

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



"DINÁMICA MACRONUTRIMENTAL EN AGUACATE (*Persea americana* Mill) cv. CARMEN HASS"

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

PRESENTA:

**FEDERICO GUERRERO POLANCO**

DIRECTOR DE TESIS

**DR. GELACIO ALEJO SANTIAGO**

Xalisco, Nayarit; 2017

DR. J. DIEGO GARCIA PAREDES  
COORDINADOR DE POSGRADO CBAP  
PRESENTE

Los que suscribimos, integrantes del consejo Tutorial del alumno **Federico Guerrero Polanco**, declaramos que hemos revisado la tesis titulada "**Dinámica Macronutricional en Aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Carmen Hass**" y determinamos que la tesis puede ser presentada por el alumno para aspirar al grado de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias con línea terminal en Ciencias Agrícolas.

ATENTAMENTE  
EL CONSEJO TUTORIAL.



Dr. Getacio Alejo Santiago

Director



Dr. Gregorio Luna Esquivel

Coodirector



Dr. Rufo Sánchez Hernández

Asesor



Dr. Néstor Isordia Aquino

Asesor



MC. Ana Lusia Sánchez Monteón

Asesor

## DEDICATORIAS

Mi tesis la dedico:

A mis padres: **Fidencio Guerrero Flores y Petra Polanco Olivo**, que me apoyaron durante mi formación personal como profesional y poniéndome atención en todos los momentos, gracias por confiar en mí y por todos sus buenos consejos que me han dado, que sin duda alguna los he utilizado día con día. Gracias padres por todo ese sacrificio que realizaron para poder concluir con mis estudios.

A mi hermana **Damari**, por todo tu apoyo brindado en mi formación profesional tanto económica como emocional, eres un ejemplo a seguir en esta vida.

Gracias familia, **Fidencio, Petra y Damari**, les viviré siempre agradecido.

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma de Nayarit**, gracias por permitirme realizar los estudios de maestría y brindarme conocimiento que me servirá para toda mi vida.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por haberme apoyado durante dos años con la beca para realizar los estudios.

Agradezco al **Dr. Gelacio Alejo Santiago**, por confiar en mí para la realización de esta investigación científica y por haberme orientando y apoyado en el trascurso de la maestría.

A mis asesores, gracias por brindarme sus conocimientos, por su apoyo, su paciencia y su disponibilidad para aclarar dudas: **Dr. Gelacio Alejo Santiago, Dr. Gregorio Luna Esquivel, MC. Ana Luisa Sánchez Monteón, Dr. Rufo Sánchez Hernández y Dr. Néstor Isordia Aquino.**

