

EFFECTOS DEL ENRIQUECIMIENTO CON SELENIO EN SPAD, CALIDAD DE LA FRUTA Y PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DE PLANTAS DE FRESA EN UN SISTEMA DE CULTIVO SIN SUELO¹

PEDRO PALENCIA², FATIMA MARTINEZ³, MARIAN BURDUCEA⁴,
JOSE ALBERTO OLIVEIRA⁵, INMACULADA GIRALDE⁶

RESUMEN – El selenio es un elemento traza esencial no solo para animales, plantas y microorganismos, sino también para la salud de las personas. Por ello, parece que aumentar las cantidades de selenio en plantas puede tener implicaciones positivas. El objetivo de este trabajo fue determinar en un sistema de cultivo sin suelo con fibra de coco el efecto del selenito (Se IV) y selenato (Se VI) en el peso, calidad de las frutas de fresa, así como en variables de crecimiento y contenido de clorofilas de las hojas jóvenes y adultas de la planta de fresa de la variedad ‘Splendor’. Los tratamientos fueron: T1 Se(IV)F (foliar), T2 Se(IV)S (sustrato), T3 Se(VI)F, T4 Se(VI)S y T5 control (sin aporte de Se). Se aplicaron semanalmente las mismas concentraciones de Se(IV) y Se(VI). Los resultados del análisis mostraron que el efecto de los tratamientos sobre firmeza, sólidos solubles totales y acidez titulable en frutas fue significativo. Los valores más altos de firmeza y sólidos solubles fueron mostrados por el tratamiento T4. Los mayores valores para el pH se producen en los tratamientos con T2 y T4. Los resultados indican que el Se tiene un efecto positivo sobre los valores de SPAD en hoja vieja. Las plantas con tratamiento de selenio presentaron un mayor número de hojas en relación a las plantas control.

Términos para Indexación: *Fragaria x ananassa* Duch. Sólidos solubles totales. Cultivo sin suelo. Ácido titulable. °Brix.

EFFECTS OF SE-ENRICHMENT ON SPAD, FRUIT QUALITY AND GROWTH PARAMETERS OF STRAWBERRY PLANTS IN SOILLESS GROWING SYSTEM

ABSTRACT - Selenium (Se) is an essential trace element for animals, plants, microorganisms and human health. Thus, it appears that increasing amounts of Se in plants could have positive implications. The aim of our study was to evaluate the influence of foliar and substrate application of selenite (Se IV) and selenate (Se VI) on weight, fruit quality, growth parameters and content of chlorophyll from old and new leaves of strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. ‘Splendor’ in a soilless growing system with coir fiber as substrate. The treatments were: T1 Se(IV)F (foliar), T2 Se(IV)S (substrate), T3 Se(VI)F, T4 Se(VI)S and T5 control (Without application of Se). The same concentrations of Se(IV) and Se(VI) were applied weekly. The results of analysis showed that the effect of treatments on firmness, total soluble solids and titratable acidity in fruit were significant. The highest values of firmness and total soluble solids were showed by treatment T4 Se(VI)S. T2 and T4 treatments showed the highest pH values. The results indicate that Se has a positive effect on SPAD values on old leaf. The strawberry plants with selenium treatments has higher number of leaves than control plants.

Index Terms: *Fragaria x ananassa* Duch. Total Soluble Solid. Soilless. Titratable acidity. °Brix.

¹(Trabalho 294-14). Recebido em: 17-11-2014. Aceito para publicação em: 08-07-2015.

²Profesor de la Universidad de Oviedo, Escuela Politécnica de Mieres, España. E-mail: palencia@uniovi.es

³Profesora Doctora. Universidad de Huelva, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, España. E-mail: fatima.martinez@dcaf.uhu.es

⁴PhD. Student Marian Burducea, Al. I. Cuza University, Iasi, Rumania. E-mail: marian.burducea@yahoo.com

⁵Profesora Doctora. Universidad de Huelva, España. E-mail: giraldez@dqcm.uhu.es

INTRODUCCIÓN

El selenio (Se) es un elemento traza esencial no solo para animales, plantas y microorganismos, sino también para la salud de las personas (REILLY, 2004). El Se ha recibido una especial atención por su papel como agente anticancerígeno efectivo y natural (IP, 1998). Estudios epidemiológicos revelaron que la ingesta humana de Se tiene una correlación inversa con la muerte por varios tipos de cáncer (FERNANDEZ, et al., 2002; NELSON et al., 2002), y en caso de carencia sería necesaria una aportación complementaria. El Se es ubicuo en el medio ambiente, encontrándose en la naturaleza y en sistemas biológicos como selenato (Se(VI)), selenito (Se(IV)), selenio elemental y selenuro. La concentración del Se varía según las distintas regiones del mundo, de las especies de plantas y del propio contenido de Se en el suelo. Concretamente, su concentración en los suelos es generalmente baja (<2 ppm) (KABATA-PENDIAS y MUKHERJEE, 2007). No obstante, en áreas seleníferas pueden encontrarse concentraciones más altas (> 10 ppm) (FORDYCE, 2007).

Entre los países con bajo contenido en Se cabe mencionar los del noroeste de Europa; de hecho, en Finlandia la baja ingesta de Se por la población ha sido compensada desde 1984 mediante el uso de complementos nutritivos comerciales como el selenato de sodio (Se(VI)) (ARO et al., 1998). En algunas plantas se ha demostrado su capacidad para acumular y transformar el Se en compuestos bioactivos. Esto tiene importantes implicaciones para la salud humana (ELLIS y LA SAL, 2003), ya que el enriquecimiento de alimentos con Se parece ser un camino adecuado para suministrar este mineral a las personas con el fin de prevenir el cáncer (FINLEY et al., 2001; KARAM, 2001). Es importante recordar que el Se proveniente de los alimentos depende de su contenido en las plantas. Éstas tienen que asimilarlo desde el suelo, principalmente en forma Se(VI), y debido a la similitud química del Se y el azufre (S), el Se(VI) es transportado fácilmente a través de las membranas celulares (WHITE et al., 2004). En determinados países, la suplementación de los fertilizantes con Se es un medio seguro y eficaz de aumentar la ingesta de minerales tanto en animales como en seres humanos (XU et al., 2003). Sin embargo, la fortificación agronómica de las plantas cultivadas mediante aplicación foliar con Se es aún poco usada (KÁPOLNA et al., 2009). A pesar de ello, la pulverización foliar de Se(IV) o Se(VI) para aumentar el contenido de Se se ha realizado con éxito en muchos cultivos, como la patata (POGGI et al.,

