



Potassium fertilization in fruit tree

Fertilización potásica en frutales

Guerrero-Polanco, F.*, Alejo-Santiago, G. Luna-Esquivel, G.

Universidad Autonoma de Nayarit, Unidad Academica de Agricultura, Carretera Tepic-Compostela Km.9, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit. México.

ABSTRACT

A review of the effect of potassium fertilization in tropical fruit was performed because of the importance of the element potassium (K) related to increase quality, yield and fruit size, also for the many roles in physiological processes plants. The aim of this article is to collect updated information about the role of K in soil, the absorption and interaction of this element with other nutrients, and the functions of this in plants. Symptoms of K deficiency in plants, the relationship with pH in soil and K availability are also approached, as the nutrition of fruit trees with potassium. It is concluded that in most investigations potassium fertilization increased the quality, yield and fruit size; in addition, the importance of this element on the response

KEY WORDS

Potassium, biotic and abiotic stress.

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: December 4th 2015 .

Accepted/Aceptado: February 23th 2016.

*Corresponding Author:

Guerrero-Polanco, F., Universidad Autonoma de Nayarit, Unidad Academica de Agricultura, Carretera Tepic-Compostela Km.9, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit. México. Phone: +52(311) 211 0128. E-mail: gpf_m@hotmail.com

RESUMEN

El presente artículo es una revisión del efecto de fertilización potásica en frutales tropicales, esto debido a la importancia del elemento potasio (K) en relación al incremento de calidad, rendimiento y tamaño de fruto, además por las múltiples funciones que desempeña este elemento en los procesos fisiológicos de las plantas. El objetivo del presente artículo, es la recopilación de información actualizada acerca del papel que juega el K en el suelo, la absorción e interacción de este elemento con otros nutrientes, así como las funciones de éste en las plantas. También se abordan los síntomas de la deficiencia de K en las plantas, la relación con el pH del suelo y la disponibilidad de K, así como la nutrición de frutales con potasio. Se concluye que en la mayoría de las investigaciones la fertilización potásica incrementó la calidad, rendimiento y tamaño de fruto, así mismo la importancia de este elemento sobre la respuesta de la planta cuando son afectadas por algún tipo de estrés (biótico y abiótico) en comparación con tratamientos testigo.

PALABRAS CLAVE

Potasio, estrés biótico y abiótico.

of the plant when affected by some form of stress (biotic and abiotic) compared to control treatments.

Introduction

Potassium (K) is an essential nutriment for plant growth and development, and it is the most abundant cation in vegetable cells. The foliar concentration of this element varies according to the species. Becerra-Sanabria *et al.*, (2007) reported that optimum concentration is found within a range of 2 and 5 %. Roots absorb it in form of ion K^+ and it is not modified at any time; within the plant, it moves through the xylem vessels and balances mainly to the nitrate anion; from the total of K that is found in the leaves cells, 70 % is located in vacuoles and 30 % in cytoplasm.

The Food and Culture Organization of the United Nations (FAO) informed in 2015 that the worldwide use of nitrogenized, phosphated and potassium fertilizers surpasses 200 million of tons. The N will increase 1.4 %, 2.2 % P, while K will increase 2.6 % annually. The worldwide demand of fertilizers of K in 2013 was 30,060,000 and 31,040,000 t in 2014; it also mentioned that a demand of potassium fertilizers is expected of 34,500,000 t for 2018. From that, 56 % would be consumed in Asia, 27 % in America, 11 % in Europe, 6 % in Africa and 0.4 % in Australia. The countries that demanded the most this type of fertilizers are: China, Brazil and Russia, with 23, 18 and 3 % respectively.

Ávila (2001) reports that the use of potassium fertilizers is increasing in Mexico, since sales went from 60,000 t in 1984 to 217,000 t in 1998. On the other hand, the FAO reports in 2015 a decrease in the consumption of N and P; such consumption was 1,291,108 y 320,704 t of N and P, respectively in 2012, while in 2013 sales were 1,290,200 and 306,943 t for the nutriment in mention. Regarding the consumption of K in the period 2012 to 2013, it increased from 202,697 to 212,942 t. Currently, potassium fertilizers are the most demanded ones. The increase in the use can be the result of phenomena such as the decrease of K available in soils for the continuous extraction of cultures.

Maintaining a culture in adequate levels of K has consequences in its growth and optimum yield, and it grants better tolerance and adaptation to diseases, plagues, salinity and draught (Anschütz *et al.*, 2014). The aim of the investigation was to collect updated information about: K in soil, K

Introducción

El potasio (K) es un nutrimento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas y es el catión más abundante en las células vegetales. La concentración foliar de este elemento varía según la especie. Becerra-Sanabria *et al.*, (2007) reportaron que la concentración óptima se encuentra en un rango de 2 y 5 %. Las raíces lo absorben en forma de ion K^+ y no se modifica en ningún momento, dentro de la planta se mueve por los vasos del xilema y balancea principalmente al anión nitrato; del total de K que se encuentra en las células de las hojas, 70 % se localiza en vacuolas y 30 % en citoplasma.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) en el año 2015 informó que el uso mundial de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos sobrepasa los 200 millones de t. El N aumentará un 1.4 %, 2.2 % el de P, mientras que el K aumentará un 2.6 % anual. La demanda mundial de fertilizantes de K en 2013 fue de 30,060,000 y 31,040,000 t en 2014, también mencionó que se espera una demanda de fertilizantes potásicos de 34,500,000 t, para el 2018. El 56 % estaría consumido en Asia, el 27 % en América, el 11 % en Europa, un 6 % en África y 0.4 % en Oceanía. Los países que más demandarán este tipo de fertilizantes son: China, Brasil y Rusia con 23, 18 y 3 % respectivamente.

