

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Aplicación de Selenio en la Solución Nutritiva y su Efecto en la Capacidad
Antioxidante de la Fresa

Por:

MARIANO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Aplicación de Selenio en la Solución Nutritiva y su Efecto en la Capacidad
Antioxidante de la Fresa

Por:

MARIANO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor Principal

M.C. Isidro Morales García
Coasesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2012

DEDICATORIA

Con todo cariño y amor dedico este proyecto de investigación a mi mayor razón de seguir soñando, mi mayor razón de seguir imaginando, mi mayor razón de seguir creando, a ti hijo mío; Josué y a ti Bendita esposa; María Ángeles, porque han llenado el tiempo de mi vida en momentos inolvidables y han hecho de mi un hombre inmensamente feliz y agradecido.

A ustedes queridos abuelos; por compartir e inculcarme los valores de la perseverancia en los actos de cada día.

A ustedes padres: Margarita y Herlindo, por ser la fuente de mi vida e inspiración de seguir con mi camino profesional y la confianza inculcados en mi persona, porque la herencia más grande que pude recibir de ustedes es mi educación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios Padre por haberme dado la oportunidad de seguir en esta vida tan maravillosa y por la FORTALEZA en mente, espíritu y cuerpo que a diario me ha concedido.

Agradezco a tan prestigiada Universidad autónoma Agraria Antonio Narro, “Alma Terra Mater” Por brindarme cobijo y nutrirme de sabiduría bajo la brillante participación de mis maestros durante mi estancia.

Agradezco a mis padres por los valores inculcados del buen vivir: A mi madre por enseñarme y educarme con el vivido ejemplo de acción y fortaleza ante las adversidades, Madre ahora sé que hay una fuerza más grande que la que emite una bomba atómica, TU AMOR.

Estoy profundamente Agradecido y Feliz por ti esposa María Ángeles por todo el apoyo brindado hacia mi persona y por hacer de mi ausencia ante ti y nuestro hijo fortaleza de concluir esta etapa profesional.

Agradezco a mis hermanos y hermanas; Herlindo, Adelaida, Gerardo, Estela, Berenice, Netzahualcóyotl, Xochitl, María Ignacia y Ana Alhelí por el apoyo incondicional y tan alentador en todo momento durante mi estancia profesional.

Agradezco al equipo de trabajo el cuál pertencí y que me estuvo apoyando día a día y en todo momento a: Dr. Adalberto Benavides Mendoza, Dr. Prometeo Sánchez García, Dr. Alberto Sandoval Rangel, Dr. Valentín Robledo Torres, Dr. Juan José Galván Luna, MC. Isidro Morales García, Arq. Antonio Samano Ochoa, Q.I. Melchor Cisneros Martínez, Ing. María Ángeles Herrera Martínez, Biol. Hermila Trinidad García Osuna, QFB. Julia Rosa Medrano Macías, QFB. Ericka Nohemí Rivas Martínez, TA. Carlos Alberto Arévalo San Miguel, MC. Auri Marili Gutiérrez Vásquez, Ing. William Alfredo Narváez Ortiz, Ing. Víctor Manuel Camacho Chávez, María Guadalupe Ortiz O., Fermina Ramírez Cepeda, Cirauen Facundo Mata, Juan Carlos Aguilar Gonzales, Armando Botello Villaseñor.

Este esquiopo de trabajo distribuido a lo largo y ancho de nuestra republica que de manera directa e indirecta me apoyaron a la realización de este trabajo. Familia, amigos, Maestros Investigadores. A todos ustedes GRACIAS.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
1.1 Objetivo General.....	3
1.1.1 Objetivos Específicos	3
1.2 Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
1.3 Generalidades del cultivo de la fresa	4
1.3.1 Origen	4
1.3.2 Producción mundial de fresa.....	4
1.3.3 Importancia Nacional.....	5
1.4 Clasificación Taxonómica de fresa.	6
1.5 Características botánicas de la fresa	6
1.5.1 Raíz.....	6
1.5.2 Tallo	6
1.5.3 Hoja.....	7
1.5.4 Inflorescencia	7
1.5.5 Fruto.....	7
1.6 Fases Fenológicas.....	7
1.7 Necesidades climáticas de la fresa.....	8

1.7.1	Fotoperiodo	8
1.7.2	Temperatura.....	8
1.7.3	Humedad relativa	9
1.7.4	Agua de riego.....	9
1.8	Hidroponía	11
1.8.1	Elementos y/o componentes de un sistema hidropónico	12
1.8.2	Solución nutritiva	12
1.8.3	Sustrato.....	12
1.9	Requerimientos nutrimentales de la fresa.....	13
1.9.1	Elementos esenciales	13
1.9.2	Elementos benéficos	13
1.9.3	Selenio	14
1.10	Antioxidantes	20
1.10.1	Generalidades de los antioxidantes	20
1.11	Procesos redox	21
	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
4.1	Localización del experimento.....	24
4.2	Material vegetal	24
4.3	Establecimiento del experimento	24
4.4	Preparación del área de investigación	25
4.5	Rellenado de bolsas de polietileno e instalación del sistema de riego	25
4.6	Trasplante.....	25
4.7	Nutrición del cultivo.....	25
4.8	Diseño experimental	26
4.9	Variables estudiadas.....	27

4.9.1	Materia fresca	27
4.9.2	Materia seca.....	27
4.9.3	Contenido de minerales	27
4.9.4	Peso promedio de frutos	28
4.9.5	Lecturas de Potencial de Oxido Reducción (ORP)	29
4.10	Análisis estadístico	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		30
4.1	Análisis de varianza de biomasa	30
4.1.2	Pruebas de medias de biomasa.....	31
4.2	Contenido de minerales.....	33
4.3	Rendimiento	39
4.3	Potencial de Oxido - Reducción (ORP)	41
CONCLUSIONES		44
LITERATURA CITADA		45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Grado de tolerancia del cultivo de la fresa a las sales, según el rendimiento esperado (en % de la cosecha máxima).	11
Cuadro 2 .Tratamientos estudiados en el cultivo de fresa <i>Fragaria x ananassa</i>	24
Cuadro 3. Requerimientos de fertilizantes de acuerdo a Steiner (1984).....	25
Cuadro 4. Cantidades de reactivos que se deben pesar para preparar solución madre de microelementos (elementos menores), a una concentración de 100%, con base en las recomendaciones de Arnon (1938) y Steiner (1984).	26
Cuadro 5. Análisis de varianza biomasa.....	31
Cuadro 6. Prueba de Medias Biomasa del primer muestreo	31
Cuadro 7. Prueba de medias Biomasa del segundo muestreo	32
Cuadro 8. Análisis de varianza de contenido nutrimental en raíz de plantas de Fresa.....	33
Cuadro 9. Prueba de medias de minerales en raíz en el primer muestreo	33
Cuadro 10. Prueba de medias de minerales en raíz en el segundo muestreo	34
Cuadro 11. Análisis de varianza de contenido nutrimental de tallo en plantas de fresa.....	34
Cuadro 12. Prueba de medias de minerales en tallo en el primer muestreo	35
Cuadro 13. Prueba de medias de minerales en tallo en el segundo muestreo .	35
Cuadro 14. Análisis de varianza de contenido nutrimental de hoja en plantas de fresa.....	37
Cuadro 15. Prueba de medias de minerales en hoja de fresa en el primer muestreo.....	37
Cuadro 16. Prueba de medias de minerales en hoja de fresa en el segundo muestreo.....	38
Cuadro 17. Análisis de varianza de contenido de minerales en fruto de fresa .	39

Cuadro 18. Prueba de medias de minerales en fruto de fresa (segundo
muestreo)..... 39

Cuadro 19. Prueba de medias de Rendimiento de fresa. 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Formas de selenio en función del pH y las condiciones de óxido reducción (Eh) del medio (Camps, 2001).	15
Figura 2 Biomasa de plantas de fresa.	32
Figura 3. Acumulación de Zinc y Calcio en tallo, primer muestreo.	36
Figura 4 Acumulación de sodio en tallo en el segundo muestreo.	36
Figura 5 Acumulación de Zinc en el segundo muestreo.	38
Figura 6. Rendimiento de fresa, bajo tratamientos de selenio.	40
Figura 7. Potencial de oxido – reducción a través del tiempo en fresa, T1: Testigo, T2: 2 ppm de Se, T3: 4 de Se.	41
Figura 8. Efecto de Se en rendimiento de fresa.	42
Figura 9. Dinámica de ORP, sobre fresa a través del tiempo en función de la temperatura.	43

RESUMEN

Con el objeto de conocer la habilidad del selenio de modificar el valor de ORP del fruto de fresa, además su influencia en el crecimiento y productividad, se aplicó selenito de sodio a través de la solución nutritiva universal Steiner en concentraciones de 0, 2 y 4 ppm de selenito de sodio, para el trabajo se utilizó como sustrato peat moss mezclado con perlita en proporción 2:1, estableciendo 40 repeticiones por tratamiento, utilizando una planta como unidad experimental. El diseño del experimento fue completamente al azar. A los 60 y 98 días después del trasplante se tomaron dos muestras para determinar peso fresco y seco de hoja, tallo y raíz, además del contenido de minerales, durante la etapa de fructificación se tomaron muestras de frutos para determinar el rendimiento y potencial de óxido reducción, de los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y prueba de medias por medio del paquete estadístico SAS. En los resultados se observaron diferencias estadísticas significativas en el segundo muestreo para los órganos de peso fresco de raíz, peso fresco y seco de hojas. En la variable de rendimiento se obtuvieron diferencias estadísticas significativas, siendo el testigo el que presentó mayor rendimiento de fruto, mientras que los tratamientos con la concentración de 2 y 4 mg/L de selenio mostraron rendimientos de 26 y 38 % menor al testigo. Para la variable potencial de óxido reducción (ORP), se obtuvo que la adición de 4 mg/L de selenio aumentó el valor de ORP del fruto, mientras que la aplicación de 2 mg/L mostró un valor ligeramente menor al testigo.

Palabras clave: *Antioxidante, fresa, solución nutritiva, potencial de óxido reducción, selenio.*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cultivo de la fresa en el mundo es de importancia por la derrama económica que presenta, por lo que su consumo se encuentra en incremento entre los países desarrollados, y, siendo beneficiados los países productores y exportadores de esta frutilla en sus diversas presentaciones, siendo mayoritario la comercialización en fresco. Entre los principales países productores se encuentra en orden de importancia a Estados Unidos de América, Turquía, España, Egipto, República de Corea y México, ocupando el sexto lugar (FAOSTAT 2010).

Los principales países exportadores de fresa a nivel mundial son: España, Estados Unidos de América, Egipto, México, Países Bajos, y Bélgica (FAOSTAT 2009).

En México son quince estados los que producen fresa, pero solo tres tienen producción significativa, entre los cuales destacan Michoacán, Baja California y Guanajuato; estas tres entidades generan por lo menos el 91.55 % del total de la producción nacional y solamente Michoacán genera el 52.38 % seguido por Baja California 24.19 % y Guanajuato con un 14.98 % del total nacional de producción de fresa (SIACON, 2010). El consumo per cápita en nuestro país es de 1.500 kg promedio por persona, producto de las campañas instrumentadas sobre el consumo de fresa.

En cuanto a la fertilización, de acuerdo con Hancock (1999), la fresa tiene una alta demanda de N y de K debido a que son los mayores componentes de la fruta. Dosis óptimas N, P y K son esenciales para el desarrollo del cultivo, excesivos niveles de N pueden inducir a frutos blandos, retrasar la maduración, disminuir el rendimiento e incrementar la proliferación de enfermedades provocadas por hongos.

La solución nutritiva verdadera es aquella que contiene las especies químicas indicadas en la solución, por lo que deben de coincidir con las que se determinen mediante el análisis químico correspondiente (Steiner, 1961).

El término de .elemento mineral esencial lo propuso Arnon y Stout en 1939. El cuál marca para que un elemento se considere esencial, deben tomarse en cuenta los siguientes criterios: a) Que en ausencia del elemento mineral, la planta sea incapaz de completar su ciclo de vida, b) Que la función del elemento no sea remplazada por otro elemento mineral y c) Que el elemento esté envuelto directamente en el metabolismo de la planta, por ejemplo, como componente de un constituyente esencial (enzima), o que la planta pueda requerirlo para un proceso metabólico distinto (reacción enzimática).

Algunos elementos minerales como el iodo (I), el zinc (Zn) y el selenio (Se), constituyen una componente ambiental inductora de cambios en el crecimiento, desarrollo y calidad nutricional. Diferentes estudios indican que los elementos mencionados parecen asociarse con cambios en el estado redox celular, esto a su vez se relaciona con la habilidad de las plantas para tolerar el estrés ambiental, con la capacidad para mantener la calidad posterior a la cosecha y, lo más importante, parece relacionarse con el potencial antioxidante (Benavides *et al.*, 2010)

En este trabajo se realizo la aplicación de 0, 2 y 4 ppm de selenio como Selenito de Sodio (Na_2SeO_3) a la solución nutritiva (SN) Steiner fertirrigando a plantas de fresa.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.1 Objetivo General

Determinar la habilidad de la inducción de la capacidad antioxidante total del selenio en el tejido vegetativo, fruto de fresa, además su influencia en el crecimiento y productividad.

1.1.1 Objetivos Específicos

- 1) Documentar la capacidad antioxidante total del tejido foliar de plantas de fresa al aplicarles selenio en la solución nutritiva.
- 2) Verificar el efecto de la adición de selenio en la solución nutritiva sobre la capacidad antioxidante del fruto de fresa.
- 3) Estudiar el crecimiento y la productividad de la fresa al aplicarle selenio por medio de la solución nutritiva.

1.2 Hipótesis

La adición de selenio mediante la solución nutritiva, incrementara la capacidad de antioxidante del tejido foliar y fruto de la fresa, además de favorecer el crecimiento y productividad.

REVISIÓN DE LITERATURA

1.3 Generalidades del cultivo de la fresa

1.3.1 Origen

Los orígenes de la fresa, datan desde 1714 en Chile, donde una de las especies que dieron origen a la fresa cultivada por los nativos (*Fragaria chiloensis* L. Duch.), Después de ser llevada a Francia en 1750, esta especie y la especie norteamericana *Fragaria virginiana* e híbridas, es como nace la progenitora de la moderna fresa, y es dada a conocer por P. Miller en 1759 y A. N. Duchesne en 1766 como *Fragaria x ananassa* Duch, evolucionando hasta convertirse en la fresa mayoritariamente cultivada en el mundo, lo que estimuló a varios fitomejoradores de Inglaterra, Francia y Norteamérica a inter cruzar las especies para dar origen a un sinnúmero de variedades.