2000), arroz (HU et al., 2002), soja (YANG et al., 2003), col, cebolla, ajo y rábano (SLEJKOVEC y GOESSLER, 2005), trigo y calabaza (SMRKOLJ et al., 2005; SMRKOLJ et al., 2006). No obstante, en el caso de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.), cuyo contenido en Se es de 0,40 µg por cada 100 g de fresa (GIAMPIERI et al., 2014), la posibilidad de mejorar su valor nutricional a través de la fertilización de Se ha sido escasamente investigada (HEIJARI et al., 2006; ZHANG et al., 2013).

La fresa es cultivada en todo el mundo y sus áreas de cultivo, así como su producción, aumenta cada año (FAOSTAT, 2014). Entre sus ventajas nutricionales para la salud humana cabe destacar su bajo contenido en grasa y calorías y su riqueza en potasio y vitamina C (GIAMPIERI et al., 2014). En general, los sistemas de cultivo sin suelo bajo invernaderos mejoran las condiciones del cultivo de fresa y, como indican Portela et al. (2012), promueve un aumento de la productividad, ya que aumenta el número de plantas por unidad de superficie. Calvete et al. (2008) constataron un incremento en la fructificación y en el desarrollo de la planta de fresa en sistemas protegidos. En este sentido, Guimarães et al. (2015) mostraron el potencial productivo de distintas variedades de fresa.

El objetivo de este trabajo fue comparar el efecto del Se(VI) y Se(IV) aplicado de forma foliar o al sustrato en el peso y la calidad de las frutas de fresa. Se estudiaron variables de crecimiento y contenido de clorofila de las hojas jóvenes y adultas. Además, como el cultivo de plantas de fresas en sistemas de cultivo sin suelo aumenta de forma importante, hemos testado un enfoque diferente de la fertilización mediante la adición de Se(IV) y Se(VI) al sustrato.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para estimar el efecto del Se en las plantas y frutas de fresa de día corto de la variedad 'Splendor', se realizó un estudio en un sistema abierto de cultivo sin suelo. La plantación se realizó en un invernadero de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería 'La Rábida' de la Universidad de Huelva (España) (37°12'N latitud, 6°55'O longitud y 24 m sobre el nivel del mar). Las plantas se cultivaron bajo condiciones de temperatura y luz natural desde octubre de 2010 hasta junio de 2011. La media de la temperatura y la humedad relativa durante el ensayo fue de 24 °C y 68%, respectivamente.

Las plantas fueron cultivadas en bolsas de polietileno (100 cm x 18 cm x 30 cm) rellenas de fibra de coco (Pelemix España S.L., Murcia-España). Las bolsas de polietileno se colocaron en una estructura

de poliestireno expandido que la soportaba a 40 cm sobre el suelo. Las plantas fueron fertirrigadas mediante un sistema de riego por goteo, con cuatro picas por cada bolsa de polietileno y con un caudal unitario de 2 litros por hora y gotero. La solución nutritiva aportada fue (mg L^{-1}): N 271, P 702, K 586, Mg 207, S 414, Fe 8, Mn 4, Cu 0.3, Zn 0.8, B 0.7 y Mo 0.3, según las prácticas convencionales del cultivo (CORREIA et al., 2011).

Se empleó un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y dos repeticiones. Cada repetición consistió en una bolsa de polietileno con diez plantas. Los tratamientos fueron: T1 Se(IV)F (foliar), T2 Se(IV)S (sustrato), T3 Se(VI)F, T4 Se(VI)S y T5 control (sin aporte de Se). Las sales de sodio de Se(IV) y Se(VI) fueron adquiridas comercialmente (Sigma-Aldrich, Copenhagen, Dinamarca). La determinación de las dosis y la forma de aplicar el Se se realizó según lo descrito por Kápolna et al. (2009) con modificaciones.

La preparación del Se para su utilización en los distintos tratamientos consistió en su disolución en agua y aplicación posterior, en forma foliar o al sustrato, con la misma concentración y volumen. Se aplicó 100 ml de una disolución de 5 mg Se L^{-1} por saco de polietileno (10 plantas), que corresponde a $500 \mu\text{g}$ de Se por grupo de 10 plantas y, por tanto, $50 \mu\text{g}$ de Se por planta. Todas las soluciones de Se contenían $5 \mu\text{l}$ de tensioactivo por litro de agua (Tween 20, Sigma-Aldrich, Copenhagen, Dinamarca). La primera aplicación de Se se realizó en la semana 15 desde la plantación y se repitió cada siete días durante tres meses. Se efectuaron un total de 13 aplicaciones de $50 \mu\text{g}$ de Se por planta. La metodología para la optimización de los parámetros desarrollados en el análisis de las especies de selenio utilizadas en este ensayo, mediante un equipo de absorción de fluorescencia atómica, ha sido descrita por Sánchez-Rodas et al. (2013).

Las variables relacionadas con el crecimiento de la planta se midieron cada semana, y fueron SPAD en hoja vieja, SPAD en hoja nueva, diámetro de la corona y número de hojas. Las fresas fueron clasificadas como fruta de primera categoría: fresas de buena calidad y con las características de coloración y forma propias de la variedad, fueron permitidas ligeras malformaciones, siempre que no se vean afectados su aspecto general ni su calidad; una pequeña mancha blanca que no represente más de un décimo de la superficie del fruto o ligeras señales de presión superficiales. Las frutas de segunda categoría son las fresas que no pudieron clasificarse en la categoría superior pero que cumplieron los requisitos mínimos como que conserven sus características

esenciales de calidad y presentación, pudiendo tener los defectos siguientes: malformaciones, manchas blancas que no representen más de un quinto de la superficie del fruto o ligeras magulladuras secas que no evolucionen (European Community legislation 843/2002).

