientras que el 1 corresponde a frutos más pequeños y deformes. La escala de uniformidad de fruto se definió para realizar grupos considerando el tamaño, la superficie, la forma y estructura de frutos típicos de la fresa cultivar Festival. En el **Cuadro 9** y **Figura 3** se describe las características de cada agrupación de la escala.

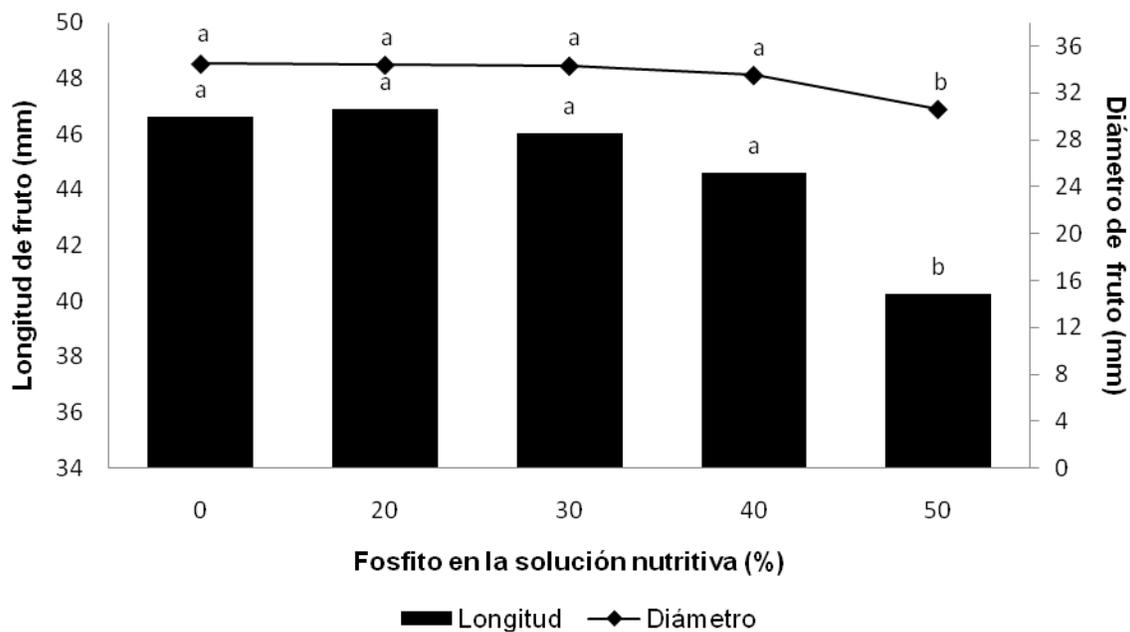
Se observó que los porcentajes más altos de frutos de todos los tratamientos se clasificaron en los números 2 y 3 de la escala, siendo éstos frutos pequeños y medianos, respectivamente (**Cuadro 9, Figura 3**); destaca que los frutos del tratamiento de 50% de fosfito son los que tienen mayor porcentaje (52.04%) en la escala 2, seguidos de los del tratamiento de 40% de fosfito (38.89%). En el valor 2 de la escala (frutos pequeños), se registró el menor porcentaje de frutos de los tratamientos sin fosfito, 20 y 30% de fosfito; en el valor 3 de la escala sobresalen los frutos del tratamiento de 30% de fosfito con mayor porcentaje (34.78%), seguido del tratamiento sin fosfito y 20% ; mientras que en las escalas 4 y 5 sobresale con mayor porcentaje de frutos el tratamiento de 20% (18.42 y 9.87% respectivamente), por el contrario el tratamiento que tiene menor porcentaje de frutos en dichas escalas es el tratamiento de 50% de fosfito (4.08 y 3.06% respectivamente) (**Figura 18**).



**Figura 18.** Uniformidad de frutos de fresa cultivar Festival, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. La escala fue elaborada de acuerdo a indicadores descritos en el **Cuadro 9**.

### 2.5.3.7 Tamaño de la fruta

La longitud de fruto presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 50A**). No existieron diferencias significativas entre los tratamientos sin fosfito, 20, 30 y 40 % de fosfito, pero sí las hay entre éstos con el tratamiento de 50%, éste último con frutos de menor longitud. De la misma manera hay diferencias estadísticas significativas en diámetro (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 51A**); en diámetro de frutos se observó la misma tendencia que para longitud al no haber diferencias estadísticas significativas entre tratamientos sin fosfito, 20, 30 y 40% de fosfito, pero sí entre éstos y los frutos del tratamiento de 50% (**Figura 19**).