Ávila (2001) reporta que el consumo de fertilizantes potásicos está en incremento en México, al pasar las ventas de 60,000 t en 1984 a 217,000 t en 1998. Por otra parte, la FAO en el 2015 reporta una disminución en el consumo de N y P; dicho consumo fue de 1,291,108 y 320,704 t de N y P respectivamente en el 2012, mientras que en el 2013 las ventas fueron de 1,290,200 y 306,943 t para los nutrimentos en mención. Respecto al consumo de K en el periodo de 2012 a 2013 aumentó de 202,697 a 212,942 t. Actualmente, los fertilizantes potásicos son los que presentan una mayor demanda. El incremento en el uso puede ser el resultado de fenómenos como la disminución de K disponible en suelos por la extracción continua de los cultivos.

Mantener un cultivo en niveles adecuados de K, repercute en su crecimiento y rendimiento óptimo, así mismo le otorga una mayor adaptación y tolerancia a enfermedades, plagas, salinidad y sequía (Anschütz *et al.*, 2014). El objetivo de la investigación fue la recopilación de información actualizada acerca del: K en el suelo, absorción de K, interacción de K con otros nutrientes, funciones del K en las plantas, síntomas de deficiencia del K, relación del pH del suelo con la disponibilidad del K, nutrición de frutales con K.

K en el suelo

La concentración de K en el suelo es entre 0.1 y 1 mM (White y Karley, 2010). Constituye del 2.1 a 2.3 %

absorption, K interaction with other nutrients, K function in plants, symptoms of K deficiency, soil pH relationship with the availability of K, nutrition of fruit trees with K.

K in soil

K concentration in soil ranges between 0.1 and 1 mM (White and Karley, 2010). It constitutes from 2.1 to 2.3 % of the earth crust and so it is the most abundant element; therefore, it is mentioned that agricultural soils possess sufficient levels and application of K is not required; however, the constant extraction of this element by cultures provokes a lack of K available in agricultural zones (Römheld and Kirkby, 2010).

The availability of this element for cultures depends on the dynamics of exchange in soil, in which an active fraction of immediate intake and another long-term passive fraction take place. The passive fraction corresponds K that takes part of the structure of minerals and has no contribution in the nutrition of cultures during a cycle of growth. The active fraction is constituted by three components or reserves: K in the solution of soil, the absorbed in exchange places called exchangeable K and the occluded in the interior of phyllosilicate clays, called non-exchangeable K (Rodríguez *et al.*, 2001). Another form that affects K availability is the presence of high levels of other monovalent cations, such as Na⁺ and NH₄⁺ which interferes with its absorption (Rus *et al.*, 2004).

Release of exchangeable K is often slower than the absorption rate by plants and, in consequence, the content of K in some soils does not satisfy the need of cultures in the phenologic stage of higher demand (Johnston, 2005). Benítez-Pardo *et al.*, (2003) reported in mango (*Mangifera indica* L.) that the phenologic stage that requires more K is in fruit ripeness.

Recent investigations have revealed the impact of K in the structure of soil, and its capacity for water catchment. Holthusen *et al.*, (2010) determined that the application of mineral fertilizers with K enhances water retention capacity of soils and improves the structural stability in sandy soils. The efficiency of K recovery in soil is 40 % and depends on the application form and amount, and the absorption capacity of different cultures (Baligar *et al.*, 2001). Other authors such as Gavi (2012) mention that recovery efficiency is 60 % average, and depends on the soil characteristics, culture management and climate conditions.

de la corteza terrestre y con esto es el octavo elemento más abundante, por ello se menciona que los suelos agrícolas poseen niveles suficientes y que no se requiere de la aplicación de K; sin embargo, la extracción constante de este elemento por los cultivos, provoca un desabasto de K disponible en zonas agrícolas (Römheld y Kirkby, 2010).

La disponibilidad de este elemento para los cultivos depende de la dinámica de intercambio en el suelo, en la cual participa una fracción activa de aporte inmediato y otra pasiva a largo plazo. A la fracción pasiva corresponde el K que forma parte de la estructura de los minerales y no contribuye en la nutrición de los cultivos durante un ciclo de crecimiento. La fracción activa está constituida por tres componentes o reservas: K en la solución del suelo; el adsorbido en los sitios de intercambio, llamado K intercambiable y el oculto en el interior de las arcillas filosilicatadas, denominado K no intercambiable (Rodríguez *et al.*, 2001). Otra forma que afecta la disponibilidad de K es la presencia de altos niveles de otros cationes monovalentes tales como Na⁺ y NH₄⁺ que interfieren con su absorción (Rus *et al.*, 2004).

La liberación de K intercambiable es a menudo más lento que la tasa de absorción por las plantas y en consecuencia, el contenido de K en algunos suelos no satisface la necesidad de los cultivos en la etapa fenológica de mayor demanda (Johnston, 2005). Benítez-Pardo *et al.*, (2003) reportaron que en mango (*Mangifera indica* L.) la etapa fenológica que requiere más K es en la de madurez de frutos.