## ÍNDICE DE CUADROS

| No. | Cuadro  | Página |
|-----|---|--------|
| 1   | Fenología del aguacate cv. Carmen Hass en el clima semicálido de Nayarit, México.....   | 6      |
| 2   | Descripción del desarrollo de la flor de aguacate.....  | 9      |
| 3   | Intervalos de concentración foliar en aguacate, obtenidos por diferente autor.....  | 14     |
| 4   | Estándar y coeficiente de variación (CV) de Índices de balance Kenworthy para aguacatero.....   | 15     |
| 5   | Funciones de los nutrimentos esenciales en las plantas.....   | 15     |
| 6   | Síntomas de deficiencia y exceso de los nutrimentos en aguacate.....  | 16     |
| 7   | Las principales ventajas de la fertilización mineral.....   | 18     |
| 8   | Cantidad de nutrimentos extraídos por tonelada de fruto de aguacate cv. Carmen Hass.....  | 20     |
| 9   | Tratamientos de dosis de nitrato de potasio en dos condiciones de humedad.....  | 28     |
| 10  | Concentración foliar de N (%) en aguacate cv. Carmen Hass, por efecto de fertilización con $KNO_3$ en dos condiciones de humedad..... | 31     |
| 11  | Efecto de dosis de $KNO_3$ en concentración foliar de N (%) en aguacate cv. Carmen Hass.....  | 32     |
| 12  | Efecto de dosis de $KNO_3$ en dos condiciones de humedad en la concentración foliar de N (%) en aguacate cv. Carmen Hass.....         | 33     |
| 13  | Concentración foliar de P (%) en aguacate cv. Carmen Hass, por fertilización de $KNO_3$ en dos condiciones de humedad.....            | 34     |
| 14  | Efecto de dosis de $KNO_3$ en concentración foliar de P (%) en aguacate cv. Carmen Hass.....  | 35     |
| 15  | Efecto de dosis de $KNO_3$ en dos condiciones de humedad en la concentración foliar de P (%) en aguacate cv. Carmen Hass.....         | 36     |
| 16  | Concentración foliar de K (%) en aguacate cv. Carmen Hass, por fertilización de $KNO_3$ en dos condiciones de humedad.....            | 38     |
| 17  | Efecto de dosis de $KNO_3$ en concentración foliar de K (%) en aguacate cv. Carmen Hass.....  | 38     |
| 18  | Efecto de dosis de $KNO_3$ en dos condiciones de humedad en la concentración foliar de K (%) en aguacate cv. Carmen Hass.....         | 39     |
| 19  | Concentración foliar de Ca (%) en aguacate cv. Carmen Hass, por fertilización de $KNO_3$ en dos condiciones de humedad.....           | 40     |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 20 | Efecto de dosis de $KNO_3$ en concentración foliar de Ca (%) en aguacate cv. Carmen Hass.....  | 41 |
| 21 | Efecto de dosis de $KNO_3$ en dos condiciones de humedad en la concentración foliar de Ca (%) en aguacate cv. Carmen Hass.....                         | 43 |
| 22 | Concentración foliar de Mg (%) en aguacate cv. Carmen Hass, por fertilización de $KNO_3$ en dos condiciones de humedad.....                            | 44 |
| 23 | Efecto de dosis de $KNO_3$ en concentración foliar de Mg (%) en aguacate cv. Carmen Hass.....  | 45 |
| 24 | Efecto de dosis de $KNO_3$ en dos condiciones de humedad en la concentración foliar de Mg (%) en aguacate cv. Carmen Hass.....                         | 46 |
| 25 | Extracción nutrimental bajo diferentes dosis de $KNO_3$ en árboles de aguacate cv. Carmen Hass.....  | 50 |
| 26 | Extracción nutrimental en gramos por efecto de dosis de $KNO_3$ en rendimiento de fruto en aguacate cv. Carmen Hass.....                               | 50 |
| 27 | Extracción nutrimental en gramos por efecto de dosis de $KNO_3$ en dos condiciones de humedad en rendimiento de fruto en aguacate cv. Carmen Hass..... | 51 |

### ÍNDICE DE FIGURAS

|   |   |        |
|---|---|--------|
|   |   | Página |
| 1 | Escala visual que permite relacionar la apariencia externa de las yemas apicales con su estado de desarrollo anatómico..... | 9      |

### ÍNDICE DE GRÁFICAS

|   |  |        |
|---|--|--------|
|   |  | Página |
| 1 | Efecto de dosis de fertilización de $KNO_3$ en producción de fruto en aguacate cv. Carmen Hass, en dos condiciones de humedad..... | 47     |
| 2 | Efecto de dosis de fertilización de $KNO_3$ en producción de fruto en aguacate cv. Carmen Hass.....                                | 48     |
| 3 | Efecto de dosis de fertilización de $KNO_3$ en dos condiciones de humedad en producción de fruto en aguacate cv. Carmen Hass.....  | 49     |