**Figura 19.** Tamaño de frutos de fresa cultivar Festival, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

En la **Figura 19** se observa de una manera muy clara, que aún en condiciones de suficiencia de fósforo en forma de fosfatos, si no se utilizan los fosfitos en las

cantidades adecuadas, no se observan efectos benéficos de éstos, como el caso del tratamiento de 20%, pero si nos excedemos en fosfitos encontraríamos una serie de efectos negativos, en este caso al disminuir el tamaño de fruto de fresa tanto en longitud como en diámetro al incrementar la cantidad de fosfitos. Los resultados obtenidos con 20% de fosfitos coinciden con lo obtenido por Albrigo (1999) ya que menciona que al aplicar de manera foliar fosfitos en naranja valencia, se incrementó el tamaño de fruto, aumentando de esta manera su calidad. Otro estudio conducido por Lovatt (1999) mostró que aplicaciones foliares de fosfito produjeron fruta de mayor valor comercial en naranjas navel.

### **2.5.3.8 Color de la fruta (Luminosidad, Hue y Chroma)**

En el valor de L (luminosidad) se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos tanto en frutos cambiantes, frutos rojos y frutos senescentes según el análisis de varianza (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 54A, 57A y 60A**). En frutos cambiantes del tratamiento de 50% de fosfito se presentó la mayor luminosidad, sin que fueran estadísticamente diferentes a los de los tratamientos sin fosfito y con 20%, pero sí de los tratamientos con 30 y 40%. En frutos rojos el mayor valor de luminosidad se presentó en el tratamiento sin fosfito, siendo significativamente superior a los demás; por el contrario, el menor valor de L se presentó en los tratamientos con 20, 30 y 40% de fosfito, sin haber diferencias estadísticas entre éstos. Para frutos senescentes no hubo diferencias significativas en esta variable entre los tratamientos sin fosfito, 20, 40 y 50% de fosfito, pero si las hubo con el de 30% al presentar el menor valor de L (**Cuadro 15**).

Para hue (ángulo de tono) se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos tanto en frutos rojos como frutos senescentes según el análisis de varianza (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 55A, 58A**), no siendo así con los frutos cambiantes (**Apéndice Cuadro 52A**). En frutos rojos el mayor valor de hue se presentó en el tratamiento sin fosfito, siendo significativamente superior a los demás y el menor valor de hue se presentó en el tratamiento de 40% de fosfito. Para frutos senescentes

el mayor valor de hue se encontró en el tratamiento con 20%, sin haber diferencias estadísticas significativas con los tratamientos sin fosfito, 30 y 50% y habiendo diferencias estadísticas con el de 40% al ser el menor valor de hue (**Cuadro 15**).

En chroma (intensidad de color) se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en frutos cambiantes, frutos rojos y frutos senescentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (**Apéndice Cuadro 53A, 56A y 59A**). En frutos cambiantes del tratamiento con 50% de fosfito se presentó el mayor valor de chroma. En frutos rojos los mayores valores de chroma se presentaron para los tratamientos de 20, 30, 40 y 50% de fosfito sin haber diferencias significativas entre ellos, y siendo significativamente inferior, presentando el menor valor de chroma fue el tratamiento sin fosfito. Para frutos senescentes, se presentó la misma tendencia que en frutos rojos al no haber diferencias significativas para chroma entre los tratamientos de 20, 30, 40 y 50%, pero sí habiéndolas con el tratamiento sin fosfito (**Cuadro 15**).

Yoshida *et al.* (2002) observaron que a medida que se incrementa la concentración de antocianinas en frutos de fresa, los valores del ángulo hue y de luminosidad disminuyen; en este experimento se pudo observar una tendencia similar a la anteriormente descrita, particularmente para luminosidad, ya que en el tratamiento de 30% de fosfito con mayor concentración de antocianinas, precisamente se registraron los valores más bajos de luminosidad (**Figura 14, Cuadro 15**), para hue y chroma no se observa una tendencia bien definida.

**Cuadro 15.** Color (luminosidad, hue y chroma) en frutos de fresa cultivar Festival, en tres estados de madurez, expuesta a soluciones nutritivas con diferentes porcentajes de fosfitos.

Fosfitos (%)	Color								
	Frutos cambiantes			Frutos rojos			Frutos senescentes		
	Luminosidad (L)	Ángulo de tono (hue)	Intensidad del color (chroma)	Luminosidad (L)	Ángulo de tono (hue)	Intensidad del color (chroma)	Luminosidad (L)	Ángulo de tono (hue)	Intensidad del color (chroma)
0	39.363 ab <sup>§</sup>	40.243 a	28.660 b	41.963 a	39.340 a	25.988 b	29.650 a	29.950 ab	19.858 b
20	39.213 ab	36.438 a	31.700 b	33.800 c	32.875 bc	31.840 a	30.538 a	34.123 a	21.645 ab
30	36.650 b	34.890 a	31.328 b	32.225 c	29.548 bc	31.218 a	27.675 b	29.395 ab	21.460 ab
40	37.350 b	34.385 a	31.603 b	33.788 c	27.378 c	32.430 a	30.300 a	27.370 b	22.853 a
50	41.800 a	36.140 a	37.983 a	37.675 b	33.543 ab	30.053 a	28.850 ab	30.808 ab	21.130 ab
DMS <sup>†</sup>	2.800	6.991	3.502	2.816	6.120	3.679	1.772	5.053	2.919

<sup>§</sup>Valores con la misma letra en cada columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup>DMS: diferencia mínima significativa.