Recientes investigaciones han puesto de manifiesto el impacto de K en la estructura del suelo y su capacidad para captar el agua. Holthusen *et al.*, (2010) determinaron que la aplicación de fertilizantes minerales con K mejora la capacidad de retención de agua de los suelos y mejora la estabilidad estructural en suelos arenosos. La eficiencia de recuperación del K en suelo es de 40 % y depende de la forma, cantidad que se aplica y la capacidad de absorción de los diferentes cultivos (Baligar *et al.*, 2001). Otros autores como Gavi (2012), menciona que la eficiencia de recuperación, en promedio es del 60 %, y que depende de las características del suelo, del manejo del cultivo y de las condiciones climáticas.

Absorción de K

El contacto entre la raíz y los nutrientes puede producirse debido a básicamente dos factores: (I) crecimiento de las raíces en el área donde se encuentra un nutriente, y (II) transporte del nutriente a la superficie de la raíz a través del suelo (Jungk y Claassen, 1997). El primer proceso, deno-

K absorbance

The contact between the root and the nutrients can be produced mainly to two factors: (I) an increase of the roots in the area where the nutrient is found, and (II) transportation of the nutrient to the root surface through the soil (Jungk and Claassen, 1997). The first process is called root interception, it constitutes 1.2 % of the total K that is absorbed due to the quick elimination of K in the root surface (Rosolem *et al.*, 2003). The second process is facilitated by the diffusion and flow, the diffusion is the dominant mechanism in the supply of K to the root Surface (Seiffert *et al.*, 1995) and it constitutes up to the 96 % of total absorbed K (Oliveira *et al.*, 2004). Obtained results in corn roots (*Zea mays* L.), canola (*Brassica napus* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) showed that roots compete for K if the distance between them is less of 4 mm (Yamaguchi and Tanaka, 1990; Vetterlein and Jahn, 2004).

Interaction of K with other nutrients

Ionic interactions can occur as cation-cation, anion-anion or cation-anion (Fageria, 1983). K interaction with other nutrients is an important aspect in the performance of cultures; for example, the synergism of K with N (Dibb and Thomson, 1985). Therefore, to increase the yield in cultures with the addition of N, a higher level of K in soil is necessary (Fageria *et al.*, 1997). An increase in the concentration of K reduces the absorption of Ca, Mg and B, which indicates that there is an antagonist effect between these elements, due to the physiological properties of these ions (Dibb and Thompson, 1985; Fageria, 1983). Likewise, it is described that the absorption of Cu, Mn and Zn improves when the level of K is optimum, this indicates an intersection of synergism between these elements.

Functions of K in plants

The concentration of K in cytoplasm is approximately of 100 mM (White and Karley, 2010). It is the most abundant univalent cation in vegetable tissue, it performs a central role in the physiological processes that include osmotic regulation, the electrochemical balance, substance transportation through the phloem and xylem, stress signalization and the activation of essential enzymes in photosynthesis and breath (Wakeel, 2013). In addition, it activates regulatory enzymes, particularly the pyruvate kinase and the phosphofructokinases, needed to form starch and proteins (Salisbury and Ross, 1994).

minado interceptación de raíz, constituye el 1.2 % del total de K que se absorbe debido a la rápida eliminación de K en la superficie de la raíz (Rosolem *et al.*, 2003). El segundo proceso, es facilitado por la difusión y flujo, la difusión es el mecanismo dominante en el suministro de K a la superficie de la raíz (Seiffert *et al.*, 1995) y constituye hasta el 96 % del total de K absorbido (Oliveira *et al.*, 2004). Resultados obtenidos en raíces de maíz (*Zea mays* L.), canola (*Brassica napus* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.) demostraron que las raíces compiten por K si la distancia entre ellos es de menos de 4 mm (Yamaguchi y Tanaka, 1990; Vetterlein y Jahn, 2004).

Interacción de K con otros nutrientes

Las interacciones iónicas pueden ocurrir como interacciones catión-catión, anión-anión, o catión-anión (Fageria, 1983). La interacción de K con otros nutrientes es un aspecto importante en el aumento el rendimiento de los cultivos, por ejemplo el sinergismo del K con el N (Dibb y Thomson, 1985). Por lo tanto, para aumentar el rendimiento de los cultivos con la adición de N, requiere también mayor nivel de K en el suelo (Fageria *et al.*, 1997). Un aumento en la concentración de K, reduce la absorción de Ca, Mg y B, lo que indica que existe un efecto antagonista entre estos elementos, debido a las propiedades fisiológicas de estos iones (Dibb y Thompson, 1985; Fageria, 1983). Así mismo, está descrito que la absorción de Cu, Mn y Zn mejora cuando el nivel de K es óptimo, esto indica una intersección de sinergismo entre estos elementos.

Funciones del K en las plantas

La concentración de K en el citoplasma celular es aproximadamente 100 mM (White y Karley, 2010). Es el catión univalente más abundante en los tejidos vegetales, desempeña un papel central en los procesos fisiológicos que incluyen la regulación osmótica, el equilibrio electroquímico, el transporte de sustancias por el floema y xilema, la señalización de estrés, y en la activación de las enzimas esenciales en la fotosíntesis y la respiración, (Wakeel, 2013). Además, el K activa enzimas reguladoras particularmente de la piruvato quinasa y las fosfofructoquinasas, las cuales son necesarias para formar almidón y proteínas (Salisbury y Ross, 1994).