## ÍNDICE GENERAL

|   | Página |
|---|--------|
| DEDICATORIAS.....                                   | i      |
| Agradecimientos.....                                | ii     |
| Índice de cuadros.....                              | iii    |
| Índice de figuras.....                              | iv     |
| Índice de gráficas.....                             | iv     |
| Índice general.....                                 | v      |
| RESUMEN.....  | viii   |
| I. Introducción.....                                | 1      |
| 1.1 Objetivo general.....                           | 2      |
| 1.2 Objetivos específicos.....                      | 2      |
| 1.3 Hipótesis.....                                  | 2      |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA.....                     | 3      |
| 2.1 Importancia del cultivo.....                    | 3      |
| 2.2 Origen del cultivo.....                         | 4      |
| 2.3 Razas y variedades de aguacate.....             | 4      |
| 2.4 Aguacate cv. Hass.....                          | 5      |
| 2.5 Aguacate cv. Carmen Hass.....                   | 5      |
| 2.6 Etapas fenológicas del aguacate cv. Hass.....   | 6      |
| 2.7 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo..... | 6      |
| 2.8 Riego.....                                      | 7      |
| 2.9 Monitoreo del nivel de humedad.....             | 8      |
| 2.10 Efectos por estrés hídrico en el cultivo.....  | 8      |
| 2.11 Escala visual de yemas florales.....           | 9      |
| 2.12 Características de la flor.....                | 10     |
| 2.13 Floración y factores que la inducen.....       | 10     |
| 2.14 Amarre de fruto y factores que lo afectan..... | 11     |
| 2.15 Fruto y sus etapas de desarrollo.....          | 12     |
| 2.16 Alternancia productiva.....                    | 12     |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.17 Análisis foliar.....  | 13        |
| 2.18 Intervalos de concentración nutrimental foliar.....                           | 14        |
| 2.19 Estándar y coeficiente de variación (CV) de índices de balance Kenworthy..... | 14        |
| 2.20 Funciones de los nutrientes.....  | 15        |
| 2.21 Síntomas de deficiencia y exceso de los nutrientes en aguacate.....           | 16        |
| 2.22 Fertilización mineral.....  | 18        |
| 2.23 Ventajas de la fertilización mineral.....                                     | 19        |
| 2.24 Requerimientos nutrimentales.....   | 19        |
| 2.25 Potasio (K).....  | 20        |
| 2.26 K en el suelo.....  | 21        |
| 2.27 Absorción de K.....   | 22        |
| 2.28 Interacción de K con otros nutrientes.....                                    | 23        |
| 2.29 Funciones del K en las plantas.....   | 23        |
| 2.30 Síntomas de deficiencia y exceso de K.....                                    | 24        |
| 2.31 Relación del pH del suelo con la disponibilidad del K.....                    | 24        |
| 2.32 Fertilización potásica en frutales.....                                       | 25        |
| 2.33 Fertilización en aguacate.....  | 26        |
| <b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>  | <b>27</b> |
| 3.1 Sitio experimental.....  | 27        |
| 3.2 Clima.....   | 27        |
| 3.3 Material biológico.....  | 27        |
| 3.4 Tratamientos.....  | 27        |
| 3.5 Diseño experimental y tamaño de parcela.....                                   | 28        |
| 3.6 Momentos de aplicación de los tratamientos.....                                | 28        |
| 3.7 Manejo del riego.....  | 29        |
| 3.8 Variables de estudio.....  | 29        |
| 3.8.1 Variación nutrimental foliar.....  | 29        |
| 3.8.2 Rendimiento.....   | 30        |
| 3.8.3 Extracción nutrimental en fruto.....   | 30        |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>   | <b>31</b> |
| 4.1 Variación nutrimental en tejido foliar.....                                    | 31        |



|  |    |
|--|----|
| 4.2 Producción de fruto (Kg árbol <sup>-1</sup> )..... | 46 |
| 4.3 Extracción nutrimental en fruto.....               | 49 |
| IV. CONCLUSIONES.....                                  | 52 |
| V. LITERATURA CITADA.....                              | 53 |

## RESUMEN

Se realizó una investigación para evaluar el efecto del nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) en la producción de fruto, concentración foliar de N (Nitrógeno) y K (Potasio), y extracción nutrimental en árboles de aguacate 'Carmen Hass'. Se evaluaron cuatro dosis de  $\text{KNO}_3$  (0, 230, 460 y 690 g árbol<sup>-1</sup>) en condiciones de riego y temporal, con cinco repeticiones bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar. Durante un año se evaluó mensualmente la correlación entre N y K en hojas, la producción de fruto por árbol, tamaño del fruto, volumen del dosel y la extracción nutrimental en fruto. Los resultados indican que solamente en la condición de riego existió una correlación positiva ( $R^2= 0.7347$ ) entre K y N foliar. Las variables de producción de fruto, volumen de dosel y extracción nutrimental por fruto tuvieron diferencias estadísticamente significativas en condiciones de riego, siendo la dosis de 690 g de  $\text{KNO}_3$  la que mostró valores más altos. Se concluye que la fertilización con  $\text{KNO}_3$  tuvo un efecto significativo en producción de fruto (Kg árbol<sup>-1</sup>) tanto en la condición de temporal como de riego. En condiciones de riego se observó una correlación positiva entre el N y K foliar, lo que afectó positivamente la producción de fruto y el volumen de copa. Cuando se carece de infraestructura de riego, el efecto del fertilizante se observa más en la producción vegetativa que en la producción de fruto.

**Palabras clave:** *Persea americana* Mill., fertilización, potásica, riego, producción.

## I.INTRODUCCIÓN

El cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) es de gran importancia en México ya que es líder en la producción a nivel mundial. La superficie establecida para el año 2016 es de 161,815 ha con un rendimiento promedio de 10 t ha<sup>-1</sup>; de esta superficie, alrededor de 71,562 ha cuentan con sistema de riego, las cuales producen en promedio 10.77 t ha<sup>-1</sup>. Los principales estados dedicados a la explotación de este cultivo son Michoacán, Jalisco, Estado de México y Nayarit; para el Estado de Nayarit los rendimientos reportados son de 7.7 t ha<sup>-1</sup> y tiene una superficie establecida de 4,872 ha; con uso de sistemas de riego los rendimientos se incrementan a 11.14 t ha<sup>-1</sup>. La superficie establecida con aguacate bajo riego asciende a 301 ha aproximadamente. Los principales municipios productores en la entidad son Xalisco y Tepic, los cuales poseen el 91.6 % de la superficie estatal establecida (SIAP, 2015).