## **2.6 CONCLUSIONES**

La disponibilidad de fósforo en forma de fosfatos con la adición de 20% de fosfitos tuvo efectos positivos en rendimiento, en el tamaño de fruto, y en concentración de azúcares totales en hojas en etapa de floración y en frutos cambiantes.

En plantas expuestas al tratamiento que incluyó la adición de 30% de fosfitos se observaron los valores más altos de pH, CE, concentración de antocianinas en frutos, aminoácidos libres totales, proteínas solubles totales, así como clorofilas a, b y total en hojas. Sin embargo, también se observó que valores de fosfitos superiores a 30% en la solución nutritiva tienen efectos negativos sobre rendimiento, tamaño de fruto y °Brix, sin importar que se les suministre el suficiente fósforo en forma de fosfato.

No hubo efectos significativos de aplicaciones de fosfitos en la solución nutritiva sobre peso seco de vástago, vitamina C y acidez titulable en fruto.

## 2.7 LITERATURA CITADA

- Albrigo, L. G. 1999. Effects of foliar applications of urea or nutriphite on flowering and yields of Valencia orange trees. *Proc. Flo. State Hort. Soc.* 112: 1-4.
- Alcántar, G. C. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación Especial No. 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C., Chapingo, México.
- Baca C., G. A. 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el substrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis de doctorado. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Bertsch, F., F. Ramírez y C. Henríquez. 2009. Evaluación del fosfito como fuente fertilizante de fósforo vía radical y foliar. *Agronomía Costarricense* 33: 249–265.
- Blanque, M. 2002. Photosynthesis of strawberry fruit. *Acta Hort.* 567: 373–376.
- Boland, F. E. 1990. Fruits and fruit products. *In: Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Methods (AOAC)*. pp. 910-911. Helrich, K. (ed.). 15th edition. VA, USA.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. *Anal. Biochem.* 72: 248–255.
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. *In: Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy* 9. Black, C. A. (ed.). pp. 1149-1178. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Brouquisse, R., F. James, A. Pradet, and P. Raymond. 1992. Asparagine metabolism and nitrogen distribution during protein degradation in sugar-starved maize root tips. *Planta* 188: 384–395.
- Carswell, C., B. R. Grant, M. E. Theodorou, J. Harris, J. O. Niere, and W. C. Plaxton. 1996. The fungicide phosphonate disrupts the phosphate starvation response in *Brassica nigra* seedlings. *Plant Physiol.* 110: 105–110.
- Chandler, C. K. 2004. United States Plant Patent. Patent No. US PP14, 739 P2. Date of patent Apr, 27, 2004.

- d'Arcy-Lameta, A. and G. Bompeix. 1991. Systemic transport of tritiated phosphonate in tomato plantlets (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Pestic. Sci.* 32: 7–14.
- Daugaard, H. 2007. Leaf analysis in strawberries: Effects of cultivar, plant age, and sampling time on nutrient levels. *J. Plant Nutr.* 30: 549–556.
- Ferreira, R. M., S. Z. Viña, A. Mugridge, and A. R. Chaves. 2007. Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Delva. *Scientia Hort.* 112: 27-32.
- Forney C. F. and P. J. Breen. 1986. Sugar content and uptake in the strawberry fruit. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 111: 241–247.
- Geiger M., P. Walch-Liu, C. Engels, J. Harnecker, E. D. Schulze, F. Ludewig, U. Sonnewald, W. R. Scheible, and M. Stitt. 1998. Enhanced carbon dioxide leads to a modified diurnal rhythm of nitrate reductase activity and higher levels of amino acids in young tobacco plants. *Plant Cell Environ.* 21: 253–268.
- Gilbert, G. A., M. V. Gadush, C. Wilson, and M. A. Madore. 1998. Amino acid accumulation in sink and source tissues of *Coleus blunaei* Benth, during salinity stress. *J. Exp. Bot.* 49: 107–114.
- Gulen H. and A. Eris. 2004. Effect of heat stress on peroxidase activity and total protein content in strawberry plants. *Plant Sci.* 166: 739–744.
- Hancock, J. F. 1999. *Strawberries*. CABI Publishing. Cambridge, U. K.
- Harborne, J. B. 1973. Chlorophyll extraction. *In: Phytochemical Methods. Recommended technique.* pp. 205- 207. Harbone, J. B. (ed.). Chapman and Hall, London.
- Hernández, S. C., G. Samson, Y. B. Pierre, Y. Piche and Y. Desjardins. 2000. *Glomus intraradices* causes differential changes in amino acid and starch concentrations of in vitro strawberry subjected to water stress. *New Phytol.* 148: 177–186.
- Höfner, R., L. Vásquez-Moreno, A. A. Abou-Mandour, H. J. Bohnert, and J. M. Schmitt. 1989. Two isoforms of phosphoenolpyruvate carboxylase in the facultative CAM plant *Mesembryanthemum crystallinum*. *Plant Physiol. Biochem.* 27: 803–810.
- Journet, E. P., R. Bligny and R. Douce. 1986. Biochemical changes during sucrose deprivation in higher plant cells. *J. Biol. Chem.* 261: 3193–3199.