La preservación de la presión de turgencia celular es muy sensible a un suministro limitado de K. De hecho, debido a su alta movilidad, el K es el catión principal que contribuye a la expansión celular (Hamamoto y Uozumi, 2014). La esencialidad del K está relacionada con su papel clave como regulador osmótico y su impacto en el movimiento de la hoja, apertura y el cierre de los estomas, así como el crecimiento axial y tropismos (Shabala, 2003).

The preservation of cell turgor pressure is very sensible to a limited supply of K. In fact, due to its high mobility, K is the main cation that contributes to cellular expansion (Hama-moto and Uozumi, 2014). The essentiality of K is related with its key role as osmotic regulator and its impact in the movement, closure and opening of the stomas of the leave, and axial and tropism growth (Shabala, 2003).

At a biochemical level, K ions present an important roles in the activation of many enzymes, especially proteins and starch synthesis, as well as breathing and photosynthetic metabolism (Marschner, 2012). Öborn *et al.*, (2005) concluded in a review article that concentrations of K in the cultures are often minor than 2.5 to 3.5 %. The differences in absorbance of K between the different plant species are attributed to root structure variations, density and length (Wigoda *et al.*, 2014).

Symptoms of K deficiency and excess

The K ion is redistributed easily from the mature organs to the young ones, therefore the deficiency symptoms show first in the leaves of higher age (Becerra-Sanabria *et al.*, 2007). The lack of the element originates a general delay of growth, which can be especially observed on the reserve organs: seeds, fruits or tubers. These deficiency signs are observed when its content of K is from 3 to 5 times inferior to the normal. In the leaves, the clearer symptoms can be observed. A mottled of chlorotic spots is started, followed by a development of necrosis in the tip and edges. In many cases, the leaves tend to curve upwards (Navarro and Navarro, 2006).

When this element is limiting in the soil, it results in a delayed cellular growth, simple carbohydrates accumulation, reduction of the photosynthetic activity and reduction of growth and productivity; the deficiency can also reduce the resistance of plants to biotic and abiotic factors (Zörb *et al.*, 2014).

The symptoms for the excess of K in the plant is present with less frequency, and they are based in antagonisms: K/Mg, K/Ca, K/Fe and K/B. Hence, the excessive absorbance of this nutrient generates deficiency of other nutrients, such as: Mg, Fe and Zn (Navarro and Navarro, 2000).

Relation of pH in soil with K availability

A limitant pH for the culture affects both the development of roots and the absorbance of nutrients, it also has a direct effect on the nutrient availability, since

A nivel bioquímico, los iones de K presentan un papel importante en la activación de muchas enzimas, especialmente de proteínas y la síntesis de almidón, así como en el metabolismo respiratorio y fotosintético (Marschner, 2012). Öborn *et al.*, (2005) concluyeron en un estudio de revisión que las concentraciones de K en los cultivos son a menudo menores de 2.5 a 3.5 %. Las diferencias en la absorción de K entre las diferentes especies de plantas se atribuyen a variaciones en la estructura, densidad y longitud de la raíz (Wigoda *et al.*, 2014).

Síntomas de deficiencia y exceso de K

El ión K se redistribuye con facilidad de los órganos maduros a los juveniles, por lo que los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas de mayor edad (Becerra-Sanabria *et al.*, 2007). La falta del elemento origina un retraso general del crecimiento, que se observa especialmente sobre los órganos de reserva: semillas, frutos o tubérculos. Estos signos de deficiencias se observan cuando su contenido en K es de 3 a 5 veces inferior al normal. Es en las hojas donde se pueden apreciar los síntomas más claros. Se inicia un moteado de manchas cloróticas y prosigue con un desarrollo de necrosis en la punta y en los bordes. En muchos de los casos, las hojas tienden a curvarse hacia arriba (Navarro y Navarro, 2006).

Este elemento cuando es limitante en el suelo da como resultado un crecimiento celular retardado, acumulación de carbohidratos simples, reducción de la actividad fotosintética y una reducción del crecimiento y productividad, la deficiencia también puede reducir la resistencia de las plantas a factores bióticos y abióticos (Zörb *et al.*, 2014).

Los síntomas por el exceso de K en la planta se presenta con menos frecuencia, y están basadas en los antagonismos: K/Mg, K/Ca, K/Fe y K/B. De esta manera, la absorción excesiva de este nutriente origina a deficiencias de otros como: Mg, Fe y Zn (Navarro y Navarro, 2000).

Relación del pH del suelo con la disponibilidad del K

Un pH limitante para el cultivo afecta tanto el desarrollo de las raíces como la absorción de nutrientes, así mismo afecta directamente la disponibilidad de nutrientes, ya que cambia los estados redox de cada elemento, disponibles para la planta; esto a su vez, afecta el desarrollo físico de las raíces, y el incremento de acidez tiende a disminuir la disponibilidad de K, ya que los hidrógenos interaccionan con la capacidad de intercambio catiónico y, además, los protones

it changes the redox states of each element, available for the plant; this also affects the physical development of the roots, the increase of acidity tends to decrease K availability and also, protons compete with the transportation of metallic ions through the root. The maximum availability is found in the interval of 6.5-7.5; on the surface it loses by Ca competence and in a higher pH of 8.5, it increases again, since alkaline soils are generally abundant in Na and K (Álvarez *et al.*, 2012).

Potassium nutrition in fruit trees

Potassium fertilization is one of the determining factors in yield and quality of fruits. In some countries, investigations where the aim is the increase in yield and quality from an adequate potassium fertilization of the culture have been made.