1.3.2 Producción mundial de fresa

En la actualidad, los principales productores de fresa son; Estados Unidos de América, con una producción de 1, 292,780 toneladas representando un valor de 1, 754, 663 (1000 \$ int.), seguido de Turquía con una producción de 299, 940 toneladas con valor de producción de 407, 102 (1000 \$ int.), España con 275, 300 toneladas con un valor de producción de 373, 658 (1000 \$ int.), Egipto con 238, 432 toneladas con un valor de 323, 618, República de Corea con 231, 803 toneladas con un valor de producción de 314, 621 (1000 \$ int.) y México ocupando el sexto lugar con una producción de 226,657 toneladas, con un valor de 307, 636 (1000 \$ int.) (FAOSTAT 2010).

Los seis principales países exportadores de fresa a nivel mundial son: España con exportaciones de 224, 618 toneladas representando un valor de 526, 001 (1000\$), Estados Unidos de América con 130027 toneladas con un valor de 344, 005 (1000\$), Egipto con 66, 992 toneladas con un valor de 86, 510 (1000\$), México con 61, 893 toneladas con un valor de 93, 164 (1000\$), Países Bajos con 40459 toneladas con un valor de 213, 53 (1000\$), Bélgica con exportación de 38, 044 toneladas con valor de 162, 885 (1000\$) (FAOSTAT 2009).

Los principales países importadores de fresa a nivel mundial son: Francia con 106, 831 toneladas representando un valor de 254, 166 (1000\$), Alemania con 103, 673 toneladas con valores de 256, 658 (1000\$), Canadá con 103, 073 toneladas con valor de 265, 832 (1000\$), Estados Unidos de América 84, 890 con un valor de 158, 239 (1000\$) y la UE con 43, 062 toneladas con un valor de 125, 081 (1000\$) (FAOSTAT 2009).

1.3.3 Importancia Nacional

El cultivo de la fresa considerado como el número diecisiete dentro de los veinte productos por región de importancia nacional por su valor económico de 307, 637 (1000\$ int.), pero no figurando en la tabla de importancia en producción con un área cosechada de 6, 282 hectáreas (FAOSTAT 2010).

En México son quince estados los que producen fresa, pero solo tres tienen producción significativa, entre los cuales destacan Michoacán, Baja California y Guanajuato; estas tres entidades generan por lo menos el 91.55 % del total de la producción nacional y solamente Michoacán genera el 52.38 % seguido por Baja California 24.19 % y Guanajuato con un 14.98 % del total nacional de producción de fresa (SIACON, 2010).

En los últimos seis años, la superficie sembrada de fresa en nuestro país a tenido variaciones porcentuales, por lo que desde el año 2006 al año 2010, solo se ha incrementado un 1.007 % de superficie sembrada por fresa (SIACON, 2010).

La producción de fresa en invernadero solamente se tiene reportado que se siembra en el Estado de Baja California, el cual se ha incrementado de 7 Has. en el año 2008 a 99.71 Has. para el año 2010, cabe señalar que en el año 2009 no se reportan incrementos en esta forma de producción, (SIACON, 2010).

La producción de planta de fresa en nuestro país se ha incrementado en los últimos seis años en un 59.53%, teniendo sembrado en el año 2010 477 Has.

En el año 2006 el valor de la producción nacional represento en 1, 794, 010, 929 (\$). y en el año 2010 el valor fue de 2, 192, 542, 625 incrementándose en un 22.21 % en valor de la producción (SIACON, 2010).

El rendimiento promedio de fresa por hectárea paso de 29.969 ton/Ha. en el año 2006 a 36.261 ton/Ha. en el año 2010, representando un incremento de 20.99 % (SIACON, 2010).

Actualmente el consumo per cápita en nuestro país es de 1.500 kg promedio por persona, producto de las campañas instrumentadas sobre el consumo de fresa.

1.4 Clasificación Taxonómica de fresa.

Superreino.....	Eukaryota
Reino	plantae
Subreino	Embryobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Subfamilia	Rosoideae
Tribu	Potentilleae
Subtribu	Fragariinae
Género	Fragaria
Especie	F, x
Nombre Binomial	<i>Fragaria x ananassa</i>

1.5 Características botánicas de la fresa

1.5.1 Raíz

El sistema radicular es fasciculado, se compone de raíces y raicillas. Las primeras presentan cambium vascular y suberoso, mientras que las segundas carecen de éste, son de color más claro y tienen un periodo de vida corto, de algunos días o semanas, en tanto que las raíces son perennes. Las raicillas sufren un proceso de renovación fisiológico, aunque influenciado por factores ambientales, patógenos de suelo y otros (Galleta, 1990; Maroto y López, 1988).

1.5.2 Tallo

El tallo está constituido por un eje corto de forma cónica llamado corona, en el que se observan numerosas escamas foliares; de la corona salen yemas axilares, son ramificaciones laterales conocidas como estolones caracterizadas

por poseer entrenudos distanciados entre si, en los que aparecen rosetas de hojas y adventicias.

1.5.3 Hoja

Las hojas aparecen sobre la corona en forma de roseta, son largamente pecioladas, trifoliadas, de bordes acerrados y provistos de dos estípulas rojizas.

1.5.4 Inflorescencia

Las inflorescencias se desarrollan a partir de yemas terminales de la corona o de yemas axilares de las hojas. La ramificación de la inflorescencia está formada por una flor primaria, dos flores secundarias, cuatro terciario y ocho cuaternarias. Una flor típica consta de diez sépalos, cinco pétalos, de veinte a treinta estambres y el número de pistilos va de 60 a 600. El mayor número de pistilos se encuentra en la flor primaria, decreciendo sucesivamente en número de primarias a cuaternarias (Hancock, 1999).

1.5.5 Fruto

El fruto está compuesto de numerosos ovarios, cada uno con un óvulo, el cuál al ser fecundado da lugar a un aquenio; los aquenios están distribuido sobre la superficie de un receptáculo carnoso, estimulan el crecimiento y la coloración de este dando lugar al fruto de la fresa.

1.6 Fases Fenológicas

En condiciones de cultivo normales, la fresa no dura más de tres a cuatro años, debido a las exigencias de producción, su longevidad se reduce inclusive a un año (Bianchi, 1999). Maroto y López (1988) agrupan las fases fenológicas de la siguiente manera:

Fase de reposo vegetativo; en esta etapa hay poco crecimiento foliar y se observan hojas rojizas y secas.

Fase de iniciación de la actividad vegetativa; se manifiesta por la aparición de brotes y por la formación incipiente de hojas.

Fase de botones verdes; crecen entre las hojas en estado rudimentario.

Fase de botones blancos; se observan sin que los pétalos hayan desplegado.

Fase de iniciación de la floración; cuando se cuentan entre tres y cinco flores abiertas por planta.

Fase de plena floración; Cuando un 50 % de flores están abiertas.

Fase de fin de floración; cuando se observa la caída de los pétalos y se inicia el cuajado de los frutos.

Fase de fructificación; Cuando los frutos verdes se observan claramente.

1.7 Necesidades climáticas de la fresa

La fresa es altamente sensible a factores ambientales, como la temperatura, fotoperiodo, estación del año, humedad del suelo, salinidad, nutrición mineral y entre otros; diferencias en estos factores pueden el comportamiento de la planta y así mismo cada variedad responde diferente a estos factores por su composición genética (Larson, 2000).

1.7.1 Fotoperiodo

La inducción floral es controlada por el fotoperiodo ya que las hojas son el receptor primario de la señal fotoperiódica y son el origen de señales de estimulación o inhibición que son transmitidas al meristemo apical, donde ocurre la respuesta de la floración (McDaniel, 1994).

De acuerdo al fotoperiodo, la fresa se clasifica en: de día corto, de día largo y de día neutro. Las variedades de día corto solo florecen cuando hay menos de 12-13 horas luz, los de día largo cuando las horas luz exceden a las 12 horas, mientras que las variedades de día neutro florecen sin importar el número de horas expuestas a la luz. Con días largos y temperatura moderadas (de 20° a 25 °C de día y menos de 15 °C de noche) las variedades de día corto pueden seguir floreciendo, por lo que la temperatura juega un papel en la floración (Larson, 2000).

El fotoperiodo y el termoperiodo determinan la inducción floral y por lo tanto la producción. Las variedades de día neutro pueden ser inducidas a floración al someterse a un periodo de frío a temperaturas de 1° a 5° C (Bianchi, 1999; Maroto, 1985 Morgan, 2002).

En el cultivo de fresa como en otras especies perennes el crecimiento vegetativo es antagónico al crecimiento reproductivo (Battey et al., 1998), de manera general se conoce que el crecimiento vegetativo es favorecido por días largos y altas temperaturas y el crecimiento reproductivo por días cortos y bajas temperaturas en variedades de día corto, mientras que en variedades de día neutro, el fotoperiodo no limita ni induce la floración (Guttridge, 1985).

1.7.2 Temperatura

La temperatura y el fotoperiodo son factores ambientales que influyen la floración e interactúan en la regulación de los diferentes procesos fenológicos de la planta de fresa, pero que estarán diferenciadas de acuerdo a su composición genética de las distintas variedades (Taylor, 2002). La parte vegetativa de la fresa es altamente resistente a heladas, llegando a soportar temperaturas de hasta -20 °C, aunque los órganos florales quedan destruidos con valores a 0 °C. Teniéndose como rango de temperatura óptima para el

cultivo de la fresa de 16 ° a 28 °C (Maroto y López, 1988). Las temperaturas mayores a más de 28 °C pueden estresar las plantas y reducir la floración, o causar flacidez o baja calidad de los frutos.

1.7.3 Humedad relativa

El cierre estomático al medio día parece estar controlado por el ambiente externo, principalmente por la humedad relativa del aire y, en cierto grado, por la temperatura foliar. Los estomas de muchas especies se cierran como respuesta a un aumento en la diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire. La magnitud de esta respuesta depende de la especie, de las condiciones de crecimiento y, especialmente del estado hídrico de la planta, siendo menor la respuesta con temperaturas elevadas o en plantas sometidas a sequía (Azcón y Talón., 2008).

Si las plantas experimentan un déficit hídrico, debido a que el suministro del agua no se mantiene al mismo nivel de la transpiración, pueden presentarse tres consecuencias indeseables: 1) desciende la turgencia foliar, de tal manera que la expansión celular no puede continuar; 2) aumenta la tensión en el xilema y, por tanto, el riesgo de cavitación y 3) se puede inhibir la fotosíntesis, como consecuencia de las reducciones en el suministro de ATP y la fijación de CO₂ (Independientemente del suministro del CO₂) (Azcón y Talón., 2008).

La temperatura y la humedad relativa afectan la viabilidad y la germinación de los granos de polen (Hancock, 1999).

1.7.4 Agua de riego

La calidad del agua de riego, término que se utiliza para indicar la conveniencia o limitación del empleo del agua, con fines de riego de cultivos agrícolas, para cuya determinación generalmente se toman como base las características químicas del agua; así como la tolerancia de los cultivos a las sales, las propiedades de los suelos, las condiciones de manejo de suelos y aguas y las condiciones climatológicas (Palacios y Aceves, 1970). La calidad del agua de riego juega un papel importante sobre el manejo de láminas, frecuencias de riego y el tratamiento a dar a este recurso para lograr su óptimo aprovechamiento, particularmente cuando se usan sistemas de riego presurizado (Castellanos., *et al* 2000).

Las principales variables para clasificar la calidad del agua desde una perspectiva agrícola son:

- a) concentración de sólidos disueltos o sales.

Este parámetro se mide a través de la conductividad eléctrica (CE), y es la presencia de sólidos disueltos. A medida que éstos aumentan, se incrementa en el agua la factibilidad de conducir la corriente eléctrica y es ésta la forma física de medir dicha variable. La unidad en la que se mide la conductividad eléctrica es dS/m (decisiemens por metro) equivalente a mmho/cm. También se expresa en Sólidos Disueltos Totales TDS (mg/l). Una C.E. de 1 dS/m equivale aproximadamente a 640 (mg/l), no obstante, esta equivalencia puede variar con el tipo de sal desde 0.5 hasta 1.2 mg/l por cada dS/m. En general para los fertilizantes se utiliza un valor de 900 mg/l. Por otra parte 1 dS/m equivale aproximadamente a un potencial osmótico de 0.36 atmósferas y esto es lo que finalmente se traduce en el perjuicio para las plantas, pues éstas deben gastar más energía para poder obtenerla del suelo reduciendo más el potencial osmótico del agua de la raíz para poder mantener el flujo de agua del suelo hacia la raíz (Shainberg y Oster, 1978, Castellanos., *et al* 2000).

b) Sodicidad: Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

El sodio en el agua de riego propicia la dispersión de los coloides o arcilla una vez que entra en contacto con el suelo y desplaza a los cationes divalentes: Ca^{++} y Mg^{++} , disminuyendo con ello la facilidad del suelo para conducir el agua y oxígeno en el perfil. Esto tiene un efecto negativo sobre la fertilidad del suelo, pues además de afectar la aireación incrementa el pH y reduce la disponibilidad Fe y Zn. La Sodicidad se expresa como la presencia relativa de Na^+ con respecto a los cationes Ca^{++} y Mg^{++} (Castellanos., *et a* 2000).

c) Contenido de carbonatos y bicarbonatos

La presencia de carbonatos está restringida a aguas con PH mayor a 8.2; cuando así ocurre este anión debe neutralizarse con un ácido fuerte para así transformarlo a bicarbonato.

Es normal que el agua natural contenga bicarbonatos, puesto que existe al pH que normalmente se encuentra el agua. Lo importante es el contenido, de manera que la cantidad de bicarbonatos, y los carbonatos que se transforman a bicarbonatos deben neutralizarse en una proporción que permita lograr un pH de 5.5 ó incluso de 5.0. En estas condiciones aún existe una fracción de bicarbonatos, la cual sirve para amortiguar el cambio de pH. Este amortiguamiento es todavía más eficiente cuando el pH baja hasta 5.0, debido a que permite neutralizar parte de los iones OH^- y HCO_3^- liberados a la solución nutritiva por la planta. Además de (Favela., *et al* 2006).

d) Toxicidad por iones específicos

Cuando en el agua existe algún contenido excesivo de los elementos considerados fitotóxicos, como el Cl, el Na y el B, los cuales a concentraciones mayores a 5 mg/L^{-1} pueden ser tóxicos para algunos cultivos, también aparecen otros elementos como el arsénico (As), el berilio (Be), el cadmio (Cd), el cobalto (Co), el cromo (Cr), el litio (Li), el plomo (Pb) y el selenio (Se), que a concentraciones superiores de 0.10, 0.10, 0.01, 0.05, 0.10, 2.50, 5.00 y 0.20 mg/L^{-1} respectivamente, pueden tener efectos negativos en los cultivos (Ayers y Westcot, 1987).