Los frutos maduros de cada tratamiento fueron cosechados semanalmente a lo largo del periodo de estudio, con el fin de determinar las variables relacionadas con la calidad de la fruta, siguiendo la metodología de Martínez et al. (2015). Las variables medidas fueron: peso del fruto, firmeza, sólidos solubles totales (SST), pH, ácido titratable o acidez total (AT) y la relación SST AT^{-1} .

La primera cosecha se realizó en la semana 15 correspondiente al mes de febrero y los últimos frutos se recogieron en la semana 27 al finalizar el mes de mayo. En cada fecha de muestreo se recolectaron todos los frutos maduros de cada saco y tratamiento. El peso de los frutos (g) se comprobó con una balanza de precisión. La firmeza o dureza de la fruta fue evaluada usando un penetrómetro (Bertuzzi® FT-327, Facchini, Italia) con un percutor de 6 mm de diámetro y el resultado medio de tres medidas fue expresado en g cm^{-2} . Las tres mediciones se realizaron en tres lados de cada fruta, aportándose la fuerza necesaria para perforar la fruta de fresa. Los SST del jugo extraído de los frutos se midieron realizando la media a 3-4 frutos con un refractómetro digital (Atago Palette PR101; Atago Co., Itabashi- Ku, Tokyo, Japan); el resultado fue expresado como °Brix (mg kg^{-1}). El pH del puré de fruta se comprobó con pH-metro digital (inoLab®, Wissenschaftlich Technische Werkstätten, Weilheim, Alemania). El ácido titratable o acidez total (AT), expresada como g de ácido cítrico por 100 g de peso fresco, se determinó semanalmente en cada tratamiento. El AT se obtuvo mediante la mezcla del jugo con agua destilada en una relación 1:20, valorado con NaOH 0,1 N hasta alcanzar pH 8,2. Con los datos del SST y AT se calculó la relación SST AT^{-1} .

El contenido de clorofila de las hojas expresado en unidades SPAD fue determinado usando un medidor SPAD 502 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón). Las lecturas de SPAD fueron tomadas tanto de las hojas viejas como de las hojas nuevas, siendo la media de tres medidas el valor definitivo de cada una de ellas. Por otra parte, el diámetro de la corona (mm) fue medido con un pie de rey digital, y se efectuó un conteo del número de hojas por planta. El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante análisis de varianza considerando los factores de efectos fijos: tratamientos, semanas y la interacción tratamiento x semana; la significación

de las diferencias entre medias se evaluó mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error. El programa estadístico utilizado fue SPSS versión 22 (SPSS, IBM, Chicago, IL, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ctaron al final del ciclo del cultivo. Esto podría ser debido a la lenta acumulación del Se en el fruto. La cantidad media detectada de Se(IV) en las muestras de fresa correspondió a 741 $\mu\text{g Se Kg}^{-1}$ de muestra. Para las plantas de fresa tratadas con Se(VI) el valor medio de las muestras de fresa fueron 285,15 $\mu\text{g Se Kg}^{-1}$. La acumulación de Se en el fruto puede variar según el tipo de suelo, de clima y de las condiciones de cultivo (RODRIGO, et al. 2014); así como, del momento de aplicación (CHU et al., 2013). Por otro lado, no se detectaron valores de Se en las muestras de hojas de las plantas de fresa, lo que podría atribuirse a la posible volatilización del Se absorbido a través de las hojas (KÁPOLNA et al., 2009).

Los resultados del análisis de varianza de los 10 caracteres estudiados para los 5 tratamientos en las 13 semanas de cosecha se muestran en la Tabla 1. El efecto de los tratamientos fue significativo para todas las variables excepto para el peso de los frutos y para el SPAD en hojas nuevas. Además, el efecto de la semana fue significativo para todas las variables, aunque no ocurre lo mismo en la interacción de los tratamientos x semanas, donde sólo aparecen diferencias significativas entre la firmeza, SST, pH, AT y el cociente SST AT¹.

La media de los valores obtenido por cada tratamiento y la desviación estándar para las distintas características se muestran en la Tabla 2 y en la Tabla 3. Según los resultados obtenidos se observa que no existen diferencias significativas entre los distintos tratamientos en relación al peso medio de los frutos de fresa (Tabla 2). No obstante, las plantas control (T5) presentaron un mayor peso medio del fruto 16,34 g, siendo el Se(VI) aplicado en pulverización (T3) el que mostró el menor peso medio de los frutos 15,30 g (Tabla 2).

Durante las semanas se aprecian diferencias significativas, con un descenso en el peso medio de los frutos a medida que transcurre el cultivo. El mayor valor se obtiene en la semana 15 con 30,73 g por fruta, mientras que el menor peso se dio en la semana 26 con 10,45 g por fruta (Figura 1-A). Esto da a entender que la aplicación del Se en plantas, como práctica cultural, se relaciona en parte con el tamaño de los frutos. Estudios anteriores realizados también en el cultivo de la fresa, como el de Correia

et al. (2011), han llegado a conclusiones similares, señalando además que ciertas prácticas culturales pueden influir en la composición nutricional de los frutos. De forma similar, el Se también se relaciona con la firmeza de la fruta. Según Gunnes et al. (2009), la firmeza está estrechamente vinculada con el tiempo de conservación y el transporte de la fruta. Además, de acuerdo con estos autores, la firmeza determina las propiedades mecánicas de la fresa y participa en su calidad sensorial. En el caso concreto de nuestro estudio, la firmeza de la fruta en el T4 Se(VI) aplicado al sustrato presenta el mayor valor con 267,26 g cm^{-2} por lo que su calidad sensorial es superior al resto de frutos, el menor dato alcanza un valor de 258,43 g cm^{-2} encontrándose en el T3 (Tabla 2). Estos resultados ponen de manifiesto el efecto de los tratamientos de Se sobre el incremento de la firmeza en frutos de fresa, coincidiendo con lo indicado por Zhao et al. (2013).