In the state of Nayarit (Mexico), Salazar-García *et al.*, (2014) developed an investigation in mango (*Mangifera indica* L.) in two varieties "Kent" and "Tommy Atkins" cultivated with no irrigation, and reported that potassium nutrition can vary in function to the variety, since to obtain the maximum yield in "Tommy Atkins" (186.9 Kg tree⁻¹) a dose of 455-572 g was necessary, and for "Kent", the maximum yield (138.2 Kg tree⁻¹) was obtained with a dose of 259-325 g K₂O tree⁻¹, while the control yield was 115.5 Kg tree⁻¹.

In another investigation made in Guandong (China), where the response of mango to fertilization in specific site of K was evaluated, the maximum yield of the fruit was reached with the application of 320 g K₂O tree⁻¹, which resulted in a significant increase by obtaining 15.2 t ha⁻¹ in respect to 3.75 t ha⁻¹ that tend to be the normal yields of the region (Xiuchong *et al.*, 2001).

An investigation carried in Argentina, where the fertilization in the culture of Valencia orange (*Citrus sinensis*) with a dose of 3 Kg K tree⁻¹ was evaluated, reported a yield of 140 Kg tree⁻¹ in comparison to control, which produced 102 Kg (Rodríguez *et al.*, 2005).

Opazo and Razeto (2001) evaluated the effect of an annual dose of 3 Kg K₂O tree⁻¹, in orange tree (*Citrus sinensis*), reported a yield of 231 Kg tree⁻¹ and the yield for control was 187 Kg tree⁻¹.

Salazar *et al.*, (2009) evaluated the effect of fertilization in avocado cv. Hass from 2001 to 2005 on the production and size of the fruit in orchards of 10-12 years old, growth

compiten con el transporte de los iones metálicos por la raíz. La máxima disponibilidad se encuentra en el intervalo de 6.5-7.5; por encima, decae por competencia de Ca y en un pH mayor de 8.5, vuelve a aumentar, ya que los suelos alcalinos son generalmente abundantes en Na y K (Álvarez *et al.*, 2012).

Nutrición potásica en frutales

La fertilización potásica es uno de los factores determinantes del rendimiento y calidad en las frutas. En algunos países, se han realizado investigaciones donde se ha buscado aumentar el rendimiento y calidad a partir de una adecuada fertilización potásica del cultivo.

En el estado de Nayarit (México), Salazar-García *et al.*, (2014) desarrollaron una investigación en mango (*Mangifera indica* L.) en dos variedades "Kent" y "Tommy Atkins" cultivados sin riego, y reportaron que la nutrición potásica puede variar el rendimiento en función a la variedad, ya que para obtener el máximo rendimiento en "Tommy Atkins" (186.9 Kg árbol⁻¹) se necesitó una dosis de 455-572 g y para "Kent" el máximo rendimiento (138.2 Kg árbol⁻¹) fue con una dosis de 259-325 g K₂O árbol⁻¹, mientras que el rendimiento del testigo fue de 115.5 Kg árbol⁻¹.

En otra investigación realizada en Guandong (China), en donde se evaluó la respuesta también de mango a la fertilización sitio específico de K, el máximo rendimiento de fruto se alcanzó con la aplicación de 320 g K₂O árbol⁻¹, lo cual resultó en un incremento significativo al obtener 15.2 t ha⁻¹ con respecto a 3.75 t ha⁻¹ que son los rendimientos normales de la región (Xiuchong *et al.*, 2001).

Una investigación llevada a cabo en Argentina donde se evaluó la fertilización en el cultivo de naranja valencia (*Citrus sinensis*) con una dosis de 3 Kg K árbol⁻¹, reportaron un rendimiento de 140 Kg árbol⁻¹ en comparación con el testigo que produjo 102 Kg (Rodríguez *et al.*, 2005).

Opazo y Razeto (2001) evaluaron el efecto de una dosis anual de 3 Kg K₂O árbol⁻¹, en naranjo (*Citrus sinensis*), reportaron un rendimiento para dicha dosis de 231 Kg árbol⁻¹ y el rendimiento para el testigo fue de 187 Kg árbol⁻¹.

Salazar *et al.*, (2009) evaluaron el efecto de fertilización en aguacate cv. Hass de 2001 a 2005 sobre la producción y tamaño del fruto en huertos de 10-12 años cultivados sin riego y reportaron que la dosis de 2.520 Kg K₂O incrementó los rendimientos de 15.6 t ha⁻¹ a 28.197 t ha⁻¹, respecto a la mayor producción de tamaños (calidad) prime-

with no irrigation and reported that the dose of 2.520 Kg K_2O increased the yields from 15.6 t ha^{-1} to 28.197 t ha^{-1} , in respect to the higher production of sizes (quality) first, extra and super extra, it was obtained with the same doses of 61.1, 20.1 and 12 Kg respectively, compared to control which obtained 38.9, 9.3 and 4.9 Kg respectively.

A five-year investigation evaluated the response of cv. Hass avocado to the annual application of 1 Kg K_2O tree⁻¹, obtaining an average yield in the five years of 16.7 t ha^{-1} , compared to the average yield in the five years in trees with no fertilization of 11.6 t ha^{-1} (Aguilera and Salazar, 1996).

A study reported by Rodríguez *et al.*, (2005), evaluating the effect of a dose of 1 Kg K tree⁻¹ in Valencia orange in a 4 year period, showed that for fruit size, the statistical difference was present in the 4th year harvest.