La fresa es un cultivo exigente en la calidad del agua de riego, ya que no resiste altas concentraciones de sales, debido a que disminuye su rendimiento con concentraciones de sales en el agua superiores a 0.8 dS m^{-1} . El perjuicio a las plantas bajo esta cantidad es que representa un potencial osmótico aproximadamente de 0.36 atmósferas y eso hace que gasten mayor energía para poder obtenerla del suelo reduciendo más el potencial osmótico del agua de la raíz para poder mantener el flujo de agua del suelo hacia la raíz. El pH del suelo óptimo para la fresa va de 5.5 a 6.5.

El grado de tolerancia del cultivo de la fresa a las sales, según el rendimiento esperado (en % de la cosecha máxima) se describe en el cuadro 1.

Cuadro 1. Grado de tolerancia del cultivo de la fresa a las sales, según el rendimiento esperado (en % de la cosecha máxima).

Cultivo	100 %		90 %		80 %		50 %		Máx. ECe.
	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	
Fresa	0.7	1.0	0.9	1.3	1.2	1.8	1.7	2.3	4.0

(Cadahía, 2005)

1.8 Hidroponía

El diccionario de la Real Academia de la Lengua Española en su vigésima segunda edición (DRA, 2001), Define Hidroponía: (De *hidro-* y un der. del gr. *πρόνοϋς*, labor). 1. f. Cultivo de plantas en soluciones acuosas, por lo general con algún soporte de arena, grava, o algún otro material.

En términos prácticos la hidroponía consiste en el cultivo de plantas sin suelo, esta herramienta permite el estudio de las plantas en ausencia, presencia o un nivel específico de abastecimiento de nutrimentos esenciales y de elementos benéficos para las plantas. Por otro lado se ha constituido en un atractivo

sistema de producción para el cultivo de plantas sin suelo a gran escala y con alta productividad en espacio y tiempo a costos razonables (Alcántar et al., 2008)

En su concepción más amplia los cultivos hidropónicos engloban a todo sistema en el que a las plantas se les hace crecer y desarrollarse en sustrato sólido diferente al suelo o en solución (Alcántar et al., 2008).

El suministro de agua y de la totalidad o parte de los minerales se hace agregando solución de fertilizantes, que contienen los elementos químicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. El concepto es equivalente al de “cultivos sin suelo” (Alcántar y Trejo, 2008).

1.8.1 Elementos y/o componentes de un sistema hidropónico

Este tipo de sistema presenta dos componentes comunes: 1) ambiente protegido, y 2) medio hidropónico. En el primero se consideran los factores que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las plantas a nivel de la parte aérea; temperatura, luz, CO₂, humedad relativa, viento, plagas y enfermedades. El segundo se refiere a aspectos críticos a considerar a nivel radical; solución nutritiva, sustrato, recipientes, oxígeno y drenaje. Todos los factores antes señalados se deben controlar y mantener en niveles óptimos para cada cultivo, si se aspira a alcanzar la más alta calidad y rendimiento de los productos de cosecha (Alcántar y Trejo, 2008).

1.8.2 Solución nutritiva

Solución que contiene exclusivamente sales minerales constituidos por los nutrientes esenciales requeridos por las plantas y que permite el crecimiento de éstas sin la presencia de suelo o materia orgánica. Su invención y difusión a partir de 1860 se atribuye a J. Sachs, prestigioso botánico alemán (Azcón y Talón., 2008).

1.8.3 Sustrato

El término *sustrato* se aplica en Horticultura a todo material sólido distinto del suelo *in situ*, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir (material químicamente activo) o no (material inerte) en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta (Abad, 1991; Abad *et al.*, 1996).

Es el medio sólido que le permite mantener erguida a la planta durante su crecimiento, además de contener el agua y los nutrientes que ésta necesita

objetivo del sustrato es de soporte a la planta, aireación, y tiene características químicas de no proporcionar nutriente alguno. El sustrato puede ser turba, lana de roca, perlita, fibra de coco etc. El más común para cultivo de fresa en invernadero es la turba con adecuada capacidad buffer con 10% de material inerte para favorecer la aireación. El uso de fibra coco es una práctica muy común (Martínez y León, 2004).

1.9 Requerimientos nutrimentales de la fresa

1.9.1 Elementos esenciales

De acuerdo con Hancock (1999), la fresa tiene una alta demanda de N y de K debido a que son los mayores componentes de la fruta. Dosis óptimas N, P y K son esenciales para el desarrollo del cultivo, excesivos niveles de N pueden inducir a frutos blandos, retrasar la maduración, disminuir el rendimiento e incrementar la proliferación de enfermedades provocadas por hongos.

La planta absorbe el fósforo en forma de fosfatos inorgánicos, principalmente como aniones (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}); no obstante la planta puede también, a través de sus enzimas desprender los grupos fosfatos de los compuestos orgánicos y posteriormente absorberlos. Este elemento a diferencia del N y EL S, no es reducido en la planta al ser asimilado por ella, si no que es incorporado a los compuestos orgánicos en su mismo estado de oxidación (Alcántar y Trejo, 2008).

El potasio es requerido para muchos procesos fisiológicos en la planta, dentro de los cuales destacan la activación de enzimas, el transporte de azúcares, funciones estomáticas, síntesis de proteínas fotosíntesis (Maas, 1998), Albregtset *al.* (1991) realizó estudios para determinar la relación óptima de potasio, indica que el potasio incrementa la producción floral y el rendimiento en fruta. El calcio es importante para la firmeza de los frutos; la deficiencia de boro puede provocar una reducción en la en la producción de polen viable, así como evitar la expansión del receptáculo; deficiencias de Zinc provocan frutos pequeños y se reduce el rendimiento; deficiencia de hierro reducen vigor de las hojas (Hancock, 1999).

1.9.2 Elementos benéficos

Algunos autores llaman así a los elementos que estimulan el crecimiento pero que no son esenciales o a los elementos que son esenciales solamente para cierto grupo de especies vegetales. También se ha definido como elementos benéficos, a aquellos que pueden compensar los efectos tóxicos de otros elementos o que pueden reemplazar a los nutrientes esenciales en alguna función menos específica, como el mantenimiento del potencial osmótico.

Considerando lo anterior, podemos agrupar dentro de esta categoría al sodio (Na), silicio (Si), cobalto (Co), aluminio (Al), selenio (Se), Níquel (Ni), yodo (I) y vanadio (V) (Alcántar, 2008).

1.9.3 Selenio

El Se es un elemento mineral natural, ampliamente distribuido en la naturaleza en la mayoría de las rocas y suelos; en forma pura existe como cristales hexagonales gris metálicos a negros, pero en la naturaleza generalmente está combinado con sulfuro o con minerales de plata, cobre, plomo y níquel (ATSDR, 2009). El selenio es un metaloide del Grupo 16, encontrándose justo abajo del S en la tabla periódica, dándole así propiedades químicas similares a este último elemento (Cruz-Jiménez, 2005).

El selenio (Se), elemento benéfico, es uno de los elementos más distribuidos en la tierra, teniendo una abundancia media de 0.09 mg kg^{-1} (H.W., 1972). El selenio fue identificado como un nuevo elemento químico en 1818 por J.J. Berzelius en Gripsholm, Suecia. Fue aislado del residuo color rojo producido durante la oxidación del dióxido de azufre proveniente de piritas de cobre para la producción de ácido sulfúrico (N. Terry *et al.*, 2000). Aunque el selenio no es considerado un micronutriente esencial en la planta (Mengel y Kirkby, 1987), éste es esencial para el mantenimiento de salud (Herlong *et al.*, 1998). La deficiencia o toxicidad de selenio en la vida del humano es raro, pero puede ocurrir en áreas localizadas, debido al bajo contenido de selenio en suelos y productos cosechados locales (Combs, 1989). Últimamente se ha dado mucha atención sobre el rol del selenio rediciendo ciertos tipos de cánceres y enfermedades. El esfuerzo en plantas ha empezado a mejorar el contenido de selenio en la dieta de comida agría.

Desde su descubrimiento, este metaloide ha tenido importantes aplicaciones en la industria. Se utiliza en la producción de celdas fotoeléctricas y conductores de luz en las fotocopiadoras xerográficas, por su característica de producir y conducir corriente eléctrica debido a la excitabilidad de sus electrones en la luz (Brown, et al., 2009)

El selenio, elemento que no aparece en los listados de elementos esenciales para las plantas y por ende no se considera ni en los análisis de suelos, aguas y tejidos vegetales ni tampoco se toma en cuenta para la fertilización mineral de los cultivos (Benavides *et al.*, 2010)

La deficiencia y toxicidad de selenio ocurre en ganado en donde el suelo es muy bajo o muy alto en selenio. Lo mismo se observa en el hombre, aunque el

número de casos documentados es menos en estos últimos. El selenio funciona en ciertas enzimas.

1.9.3.1 Disponibilidad de selenio en suelos

La especie química de selenio en ambientes naturales está determinada por una variedad de factores físicos, químicos y biológicos, los cuales están asociados con cambios en su estado de oxidación. En la figura 1., Se muestran las diferentes formas de selenio en función del pH y las condiciones de óxido reducción (Eh) del medio (Camps, 2001).

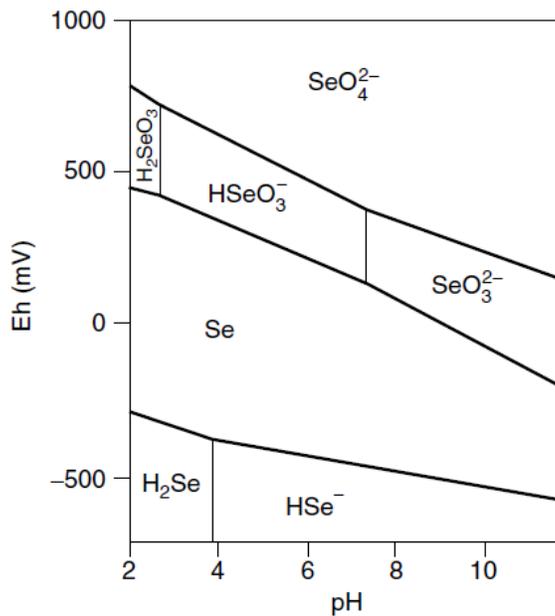


Figura 1 Formas de selenio en función del pH y las condiciones de óxido reducción (Eh) del medio (Camps, 2001).

De manera similar al azufre, el selenio puede existir en cinco diferentes estados de oxidación: 1) selenuro (2^-); 2) selenio elemental $Se(O)$; 3) thioselenato (2^+); 4) selenito (4^+); y 5) selenato (6^+) (Reamer y Soller, 1980). Las diferentes formas de selenio determinan su solubilidad y en consecuencia su disponibilidad. Los selenatos (6^+), la forma más oxidada de selenio, son altamente solubles en agua, y es generalmente considerada la forma más tóxica. Los selenitos (4^+) se encuentran en ambientes óxicos y subóxicos y son menos disponibles para los organismos, en virtud de su alta afinidad por los sitios de sorbción de sedimentos y constituyentes del suelo. Bajo condiciones anóxicas él Se elemental y los selenuros (2^-) son las formas termodinámicamente más estables. El selenio elemental es relativamente insoluble y los selenuros (2^+) precipitan como metales de selenuros (2^-) de muy

baja solubilidad. Los compuestos de selenio orgánico (2^-) tales como la selenometionina y la selenocisteína pueden acumularse en el suelo, sedimentos o mineralizarse a Se inorgánico. De esta manera, Se (6^+), Se (4^+) y el Se orgánico (2^-) son las formas solubles más importantes en ambientes naturales (Zhang *et al.*, 1999).

El selenio también existe en formas volátiles, como los dimetilselenuros (DMSe, $(\text{CH}_3)_2\text{Se}$) y los dimetildiselenuros (DMDS, $(\text{CH}_3)_2\text{Se}_2$) (Fan *et al.*, 1997).

La concentración total de Se en la mayoría de los suelos se estima alrededor de 0.2 ppm, y los suelos con cantidades mayores son clasificados como suelos seleníferos y generalmente tienden a presentar una textura pesada o arcillosa (Rosenfeld y Beath., 1964).

La cantidad de selenio en el suelo puede ser clasificada con base en los niveles del mismo encontrados en plantas que no lo acumulan, pero que crecen en dicho suelo, o bien de acuerdo al nivel de selenio en el propio suelo (Davis *et al.*, 2002).

1.9.3.2 Selenio en plantas

Todas las formas de selenio han sido encontradas en hojas, tallos y raíces de plantas. Las plantas cultivadas que crecen en suelos no seleníferos, presentan concentraciones de selenio de 0.01 a 1 mg kg^{-1} de peso seco (Marschner, 2002)

Debido a que las plantas difieren en su capacidad de acumulación, se le han clasificado en tres grupos; 1) Acumuladoras de selenio, 2) no acumuladoras de selenio y acumuladoras secundarias de selenio. En el primer grupo se encuentran diversas especies de los géneros *Astragalus*, *Stanleya*, *Morinda*, *Neptunia*, *Oenopsis* y *Xylorhiza*; acumulando selenio desde cientos hasta varios miles de miligramos de selenio por kilogramo de peso seco en sus tejidos. En el segundo grupo, se incluyen la mayoría de las especies forrajeras, plantas cultivadas, así como los pastos conteniendo menos de 25 mg Se kg^{-1} de peso seco y no acumulan selenio por arriba del límite de 100 mg Se kg^{-1} de peso seco cuando crecen en suelos seleníferos (Brown y Shrift, 1982). Las especies no acumuladoras contienen altas concentraciones de selenometionina, mientras que las altas acumuladoras contienen cantidades mínimas de selenometionina y grandes cantidades de las formas inorgánicas como selenato y selenito de sodio (Mayland, 1994; Wu, 1998). La tercera categoría de plantas (también llamadas semi-acumuladoras) crecen en suelos que contienen niveles medio o alto de selenio y acumulan hasta 1000 mg Se kg^{-1} de peso seco. Recientemente se han identificado especies de *Brassicaceae* de rápido crecimiento como mostaza india (*Brassicajuncea*) y canola (*B. napus*), como nuevas especies acumuladoras secundarias de selenio, con una concentración de algunos

cientos de mg de Se kg⁻¹ de peso seco en tallos, cuando crecen en suelos contaminados con niveles moderados de Se (Bañuelos *et al.*, 1997).

El selenio es metabolizado en las plantas por la vía de asimilación del azufre y su distribución y acumulación dependerá de la especie química y la concentración del elemento suministrado a las raíces y por vía foliar, así como de la naturaleza y la concentración de otras sustancias en la solución (Terry *et al.*, 2000). Respecto a su forma química, en el corto plazo la mayor parte de Se tomado como selenato se mantiene en forma inorgánica, mientras que cuando se aplica como selenito se acumula en su forma orgánica (Cartes *et al.*, 2006).