- Keutgen, A. J. and E. Pawelzik. 2007. Modifications of taste-relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity. *Food Chem.* 105: 1487–1494.
- Lee, S. K. and A. A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 207–220.
- Lee, T. M., P. F. Tsai, Y. T. Shyu, and F. Sheu. 2005. Effects of phosphate on phosphate starvation response of *Ulva lactuca* (*Ulvales*, *Chlorophyta*). *J. Phycol.* 4: 975–982.
- Lobato, M. C., F.P. F. P. Olivieri, E. A. González, E. A. Wolski, G.R. Daleo, D. O. Caldiz, and A.B. Andreu. 2008. Phosphite compounds reduce disease severity in potato seed tubers and foliage. *Eur. J. Plant Pathol.* 122: 349–358.
- Lovatt, C. J. 1999. Timing citrus and avocado foliar nutrient applications to increase fruit set and size. *Hort. Technol.* 9: 607–612.
- Mancinelli A., C. Yang, P. Lindquisr, O. Anderson and I. Rabino. 1975. Photocontrol of anthocyanin synthesis III. The action of streptomycin. *Plant Physiol.* 55: 251–257.
- McDonald, A. E., B. R. Grant and W. C. Plaxton. 2001. Phosphite (phosphorous acid): Its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. *J. Plant Nutr.* 24: 1505–1519.
- Minolta. 1994. *Precise color communication*. Tokyo, Japan. 49 p.
- Moccia, S., E. Mónaco, A. Oberti y A. Chiesa. 2007. Evaluación comparativa de índices de calidad a cosecha y poscosecha en seis variedades de frutilla (*Fragaria x annanasa* Duch.). *In: V congreso Iberoamericano de tecnología poscosecha y agroexportaciones*. pp. 432–441.
- Moor, U., P. Põldma, T. Tõnutare, K. Karp, M. Starast, and E. Vool. 2009. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. *Sci. Hortic.* 119: 264–269.
- Moore, S., and W. H. Stein. 1954. A modified ninhydrin reagent for the photometric determination of amino acids and related compounds. *J. Biol. Chem.* 211: 893–906.
- Orovic, V., J. P. Syvertsen, D. Bright, D. L. van Clief and J. H. Graham. 2008. Citrus seedling growth and susceptibility to root rot as affected by phosphate and phosphite. *J. Plant Nutr.* 31(4): 774–787.

- Ouimette, D. G. and M. D. Coffey, M. 1990. Symplastic entry and problem traslocation of phosphonate. *Pestic. Biochem. Physiol.* 38: 18–25.
- Ouimette, D. G. and M. D. Coffey. 1989. Phosphonate levels in avocado (*Persea americana*) seedlings and soil following treatment with Fosetyl-Al or potassium phosphonate. *Plant Dis.* 73: 212–215.
- Pérez de Camacaro, M., A. Jiménez, Y. Terán, and L. Calderón. 2005. Physical and chemical quality of strawberry fruits from three years old cultivation at high altitude. *Acta Hort.* 682: 763–766.
- Ratjen, A. M., and J. Gerendás. 2009. A critical assessment of the suitability of phosphite as a source of phosphorus. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172: 821–828.
- Rebollar-Alviter, A., L. L. Willson, L.V. Madden, and M. A. Ellis. 2010. A comparative evaluation of post-infection efficacy of mefenoxam and potassium phosphite for controlling leather rot of strawberry caused by *Phytophthora cactorum*. *Crop Protection* 29: 349–353.
- Rickard, D. A. 2000. Reviw of phosphorus acid and its salts as fertilizer materials. *J. Plant Nutr.* 23: 161–180.
- Roudeillac, P. and K. Trajkovski. 2004. Breeding for fruit quality and nutrition in strawberries. *Acta Hort.* 649: 55–59.
- Sánchez, G. P., da S. Molinos, G. Alcántar G., y M. Sandoval V. 2007. Acceso. Diagnóstico nutrimental en plantas. *In: Nutrición de cultivos.* pp. 201-247. Alcántar G., G. y Trejo-Téllez, L. I. (eds.). Colegio de Postgraduados. Editorial Mundi-prensa. México.
- Schroetter, S., D. Angeles-Wedler, R. Kreuzig and E. Schnug. 2006. Effects of phosphite on phosphorus supply and growth of corn (*Zea mays*). *Landbauforschung Völkenrode* 56: 87–99.
- Singh, V. K., S. M. Wood, V. L. Knowles, and W.C. Plaxton. 2003. Phosphite accelerates programmed cell death in phosphatestarved oilseed rape (*Brassica napus*) suspension cell cultures. *Planta* 218: 233–239.
- Southgate, D. A. 1976. Determination of food carbohydrates. Applied Science Publishers. LTD. London. 105 pp.
- Stapleton, S. C., K. C. Chandler, E.D. Legard, E. J. Price and C. J. Sumler. 2001. Transplant source affects fruiting performance and pests of 'Sweet Charlie' strawberry in Florida. *HorTechnology* 11: 61–65.

- Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution. *In*: I. S. O. S. C. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. pp. 633-649. The Netherlands.
- Steiner, A. and H. van Winden. 1970. Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetraacetic acid. *Plant Physiol.* 46: 862–863.
- Sukarno, N., S. E. Smith and E. S. Scott. 1993. The effect of fungicides on vesiculararbuscular mycorrhizal symbiosis: I. The effects on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth. *New Phytol.* 25: 139–147.
- Thao, H. T. B., T. Yamakawa, T., K. Shibata, P. S. Sarr, and A. K. Myint. 2008. Growth response of komatsuna (*Brassica rapa* var. *peruviridis*) to root and foliar applications of phosphite. *Plant Soil* 308: 1–10.
- Ticconi, C. A., C. A. Delatorre, and S. Abel. 2001. Attenuation of phosphate starvation responses by phosphite in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 127: 963-972.
- Varadarajan, D. K., A. S. Karthikeyan, P. D. Matilda, and K. G. Raghothama. 2002. Phosphite, an analog of phosphate, suppresses the coordinated expression of genes under phosphate starvation. *Plant Physiol.* 129: 1232-1240.
- Wang, S. Y. and M. J. Camp. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Sci. Hort.* 85: 183-199.
- Yoshida, Y., M. Goto, and M. Masuda. 2002. Anthocyanin accumulation in strawberry fruits as affected by nitrogen nutrition. *Acta Hort.* 567: 357-360.

## APÉNDICE A

**Cuadro 1A.** Análisis de varianza de rendimiento fresa cultivar Festival desde el 23 de noviembre del 2009 hasta el 30 de marzo del 2010, sometidas a cinco concentraciones deferentes de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	24	380477.0842	15853.2118	1.24	0.2821
Error	30	382028.2772	12734.2759		
Total correcto	54	762505.3614			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.498983	12.35632	112.8462	913.2674		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	159083.5552	39770.8888	3.12	0.0292
BLO	4	70622.2307	17655.5577	1.39	0.2623
TRA*BLO	16	150771.2984	9423.2061	0.74	0.7337

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 2A.** Análisis de varianza de peso seco de vástago de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones deferentes de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	24	8772.52360	365.52182	0.88	0.6264
Error	50	20805.15259	416.10305		
Total correcto	74	29577.67619			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.296593	26.29527	20.39860	77.57517		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	1147.696428	286.924107	0.69	0.6026
BLO	4	1341.736707	335.434177	0.81	0.5271
TRA*BLO	16	6283.090463	392.693154	0.94	0.5281

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 3A.** Análisis de varianza de N de plantas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	29.73066667	7.43266667	16.00	0.0002
Error	10	4.64666667	0.46466667		
Total correcto	14	34.37733333			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.864833	3.316565	0.681665	20.55333		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	29.73066667	7.43266667	16.00	0.0002

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 4A.** Análisis de varianza de P de plantas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	5.15810016	1.28952504	16.29	0.0002
Error	10	0.79150083	0.07915008		
Total correcto	14	5.94960099			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.866966	7.898030	0.281336	3.562107		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	5.15810016	1.28952504	16.29	0.0002

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 5A.** Análisis de varianza de K de plantas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	12.75915853	3.18978963	3.53	0.0482
Error	10	9.04486436	0.90448644		
Total correcto	14	21.80402289			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.585175	4.301275	0.951045	22.11077		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	12.75915853	3.18978963	3.53	0.0482

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 6A.** Análisis de varianza de Ca de plantas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	10.16146522	2.54036630	5.49	0.0133
Error	10	4.62744295	0.46274430		
Total correcto	14	14.78890817			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.687100	9.723606	0.680253	6.995893		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	10.16146522	2.54036630	5.49	0.0133

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 7A.** Análisis de varianza de Mg de plantas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	4.64444772	1.16111193	6.71	0.0068
Error	10	1.73008613	0.17300861		
Total correcto	14	6.37453385			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.728594	11.39999	0.415943	3.648627		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	4.64444772	1.16111193	6.71	0.0068

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 8A.** Análisis de varianza de S de plantas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.11178144	0.02794536	33.39	<.0001
Error	10	0.00836965	0.00083697		
Total correcto	14	0.12015109			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.930341	2.210321	0.028930	1.308875		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.11178144	0.02794536	33.39	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 9A.** Análisis de varianza de B de plantas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	34796.75593	8699.18898	29.98	<.0001
Error	10	2901.32436	290.13244		
Total correcto	14	37698.08029			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.923038	9.539729	17.03327	178.5509		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	34796.75593	8699.18898	29.98	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 10A.** Análisis de varianza de Fe de plantas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	4255.777930	1063.944483	7.17	0.0054
Error	10	1484.122477	148.412248		
Total correcto	14	5739.900407			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.741438	10.68645	12.18246	113.9991		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	4255.777930	1063.944483	7.17	0.0054