Salazar (2009) reported that potassium fertilization in avocado trees, at a dose of 2.5 Kg K_2O showed higher production of big fruit (170-> 266 g) (95.9 Kg tree) compared to control that obtained 58.9 Kg of big fruit.

Pathak and Mitra (2010) developed an investigation work in lychee, and informed that by adding K via edaphic in autumn, they reduced vegetative growth and flowering was increased.

Some works have shown effects on the fertilization with K on the nutritional foliar levels at the second year of their application, as occurred with the mango Zihuaman in high density (855 plants ha), where a dose of 320 g K_2O tree⁻¹ was evaluated and increased its concentration from (0.16 to 0.18 %) (Xiuchong *et al.*, 2001).

In the fertilization of orange tree (*Citrus sinensis*) with a dose of 3 Kg K_2O tree⁻¹ the foliar content of K increased from 6.2 g Kg^{-1} to 6.8 g Kg^{-1} in the third year of the treatment application (Opazo and Razeto, 2001).

In the tropical fruit lychee (*Litchi chinensis* Sonn), a dose of 1.25 kg K per tree⁻¹ per year has been evaluated, and it has been concluded that the fractioning of the dose and the application moments have a direct effect in yield and quality of the fruit, existing a positive correlation between the foliar content and the yield, and the photosynthetic activity, stomal conductance and efficient use of water (Pathak and Mitra, 2010).

ra, extra y súper extra, fue obtenido con esta misma dosis de 61.1, 20.1 y 12 Kg respectivamente, comparada con el control que obtuvo 38.9, 9.3 y 4.9 Kg respectivamente.

En una investigación de cinco años, se evaluó la respuesta del aguacate cv. Hass a la aplicación anual de 1 Kg K_2O árbol⁻¹, obteniéndose un rendimiento promedio en los cinco años de 16.7 t ha^{-1} , comparado con el rendimiento promedio en los cinco años en árboles sin fertilización de 11.6 t ha^{-1} (Aguilera y Salazar, 1996).

Un estudio reportado por Rodríguez *et al.*, (2005) quienes evaluaron el efecto de una dosis de 1 kg K árbol⁻¹ en naranja valencia en un periodo de 4 años, demostró que para el tamaño de fruto, la diferencia estadística se presentó en la cosecha del 4to. año.

Salazar (2009) reportó que la fertilización potásica en árboles de aguacate, a una dosis de 2.5 Kg K_2O mostraron la mayor producción de fruto grande (170-> 266 g) (95.9 Kg árbol) comparado con el control que obtuvo 58.9 Kg de fruto grande.

Pathak y Mitra (2010) desarrollaron un trabajo de investigación en litchi e informaron que con la adición de K vía edáfica en otoño redujeron el crecimiento vegetativo y se incrementó la floración.

Algunos trabajos han mostrado efectos de la fertilización con K sobre los niveles nutrimentales foliares al segundo año de su aplicación, como ocurrió en el mango Zihuaman en alta densidad (855 plantas ha), donde se evaluó una dosis de 320 g de K_2O árbol⁻¹ y aumentó su concentración de (0.16 a 0.18 %) (Xiuchong *et al.*, 2001).

En la fertilización en naranjo (*Citrus sinensis*) con una dosis de 3 Kg K_2O árbol⁻¹ el contenido foliar de K se incrementó de 6.2 g Kg^{-1} a 6.8 g Kg^{-1} en el tercer año de la aplicación del tratamiento (Opazo y Razeto, 2001).

En un frutal tropical como es la litchi (*Litchi chinensis* Sonn), se ha evaluado una dosis de 1.25 kg de K por árbol⁻¹ por año y se ha concluido que el fraccionamiento de la dosis y los momentos de aplicación tienen efecto directo en rendimiento y calidad de fruto, existiendo una correlación positiva entre el contenido foliar y el rendimiento, así mismo con actividad fotosintética, conductancia estomática y uso eficiente de agua (Pathak y Mitra, 2010).

La fertilización potásica en litchi, también ha presentado diferencias significativas en postcosecha, como lo

Potassium fertilization in lychee has presented significant postharvest differences, as reported by Aburto *et al.*, (2016) who evaluated a dose of 600 g K₂O per tree per year, and applying in two fractions (30 days before flowering and 15 days after fruit mooring). Authors mention that a higher relation of brix grades was shown: acidity (64.01) and higher content of ascorbic acid (49.67 mg 100 g of aril).

reportado por Aburto *et al.*, (2016), quienes evaluaron una dosis de 600 g de K₂O por árbol al año y aplicado en dos fracciones (30 días antes de floración y 15 días después de amarre de fruto). Los autores mencionan, que esto se manifestó en una mayor relación de grados brix: acidez (64.01) y mayor contenido de ácido ascórbico (49.67 mg 100 g de arilo).

Conclusions

Investigations made describing an effect attributed only to the supply of K to the edaphic system are scarce, given that in the majority of the investigations, doses of composed fertilization with other micro and macro elements are evaluated. To obtain higher yield and quality in the products of the cultures, and to decrease contamination due to irrational addition of fertilizers, it is necessary to study this element to formulate an adequate dose, which can improve yield and quality of agricultural products. In most of the investigations, potassium fertilization improved quality, yield and size of the fruit, and the importance of this element on the response of the plant when affected by some form of stress (biotic and abiotic) in comparison to control treatments.