Desde el punto de vista del análisis temporal, cabe destacar que el dato de la firmeza toma un valor creciente hasta la semana 19 con 477,60 g cm^{-2} , para disminuir a medida que transcurre la cosecha y obteniéndose el menor dato en la semana 26 con 184,39 g cm^{-2} . La tasa de pérdida de la firmeza disminuyó considerablemente durante las últimas semanas del cultivo, alcanzando un 61,59% desde los valores máximos (Figura 1-C). Cordenunsi et al. (2003) en su estudio sobre los cambios físico-químicos relacionados con la calidad de distintas variedades de fresa durante su almacenamiento, también encontraron grandes variaciones en la firmeza de fresas maduras en distintas variedades. Recientemente, autores como Ornelas-Paz et al. (2013) han destacado el vínculo entre los SST y el periodo de maduración de la fresa, de forma que se produce un aumento continuado de los SST durante dicho periodo. En nuestro estudio, los cambios de los SST en la fruta fueron estadísticamente significativos entre los tratamientos y entre las semanas, oscilando entre los 6,12 mg kg^{-1} para T4 Se(VI) aplicado al sustrato y 5,88 mg kg^{-1} para T3 aplicado foliarmente (Tabla 2); además, los mayores valores de SST se obtuvieron en las plantas donde el Se se aplicó al sustrato, T2 y T4 (Tabla 2). Según estos resultados existe un claro efecto de los tratamientos con Se sobre los valores de SST coincidiendo con lo indicado por Wu y Ning (2013) y Zhao et al. (2013). Los SST tienden a aumentar de forma continua durante la maduración (desde la semana 21 hasta la 27), siendo en la última semana de cosecha (semana 27) donde se observa un mayor valor medio con 7,40 mg kg^{-1} . Por el contrario, el menor dato de SST se obtiene en la semana 21 con un valor de 5 mg kg^{-1} (Figura

1-E). Oscilaciones similares se ha encontrado en otros ensayos. Por ejemplo, Azodanlou et al. (2004) mostraron valores similares en distintas variedades de fresa durante el proceso de maduración. Asimismo, las variaciones de los valores SST en el trabajo Karlidag et al. 2009 estaban dentro del rango 4,8% a 10,9%.

La firmeza y el pH alteran la calidad sensorial de fruta de fresa (MONTERO et al., 1996), afectando a la percepción de dulzor a medida que aumenta el pH (GUNNESS et al., 2009). En este trabajo, los mayores valores para el pH se producen en los tratamientos aplicados al sustrato T2 y T4 con un pH de 3,52; siendo estos valores significativamente superiores al resto de los tratamientos; siendo el control (T5) el que aporta el menor pH con 3,48 como valor medio (Tabla 2). Los datos medios de pH durante las semanas del cultivo oscilan entre 3,64 durante la semana 18 y 3,44 para la semana 23 (Figura 1-F).

En relación a la AT los valores medios de los distintos tratamientos mostraron diferencias significativas, oscilando entre 1,63 mg 100 g⁻¹ para el T5 y 1,42 mg 100 g⁻¹ para el T1 (Tabla 2). Además, también se observaron diferencias significativas entre las semanas y la interacción tratamiento x semana (Tabla 1). Los valores medios de AT durante las semanas de cosecha se pueden observar en la Figura 1-B, variando entre 1,28 mg 100 g⁻¹ en la semana 17 y 1,75 mg 100 g⁻¹ en la semana 27. A partir de la semana 21 aumenta el valor de la AT y disminuye la firmeza de la fruta. Estos resultados confirman los obtenidos por Ornelas-Paz et al. (2013) que correlacionaron cambios en la AT con la firmeza de la fruta de fresa. Con respecto a la relación SST AT⁻¹, Ménager et al. (2004) sugirieron que ésta aumenta gradualmente a medida que avanza la maduración de los frutos de fresa. Nuestros resultados muestran diferencias entre los distintos tratamientos aplicados, oscilando entre los 4,23 para el T1 y 3,73 para el T5. T1 presentó valores de SST AT⁻¹ significativamente superiores al resto de los tratamientos. Los valores medios SST AT⁻¹ durante las semanas de la cosecha de fruta variaron entre 5,49 de la semana 18 y 3,47 de la semana 23 (Figura 1-D), aunque aparecen distintos picos menores a lo largo de la cosecha.

Las lecturas de SPAD han demostrado tener una relación lineal directa con el contenido en clorofila de las hojas (YADAVA, 1986). En la Tabla 3 se muestran las diferencias entre los distintos tratamientos para el SPAD en hoja vieja con valores que oscilan entre los 58,45 para el T1 y 55,08 para el T5, presentando diferencias significativas entre ambos tratamientos. Este efecto positivo de los

tratamientos de Se sobre el incremento de los valores de SPAD coincide con lo indicado por Heijari et al. (2006). Los valores de SPAD siguieron diferentes tendencias durante el ciclo del cultivo, mostrándose cambios a lo largo del tiempo. Durante las semanas 16 y 17 se observó un incremento notable de los valores de SPAD en hoja vieja con unas cifras de 57,73 y 60,73, respectivamente (Figura 2-A). En la Figura 2-A puede observarse una disminución de los valores de SPAD en hoja vieja desde la semana 18 a la semana 25, que se corresponde con el final del ciclo de cultivo. Tendencias similares han sido descritas por Pestana et al. (2011), que sugirieron cambios en la concentración total de clorofila (mol m⁻²) de las hojas de plantas de fresa a lo largo del ciclo del cultivo. Según los resultados obtenidos se observó un efecto significativo de los tratamientos de Se y de las semanas sobre los valores de SPAD en hoja vieja.

Por otro lado, no se mostraron diferencias en el SPAD en hoja nueva entre los distintos tratamientos, siendo el menor valor el del control T5 con 37,72. La media del SPAD en hoja nueva fue mayor durante la semana 15 y menor en la semana 20 con unos valores de 42,93 y 35,12, respectivamente (Figura 2-C).