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 11A.** Análisis de varianza de Mn de plantas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	283924.8997	70981.2249	9.78	0.0017
Error	10	72563.7002	7256.3700		
Total correcto	14	356488.5999			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.796449	13.52628	85.18433	629.7691		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	283924.8997	70981.2249	9.78	0.0017

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 12A.** Análisis de varianza de Zn de plantas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	607.9145789	151.9786447	4.39	0.0263
Error	10	345.8731267	34.5873127		
Total correcto	14	953.7877056			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.637369	21.80494	5.881098	26.97140		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	607.9145789	151.9786447	4.39	0.0263

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 13A.** Análisis de varianza de N de plantas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	18.79333333	4.69833333	6.38	0.0081
Error	10	7.36666667	0.73666667		
Total correcto	14	26.16000000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.718400	4.010714	0.858293	21.40000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	18.79333333	4.69833333	6.38	0.0081

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 14A.** Análisis de varianza de P de plantas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	8.93022622	2.23255655	12.41	0.0083
Error	5	0.89982295	0.17996459		
Total correcto	9	9.83004917			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.908462	7.307746	0.424222	5.805105		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	8.93022622	2.23255655	12.41	0.0083

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 15A.** Análisis de varianza de K de plantas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	22.56498132	5.64124533	41.81	0.0005
Error	5	0.67470063	0.13494012		
Total correcto	9	23.23968195			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.970968	1.278592	0.367342	28.73019		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	22.56498132	5.64124533	41.81	0.0005

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 16A.** Análisis de varianza de Ca de plantas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	7.59975162	1.89993791	6.18	0.0357
Error	5	1.53618530	0.30723706		
Total correcto	9	9.13593693			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.831852	6.661183	0.554290	8.321190		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	7.59975162	1.89993791	6.18	0.0357

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 17A.** Análisis de varianza de Mg de plantas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.97376515	0.24344129	7.08	0.0272
Error	5	0.17184979	0.03436996		
Total correcto	9	1.14561494			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.849993	5.557895	0.185391	3.335640		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.97376515	0.24344129	7.08	0.0272

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 18A.** Análisis de varianza de S de plantas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	3.05160149	0.76290037	110.01	<.0001
Error	10	0.06934712	0.00693471		
Total correcto	14	3.12094861			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.977780	5.132108	0.083275	1.622626		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	3.05160149	0.76290037	110.01	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 19A.** Análisis de varianza de B de plantas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de Fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	1389.172540	347.293135	2.53	0.1678
Error	5	685.612950	137.122590		
Total correcto	9	2074.785490			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.669550	4.613317	11.70994	253.8290		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	1389.172540	347.293135	2.53	0.1678

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 20A.** Análisis de varianza de Fe de plantas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	575.7080214	143.9270053	4.08	0.0775
Error	5	176.1829770	35.2365954		
Total correcto	9	751.8909984			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.765680	5.531811	5.936042	107.3074		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	575.7080214	143.9270053	4.08	0.0775

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 21A.** Análisis de varianza de Mn de plantas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	28304.97424	7076.24356	6.81	0.0295
Error	5	5197.16920	1039.43384		
Total correcto	9	33502.14344			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.844871	6.822612	32.24025	472.5500		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	28304.97424	7076.24356	6.81	0.0295

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 22A.** Análisis de varianza de Zn de plantas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de Fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	368.2879870	92.0719968	11.69	0.0095
Error	5	39.3880015	7.8776003		
Total correcto	9	407.6759885			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.903384	7.153487	2.806706	39.23550		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	368.2879870	92.0719968	11.69	0.0095

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 23A.** Análisis de varianza de Cu de plantas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	3684.756129	921.189032	15.29	0.0003
Error	10	602.583588	60.258359		
Total correcto	14	4287.339717			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.859450	16.00803	7.762626	48.49207		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	3684.756129	921.189032	15.29	0.0003

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 24A.** Análisis de varianza de azúcares totales en hojas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	72.5290300	18.1322575	7.46	0.0016
Error	15	36.4590250	2.4306017		
Total correcto	19	108.9880550			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.665477	7.265367	1.559039	21.45850		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	72.52903000	18.13225750	7.46	0.0016

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 25A.** Análisis de varianza de azúcares totales en hojas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	28.82797333	7.20699333	2.60	0.1005
Error	10	27.72646667	2.77264667		
Total correcto	14	56.55444000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.509738	6.300615	1.665127	26.42800		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	28.82797333	7.20699333	2.60	0.1005

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 26A.** Análisis de varianza de clorofila A en hojas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.01510667	0.00377667	3.88	0.0373
Error	10	0.00973333	0.00097333		
Total correcto	14	0.02484000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.608159	4.469669	0.031198	0.698000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.01510667	0.00377667	3.88	0.0373

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 27A.** Análisis de varianza de clorofila B en hojas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.03362667	0.00840667	2.01	0.1693
Error	10	0.04186667	0.00418667		
Total correcto	14	0.07549333			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.445426	6.146718	0.064704	1.052667		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.03362667	0.00840667	2.01	0.1693