Es evidente la necesidad de incrementar la cantidad de alimentos, conservando los recursos ecológicos y energéticos del planeta. Los modelos climáticos, predicen que la incidencia y la duración de los períodos de sequía y estrés por calor seguirán en aumento lo que afectará negativamente a los cultivos. Los principales retos para la agricultura son incrementar los rendimientos, así como la calidad de los productos agrícolas (Reynolds *et al.*, 2011). Algunos autores como (Wolstenholme, 1986) menciona que el rendimiento promedio obtenido de los huertos de aguacate es bajo en comparación con otras frutas de pulpa. Esto se debe en gran parte a que para producir frutos de semilla grande y ricos en aceite se requiere una gran producción de fotosintatos. Sin embargo, en Australia se han alcanzado rendimientos de 22.5 t ha<sup>-1</sup> (Wolstenholme *et al.*, 1991); por su parte Salazar (2002), reporta rendimientos potenciales para México de 32.5 t ha<sup>-1</sup>. Para el estado de Nayarit, Salazar *et al.* (2009) reportaron rendimientos de 28 t ha<sup>-1</sup>.

La diferencia entre el rendimiento promedio y los máximos registrados en el cultivo de aguacate, indican la presencia de factores agronómicos que no se han estudiado a fondo, tal es el caso de la fertilización con KNO<sub>3</sub> y las necesidades hídricas del cultivo, estos factores requieren ser combinados para proponer mejores alternativas de manejo, que conduzcan a la obtención de altos rendimientos y óptima calidad de fruto (Maldonado, 2002).

Las recomendaciones de fertilización en las distintas regiones productoras de aguacate, son muy generales y tienden a ser usadas en grandes superficies, sin considerar las variaciones en la fertilidad de los suelos ni la condición nutrimental de los árboles. Esto ocasiona que con frecuencia se apliquen dosis inadecuadas para alcanzar la producción máxima de los huertos que propician desbalances nutrimentales que limitan la productividad, además de contaminar los mantos acuíferos. La fertilización de sitio específico permite maximizar la producción, tamaño y calidad del fruto, ya que considera el estatus nutrimental del suelo y del árbol, así como la meta potencial de rendimiento (Salazar *et al.*, 2009).

Las investigaciones, acerca de la fertilización con  $KNO_3$  en el cultivo de aguacate son escasas en el País. Al respecto, Carr (2013) menciona que aunque México es el principal productor de aguacate a nivel mundial, la mayor parte de la investigación se han realizado en países como: Australia, Estados Unidos de Norteamérica e Israel. Por lo anterior se plantearon los siguientes objetivos.

### **1.1 Objetivo general.**

Evaluar la dinámica de macronutrientes en tejido foliar en el cultivo de aguacate cv. Carmen Hass bajo condiciones de riego y temporal.

### **1.2 Objetivos específicos.**

1. Identificar la dosis de  $KNO_3$  capaz de incrementar la concentración de K en tejido foliar, en el mismo ciclo de producción.
2. Evaluar el efecto de tres dosis de  $KNO_3$  sobre la floración, rendimiento y tamaño de fruto de aguacate cv. Carmen Hass.

### **1.3 Hipótesis.**

La aplicación de  $KNO_3$  vía suelo incrementa la concentración foliar de N y K, tamaño de fruto, así como, el rendimiento en el mismo ciclo de producción.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Importancia del cultivo.

Las exportaciones impactan positivamente en la economía de más de 13,000 productores de aguacate, este fruto se comercializa en 21 países entre los que destacan: Estados Unidos de Norteamérica, Japón, Canadá, Costa Rica, El Salvador, Honduras, Francia, Guatemala, España, China, Holanda, Hong Kong, Reino Unido, Alemania, Singapur y Bélgica, de enero a diciembre de 2015, el volumen de exportación de aguacate fue de 808,000 t, lo que significó un incremento de 32 % en comparación con el mismo periodo de 2014 (SENASICA, 2016). Lo que ha contribuido al aumento de la superficie cultivada en países productores como: México, Chile, España, Sudáfrica, Nueva Zelanda, Australia, Perú, Israel y Estados Unidos de Norteamérica, entre otros (AAPAUM, 2011).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, 2015), señala que en el año 2013 en el mundo se cosecharon aproximadamente 516,485 ha, con rendimiento promedio de  $9.13 \text{ t ha}^{-1}$ , siendo los países con mayor producción: México, República Dominicana, Colombia, Perú e Indonesia, con: 1,467 837; 387,546; 303,340; 288,386 y 276,311 t, respectivamente.