Conclusiones

Son escasas las investigaciones realizadas que describen un efecto atribuido únicamente al suministro de K al sistema edáfico, dado que en la mayoría de las investigaciones evalúan dosis de fertilización compuesta con otros macro y micro elementos. Para obtener un mayor rendimiento y calidad en los productos de los cultivos así mismo para disminuir la contaminación por la adición irracional de fertilizantes, es necesario el estudio de este elemento para formular una dosis indicada, la cual pueda mejorar el rendimiento y calidad de los productos agrícolas. En la mayoría de las investigaciones la fertilización potásica incrementó la calidad, rendimiento y tamaño de fruto, así mismo la importancia de este elemento sobre la respuesta de la planta cuando son afectadas por algún tipo de estrés (biótico y abiótico) en comparación con tratamientos testigo.

References

- Aburto, C.A., Ramírez, L.G., Sánchez, A.L. and Valdivia, M.G. 2016. Nutrición potásica en el cultivo de litchi (*Litchi chinensis* Sonn). *Revista Bio Ciencias* 3(4): 249-255. <http://revistabiociencias.uan.mx/BIOCIENCIAS/article/view/134>
- Aguilera, L. and Salazar, S. 1996. Efecto del Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el rendimiento y tamaño del fruto de aguacate. INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Uruapan. Michoacán México. 24.
- Álvarez, C., Fernández, M. and Hernández, M. 2012. Nutrición mineral, estándares foliares, actividad clorofílica y estado de los nutrientes de los suelos de dos cultivares de protea *Leucospermum cordifolium* (Proteaceae). Instituto de Productos Naturales y Agrobiología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Avenida Astrofísico Francisco Sánchez 3, La Laguna, 38206. Tenerife, España. *Ciencia de Investigación Agropecuaria* (39): 105-116. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5343375>
- Anschütz, U., Becker, D. and Shabala, S. Going beyond nutrition. 2014. Regulation of potassium homeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. *Journal of Plant Physiology* 670-687. http://ac.els-cdn.com/S0176161714000340/1-s2.0-S0176161714000340-main.pdf?_tid=3eef6656-948e-11e6-9a63-00000aacb360&acdnat=1476725114_302841f5374651010b2d40227571e0e3
- Ávila, J.A. 2001. El Mercado de los fertilizantes en México/Situación actual y perspectivas. *Problemas del Desarrollo* 32 (127): 190-207. <http://www.ejournal.unam.mx/pde/pde127/PDE12708.pdf>
- Baligar, C., Fageria, K. and He, I. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* (32): 921-950. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/CSS-100104098>
- Becerra-Sanabria, L., Navia-de-Mosquera, S. and Núñez-López, C. 2007. Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar "Criolla Guaneña" en el departamento de Nariño. *Revista Latinoamericana* (14): 51-60. <http://www.papaslatinas.org/v14n1p51.pdf>

- Benítez-Pardo, D., Hernández-Montoya, M., Osuna-Enciso, T., Valenzuela-López, M. and Galván-Piña, B. 2003. Muestreo y análisis foliar relacionados con fenología en mango en el sur de Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana* (21): 273-283. <http://www.redalyc.org/pdf/573/57315595013.pdf>
- Dibb, D.W. and Thompson, W.R. 1985. Interaction of potassium with other nutrients. In: Potassium in agriculture, R. D. Munson, Ed. Madison, WI: ASA, CSSA, and SSSA 515–533.
- Dibb, D.W. and Welch, F. 1975. Corn growth as affected by ammonium vs. nitrate absorbed from soil. *Agronomy Journal* 89–94. <https://doi.org/10.1080/00137307508940089>
- Fageria, N. 1983. Ionic interactions in rice plants from dilute solutions. *Plant Soil* 309-316. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02374887>
- Fageria, N., Baligar, V. and Jones, A. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops, 2a edition. Marcel Dekker, 737–742 pp. <https://www.crcpress.com/Growth-and-Mineral-Nutrition-of-Field-Crops-Third-Edition/Fageria-Baligar-Jones/p/book/9781439816950>
- Gavi, F. 2012. Uso de fertilizantes. *Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación* 1-11.
- Hamamoto, S. and Uozumi, N. 2014. Organelle localized potassium transport systems in plants. *Journal of Plant Physiology* 171 (9): 743-747. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161713004392>
- Holthusen, D. Peth, S. and Horn, R. 2010. Impact of potassium concentration and matric potential on soil stability derived from rheological parameters. *Soil Tillage Research* 111(1): 75- 85. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198710001406>
- Johnston, A. and Stéen, I. 2005. Understanding potassium and its use in agriculture. Brussels: EFMA. http://www.fertilizer-seurope.com/fileadmin/user_upload/publications/agriculture_publications/EFMA_Phosphorus_booklet_2_.pdf
- Jungk, A. and Claassen, N. 1997. Ion diffusion in the soil root system. *Advances in Agronomy* (61): 53–110. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308606628>
- Marschner, P. 2012. Mineral nutrition of high her plants. Elsevier, London. <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780124735422>
- Navarro, S. Navarro, G. 2000. Química Agrícola. Ediciones. Mundi-Prensa. Madrid, 255 pp. http://www.itscv.com.ec/Libros/Quimica_Agricola.pdf
- Navarro, S. Navarro, G. 2006. Química Agrícola. Ediciones. Mundi-Prensa. Madrid, 430 pp. http://www.itscv.com.ec/Libros/Quimica_Agricola.pdf
- Öborn, I., Andrist-Rangel, Y., Askegaard, M., Grant, C., Watson, A. and Edwards, C. 2005. Critical aspects of potassium management in agricultural systems. *Soil Use Manage* 12–102. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2005.tb00114.x/abstract>
- Oliveira, R., Rosolem, A. and Trigueiro, M. 2004. Importance of mass flow and diffusion on the potassium supply to cotton plants as affected by soil water and potassium. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo* 28(3): 439–445. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832004000300005&script=sci_abstract
- Opazo, A. and Razeto, M. 2001. Efecto de diferentes fertilizantes potásicos en el contenido foliar de nutrientes, producción y calidad de fruta en naranjo cv. Valencia. *Agricultura Técnica* 61 (4): 470-478. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072001000400009
- Pathak, P.K. and Mitra, S.K. 2010. Rate and time of potassium fertilization influence yield and quality of litchi. *Acta Horticulturae* 863: 235-242. http://www.ishs.org/ishs-article/863_30
- Rodríguez, A., Mazza, S., Martínez, C. and Ferrero, A. 2005. Zn and k influence in fruit sizes of Valencia orange. *Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal* 27: 132-135. <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v27n1/24584.pdf>
- Rodríguez, J., Pinochet, D. and Matus, F. 2001. Fertilización de los cultivos. Lom. Santiago de Chile 117.
- Römheld, V. and Kirkby, E. 2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant Soil* 335: 155-180. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11104-010-0520-1>
- Rosolem, A., Mateus, P., Godoy, G., Feltran, C. and Brancalio, R. 2003. Root morphology and potassium supply to pearl millet roots as affected by soil water and potassium contents. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo* 27(5): 875-884. <http://www.redalyc.org/pdf/1802/180214025012.pdf>
- Rus, A., Yokoi, S., Sharkhuu, A., Reddy, M., Lee, H., Matsumoto, T., et al. 2004. AtHKT1 is a salt tolerance determinant that controls Na⁺ entry into plant roots. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98(24): 14150-14155.