Recientemente ha habido reportes de selenoproteínas en *Chlamydomonas reinhardtii*, pero hasta ahora las pruebas para detectarlas en plantas superiores han sido negativas (Fu *et al.*, 2002; Novoselov *et al.* 2002).

Cantidades mínimas de selenio han incrementado el crecimiento de algunas especies de plantas. Bajas concentraciones de este elemento inhiben la peroxidación de lípidos en *Lolium perenne*, y esta disminución coincide con un mayor crecimiento (Hartikainen *et al.*, 2000).

Las plantas absorben el selenio del agua, suelo o sedimentos y pueden acumularlo en sus tejidos y volatilizarlos. El selenio tomado por las plantas puede ser asimilado como formas inorgánicas (sin sufrir alteraciones), incorporado en proteínas que contienen selenio, y acumulado siguiendo la ruta metabólica del azufre, pudiendo ser incorporado de manera no específica dentro de compuestos de bajo y alto peso molecular, o formando parte de especies de selenio no proteicas (evitándose así la adición de Se-aminoácidos dentro de las proteínas) (Montes-Bayón *et al.*, 2002).

Los selenatos son tomados por la planta de una manera preferente sobre los selenitos, y acumulado tanto en raíces como en parte aérea.

En cuanto a la habilidad para inducir la capacidad antioxidante Cartes *et al.* (2005) demostraron que el selenito es un inductor más eficiente de la actividad glutatión peroxidasa.

Benavides y colaboradores, en el 2010 realizaron aportes de selenito de sodio a la solución nutritiva, por vía foliar y en aplicación pos cosecha a frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), utilizando sustratos inertes, lo cual concluyen que induce rápida toxicidad con aportes de selenio de 10 a 20 mg L⁻¹ como selenito de sodio (Na₂SeO₃) en la solución nutritiva, mientras que los aportes de 10 mg L⁻¹ en suelo y en turba canadiense aumentan el tamaño y calidad de los frutos.

1.9.3.3 Toxicidad de selenio en plantas

Cuando las plantas son expuestas a altas concentraciones de selenio presentan diferentes síntomas de daños, como; inhibición de crecimiento, clorosis, hojas blanquecinas y quebradizas, disminución de la síntesis de proteínas y una muerte prematura de la planta (Mengel y Kirkby, 1987).

La cantidad de selenio que pueden absorber las plantas sin que presenten síntomas de toxicidad, varía de manera muy significativa entre plantas acumuladoras de selenio y las no acumuladoras. La concentración crítica de selenio en tejido en plantas no acumuladoras, que resulta en una reducción del 10 % en el rendimiento varía en 2 mg Se kg⁻¹ en arroz a 330 mg Se kg⁻¹ en trébol blanco (Mikkelsen *et al.*, 1989). La tolerancia a selenio puede incrementarse con el aumento en el abastecimiento de sulfatos, con lo cual el umbral en la concentración de selenio puede ser o no siempre la misma (Mikkelsen *et al.*, 1989).

La biodisponibilidad del selenio como un nutrimento o como agente tóxico depende altamente de las especies de Se presentes (Zhang *et al.*, 2001). Selenatos y selenitos son las formas principales en las que el selenio es tóxico para las plantas.

El principal mecanismo por el que una alta acumulación de selenio en planta induce la toxicidad por selenio está asociado con la incorporación de selenocisteína (SeCys) y selenometionina (SeMet) en las proteínas, en sustitución de cisteína (Cys) y metionina (Met), respectivamente (Brown y Shrift, 1982). Las diferencias en tamaño y propiedades de ionización entre el azufre y el selenio, conducen a alteraciones significativas en la estructura de la proteína. El enlace entre dos átomos de selenio es aproximadamente un séptimo más largo (distante) y un quinto más débil que el enlace disulfido. De esta manera, la incorporación de la SeCys en lugar de la Cys dentro de la proteína puede interferir en la formación de puentes disulfido, lo que origina alteraciones en la estructura terciaria de la S-proteínas y en un efecto negativo en su actividad catalítica.

Otra vía por medio de las cuales el selenio puede inducir toxicidad en plantas. Este elemento induce clorosis, posiblemente a través de un efecto adverso en la producción de porfobilinógenosintetasa, una enzima requerida para la síntesis de clorofila (Padmaja *et al.*, 1989). El selenato y el selenito interfieren con la reducción *in vivo* del nitrato en hojas. El selenato puede interferir con la síntesis de GSH (glutathiona); lo cual puede disminuir las defensas de la planta contra radicales hidroxilos y el estrés oxidativo (De Kok y Kuiper, 1986).

1.9.3.4 Tolerancia al selenio

El principal mecanismo de tolerancia al selenio es la reducción de la concentración intracelular de SeCys y SeMet las que de otra manera pueden ser incorporadas dentro de proteínas con efectos perjudiciales en la función de la planta. Un mecanismo alternativo para la exclusión de selenio de las proteínas puede ser mediante la capacidad de los acumuladores de selenio, para discriminar contra la incorporación de los selenoaminoácidos dentro de las proteínas (Burnell y Shrift, 1979)

Otro aspecto relacionado con la tolerancia a selenio, es la capacidad de las plantas para volatilizarlo (fitovolatilización). Las tasas de la volatilización varía también considerablemente entre especies; por ejemplo, con un abastecimiento de 10 μM de selenato; arroz, brócoli y calabaza volatilizaron entre 200 y 350 $\mu\text{g Se m}^{-2}$ de área foliar por día, comparado con menos de 15 $\mu\text{g Se m}^{-2}$ de área foliar por día en remolacha azucarera, lechuga y cebolla (Terry *et al.*, 1992).

1.9.3.5 Selenio y salud humana

La importancia biológica se puso en evidencia; primero como un tóxico y después como un nutrimento indispensable en la dieta de animales y humanos. Marco Polo describió signos de intoxicación por selenio en los animales de carga en su trayecto por China Occidental en el siglo XIII, ya que se dio cuenta que la ingestión de algunas plantas de la zona les hacía cojear y perder la pezuñas (Oldfield, 1995). En seres humanos, fue el padre Pedro Simón en 1560 quién informo sobre pérdida de pelo y uñas en personas que vivían en cierta región de Colombia, la que ahora se sabe tiene un suelo muy rico en selenio (National Academies Press, 1983).

El Se es de fundamental importancia para la salud humana como un componente de selenoproteínas, que desempeñan funciones estructurales y enzimáticas (Combs, 2001; Rayman, 2002). Entre las más conocidas están la de antioxidante (Combs, 2001) y catalizador para la producción de la hormona tiroidea activa (Thomson *et al.*, 2005). Existe evidencia creciente de que la deficiencia de Se puede causar efectos adversos a la salud y, además, que su aumento como componente nutricional puede otorgar protección adicional contra las enfermedades (Diplock, 1993; Combs, 2001). Las selenoproteínas están involucradas en muchos aspectos del metabolismo celular, entre otros la enzima glutatión peroxidasa (GPX) contiene como componente fundamental al Se y es esencial para proteger a las células y tejidos del daño autooxidativo debido a la producción de radicales libres (Arthur, 2003). Por otra parte, la deficiencia de Se tiene un efecto adverso sobre la inmunocompetencia, existiendo evidencia de que la suplementación con Se mejora la respuesta

inmune en humanos y que este elemento es un nutriente clave en la lucha contra determinadas infecciones virales como la influenza y VIH-SIDA (Jackson *et al.*, 2004).

La deficiencia de Se está asociada con estados de ánimo negativos. Igualmente cada vez hay más evidencias de que niveles de ingesta de Se superiores a 300 µg (Combs, 2001) se encuentran asociados con la reducción de riesgo del cáncer (Whanger, 2004; Jackson *et al.*, 2004; Rayman, 2005; ATSDR, 2009), específicamente el de hígado, próstata, colo-rectal, y de pulmón (Rayman, 2005), así como la disminución de la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Céspedes-Cabrera, 2000), disminución del estrés oxidativo, aumento de la fertilidad y de la función inmune (Broadley *et al.*, 2006).

1.10 Antioxidantes

1.10.1 Generalidades de los antioxidantes

En la última década se han acumulado evidencias que permiten afirmar que los radicales libres y el conjunto de especies reactivas que se les asocian juegan un papel central en nuestro equilibrio homeostático. Las reacciones químicas de los radicales libres se dan constantemente en las células de nuestro cuerpo y son necesarias para la salud, pero el proceso debe ser controlado con una adecuada protección antioxidante. Entre los antioxidantes que se ingieren por la dieta destacan las vitaminas y los compuestos fenólicos que por diversos mecanismos neutralizan especies radicalarias. Estas especies pueden encontrarse en el plasma sanguíneo, el que puede estabilizar especies reactivas del oxígeno, previniendo reacciones que pueden generar especies aún más nocivas. Es de especial importancia su consumo moderado a través de la dieta y evitar los factores de riesgo que inducen reacciones oxidativas en nuestro organismo (Avello y Suwalsky., 2006).

Las células poseen antioxidantes para protegerse de las ROS (Especies Reactivas de Oxígeno) y de otros radicales. Los antioxidantes son *agentes reductores* que pueden reaccionar fácilmente con las sustancias oxidantes y por eso protegen de la oxidación a las moléculas más importantes. Entre los antioxidantes biológicos figuran la vitamina C y E, la coenzima Q, y algunos carotenoides. La bilirrubina, formada por la degradación del hemo, también protege contra la degradación. De especial importancia es el glutatión, un tripéptido que existe en altas concentraciones en casi todas las células el glutatión tiene un enlace peptídico y atípico entre Glu y Cis. El grupo tiólico del residuo de cisteína tiene actividad redox y cuando se oxidan dos moléculas de la forma reducida (GSH, arriba) se enlazan y forman el disulfuro (GSSG, abajo) (Koolman y Rôhn., 2004).

1.11 Procesos redox

El potencial redox (Eh) es un valor relativo medido contra el punto 0 del electrodo normal de hidrógeno u electrodo secundario de referencia. Cualquier sistema o ambiente que acepte electrones de un electrodo normal de hidrogeno es una media celda con un potencial redox positivo. En contraposición, cualquier sistema o ambiente que done electrones al electrodo normal de hidrógeno se define como una media celda con un potencial negativo. El potencial redox se mide en milivoltios o voltios. Un valor de Eh positivo y de alta magnitud es indicativo de un ambiente que favorece las reacciones de oxidación. Del otro lado, un valor Eh negativo y de baja magnitud es indicativo de un ambiente altamente reductor.

1.11.1.1 Importancia ecológica:

Las reacciones de oxidación y reducción regulan el comportamiento de muchos compuestos químicos presentes en cuerpos de agua naturales. La reactividad, solubilidad y movilidad cíclica de elementos esenciales para los sistemas biológicos (Eje; Fe, S, N, C, P, y varios elementos metálicos) son afectados por cambios en el potencial redox. Al mismo tiempo, el potencial redox afecta la distribución y actividad metabólica de microorganismos.

La distribución espacial de de microorganismos aerobios y anaerobios esta determinada principalmente por el potencial redox del ambiente. Los microorganismos aerobios estrictos son metabólicamente activos a potenciales redox positivos, mientras que los anaerobios estrictos (Ej.: metanobacterias) demuestran actividad metabólica, solo a potenciales redox negativos. Los microorganismos anaerobios facultativos demuestran actividad metabólica sobre un rango amplio de valores de Eh . Estos utilizan oxígeno como aceptor final de los electrones a valores Eh altos. Cuando el potencial redox es bajo, algunos de estos microorganismos llevan a cabo reacciones de fermentación mientras otros obtienen energía a través de la respiración anaerobia.

La oxidación / reducción de una solución es la capacidad de absorber o emitir sus sales diluidas. Este parámetro es de vital importancia en el tratamiento del agua o piscinas, especialmente para comprobar el poder desinfectante del cloro. Cuanto más positivos sean los valores de medición, mejor será el proceso de regeneración del agua. Por ello se encuentran herramientas sencillas y económicas para su medición.

La tensión redox se expresa en mV nos informa sobre el potencial de oxidación o de reducción. Se emplea un electrodo de metal que posee la capacidad de tomar o entregar electrones. Como el mismo electrodo no puede reaccionar con

el medio, hace falta utilizar metales nobles. Si en el medio se encuentran sustancias oxidantes o reductoras, se da un intercambio de electrones. El intercambio provoca a su vez una tensión eléctrica que podrá ser medida.

1.11.1.2 Reacciones redox.

Las reacciones redox son transformaciones en las cuales los elementos participantes intercambian electrones. Como en las reacciones ácido-base, en las reacciones redox siempre participan *pares* de compuestos, los que en conjunto se denominan sistema redox. Los dos componentes del sistema se diferencian por el número de electrones que contienen, y según el compuesto el componente más rico en electrones es la forma *reducida* y el más *pobre* la forma oxidada. El compuesto reducido de un sistema (agente reductor) transfiere electrones a la forma oxidada del otro (agente oxidante), con lo cual el primero se oxida y el segundo se reduce. Un sistema reductor determinado solo puede reducir algunos sistemas de modo que todos los sistemas redox se pueden ordenar en las llamadas *series redox* (Koolman y Rôhn., 2004).

El lugar que ocupa un sistema en la serie, esta dado por su *potencial redox*. El potencial redox E tiene una característica, a saber, puede ser más negativo o más positivo que un potencial de referencia definido arbitrariamente como igual a cero (el potencial normal del sistema $[2H^+/H_2]$). Además, E depende de las concentraciones de los reactantes y de las condiciones de la reacción. En las series redox los sistemas están ordenados según un potencial redox creciente. Las transferencias espontáneas de electrones solo son posibles cuando el potencial redox del donador es *más negativo* que el del aceptor (Koolman y Rôhn., 2004).

1.12 Plagas y enfermedades del cultivo

Las causas más comunes del crecimiento deficiente de las plantas y de la destrucción de cosechas son los fitopatógenos, el clima desfavorable, las malezas y las plagas de insectos (Agrios, 2008). La fresa es atacada por diversas enfermedades causadas por bacterias, hongos y virus (Agrios, 1991). Las plantas presentan enfermedad cuando una o varias de sus funciones son alteradas por los organismos patógenos o por determinadas condiciones del medio (Agrios, 2008). Los cultivos de fresa en invernadero son vulnerables a insectos plaga y enfermedades; encontrando en ellos condiciones ideales para su rápida multiplicación (Martínez y León, 2004). Una plaga es un organismo que reduce el aprovechamiento, la calidad o el valor de algún recurso de interés para humano.