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 28A.** Análisis de varianza de clorofila total en hojas de fresa cultivar Festival en floración, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.06489333	0.01622333	1.62	0.2442
Error	10	0.10020000	0.01002000		
Total correcto	14	0.16509333			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.393071	5.657495	0.100100	1.769333		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.06489333	0.01622333	1.62	0.2442

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 29A.** Análisis de varianza de clorofila A en hojas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de Fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.37197333	0.09299333	30.39	<.0001
Error	10	0.03060000	0.00306000		
Total correcto	14	0.40257333			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.923989	6.675455	0.055317	0.828667		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.37197333	0.09299333	30.39	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 30A.** Análisis de varianza de clorofila B en hojas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.46300000	0.11575000	11.15	0.0010
Error	10	0.10380000	0.01038000		
Total correcto	14	0.56680000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.816867	8.022227	0.101882	1.270000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.46300000	0.11575000	11.15	0.0010

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 31A.** Análisis de varianza de clorofila total en hojas de fresa cultivar Festival en fructificación, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	1.37610667	0.34402667	13.23	0.0005
Error	10	0.26006667	0.02600667		
Total correcto	14	1.63617333			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.841052	7.674452	0.161266	2.101333		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	1.37610667	0.34402667	13.23	0.0005

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 32A.** Análisis de varianza de aminoácidos totales en hojas de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	152.6760000	38.1690000	14.34	0.0004
Error	10	26.6133333	2.6613333		
Total correcto	14	179.2893333			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.851562	6.603803	1.631359	24.70333		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	152.6760000	38.1690000	14.34	0.0004

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 33A.** Análisis de varianza de proteínas solubles totales en hojas de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	15.12235070	3.78058767	286.35	<.0001
Error	15	0.19803750	0.01320250		
Total correcto	19	15.32038820			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.987074	6.777687	0.114902	1.695300		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	15.12235070	3.78058767	286.35	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 34A.** Análisis de varianza de antocianinas en frutos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.00224800	0.00056200	31.93	0.0009
Error	5	0.00008800	0.00001760		
Total correcto	9	0.00233600			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.962329	3.252120	0.004195	0.129000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.00224800	0.00056200	31.93	0.0009

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 35A.** Análisis de varianza de vitamina C frutos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.02102000	0.00525500	2.64	0.0751
Error	15	0.02983200	0.00198880		
Total correcto	19	0.05085200			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.413356	6.219800	0.044596	0.717000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.02102000	0.00525500	2.64	0.0751

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 36A.** Análisis de varianza del pH de frutos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.02155000	0.00538750	8.37	0.0009
Error	15	0.00965000	0.00064333		
Total correcto	19	0.03120000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.690705	0.754881	0.025364	3.360000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.02155000	0.00538750	8.37	0.0009

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 37A.** Análisis de varianza de CE en frutos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.00926667	0.00231667	3.70	0.0426
Error	10	0.00626667	0.00062667		
Total correcto	14	0.01553333			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.596567	2.470393	0.025033	1.013333		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.00926667	0.00231667	3.70	0.0426

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 38A.** Análisis de varianza de °brix en frutos cambiantes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	3.07872000	0.76968000	6.41	0.0032
Error	15	1.80000000	0.12000000		
Total correcto	19	4.87872000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.631051	4.386049	0.346410	7.898000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	3.07872000	0.76968000	6.41	0.0032

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 39A.** Análisis de varianza de °brix de frutos rojos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	3.69388000	0.92347000	15.23	<.0001
Error	15	0.90970000	0.06064667		
Total correcto	19	4.60358000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.802393	2.996294	0.246265	8.219000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	3.69388000	0.92347000	15.23	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 40A.** Análisis de varianza de °brix de frutos senescentes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.76412000	0.19103000	1.10	0.3906
Error	15	2.59500000	0.17300000		
Total correcto	19	3.35912000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.227476	4.958663	0.415933	8.388000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.76412000	0.19103000	1.10	0.3906

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 41A.** Análisis de varianza de azúcares totales de frutos cambiantes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	220.7620267	55.1905067	4.74	0.0210
Error	10	116.4640667	11.6464067		
Total correcto	14	337.2260933			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.654641	8.506331	3.412683	40.11933		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	220.7620267	55.1905067	4.74	0.0210

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 42A.** Análisis de varianza de azúcares totales de frutos rojos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	102.2250400	25.5562600	0.57	0.6937
Error	10	452.2262000	45.2226200		
Total correcto	14	554.4512400			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.184372	13.69943	6.724777	49.08800		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	102.2250400	25.5562600	0.57	0.6937

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 43A.** Análisis de varianza de azúcares totales de frutos senescentes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	26.2160400	6.5540100	0.22	0.9187
Error	10	292.3549333	29.2354933		
Total correcto	14	318.5709733			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.082293	12.84584	5.406986	42.09133		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	26.2160400	6.5540100	0.22	0.9187

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 44A.** Análisis de varianza de acidez de frutos cambiantes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.01569333	0.00392333	1.48	0.2790
Error	10	0.02646667	0.00264667		
Total correcto	14	0.04216000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.372233	4.745919	0.051446	1.084000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.01569333	0.00392333	1.48	0.2790