- https://www.researchgate.net/publication/11655199_AtHKT1_is_a_salt_tolerance_determinant_that_controls_Na_entry_into_plant_roots
- Salazar, S., Cossio, V. and González, D. 2009. La fertilización de sitio específico mejoró la productividad del aguacate "Hass" en huertos sin riego. *Agricultura Técnica de México* 439-448.
- Salazar-García, S., Santillán-Valladolid, G., Hernández-Valdés, E., Medina-Torres, R., Ibarra-Estrada, M. and Gómez-Aguilar, R. 2014. Efecto a corto plazo de la fertilización de sitio específico en mangos "Kent" y "Tommy Atkins" cultivados sin riego. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(4): 645-659. <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263130476009.pdf>
- Salisbury, F. y Ross, W. 1994. Fisiología Vegetal. 6a. edición. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. México. 758 pp.
- Seiffert, S., Kaselowsky, J., Jungk, A. and Claassen N. 1995. Observed and calculated potassium uptake by maize as affected by soil water content and bulk density. *Agronomy Journal* 87 (6): 1070-1077. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/87/6/AJ0870061070>
- Shabala, S. 2003. Regulation of potassium transport in leaves: from molecular to tissue level. *Ann Bot* 92 (5): 627-634 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4244855/>
- Vetterlein, D. and Jahn, R. 2004. Gradients in soil solution composition between bulk soil and rhizosphere: in situ measurement with changing soil water content. *Plant and Soil* (258) 307-317.
- Wakeel, A. 2013. Potassium, sodium interactions in soil and plant under saline sodic conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 176 (3): 344-354. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jpln.201200417/epdf>
- White, J. and Karley, A. 2010. Potassium. In: Hell RMRR, editor. Cell biology of metals and nutrients. Heidelberg. Springer 199-224. <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-642-10613-2>
- Wigoda, N., Moshelion, M. and Moran, N. 2014. Is the leaf bundle sheath a "smart flux valve" for K⁺ nutrition. *Journal of Plant Physiology* 171 (9): 715-722. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161714000029>
- Xiuchong, B., Guojian, L., Jianwu, Y., Shaoying, A. and Lixian, Y. 2001. Balanced fertilization on mango in Southern China. *Better Crops International* 15(2): 16-20. [http://www.ipni.net/publication/bci.nsf/0/98D12003C070301085257BBA006868B6/\\$FILE/Better%20Crops%20International%202001-2%20p16.pdf](http://www.ipni.net/publication/bci.nsf/0/98D12003C070301085257BBA006868B6/$FILE/Better%20Crops%20International%202001-2%20p16.pdf)
- Yamaguchi, J. and Tanaka, A. 1990. Quantitative observation on the root systems of various crops growing in the field. *Soil Science and Plant Nutrition* 36(3): 483-493. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00380768.1990.10416917?needAccess=true>
- Zörb, C., Senbayram, M. and Peiter, E. 2014. Potassium in agriculture Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology* 171 (9) 656-669. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161713003611>

Cite this paper/Como citar este artículo: Guerrero-Polanco, F., Alejo-Santiago, G. Luna-Esquivel, G. (2017). Potassium fertilization in fruit tree. *Revista Bio Ciencias* 4(3): 143-152. <http://editorial.uan.edu.mx/BIO-CIENCIAS/article/view/229/268>