Las principales plagas de la fresa son: Araña roja (*Tetranychusurticae*. Koch) pulgón de la fresa *Chaetosiphon (pentatrichopus) fragaefolii* (Cockerell), (Anaya., *et al* 1999, Jiménez., *et al* 2008, Villegas., *et al* 2010).

Las enfermedades más importantes son: enfermedades fungosas; Enfermedades de frutos; Moho gris (*Botrytiscinerea*), Antracnosis (*Gloesporium* sp. Y *Colletotrichum* sp.), Pudrición coriácea del fruto (*Phytophthoracactorum* Schroet y *P. cactorum* var. *applanata* Chester), Pudrición dorada o cobriza del fruto (*Phytophthoracapsici* Leo), Cenicilla (*Sphaerothecamacularis*) (Wall. Ex Fr.) *fragariae* Pieris (*Oídium fragariae* Harz.), Enfermedades foliares; Peca de la hoja: *Ramulariatulasnei* (*Mycosphaerellafragariae*), Quemadura de las hojas o mancha negra (*Marssoninafragariae*) (Lib.) Kleb. *Diplocarponaerliana* (Ell. Y Ev.) Wolf, Enfermedades de raíz; Achaparramiento, pudrición de raíz o secadera (*Fusarium* spp, *Rhizoctoniasp* y *Verticillium* sp) (Anaya., *et al* 1999, Jiménez., *et al* 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, en el ciclo otoño invierno de 2011, en el invernadero con diseño baticenital del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El cuál se encuentra localizado a una altura de 1600 msnm, entre los 25° 24 ´ de latitud norte y 100 ° 02 ´ de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

4.2 Material vegetal

El material vegetal que se utilizo para este trabajo fue planta de fresa *Fragaria x ananassavar*. Festival. Misma que fue proporcionada por la empresa Hacher Fres S.A. de C.V. de R. L. ubicada en Zamora Michoacán. México.

4.3 Establecimiento del experimento

Para este trabajo se utilizo material vegetal de fresa *Fragaria x ananassa* var. Festival y se evaluaron tres tratamientos que se describen en el cuadro 2.

Los tratamientos fueron fertirrigados con solución nutritiva (SN) Steiner, de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo el porcentaje de la SN se incrementó. Aplicando 2 ppm de Selenio al segundo tratamiento, y, al tercero se le adicionó 4 ppm. Para ello se preparó una solución madre adicionando 0.5 ml de solución madre por un litro de agua teniendo la solución a 2 ppm de selenio, para el segundo caso se agregó 1 ml de solución por litro de agua teniendo la SN a 4 ppm.

Las aplicaciones de Selenio fueron aplicados como Na₂SeO₃ (Selenito de Sodio) al 99 % de pureza.

Cuadro 2 .Tratamientos estudiados en el cultivo de fresa *Fragaria x ananassa* var. Festival, en Saltillo, Coahuila, 2011.

TRATAMIENTO	
1	Testigo Solución Steiner
2	Solución Steiner + 2 ppm de Selenio
3	Solución Steiner + 4 ppm de Selenio

El Selenio se aplico como selenito de Sodio al 99 %. Na₂ SeO₃ de la empresa SIGMA-ALDRICH.

4.4 Preparación del área de investigación

Se acondicionó el área donde se asentó la unidad experimental, implementándose actividades como: limpieza, nivelación de terreno, levantamiento de tres camas de 80 cm de ancho por 10 m de largo, con canaleta en medio de las camas y acolchado.

4.5 Rellenado de bolsas de polietileno e instalación del sistema de riego

Se utilizaron 120 bolsas de polietileno con capacidad de 5 litros c/u mismas que fueron rellenas con sustrato utilizando peat moss y perlita a razón de 1:3 previamente mezclado e hidratado.

El sistema de riego colocado consistió en manguera de 16 mm con 10 m de largo y perforaciones de 25 cm de distancia, misma que se insertaron tubines y estacas para hacer llegar la solución nutritiva a las plantas. Además de que estaban unidas hacia un extremo con una bomba marca AQUA, modelo 4221, con capacidad de 3500 l/h. y éstas a su vez sumergidas en un tonel con capacidad de 200 l preparados con los tratamientos a aplicar.

Se realizaron pruebas previas de riego para tener dato de gasto de agua por gotero y así tomar decisiones de números de riego por día.

4.6 Trasplante

Previo al trasplante se escogieron las plántulas con fines de uniformidad en tamaño de tallo y raíz, se sumergieron en una solución desinfectante y se trasplantaron en las macetas. El trasplante se realizó el día 15 de octubre de 2011.

4.7 Nutrición del cultivo

La nutrición del cultivo fue aplicada con el agua de riego y fue realizada hasta ocho veces por día y la preparación de solución nutritiva (SN) fue en base a lo siguiente (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Requerimientos de fertilizantes de acuerdo a Steiner(1984).

Fertilizante	Peso de fertilizante para 1 meq L ⁻¹	Solución Steiner	Mezcla final	100 %
	g 1000 L ⁻¹	Meq L ⁻¹	g 1000 L ⁻¹	g 200 L ⁻¹
Ca(NO ₃) ₂ *4H ₂ O	118	9	1062	212.4
KNO ₃	101	3	303	60.6
K ₂ SO ₄	90	3	270	54
MgSO ₄ * 7H ₂ O	123	4	492	98.4
H ₃ PO ₄	32.60	1	32.6	6.52

Cuadro 4. Cantidades de reactivos que se deben pesar para preparar solución madre de microelementos (elementos menores), a una concentración de 100%, con base en las recomendaciones de Arnon (1938) y Steiner (1984).

Nombre del reactivo	Fórmula	Peso molecular	Peso molecular del elemento	Partes por millón (mg L ⁻¹)	Cantidad de reactivo (mg L ⁻¹)
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	61.811	(B) 10.811	0.5	2.8
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ * H ₂ O	168.938	(Mn) 54.938	0.7	2.2
Sulfato de Zinc	Zn SO ₄ * 7 H ₂ O	287.39	(Zn) 65.390	0.09	0.4
Sulfato de cobre	Cu SO ₄ * 5 H ₂ O	249.546	(Cu) 63.546	0.02	0.08
Molibdato de sodio	Na ₂ MoO ₄ * 2 H ₂ O	241.918	(Mo) 95.940	0.04	0.1
Fe-quelato (7 % Fe)	Fe-EDTA	345.847	(Fe) 55.847	3.00	42.85

Se aplicó solamente agua desde el trasplante por un periodo de quince días a razón de 600 ml de agua por maceta diaria, esto con la finalidad de que las plantas se aclimataran y emitieran sus raicillas.

A partir del primero de noviembre se adicionó solución nutritiva Steiner, a razón de 15 %.

Para el 11 de noviembre del mismo año se inició con la aplicación de Selenio, adicionado a la solución nutritiva. Para el tratamiento 1 (T₁: Testigo); se aplicó SN, para tratamiento 2 (T₂); se aplicó SN + 2 ppm de Selenio (como Na₂SeO₃) y para el tratamiento 3 (T₃); se aplicó SN + 4 ppm de Selenio (como Na₂SeO₃).

Los diferentes números de riego durante el periodo establecido del cultivo, estuvieron en función por la demanda del agua, considerando factores climáticos que se presentaron en el transcurso del experimento. De acuerdo al manejo que la fresa demanda.

4.8 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 40 repeticiones por tratamiento, tomando como unidad experimental una planta.

4.9 Variables estudiadas

Para la variable de biomasa se tomaron datos de materia fresca y seca, se tomaron tres muestreos; el primer muestreo fue antes del trasplante con la finalidad de tener datos de referencia inicial para esta investigación, el segundo muestreo fue en la etapa de desarrollo y se realizó a los 60 días después del trasplante y la tercera muestra se tomó en la fase de producción a los 98 días después del trasplante. Este mismo material se envió para cuantificar el contenido de minerales. Para el peso promedio de frutos se tomaron diferentes muestras de fruto maduros desde inicio de producción hasta término de la investigación, también se llevó al mismo tiempo la toma de lecturas de ORP (Potencial de Oxido Reducción) una vez que se tuvo frutos de fresa.

4.9.1 Materia fresca

Antes del trasplante se sustrajeron tres plantas, y, se pesaron en una balanza Marca: Sartorius, Modelo: CP224S. El peso se reporto en gramos.

Se sustrajo cinco plantas completas por tratamiento en dos etapas y se pesaron en una balanza Marca: Sartorius, Modelo: CP224S. La materia fresca se reporta en gramos y fue pesado inmediatamente después de la sustracción de la planta, pesando por secciones de la planta; raíz, tallo, hoja y fruto (se sustrajo toda la raíz que fue posible del sustrato).

4.9.2 Materia seca

Posterior al pesaje de la materia fresca, las plantas se incorporaron a un horno de secado Marca: Arsa a una temperatura de 80 °C por 72 horas. Pasado el tiempo se procedió a pesar en una balanza Marca: Sartorius, Modelo: CP224S reportando el peso de biomasa en gramos.

4.9.3 Contenido de minerales

Molienda: Una vez secas las muestras, se molieron en mortero de porcelana y se colocaron en frascos de plástico, se realizo con máximo cuidado para no contaminar los diferentes tratamientos.

Digestión: Se realizó por el método de acenización húmeda; consistió primeramente en preparar una mezcla de ácido nítrico concentrado (HNO_3) y ácido perclórico concentrado al 60% (HClO_4) en relación 3:1, Se pesó un gramo de la muestra en una balanza analítica y se colocó en un vaso de precipitado con capacidad de 50 ml identificando cada una de las muestras agregándole 3 pequeñas bolas de vidrio (para disminuir efervescencia), se agregó 40 ml de la mezcla digestora y se colocaron en una parrilla eléctrica bajo una campana para su posterior digestión. La parrilla se calienta a una temperatura de 100 °C,

y aproximadamente 20 minutos después se incrementa la temperatura a 350 °C, se cuida de que no se seque agregándole continuamente mezcla digestora, al inicio de este proceso se visualiza el desprendimiento de humo de ácido sulfúrico, pasado unas horas, se visualiza la muestra de color claro y se deja aproximadamente 20 ml de la solución, se sustrae el vaso de precipitado de la parrilla y se deja enfriar. Se añade agua desionizada al vaso de precipitado que contiene la muestra y se filtra a un matraz volumétrico con capacidad de 100 ml través de un papel filtro del número 40. Posterior a ello, se afora a 100 ml con agua desionizada (Toda muestra se identifica siempre a cada proceso). Se vacía la muestra a frascos de plásticos.

I. DETERMINACIÓN DE MINERALES POR MÉTODO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Las lecturas de Cu, Zn, Mn, Fe, Mg, K, Na y Ca. Se realizaron por método de espectrofotómetro de absorción atómica de acuerdo a los métodos de la AOAC (1980), con el espectrofotómetro modelo "SERIES AA-1275 de la marca VARIAN". El principio de la espectrofotometría de absorción atómica mide la energía que absorben los átomos. El elemento de interés se disocia de sus enlaces químicos y se coloca en un estado no excitado, no ionizado y en su estado mínimo de energía. En estas condiciones el elemento es capaz de absorber radiación externa que es la que se mide. Cada elemento tiene su propio espectro de emisión y absorción que es característico. Las energías de emisión y absorción no tienen siempre la misma longitud de onda. La radiación con longitud de onda en donde ocurre emisión y absorción son útiles en absorción atómica y se conocen como líneas de resonancia (Fick., *et al* 1979), .

II. DETERMINACIÓN DE FÓSFORO POR MÉTODO COLORÍMETRO.

Para la medición de fósforo se utilizó el método por colorimetría de luz ultravioleta visible (AOAC 1980). Principio: el ion ortofosfato reacciona con molibdato de amonio para formar un compuesto de molibdato de fósforo. El compuesto de molibdato de fósforo se reduce a un complejo azul de molibdato con ácido α aminonaftolsulfónico. El color formado se debe al ortofosfato presente en la solución. El equipo que se utiliza es un espectrofotómetro o fotocolorímetro (Fick., *et al* 1979).

4.9.4 Peso promedio de frutos

Al inicio de la producción de frutos de fresa, se seleccionaron y marcaron al azar cinco plantas por tratamiento, se recolectaron los frutos maduros por

treinta y seis días, cada muestra se introdujo en una bolsa de polietileno para evitar su deshidratación y posterior a ello se pesaron en una balanza Marca: Sartorius, Modelo: CP224S reportando el peso en gramos. Esta actividad inició el 26 de enero del 2012 y termino el día 2 de marzo del mismo año.

4.9.5 Lecturas de Potencial de Oxido Reducción (ORP)

Se tomaron cinco frutos por tratamiento al azar, posterior a ello se introdujo cada fruto a una bolsa de polietileno sustrayendo el oxígeno para disminuir la oxidación del fruto, se mantuvo cerrado las bolsas hasta que se pesaron en una balanza analítica Marca: Sartorius, Modelo: CP224S, Posteriormente se vuelve a meter el fruto a la bolsa, se macera dentro de la bolsa formando una solución y/o jugo del fruto. Se prende el dispositivo ORP y se inserta dentro de la bolsa manteniendo siempre el sensor cubierto de solución de fresa (jugo de fresa, previamente macerada), se procede a tomar la primera lectura que arroja el dispositivo, y se reporta en mV (mili Voltios). Además con el mismo equipo se toma el valor del pH, se apaga el dispositivo se sustrae de la bolsa dejando fuera de contacto el sensor de la solución y se procede a quitarle las impurezas de la muestra con agua destilada para posteriormente secar el sensor con un papel secante. Se repite esta operación a las demás muestras de fruto. Esta actividad se realizó por un periodo de 36 días tomando un total de 88 lecturas por tratamiento durante la investigación.

4.10 Análisis estadístico

En esta investigación, el diseño experimental utilizado fue completamente al azar con tres repeticiones.