El diámetro medio de la corona de la planta de fresa mostró diferencias entre los distintos tratamientos de Se. El valor más alto se obtiene con el T1 (21,82 mm) y el menor diámetro medio de corona con el T5 (19,37 mm), presentando diferencias significativas entre ambos tratamientos. En relación a los valores generados durante el ciclo de cultivo; en la semana 15 se obtuvo el valor más alto de diámetro de la corona con 24,64 mm y en la semana 20 el menor diámetro medio de la corona con 18,16 mm (Figura 2-B).

En relación al número de hoja por planta, los datos mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Las plantas con tratamiento de selenio presentaron un mayor número de hojas en relación a las plantas control. Los valores más altos se encontraron en el T2, T1, T4 y T3 con 11,35, 10,99, 10,90 y 10,70 hojas por planta, respectivamente. Por otro lado, el control (T5) reveló el menor número de hojas por plantas (9,65) (Tabla 3), mostrando diferencias significativas con el resto de los tratamientos. El análisis de los datos obtenidos a lo largo de las semanas también mostró diferencias significativas en relación a esta característica, con valores que oscilaron entre 8,95 hojas por plantas durante la semana 16 y 12,33 durante la semana 24 (Figura 2-D). A este respecto, es importante considerar que la morfología de la planta de la fresa

se ve afectada por las prácticas de cultivo y el tamaño de fructificación (LE MIERE et al., 1998).
de la planta está relacionado con el potencial de

TABLA 1- Cuadrados medios del análisis de la varianza de las 10 variables evaluadas para los 5 tratamientos de Se durante las 13 semanas de cosecha.

Variables	Tratamiento	Semana	Tratamiento x Semana	Error
Peso del fruto	52,02NS	964,35***	54,90NS	45,50
Firmeza	12541,21***	336544,69***	5956,55***	3040,40
SST ¹	0,98*	40,17***	1,66***	0,33
pH	0,06***	0,21***	0,02***	0,003
AT ²	0,51***	2,01***	0,24***	0,02
SST AT ¹	2,13***	16,98***	2,29***	0,39
SPAD hoja vieja	254,93**	195,63**	65,39NS	71,30
SPAD hoja nueva	168,50NS	387,38***	104,08NS	135,34
Corona	142,94**	168,26***	19,32NS	34,72
Nº de hojas	64,55***	93,86***	5,20NS	10,74

¹SST = sólidos solubles totales, ²AT= acidez titulable; *diferencia significativa en $P < 0,05$. ** diferencia significativa en $P < 0,01$. *** diferencia significativa en $P < 0,001$. NS: $P > 0,05$ efecto del tratamiento no significativo.

TABLA 2- Valores medios \pm desviación estándar para el peso medio del fruto y datos de la calidad de la fruta de fresa, en los distintos tratamientos de Se aplicados (F = foliar, S = sustrato).

Tratamiento	Peso del fruto g fruta ⁻¹	Firmeza g cm ⁻²	SST ¹ (°Brix) mg kg ⁻¹	pH	AT ² (mg 100g ⁻¹)	SST AT ¹
T1 Se(IV)F	16,02 \pm 7,47	265,19 \pm 90,48 ab	5,93 \pm 0,91 bc	3,50 \pm 0,09 b	1,42 \pm 0,25 d	4,23 \pm 0,70 a
T2 Se(IV)S	15,32 \pm 6,80	263,79 \pm 83,89 ab	6,09 \pm 0,89 ab	3,52 \pm 0,07 a	1,54 \pm 0,24 bc	4,00 \pm 0,68 b
T3 Se(VI)F	15,30 \pm 8,10	258,43 \pm 90,59 b	5,88 \pm 1,18 c	3,51 \pm 0,07 bc	1,52 \pm 0,23 c	3,97 \pm 1,16 b
T4 Se(VI)S	16,14 \pm 8,12	267,26 \pm 90,04 a	6,12 \pm 0,98 a	3,52 \pm 0,10 a	1,56 \pm 0,26 b	4,01 \pm 0,85 b
T5 (control)	16,34 \pm 7,52	263,18 \pm 89,01 ab	6,02 \pm 0,90 abc	3,48 \pm 0,07 c	1,63 \pm 0,24 a	3,73 \pm 0,79 c

¹SST = sólidos solubles totales, ²AT= acidez titulable. Valores seguidos por distintas letras, en la misma columna, presentan diferencias significativas según el test de Tukey en un nivel de significación del 5%.

TABLA 3 - Valores medios \pm desviación estándar para las variables relacionadas con el crecimiento de la planta en los distintos tratamientos de Se aplicado (F = foliar, S = sustrato).

Tratamiento	SPAD hoja vieja	SPAD hoja nueva	Diámetro corona mm	Nº de hojas
T1 Se(IV)F	58,45 \pm 15,32 a	39,03 \pm 7,90	21,82 \pm 6,03 a	10,99 \pm 3,20 a
T2 Se(IV)S	56,43 \pm 3,04 ab	40,40 \pm 11,89	20,96 \pm 4,92 ab	11,35 \pm 4,38 a
T3 Se(VI)F	55,80 \pm 3,05 ab	40,25 \pm 17,54	20,11 \pm 5,86 ab	10,70 \pm 3,68 a
T4 Se(VI)S	57,76 \pm 2,55 ab	40,20 \pm 8,34	21,17 \pm 5,90 ab	10,90 \pm 2,47 a
T5 (control)	55,08 \pm 10,20 b	37,72 \pm 10,28	19,37 \pm 7,02 b	9,65 \pm 3,05 b

Valores seguidos por distintas letras, en la misma columna, presentan diferencias significativas según el test de Tukey en un nivel de significación del 5%.