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 45A.** Análisis de varianza de acidez de frutos rojos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.10609333	0.02652333	2.70	0.0923
Error	10	0.09820000	0.00982000		
Total correcto	14	0.20429333			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.519319	10.57211	0.099096	0.937333		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.10609333	0.02652333	2.70	0.0923

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 46A.** Análisis de varianza de acidez de frutos senescentes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.01269333	0.00317333	0.34	0.8448
Error	10	0.09326667	0.00932667		
Total correcto	14	0.10596000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.119794	7.689066	0.096575	1.256000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.01269333	0.00317333	0.34	0.8448

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 47A.** Análisis de varianza de firmeza de frutos cambiantes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	2.73635000	0.68408750	12.98	<.0001
Error	15	0.79082500	0.05272167		
Total correcto	19	3.52717500			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.775791	7.685757	0.229612	2.987500		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	2.73635000	0.68408750	12.98	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 48A.** Análisis de varianza de firmeza de frutos rojos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	0.97898000	0.24474500	3.71	0.0272
Error	15	0.98967500	0.06597833		
Total correcto	19	1.96865500			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.497284	12.25197	0.256862	2.096500		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	0.97898000	0.24474500	3.71	0.0272

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 49A.** Análisis de varianza de firmeza de frutos senescentes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	5.12555000	1.28138750	23.39	<.0001
Error	15	0.82185000	0.05479000		
Total correcto	19	5.94740000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.861814	8.832930	0.234073	2.650000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	5.12555000	1.28138750	23.39	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 50A.** Análisis de varianza de longitud de frutos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	955.318123	238.829531	20.16	<.0001
Error	155	1836.516272	11.848492		
Total correcto	159	2791.834394			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.342183	7.667858	3.442164	44.89081		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	955.318123	238.829531	20.16	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 51A.** Análisis de varianza de diámetro de frutos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	349.665006	87.416252	9.45	<.0001
Error	155	1433.727153	9.249853		
Total correcto	159	1783.392159			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.196067	9.089786	3.041357	33.45906		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	349.665006	87.416252	9.45	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 52A.** Análisis de varianza de Hue en frutos cambiantes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	84.6893300	21.1723325	2.07	0.1364
Error	15	153.7588500	10.2505900		
Total correcto	19	238.4481800			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.355169	8.791165	3.201654	36.41900		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	84.6893300	21.1723325	2.07	0.1364

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 53A.** Análisis de varianza de Chroma en frutos cambiantes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	189.2892700	47.3223175	18.39	<.0001
Error	15	38.5948250	2.5729883		
Total correcto	19	227.8840950			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.830638	4.973116	1.604054	32.25450		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	189.2892700	47.3223175	18.39	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 54A.** Análisis de varianza de L en frutos cambiantes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	64.73375000	16.18343750	9.84	0.0004
Error	15	24.66875000	1.64458333		
Total correcto	19	89.40250000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.724071	3.298812	1.282413	38.87500		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	64.73375000	16.18343750	9.84	0.0004

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 55A.** Análisis de varianza de Hue en frutos rojos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	331.8545300	82.9636325	10.56	0.0003
Error	15	117.8471250	7.8564750		
Total correcto	19	449.7016550			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.737944	8.614757	2.802940	32.53650		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	331.8545300	82.9636325	10.56	0.0003

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 56A.** Análisis de varianza de Chroma en frutos rojos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	105.6362700	26.4090675	9.30	0.0005
Error	15	42.5772250	2.8384817		
Total correcto	19	148.2134950			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.712730	5.559319	1.684779	30.30550		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	105.6362700	26.4090675	9.30	0.0005

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 57A.** Análisis de varianza de L en frutos rojos de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	249.1292500	62.2823125	37.45	<.0001
Error	15	24.9437500	1.6629167		
Total correcto	19	274.0730000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.908989	3.593038	1.289541	35.89000		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	249.1292500	62.2823125	37.45	<.0001

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 58A.** Análisis de varianza de Hue en frutos senescentes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	97.5651300	24.3912825	4.56	0.0131
Error	15	80.3180500	5.3545367		
Total correcto	19	177.8831800			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.548479	7.629619	2.313987	30.32900		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	97.5651300	24.3912825	4.56	0.0131

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 59A.** Análisis de varianza de Chroma en frutos senescentes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	18.49993000	4.62498250	2.59	0.0794
Error	15	26.81365000	1.78757667		
Total correcto	19	45.31358000			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.408265	6.250890	1.337003	21.38900		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	18.49993000	4.62498250	2.59	0.0794

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.

**Cuadro 60A.** Análisis de varianza de L en frutos senescentes de fresa cultivar Festival, sometidas a cinco concentraciones de fosfitos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Modelo	4	21.77800000	5.44450000	8.27	0.0010
Error	15	9.87437500	0.65829167		
Total correcto	19	31.65237500			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Y Media		
0.688037	2.759465	0.811352	29.40250		
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Anova SS</b>	<b>CM</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
TRA	4	21.77800000	5.44450000	8.27	0.0010

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado de la Media.