Una vez tomado los datos de las variables evaluadas en el experimento, se procedió al ordenamiento de datos y se realizó un análisis de varianza y prueba de medias por medio del paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de varianza de biomasa

El análisis de varianza aplicado a las variables de biomasa en el primer muestreo no mostró diferencias significativas entre tratamientos, indicando que esta variable no fue afectada por las concentraciones utilizadas de selenio en este trabajo, (Cuadro 5). En el segundo muestreo las variables peso fresco de raíz, peso fresco de hojas y peso seco de hojas tuvieron diferencias estadísticas entre la mayor concentración de selenio y el testigo. En las plantas el estrés afecta negativamente a su crecimiento y desarrollo, y además produce Especies Reactivas de Oxígeno (ROS) que dañan numerosas macromoléculas y estructuras celulares. Consecuentemente, bajo condiciones adversas, uno de los más fiables y extendido indicador de estrés para las plantas es la producción de biomasa. Además de la producción de biomasa existen otros indicadores que también son ampliamente empleados para detectar el nivel de estrés del vegetal como son: peroxidación de lípidos, expresado mediante la actividad de la LOX y el contenido de la MDA; y el estado de oxidación de las proteínas determinado como el contenido en grupos carbonilo (Moran *et al.*, 2002). Se ha visto que tanto el selenito como el selenato de sodio, generalmente disminuyen el crecimiento y multiplicación del *Lemnaminor*, pero a bajas concentraciones pueden incrementar la tasa de multiplicación. Por lo que el selenio puede ser un elemento esencial para *Lemna*. Las concentraciones benéficas de selenio se encuentran dentro de un intervalo muy estrecho y dependen de las concentraciones de sulfato que les acompañe, (Severi, 2001). La adición de selenito vs selenato en *Lactuca sativa* L. cv Philipus, afirman que los valores más elevados de biomasa aérea fueron registrados en la dosis de 20 μM en el caso del selenato y de 5 μM en el caso del selenito, pero cuando la aplicación fue de 40 μM de selenato y 10 μM de selenito no se encontró diferencias significativas con respecto a la biomasa aérea de las plantas control. A partir de estas dosis para ambas formas, el crecimiento de las plantas fue disminuyendo progresivamente hasta la concentración de 120 μM , donde la producción de biomasa encontrada fue la menor para ambas formas de Se aplicadas. (Rios, 2008). El selenio como selenito de sodio en concentraciones de 10 y 20 mg/L en la solución nutritiva causó un efecto negativo en la biomasa de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Becvort, (2011).

Cuadro 5. Análisis de varianza biomasa

Muestreo	pfr	pft	pfh	pff	psr	pst	psh	psf
Primer muestreo	NS							
Segundo muestreo	*	NS	*	NS	NS	NS	*	NS

NS: no significativo; * = con diferencia estadística significativa; $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psf: peso seco de fruto.

4.1.2 Pruebas de medias de biomasa

La prueba de medias del primer muestreo, no mostro diferencias significativas en biomasa, indicando por lo tanto que esta variable no fue afectada por la dosis utilizada de selenio en este trabajo, (Cuadro 6).

Cuadro 6. Prueba de Medias Biomasa del primer muestreo

.Trat.	pfr	pft	pfh	pff	psr	pst	psh	psf
Testigo	6.916 A	1.595 A	7.563 A	3.131 A	1.9058 A	0.2966 A	1.8146 A	0.4681 A
2 ppm selenio	5.923 A	2.068 A	7.884 A	0.509 A	1.4283 A	0.6153 A	1.9426 A	0.0910 A
4 ppm selenio	4.969 A	4.703 A	7.222 A	0.741 A	1.1477 A	1.5437 A	1.8613 A	0.1390 A

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psf: peso seco de fruto.

La prueba de medias en biomasa del segundo muestreo mostraron diferencia significativa las variables: peso fresco de raíz, peso fresco de hojas y peso seco de hojas, en las tres variables, las plantas sin aplicación de selenio tuvieron mayor peso, diferentes estadísticamente con las que se aplico 4 ppm de selenio en la solución nutritiva Steiner, (Cuadro 7). Esto se ha visto que tanto el selenito como el selenato de sodio, generalmente disminuyen el crecimiento y multiplicación del *Lemnaminor*, pero a bajas concentraciones pueden incrementar la tasa de multiplicación. Por los anteriores resultados, Severi (2001) propuso que el selenio para *Lemna*. Las concentraciones benéficas de selenio se encuentran dentro de un intervalo muy estrecho y dependen de las concentraciones de sulfato que les acompañe.

Cuadro 7. Prueba de medias Biomasa del segundo muestreo

Trat.	pfr	pft	pfh	pff	psr	pst	psh	psf
Testigo	24.156 A	5.7960 A	26.602 A	5.552 A	2.8918 A	1.3457 A	6.6502 A	0.9026 A
2 ppm Se	21.748 AB	5.3920 A	23.670 A	6.026 A	2.8083 A	1.3111 A	6.1312 A	1.0163 A
4 ppm Se	18.674 B	5.4340 A	16.264 B	6.530 A	2.7675 A	1.3563 A	4.2443 B	0.8856 A

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psf: peso seco de fruto.

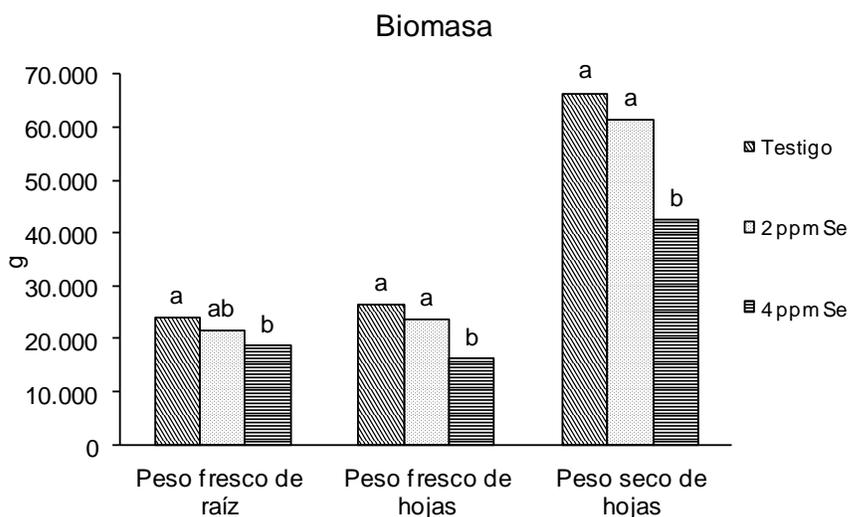


Figura 2. Biomasa de plantas de fresa.

En la figura 2, se visualiza que el testigo fue mayor respecto a los niveles de 2 y 4 mg/L de selenio aplicados en la solución como selenito de sodio. Por lo que peso fresco de raíz, peso fresco de hojas y peso seco de hojas fueron estadísticamente diferentes cuando se aplicó 4 mg/L de selenio respecto al testigo. Por lo que la adición de 2 y 4 mg/L de selenio aplicado tuvo un efecto de estrés, reduciendo así la cantidad de biomasa producida en relación al testigo. Cuando las plantas son expuestas a altas concentraciones de selenio pueden presentar diferentes síntomas de daño, incluyendo inhibición del crecimiento, clorosis, hojas blanquecinas y quebradizas, disminución de la

síntesis de proteínas y una muerte prematura de la planta (Menguel y Kirkby, 1987).

4.2 Contenido de minerales

El estado nutricional es muy importante para el correcto funcionamiento metabólico de las células vegetales, y por consiguiente para su crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas. Por lo tanto los análisis de este experimento se discuten a continuación.

4.2.1 Análisis de varianza de raíz

El análisis de varianza aplicado en la variable de contenido de minerales en raíz del primero y segundo muestreo no mostro diferencias significativas entre los tratamientos, indicando por tanto que los niveles de selenio aplicado en este trabajo no afecto la acumulación de los demás minerales para este órgano en fresa como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 8.Análisis de varianza de contenido nutrimental en raíz de plantas de Fresa.

Muestreo	Macroelementos					Microelementos			
	P	K	Ca	Na	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Primer muestreo	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Segundo muestreo	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psf: peso seco de fruto.

4.2.2 Prueba de medias en raíz

Se realizó una comparación de medias, mediante la prueba de Tukey, y se encontró que tanto en el primer y el segundo muestreo en análisis de minerales en raíz, no mostro diferencias significativas, indicando por tanto que esta variable no fue afectada por los niveles utilizados de selenio en este trabajo (Cuadro 9 y 10).

Cuadro 9.Prueba de medias de minerales en raíz en el primer muestreo

Trat.	Macroelementos					Microelementos			
	P	K	Ca	Na	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Testigo	0.10333 A	0.5433 A	0.4700 A	0.1733 A	0.2800 A	32.33 A	32.67 A	57.00 A	6900 A
2 ppm selenio	0.11000	0.6233	0.9100	0.2400	0.3567	27.67	59.33	61.3	6000

	A	A	A	A	A	A	A	A	A
4 ppm selenio	0.25333	1.2867	1.2833	0.4233	0.8400	43.00	69.33	191.7	11967
	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psf: peso seco de fruto.

Cuadro 10. Prueba de medias de minerales en raíz en el segundo muestreo

Trat.	Macroelementos					Microelementos			
	P	K	Ca	Na	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Testigo	0.13800	1.3400	0.6900	0.21600	0.45600	20.400	76.40	65.80	2940
	A	A	A	A	A	A	A	A	A
2 ppm selenio	0.13000	1.2740	0.8560	0.31200	0.45400	20.400	73.60	62.20	3400
	A	A	A	A	A	A	A	A	A
4 ppm selenio	0.15800	1.0120	0.9040	0.29600	0.38800	23.600	78.20	84.60	5680
	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psf: peso seco de fruto.

4.2.3 Análisis de varianza en tallo

El análisis de varianza aplicado para la variable contenido de minerales en tallo del primer muestreo la variable Zn y Ca mostraron diferencias significativas. Conteniendo mayores cantidades de Zn y Ca, cuando se aplicó 2 mg/L de Se seguido del T3 respecto al testigo. Estos datos son distintos respecto a los obtenidos por Ríos (2008), quien observó que ni el selenito y el selenato produjeron diferencias significativas entre las distintas dosis aplicadas y las plantas testigo, de la misma manera, Los datos obtenidos en esta investigación son distintos respecto a los observados por Ríos (2008) en plantas de lechuga, ya que se observó una disminución en la concentración de Ca en la planta de lechuga cuando se aplicó selenio a la solución nutritiva respecto al testigo, siendo mayor la reducción de este elemento cuando la forma añadida fue selenato. Para el segundo muestreo la variable Na mostró diferencia significativa en tallo, lo que representa que el Se ayuda a la acumulación de este elemento en el tallo, (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza de contenido nutricional de tallo en plantas de fresa.

Muestreo	Macroelementos					Microelementos			
	P	K	Ca	Na	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe

Primer muestreo	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS
Segundo muestreo	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; pfs: peso seco de fruto.

4.2.4 Prueba de medias de minerales en tallo

En la prueba de medias del primer muestreo en tallo se observa que el T2 para Zn es más alto con referente al Testigo y T3, así mismo para Ca se obtuvo el mismo comportamiento, (Cuadro 12).

Cuadro 12. Prueba de medias de minerales en tallo en el primer muestreo

Trat.	Macroelementos						Microelementos		
	P	K	Ca	Na	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Testigo	0.15667 A	0.7667 A	0.6533 B	0.2767 A	0.23000 A	45.33 A	58.33 B	41.33 A	4600 A
2 ppm selenio	0.29333 A	1.3133 A	1.2733 A	0.5200 A	0.38000 A	36.00 A	110.00 A	73.33 A	7800 A
4 ppm selenio	0.17667 A	0.7700 A	0.6600 B	0.2667 A	0.24000 A	42.00 A	74.00 AB	116.67 A	8500 A

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; pfs: peso seco de fruto.

En la prueba de medias del segundo muestreo en tallo se observa que el T3 para Na se comporto con un nivel más alto referente al Testigo, (Cuadro 13).

Cuadro 13. Prueba de medias de minerales en tallo en el segundo muestreo

Trat.	Macroelementos						Microelementos		
	P	K	Ca	Na	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Testigo	0.17000 A	0.9080 A	0.6240 A	0.24400 B	0.23800 A	23.000 A	113.40A	48.400 A	3300.0 A
2 ppm selenio	0.19800 A	1.1060A	0.7840 A	0.32200 AB	0.26000 A	17.800 A	123.00 A	29.800 A	3700.0 A
4 ppm selenio	0.16800 A	0.8500 A	0.8660 A	0.41800 A	0.26600 A	27.200 A	79.20 A	41.600A	3620.0 A

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; pfs: peso seco de fruto.

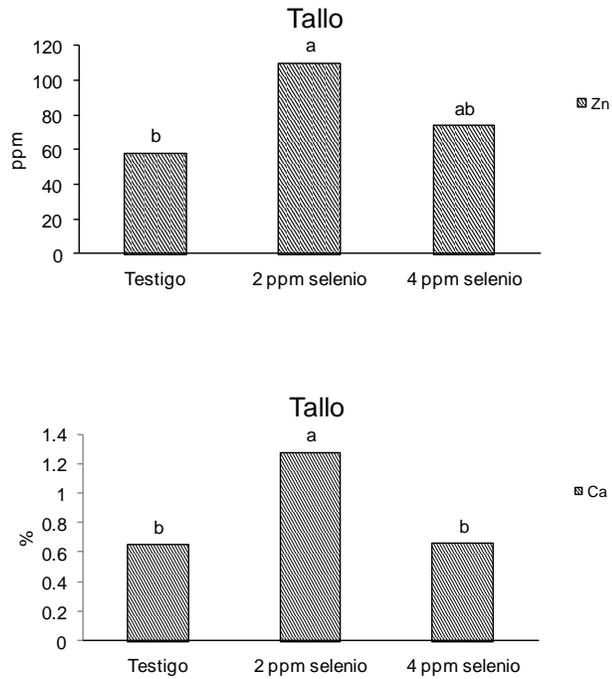


Figura 3. Acumulación de Zinc y Calcio en tallo, primer muestreo.

En la gráfica superior se muestra el efecto de los tratamientos en el primer muestreo, siendo mayor la acumulación de Zn en tallo cuando se aplica 2 mg/L de Se seguido del T3 distintos al testigo. Así también se visualiza que el Ca tiene un efecto similar que el Zn cuando se aplica 2 mg/L de Se, lo cual incrementa la acumulación de Ca en el tallo, pero disminuyendo cuando se aplican 4 mg/L de Se (Figura 3).

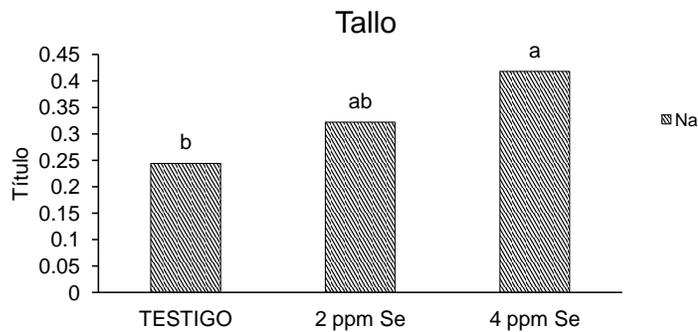


Figura 4 Acumulación de sodio en tallo en el segundo muestreo.

En la gráfica superior, se muestra la acumulación de Na en tallo en el segundo muestreo, siendo el T3 diferente al testigo el que representa mayor cantidad cuando se aplicó 4 mg/L de Se, seguido del T2 pero éste similar al testigo (Figura 4).