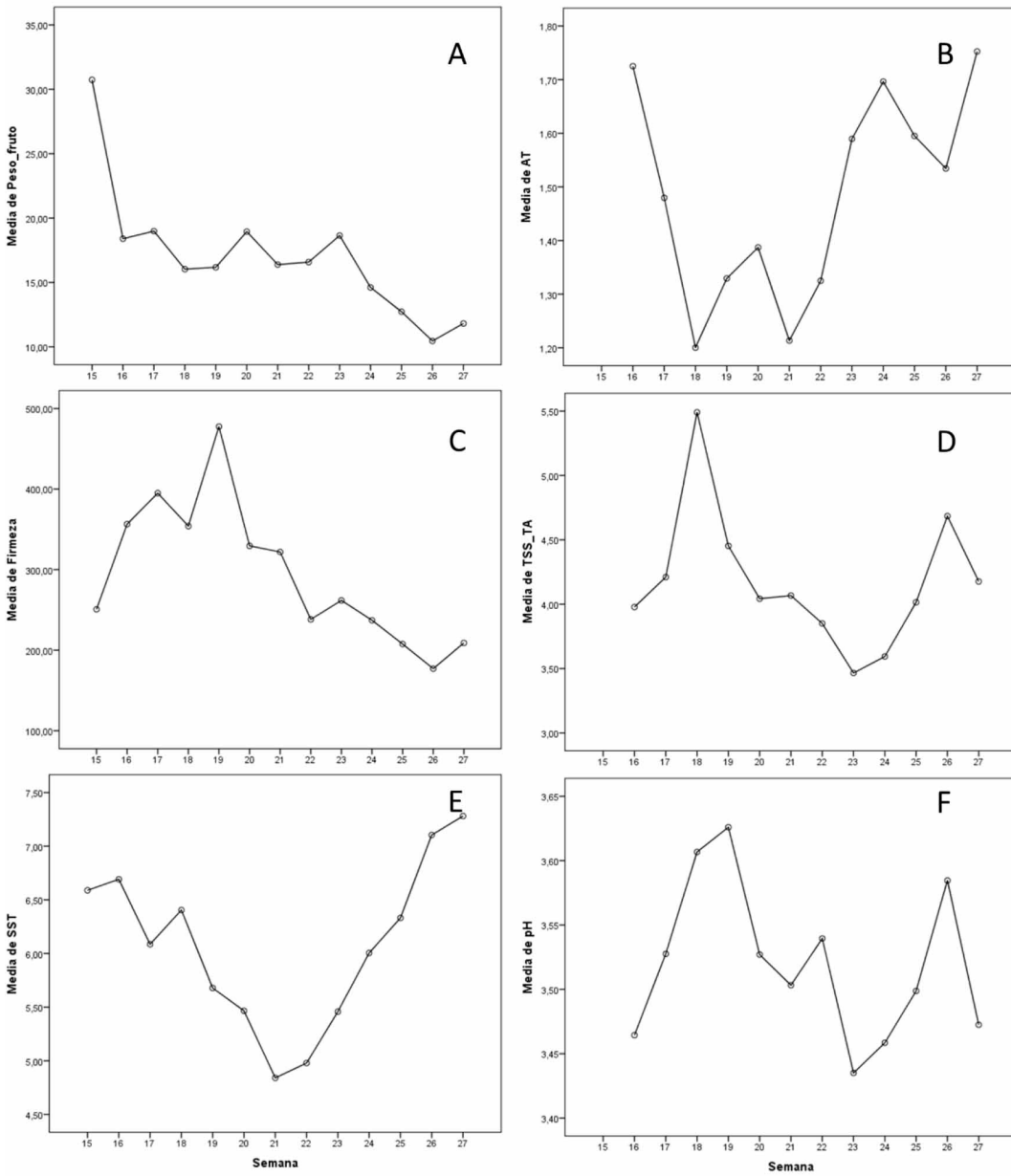


FIGURA 1- Variables relacionadas con la calidad de la fruta de fresa durante las semanas de cosecha.

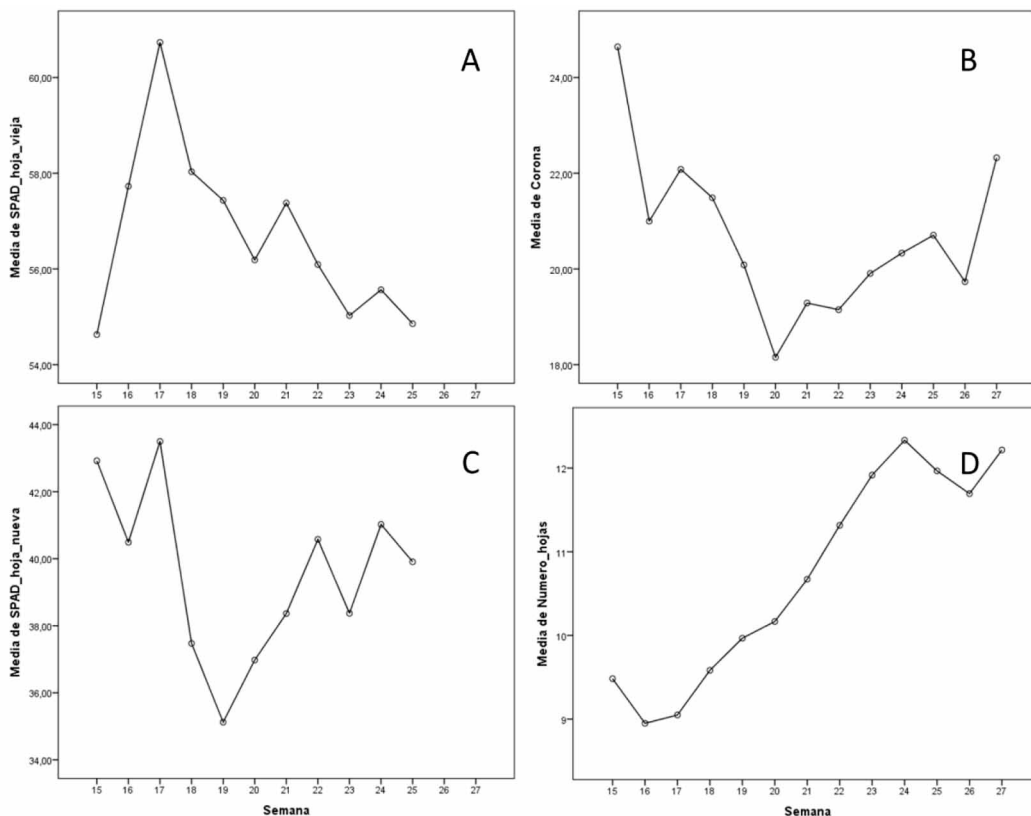


FIGURA 2- Variables relacionadas con el crecimiento de la planta de fresa a lo largo del tiempo.