4.2.5 Análisis de varianza de contenido de minerales en hojas

El análisis de varianza aplicado a la variable de contenido de minerales en hojas en la primera fase no mostró diferencia significativa entre los tratamientos indicando por tanto que los niveles de selenio aplicados no afectó en la acumulación de los demás elementos presentes para este órgano y por tanto no hubo diferencias significativas (Cuadro 14).

En el segundo muestreo el análisis de varianza aplicado a la variable de contenido de minerales en hoja mostró diferencia significativa en Zn (cuadro 14). Estos datos son distintos respecto a los obtenidos por Ríos (2008), quien observó que ni el selenito y el selenato produjeron diferencias significativas entre las distintas dosis aplicadas a plantas de lechuga.

Cuadro 14. Análisis de varianza de contenido nutricional de hoja en plantas de fresa.

Muestreo	Macroelementos					Microelementos			
	P	K	Ca	Na	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Primer muestreo	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Segundo muestreo	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psh: peso seco de fruto.

4.2.6 Prueba de medias de minerales en hoja

En los siguientes cuadros se pueden observar las comparaciones de medias obtenidas para hoja en fresa. Para el primer muestreo se visualiza diferencia significativa en acumulación de Zn en hoja cuando se aplica 2 mg/L de Se, pero reduciendo de manera sustancial cuando se aplica 4 mg/L de Se (Cuadro 15).

Cuadro 15. Prueba de medias de minerales en hoja de fresa en el primer muestreo

Trat.	Macroelementos					Microelementos			
	P	K	Ca	Na	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Testigo	0.31333	0.6700	0.6133	0.12000	0.35333	34.67	47.667	130.33	8667

	A	A	A	A	A	A	A	A	A
2 ppm selenio	0.22000 A	1.4500 A	0.4933 A	0.20333 A	0.27333 A	35.67 A	41.667 A	25.00 A	2133 A
4 ppm selenio	0.27667 A	1.8000 A	0.4933 A	0.14000 A	0.32000 A	11.67 A	45.000 A	41.33 A	2533 A

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psf: peso seco de fruto.

Cuadro 16. Prueba de medias de minerales en hoja de fresa en el segundo muestreo

Trat.	Macroelementos					Microelementos			
	P	K	Ca	Na	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Testigo	0.33800 A	1.8880 A	0.7720 A	0.10800 A	0.35200 A	6.800 A	47.400 AB	30.200 A	1760.0 A
2 ppm selenio	0.30800 A	1.6500 A	0.9020 A	0.16800 A	0.35400 A	7.800 A	54.400 A	26.600 A	2360.0 A
4 ppm selenio	0.26400 A	1.9060 A	0.6180 A	0.16600 A	0.32000 A	6.400 A	34.600 B	34.400 A	1980.0 A

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psf: peso seco de fruto.

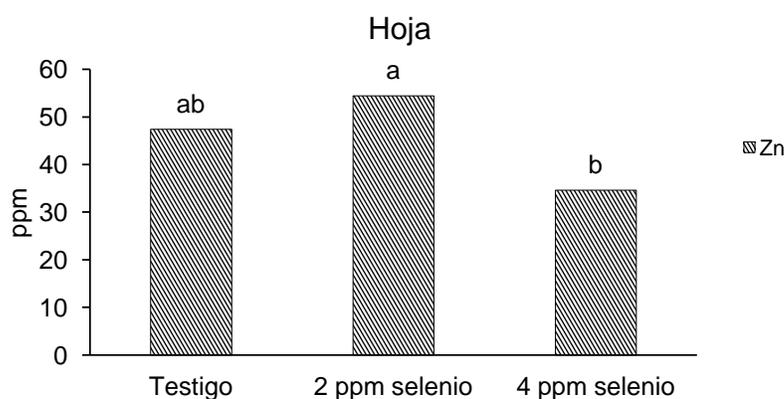


Figura 5 Acumulación de Zinc en el segundo muestreo.

En la gráfica superior se observa la acumulación del Zn en hoja, siendo el T2 quien acumula mayor cantidad de este elemento, pero similar al testigo,

también se visualiza que cuando se aplica mayores cantidades de selenio tiende la planta a reducir la acumulación de Zn (Figura 5).

4.2.7 Análisis de varianza en fruto

El análisis de varianza aplicado a la variable de contenido de minerales en fruto en la segunda fase no mostro diferencia significativa entre los tratamientos, indicando por tanto, que los niveles de selenio aplicados no afecto en la acumulación de los demás elementos presentes para este órgano (Cuadro 17).

Cuadro 17.Análisis de varianza de contenido de minerales en fruto de fresa

Muestreo	Macroelementos					Microelementos			
	P	K	Ca	Na	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Segundo muestreo	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psf: peso seco de fruto.

En la siguiente tabla se muestra los valores de la prueba de medias para la variable de frutos (Tabla 18).

Cuadro 18.Prueba de medias de minerales en fruto de fresa (segundo muestreo)

Trat.	Macroelementos					Microelementos			
	P	K	Ca	Na	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
Testigo	0.1767 A	1.8367 A	0.4300 A	0.19333 A	0.246667 A	14.33 A	65.67 A	30.00 A	4233 A
2 ppm selenio	0.2100 A	1.4833 A	0.4200 A	0.25667 A	0.226667 A	7.67 A	57.67 A	18.33 A	3867 A
4 ppm selenio	0.4533 A	1.6433 A	0.4933 A	0.30667 A	0.236667 A	39.00 A	42.33 A	40.00 A	3500 A

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psf: peso seco de fruto.

4.3 Rendimiento

El rendimiento de un cultivo esta dado por la interacción de factores bióticos y abióticos, siendo éstos mismos actuantes como sinergismo o antagónicos al potencial genético de la especie para su expresión genética en crecimiento, desarrollo, floración, fructificación y muerte .

4.3.1 Análisis de varianza de rendimiento

El análisis de varianza aplicado a la variable rendimiento de fresa mostro diferencias significativas entre tratamientos, siendo estadísticamente T2 y T3 iguales, pero diferentes ambos respecto al testigo (Cuadro 19). En la prueba de medias, se visualiza que T2 y T3 tienen valores por debajo del testigo, (Cuadro 19), por tanto la dosis de selenio adicionado para este trabajo afecto estadísticamente en el rendimiento de manera negativa, mostrando así mayor rendimiento el testigo cuando se aplico solamente solución Steiner bajo los niveles descritos anteriormente, (Cuadro 3 y 4). Por lo que ha mayores concentraciones, el selenio actúa como un preoxidante y reduce drásticamente el rendimiento. De acuerdo con Mikkelsen et al, (1989) señala que la concentración crítica de Se en tejido en plantas no acumuladoras, que resulta en una reducción del 10 % en el rendimiento varía de 2 mg Se kg⁻¹ en arroz a 330 mg Se kg⁻¹ en trébol blanco. Datos obtenidos en tomate por Becvort, (2011), señala que obtuvo un rendimiento de fruto mayor cuando aplico 10 mg/L, pero disminuyo fuertemente con 20 mg/L de Se.

Cuadro 19. Prueba de medias de Rendimiento de fresa.

Tratamiento	Rendimiento (g)
Testigo	71.086 A
2 ppm selenio	52.655 B
4 ppm selenio	44.244 B

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre los tratamientos, $\alpha = 0.05$. pfr: peso fresco de raíz; pft: peso fresco de tallo; pfh: peso fresco de hoja; pff: peso fresco de fruto; psr: peso seco de raíz; pst: peso seco de tallo; psh: peso seco de hoja; psf: peso seco de fruto.

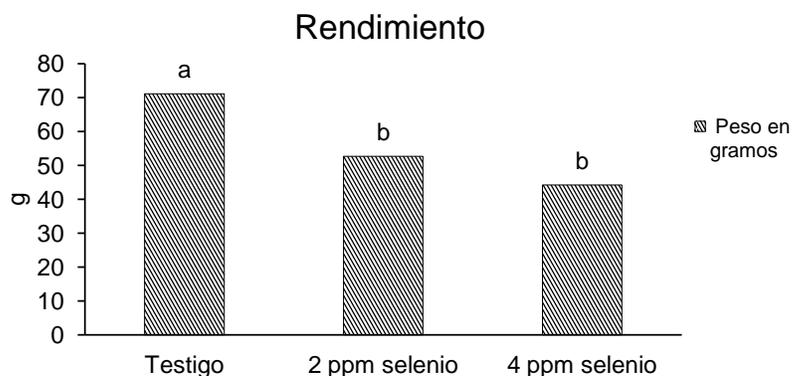


Figura 6. Rendimiento de fresa, bajo tratamientos de selenio.

En la grafica superior, se visualiza que el selenio disminuyo de forma drástica el rendimiento de la fresa, siendo el de 4 mg/L de selenio el que mostro mayor efecto con un rendimiento bajo, cuando menor selenio se aplico, el efecto fue menor, siendo en el testigo en el que mayor rendimiento se observa, (Figura 8).

4.3 Potencial de Oxido - Reducción (ORP)

El potencial redox (Eh) es un valor relativo medido contra el punto 0 del electrodo normal de hidrógeno u electrodo secundario de referencia. Cualquier sistema o ambiente que acepte electrones de un electrodo normal de hidrogeno es una media celda con un potencial redox positivo. En contraposición, cualquier sistema o ambiente que done electrones al electrodo normal de hidrógeno se define como una media celda con un potencial negativo. El potencial redox se mide en milivoltios o voltios. Un valor de Eh positivo y de alta magnitud es indicativo de un ambiente que favorece las reacciones de oxidación. Del otro lado, un valor Eh negativo y de baja magnitud es indicativo de un ambiente altamente reductor.

La tensión redox se expresa en mV nos informa sobre el potencial de oxidación o de reducción. Se emplea un electrodo de metal que posee la capacidad de tomar o entregar electrones. Como el mismo electrodo no puede reaccionar con el medio, hace falta utilizar metales nobles. Si en el medio se encuentran sustancias oxidantes o reductoras, se da un intercambio de electrones. El intercambio provoca a su vez una tensión eléctrica que podrá ser medida.

En las siguientes gráficas se muestran el comportamiento de ORP medido en mV (milivoltios) a través del tiempo bajo los diferentes tratamientos estudiados en este trabajo.

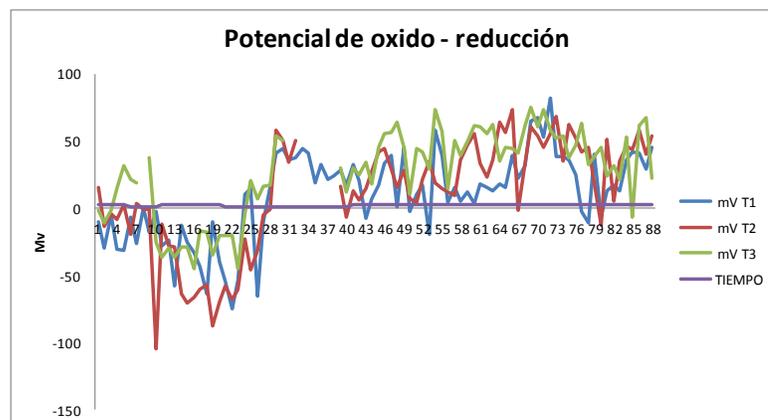


Figura 7. Potencial de oxido – reducción a través del tiempo en fresa, T1: Testigo, T2: 2 mg/L de Se, T3: 4 mg/L de Se.

En la figura 8, se puede observar la dinámica del Potencial de Óxido – Reducción medidos en milivoltios(Mv) a través del tiempo bajo las diferentes concentraciones de selenio en fresa *Fragaria x ananassa* var. Festival. Se observa que en los inicios de producción la dinámica del ORP es más negativa respecto al T2 y T3, siendo el T3 el que se visualiza por encima del T1 y T2 en toda la etapa de la investigación. Así también se observa que el T3 mantuvo una tendencia de potencial redox positivo, lo cual indica que bajo esta concentración hace posible un medio que favorece las reacciones de oxidación.

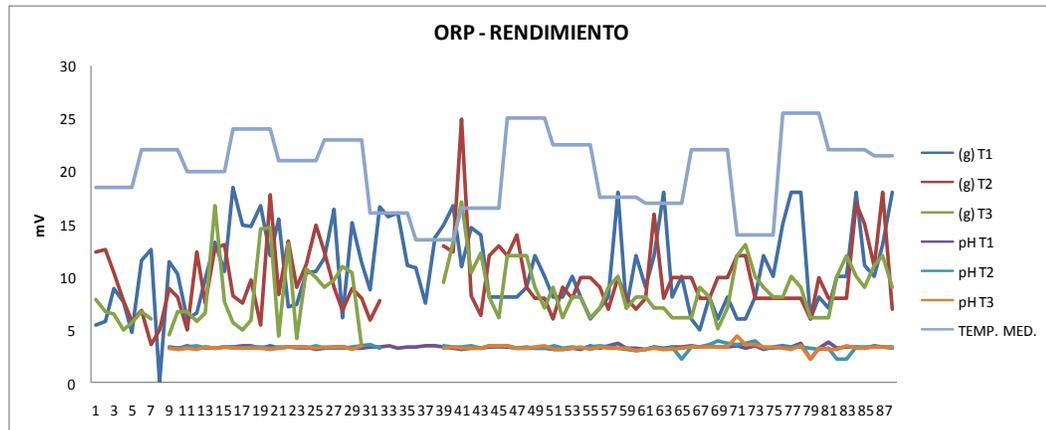


Figura 8. Efecto de Se en rendimiento de fresa.

En la siguiente gráfica se observa que la producción de fresa es afectada por las aplicaciones de selenio en las concentraciones aplicadas para este trabajo, ocasionando una disminución en el rendimiento de fresa. Por lo que ha mayores concentraciones, el selenio actúa como un preoxidante y reduce drásticamente el rendimiento. De acuerdo con Mikkelsen et al, (1989) señala que la concentración crítica de Se en tejido en plantas no acumuladoras, que resulta en una reducción del 10 % en el rendimiento varía de 2 mg Se kg⁻¹ en arroz a 330 mg Se kg⁻¹ en trébol blanco. Datos obtenidos en tomate por Becvort, (2011), señala que obtuvo un rendimiento de fruto mayor cuando aplico 10 mg/L, pero disminuyó fuertemente con 20 mg/L de Se. A los 25 a 30 días iniciada la producción, se vio un decremento afectando la floración, ocasionando un bajo rendimiento mayor en T3 seguido de T2. En cuanto a pH del fruto no se vio afectado de manera que se obtuvo para T1 en promedio un pH de 3.3212, para T2 se obtuvo un pH de 3.2852 y para T3 se obtuvo un pH de 3.2994, (Figura 8).