CONCLUSIONES

En este estudio se demostró que en sistemas de cultivo sin suelo de fresa la aplicación de Se a las plantas ocasionó efectos positivos sobre la calidad de los frutos. En este sentido, los tratamientos con selenato mejoraron la firmeza y el contenido en sólidos solubles y los tratamientos con selenito mostraron un efecto significativo en los valores de SST AT⁻¹. Ambos, selenato y selenito aplicados al sustrato originaron un incremento del pH en el fruto. Por otro lado, la aplicación de Se también tuvo un efecto positivo sobre el crecimiento de la planta, observándose un mayor número de hojas y mayores valores de SPAD en hoja vieja. No obstante, se requieren más estudios respecto a la dosis y a la forma de aplicación del Se, con el fin de explicar la lenta acumulación del Se en el fruto de fresa; así como, el efecto del Se sobre la calidad y parámetros de crecimiento en la planta.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto P12-FQM-0752 de excelencia de la Junta de Andalucía (España). Queremos dar las gracias a Tomas Stoleru y Mihaela Istrate por su apoyo técnico.

REFERENCIAS

ARO, A.; ALFTHAN, G.; EKHOLM, P.; VARO, P. Effects of selenium supplementation of fertilizers on human nutrition and selenium status. In: FRANKENBERGER, W.T.; ENGBERG, R.A. **Environmental chemistry of selenium**. New York: Marcel Dekker, 1998. p.81–97.

- AZODANLOU, R.; DARBELLAY, C.; LUISIER, J. L.; VILLETAZ, J. C.; AMAD, R. Changes in flavour and texture during the ripening of strawberries. **European Food Research and Technology**, Berlin, v.218, n.2, p.167–172, 2004.
- CALVETE, E.; MARIANI, F.; WESP, C.L.; NIENOW, A.A.; CASTILHOS, T.; CECCHETTI, D. Fenología, Produção e teor de antocianinas de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.396–401, 2008.
- CALVETE, E.O.; CECCHETTI, D.; BORDIGNON, L. Desempenho de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.2, p.1-4, 2003. Suplemento. CD-ROM.
- CHU, J.; YAO, X.; YUE, Z.; LI, J.; ZHAO, F.J. The effects of selenium on physiological traits, grain selenium content and yield of winter wheat at different development stages. **Biological Trace Element Research**, Clifton, v.151, n.3, p.434-440, 2013.
- CORDENUNSI, B.R.; OLIVEIRA DO NASCIMENTO, J.R.; LAJOLO, F.M. Physico-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. **Food Chemistry**, London, v.83, n.2, p.167–173, 2003.
- CORREIA, P.J.; PESTANA, M.; MARTÍNEZ, F.; RIBEIRO, E.; GAMA, F.; SAAVEDRA, T.; PALENCIA, P. Relationships between strawberry fruit quality attributes and crop load. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, v.130, n.2, p.398–403, 2011.
- EUROPEAN COMMUNITY LEGISLATION 843/2002. **Laying down the 429 marketing standard for strawberries and amending Regulation (EEC) n. 99/87**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002R0843:EN:HTML>>. Acesso em: 21 maio 2002.
- FERNANDEZ, B.F.; CABRE, E.; ESTEVE, M.; MINGORANCE, M.D.; ABAD, L.A.; LACHICA, M.; GIL, A.; GASSULL, M.A. Serum selenium and risk of large size colorectal adenomas in a geographical area with a low selenium status. **The American Journal of Gastroenterology**, New York, v.97, n.8, p.2103–2108, 2002.
- FILHO, J., ANTUNES, L.E.C.; PÁDUA, J.G. Introdução e avaliação de cultivares de morangueiro no Sul de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.2, p.1-4, 2003. Suplemento.
- FINLEY, J.W.; IP, C.; LISK, D.J.; DAVIS, D.C.; HINTZE, K.J.; WHANGER, P.D. Cancer-protective properties of high-selenium broccoli. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.49, n.5, p.2679–2683, 2001.
- FORDYCE, F. Selenium geochemistry and health. **AMBIO**, Norway, v.36, n.1, p.94–97, 2007.
- GIAMPIERI, F.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; BATTINO, M. Strawberry and Human Health: Effects beyond Antioxidant Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.62, n.18, p.3867–3876, 2014.
- GUIMARÃES, A.G.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; ELSAYED, A.Y.A.M.; FERNANDES, J.S.C.; FERREIRA, M.A.M. Potencial produtivo de cultivares de morangueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.37, n.1, p.112-120, 2015.
- GUNNESS, P.; KRAVCHUK, O.; NOTTINGHAM, S. M.; D'ARCY, B. R.; GIDLEY, M.J. Sensory analysis of individual strawberry fruit and comparison with instrumental analysis. **Postharvest Biology and Technology**, Netherlands, v.52, n.2, p.164–172, 2009.
- HEIJARI, J.; KIVIMÄENPÄÄ, M.; HARTIKAINEN, H.; JULKUNEN-TIITTO, R.; WULFF, A. Responses of strawberry (*Fragaria x ananassa*) to supplemental UVB radiation and selenium under field conditions. **Plant and Soil**, Netherlands, v.282, n.1-2, p.27–39, 2006.