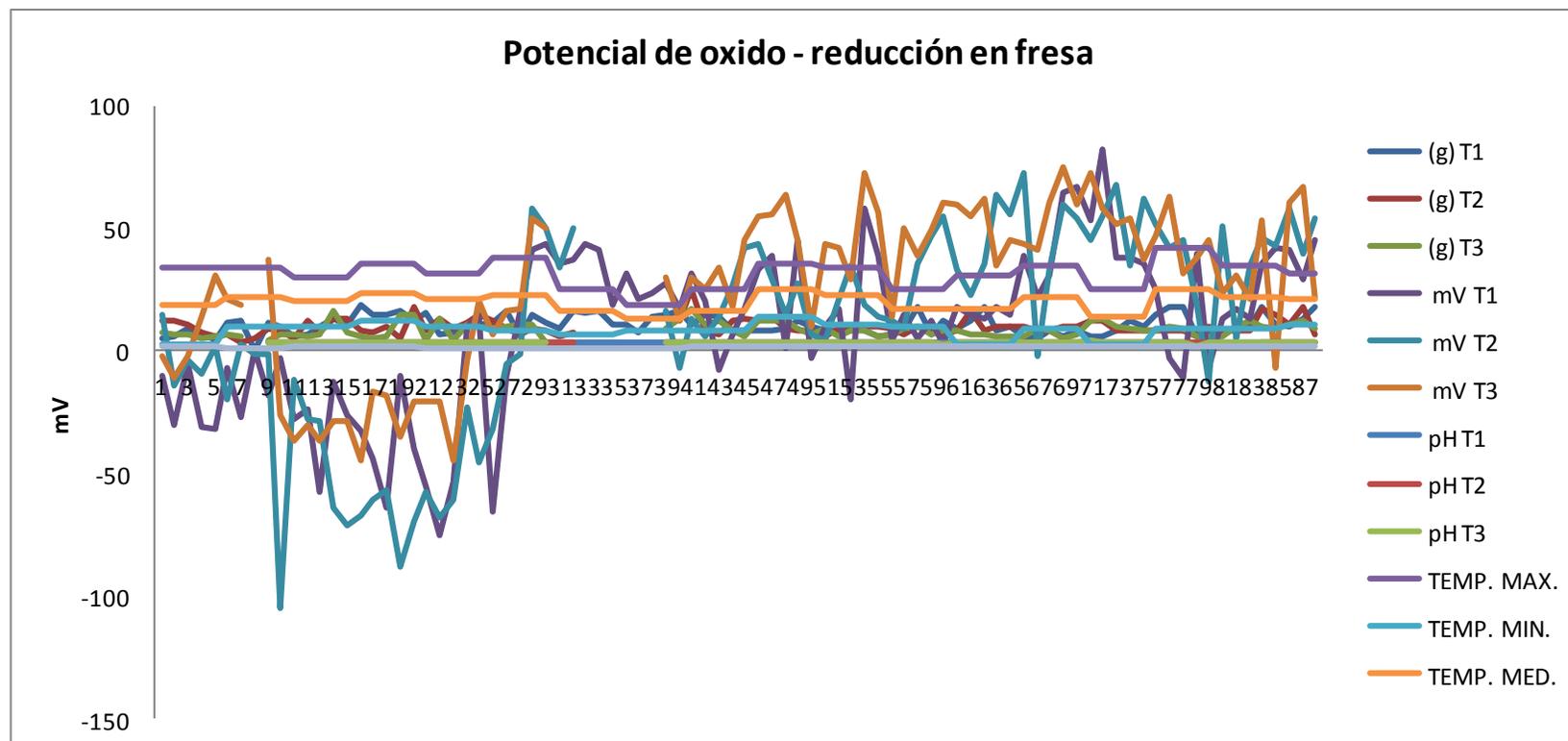


Figura 9. Dinámica de ORP, sobre fresa a través del tiempo en función de la temperatura.

Se observa de manera general los efectos ocasionados por la adición de selenio en concentración de 2 y 4 mg/L, siendo el testigo simplemente la de SN Steiner, las fluctuaciones de las temperaturas a través del tiempo juegan un papel fundamental sobre las interacciones de los elementos que conforman un sistema biológico, (Figura 9).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados, la aplicación de 2 y 4 mg/L de selenio en forma de selenito de sodio al cultivo de fresa en solución Steiner, causó una disminución de biomasa y rendimiento de frutos, ocasionando mayor estrés cuando se adiciona estas cantidades, siendo el testigo en el que se obtuvo mayor rendimiento.

En ORP, se concluye que las adiciones de selenio tienen una tendencia de favorecer un ambiente oxidado respecto al testigo cuando se aplican 4 mg/L de selenio, contrario a cuando se aplica 2 mg/L de selenio, que se manifiesta similar o en un ambiente más reducido que el testigo.

LITERATURA CITADA

- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR), Resumen de Salud Pública: Selenio. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU. http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs92.html Consultado en julio del 2010.
- Arthur, J.R. 2003. Selenium supplementation: does soil supplementation help and why? *Proc. Nutr. Soc.* 62: 393-397.
- AVELLO, Marcia y SUWALSKY, Mario. Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepto.)* [online]. 2006, n.494 [citado 2012-04-28], pp. 161-172. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-04622006000200010&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-0462. doi: 10.4067/S0718-04622006000200010.
- Azcón-Bieto, J., Talón M. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Ed. McGraw-Hill, 2 ed. 2008. 636 pp.
- Bañuelos, G. S., H.A. Ajwa, M. Mackey, L. Wu, and C. Cook. 1997. Evaluation of different plant species used for phytoremediation of high soil selenium. *J. Environ. Qual.* 26: 639-646.
- Broadley, M.R., M.P.J. White, R.J. Bryson, M.C. Meacham, H.C. Bowen, S.E. Johnson, M.J. Hawkesford, S.P. McGrath, F.J. Zhao, N. Breward, M. Harriman, and M. Tucker. 2006. Biofortification of UK food crops with selenium. *Proceed. Nutr. Soc.* 65:169-181.
- Brown, T. A. and A. Shrift. 1982. Selenium: toxicity and tolerance in higher plants. *Biol. Rev.* 57: 59-84.
- Burnell, J. N. and A. Shrift. 1979. Cysteinyl-Trnasynthetase from *Astragalus* species. *Plant Physiol.* 63: 1095-1097.
- Cadahía L. C. 2005. Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales". Ed. Mundi-Prensa, 3ª ed. 301 pp.
- Camps A., M. 2001. La problemática del selenio en suelos contaminados del estado de California (E. U. A.). *Revista Edafología. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo.* 8 (2); 31-44.

- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X. y Aguilar-Santelises, A. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2ª. ed. INCAPA. 2000. 226p.
- Céspedes-Cabrera. T. y D. Sánchez-Serrano, 2000. Algunos aspectos sobre el estrés oxidativo, el estado antioxidante y la terapia de suplementación. Revista Cubana de Cardiología. 14:55-60.
- Combs, G.F. Jr. 2001. Selenium in global foodsystems. Br. J. Nutr. 85:517-547.
- Combs, G.F. Jr. 2001. Selenium in global food systems.Br. J. Nutr. 85:517-547.
- Cruz-Jimenez, G., 2005. Toxicity and Accumulation of Selenium by Plant Species from the Chihuahua Desert.Tesis Doctoral. The University of Texas at El Paso. El Paso, Texas, USA. Págs.50-51.
- Davis, J. G., T. J. Steffens, T. E. Engle, K. L. Mallow, and S. E. Cotton.2002. Diagnosing Selenium Toxicity. Colorado State University.Cooperative extensión.No. 6. 109.
- De Kok. L. J., and P. J. C. Kuiper. 1986. Effect of short-term dark incubation with sulfate, chloride and selenate on the glutathione content of spinach (*Spinaceaoleraceacultivar Estivato*) leaf dises. Physiol. Plant. 68: 477-482.
- Diplock A., 1993. Indexes of selenium status in human populations. Am. J. Clin. Nutr. 57:256S–258S.
- Fan, T. W., A. N. Lane, and R. M. Higashi. 1997. Selenium biotransformations by a euryhaline microalga isolated from a saline evaporation pond. Environ. Sci. Technol. 31: 569-576.
- Fick R, Karl., *et al.* 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Departamento de Ciencia Animal. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, EE. UU. 1979.
- Fu, L.-H., X.-F- Wang, Y.-M.She, L. J. Donald, K. G. Standing, and G. Ben-Hayyim. 2002. A selenoprotein in the plant kingdom: mass spectrophotometry confirms that an opal codón (UGA) encodes selenocysteine in *Chlamydomonasreinhardtii*glutathione peroxidase. J. Biol. Chem. 227: 25893-25991.

- G.F. Combs Jr. Selenium. In: T.E. Moon, M.S. Micozzi, eds. *Nutrition an Cancer Prevention: Investigating the Role of Micronutrients*. New York: Marcel Dekker, 1989, pp. 389–419.
- H.W. Lakin. Selenium accumulation in soils and its absorption by plants and animals. *Geological Soc. Am. Bull.* 83:181, 1972.
- Hartikainen, H., T.L. Xue, and V. Piironen. 2000. Selenium as an anti-oxidant and prooxidant in ryegrass. *Plant Soil* 225: 193-200.
- J.H. Herlong, E. Janosko, D. Carpenter, C. Borosso, S. Falk, J. Rounder. 1998 Decreased incidence of prostate cancer with selenium supplementation: results of a double-blind cancer prevention trial. *Br. J. Urol.* 81:730–734.
- Jackson, M.J., S.A. Dillon, C.S. Broome, A. McArdle, C.A. Hart, and F. McArdle. 2004. Are there functional consequences of a reduction in selenium intake in UK subjects? *Proc. Nutr. Soc.* 63:513-517.
- K. Mengel, E.A. Kirkby. *Principles of Plant Nutrition*. Bern, Switzerland: International Potash Institute, 1987, pp. 589–606.
- Koolman, Jan. Rôhm, Klaus-Heinrich. *Bioquímica: Texto y Atlas*. 3ª. ed. MedicaPanamericana, 2004. 492 p.
- L.C. Clark, B. Dalkin, A. Krongrad, G.F. Combs, B.W. Trunbull, E.H. Slate, R. Witherington,
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press. London, U. K. 889 p.
- Martínez Téllez J.. Y León Gallegos Héctor M. Producción de fresa en invernadero. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura, Invernaderos; Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coahuila, México, 2004.
- Mayland, H.F. 1994. Selenium in plant and animal nutrition. Pp 29-45. In: W. T. Jr. Frankenberger and J. Benson (eds.). *Selenium in the environment*. New York: Marcel Dekker.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1987. *Principles of plant nutrition*. International Potash Institute, Bern: Int. Potash Inst. 687 p.

- Microsoft Encarta Online Encyclopedia 2002. "Selenium". <http://encarta.msn.com> 1997-2002.
- Mikkelsen, R. L., A.L. Page, and F.T. Bingham. 1989. Factors affecting selenium accumulation by agricultural crops. *Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ.* 23: 65-94.
- Montes-Bayón, M., T. D. Grant, J. Mejia, and J. A. caruso. 2002. Selenium in plants by mass spectrometric techniques: developments in bio-analytical methods. *J. Anal. At.Spectrom.* 17: 1015-1023.
- N. Terry, A.M. Zayed, M.P. deSouza, A.S. Tarun. 2000. Selenium in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51:401–432.
- Oldfield JE. Selenium in Maps.The Bulletin of Sellenium-Tellurium Development Association. 1995.
- Padmaja, K., D. D. K. Prasad, and A. R. R. Prasad. 1989. Effect of selenium on chorophyll biosynthesis in mung bean seedlings. *Phytochemistry* 28: 3321-3324.
- Palacios, V. Oscar y Aceves N. Everardo. Instructivo para el muestreo registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. (Serie; Apuntes N°. 15), COLPOS, Chapingo, México. 1970. 49 p.
- PEREZ GASTELL, Pedro Luis y PEREZ DE ALEJO, José Luis. Métodos para medir el daño oxidativo. *RevCubMed Mil* [online]. 2000, vol.29, n.3 [citado 2012-04-28], pp. 192-198 Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572000000300007&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0138-6557.
- Rayman, M.P., 2002. The argument for increasing selenium intake. *Proc. Nutr. Soc.* 61: 203-215.
- Rayman, M.P., 2005. Selenium in cancer prevention: a review of the evidence and mechanism of action. *Proc. Nutr. Soc.* 64:527-542.
- Reamer, D. C. and W. H. Zoller. 1980. Selenium biomethylationproductos from soil and sewage sludge. *Science* 208: 500-502.
- Rosenfeld, I. and O. A. Beath. 1964. Selenium, geobotany biochemistry, toxicity, and nutrition. New York: Academic Press.

- Shainberg, I. and Oster, J.D. Quality of Irrigation Water. – (The International Irrigation Information Center. IIRC publications; n°. 2.) 1978. 65 p.
- Terry, N., A. M. Zayed, P. de Souza, and S. Tarun. 2000. Selenium in higher plants. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant Mol. Bio.* 51: 401-432.
- Terry, N., C. Carlson, C., T. K. Raab, and A. M. Zayed. 1992. Rates of selenium volatilization among crop species. *J. Environ. Qual.* 21: 341-344.
- Thomson, C.D., S.K. McLachlan, A.M. Grant, E. Paterson, and A.J. Lillico. 2005. The effect of selenium on thyroid status in a population with marginal selenium and iodine status. *Br. J. Nutr.* 94:962-968.
- Thomson, C.D., S.K. McLachlan, A.M. Grant, E. Paterson, and A.J. Lillico. 2005. The effect of selenium on thyroid status in a population with marginal selenium and iodine status. *Br. J. Nutr.* 94:962-968.
- VILLEGAS-ELIZALDE, Saúl E. et al. Resistance of *Tetranychusurticae* (Koch) to Acaricides applied on strawberries in Zamora, Michoacán, México. *Agrociencia* [online]. 2010, vol.44, n.1 [citado 2012-05-05], pp. 75-81 . Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000100007&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1405-3195.
- Whanger, P.D. 2004. Selenium and its relationship to cancer: an update. *Br. J. Nutr.* 91:11-28.
- Zhang, Y. and W. T. Jr. Frankkenberger. 2001. Speciation of selenium in plant wáterextracts by ion exchange chromatography-hydride generation atomic absorption spectrometry. *Sci. Total Environ.* 269:39-47.
- Zhang, Y., J. N. Moore, and W. T. Jr. Frankenberger. 1999. Speciation of soluble selenium in agricultural drainage waters and aqueous soil-sediment extracts using hydride generation atomic absorption spectrometry. *Environ. Sci. Technol.* 33: 1652-1656