- HU, Q.; CHEN, L.; XU, J.; ZHANG, Y.; PAN, G. Determination of selenium concentration in rice and the effect of foliar application of Se-enriched fertilizer or sodium selenite on the selenium content of rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v.82, n.8, p.869–872, 2002.
- IP, C. Lessons from basic research in selenium and cancer prevention. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v.128, n.11, p.1845–1854, 1998.
- KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. **Trace elements from soil to humans**. Berlin: Springer-Verlag, 2007.
- KÁPOLNA, E.; HILLESTROM, P.R.; LAURSEN, K.H.; HUSTED, S.; LARSEN, E.H. Effect of foliar application of selenium on its uptake and speciation in carrot. **Food Chemistry**, Berlin, v.115, n.4, p.1357–1363, 2009.
- KARAM, E.B. The protective role of selenium on genetic damage and on cancer. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, New York, v.475, n.1-2, p.123–139, 2001.
- KARLIDAG, H.; YILDIRIM, E.; TURAN, M. Exogenous applications of salicylic acid affect quality and yield of strawberry grown under antifrost heated greenhouse conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.172, n.2, p.270–276, 2009.
- LE MIÈRE, P.; HADLEY, P.; DARBY, J.; BATTEY, N.H. The effect of thermal environment, planting date and crown size on growth, development and yield of *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Elsanta. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Asford, v.73, n.6, p.786-795, 1998.
- MARTÍNEZ, F.; PALENCIA, P.; WEILAND, C.M.; ALONSO, D.; OLIVEIRA, J.A. Influence of nitrification inhibitor DMPP on yield, fruit quality and SPAD values of strawberry plants. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, v.185, n.5, p.233–239, 2015.
- MÉNAGER, I.; JOST, M.; AUBERT, C. Changes in physicochemical characteristics and volatile constituents of strawberry (Cv. Cigaline) during maturation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.52, n.5, p.1248-1254, 2004.
- MONTERO, T. M.; MOLLA, E. M.; ESTEBAN, R. M.; LOPEZ-ANDRÉU, F. J. Quality attributes of strawberry during ripening. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, v.65, n.4, p. 239-250, 1996.
- NELSON, M.A.; REID, M.; DUFFIELD-LILLICO, A.J.; MARSHALL, J.R. Prostate cancer and selenium. **The Urologic Clinics of North America**, Philadelphia, v.29, n. 1, p.67–70, 2002.
- ORNELAS-PAZ, J.DE.J.; YAHIA, E.M.; RAMÍRES-BUSTAMANTE, N.; PÉREZ-MARTÍNEZ, J.D.; ESCALANTE-MINAKATA, M.P.; IBARRA-JUNQUERA, V.; ACOSTA-MUÑIZ, C. Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. **Food Chemistry**, Berlin, v.138, n.1, p.372–381, 2013.
- PESTANA, M.; CORREIA, P. J.; DAVID, M.; ABADÍA, A.; ABADÍA, J.; DE VARENNE, A. Response of five citrus rootstocks to iron deficiency. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.174, n.5, p.837–846, 2011.
- POGGI, V.; ARCIONI, A.; FILIPPINI, P.; PIFFERI, P. G. Foliar application of selenite and selenate to potato (*Solanum tuberosum*): Effect of a ligand agent on selenium content of tubers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.48, n.10, p.4749–4751, 2000.
- PORTELA, I.P.; PEIL, R.M.; RODRIGUES, S.; CARINI, F. Densidade de plantio, crescimento, produtividade e qualidade das frutas de morangueiro “Camino Real” em hidroponia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, n.3, p. 792-798, 2012.
- REILLY, C. **Nutritional trace metals**. Hoboken: Wiley & Wiley, 2004.
- REILLY, C. Selenium: a new entrant into the functional food arena. **Trends in Food Science & Technology**, Kiddington, v.9, n.3, p.114–118, 1998.
- RODRIGO, S.; SANTAMARÍA, O.; POBLACIONES, M.J. Se application timing: influence in wheat grain and flour Se accumulation under Mediterranean conditions. **The Journal of Agricultural Science**, Kidlington, v.6, n.3, p.23–30, 2014.

- SÁNCHEZ-RODAS, D.; MELLANO, F.; MORALES, E.; GIRALDEZ, I. A simplified method for inorganic selenium and selenoaminoacids speciation based on HPLC-TR-HG-AFS. **Talanta**, Amsterdam, v.106, n.1, p.298–304, 2013.
- SLEJKOVEC, M.; GOESSLER, W. Accumulation of selenium in natural plants and selenium supplemented vegetable and selenium speciation by HPLC-ICPMS. **Chemical Speciation and Bioavailability**, Surrey, v.17, n.2, p.63–73, 2005.
- SMRKOLJ, P.; STIBILJ, V.; KREFT, I.; GERM, M. Selenium species in buckwheat cultivated with foliar addition of Se(VI) and various levels of UV-B radiation. **Food Chemistry**, Berlin, v.96, n.4, p.675–681, 2006.
- SMRKOLJ, P.; STIBILJ, V.; KREFT, I.; KÁPOLNA, E. Selenium species determination in selenium-enriched pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds by HPLC-UV-HG-AFS. **Analytical Sciences**, Tokyo, v.21, n.12, p.1501–1504, 2005.
- WHITE, P.J.; BOWEN H.C.; PARMAGURU, P.; FRITZ, M.; SPRACKLEN, W.P.; SPIBY, R.E.; MEACHAM, M.C.; MEAD, A.; HARRIMAN, M.; TRUEMAN, L.J.; SMITH, B.M.; THOMAS, B.; BROADLEY, M.R. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.55, n.404, p.1927–1937, 2004.
- WU, G.L.; NING, C.J. Effects of applying selenium to chinese jujube on the fruit quality and mineral elements content. **Acta Horticulturae**, The Hague, v.993, p.199–207, 2013.
- XU, J.; ZHU, S.G.; YANG, F.M.; CHEG, L.C.; HU, Y.; PAN, G.X.; HU, Q.H. The influence of selenium on the antioxidant activity of green tea. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v.83, n.5, p.451–455, 2003.
- YADAVA, U.L. A rapid nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HortScience**, St Joseph, v.21, p.1449–1450, 1986.
- YANG, F.; CHEN, L.; HU, Q.; PAN, G. Effect of the application of selenium on selenium content of soybean and its products. **Biological Trace Element Research**, Totowa, v.93, n.1-3, p.249–256, 2003.
- ZHANG, Y.; ZHANG, B.; RUI, Y. Study on Selenium and Other Trace Elements Presents in Selenium-Enriched Strawberry by ICP-MS. **Asian Journal of Chemistry**, Sahibabad, v.25, n.11, p.6451–6452, 2013.
- ZHAO, Y.; WU, P.; WANG, Y.; FENG, H. Different approaches for selenium biofortification of pear-jujube (*Zizyphus jujuba* M. cv. Liza0) and associated effects on fruit quality. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v.11, n.2, p.529–534, 2013.