México cuenta con una superficie establecida de aguacate Hass de 161,815 ha con un volumen de producción de 1,423 005 t y un rendimiento de  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , de esta superficie 71,562 ha se cultivan bajo riego, cuyo rendimiento es en promedio de  $10.77 \text{ t ha}^{-1}$ . Los principales estados productores son Michoacán, Jalisco, Estado de México y Nayarit, con una superficie establecida de 122,251; 13,33; 6,574 y 4,872 ha respectivamente (SIAP, 2015).

En Nayarit se registra una superficie de 4,903 ha de aguacate cv. Hass, de las cuales se obtiene una producción de 25,771 t, con rendimiento promedio de  $7.7 \text{ t ha}^{-1}$ ; de estas una superficie aproximada de 301 ha se maneja con riego, con rendimiento de  $11.14 \text{ t ha}^{-1}$ . El municipio que registra el mayor rendimiento es Santa María del Oro con  $13 \text{ t ha}^{-1}$ , y cuenta con una superficie establecida de 51 ha; los municipios con mayor superficie establecida son Jalisco y Tepic, con 2,362 y 2,104 ha, respectivamente (SIAP, 2015). En estos municipios, los suelos son de origen volcánico, de color café a café claro en la superficie,

disminuyendo la intensidad del mismo hasta encontrarse con una coloración blanca que se prolonga hasta el fondo del perfil, el material blanco es de origen volcánico comúnmente conocido como pómez o xal. Estos suelos son poco profundos (30 a 90 cm), con excelentes características físicas (textura franca, estructura granular) y son fáciles de operar mecánicamente (Ulloa, 1994).

La mayor parte de la superficie es de temporal, con una precipitación pluvial media anual de 1,225 mm, concentrada principalmente en los meses de junio a septiembre. El éxito en la producción de aguacate en condición de temporal en los municipios de Tepic y Xalisco, es gracias a la humedad que conserva el xal que se encuentra en el subsuelo, durante la época de sequía (en los meses de octubre a mayo). Además dicho suministro de humedad, el xal proporciona excelente drenaje lo cual reduce la incidencia del hongo *Phytophthora cinnamomi* Rands, causante de la tristeza del aguacate. El xal está compuesto principalmente de silicatos amorfos de aluminio y su aportación nutrimental a la planta es mínima (Salazar y Lazcano, 1999).

Salazar y Lazcano (2003) mencionan que en el estado de Nayarit, los huertos carecen de un programa de fertilización y los rendimientos son de 5 a 12 t ha<sup>-1</sup>, de esta producción, cerca de 20 % corresponde a frutos de calibre grande (primera, extra y súper extra), que son los de mayor precio en el mercado, el resto es fruto pequeño con reducido valor comercial.

## **2.2 Origen del cultivo.**

El aguacate es de la familia Lauraceae, se clasificó como *Persea gratissima* por Gaertner y *Persea americana* por Miller. La fruta fue llamada ahuatl por los aztecas y era ofrecido a ellos como tributo, principalmente por el pueblo de Ahuacatlán, toponímico que según el Códice Mendocino significa el lugar donde abunda el aguacate. El Códice Florentino menciona tres tipos de aguacate: aoacaquaitl, tlacocalaoacatl y quilaoacatl (Torres, 2009). El frutal se originó en América central y el sur de México, desde hace 12.000 años (Yahia, 2011).

### **2.3 Razas y variedades de aguacate.**

El aguacate fue clasificado en tres razas: Mexicana, Guatemalteca y Yucateca, posteriormente esta última recibió el nombre de Antillana, aunque no existen pruebas de su origen en esa región. Ésta clasificación fue el resultado de un acuerdo entre países productores como: Estados Unidos de Norteamérica, México e Israel, entre otros (Aguilar, 2008).

Con base en estas razas, se han realizado cruza inducidas e investigaciones de mejoramiento genético de donde se han obtenido diferentes variedades como: Ettinger, Rincón, Robusta, Lula, Gema, Choquette, Benik, Duke, Hall, Hickson, Mexicola, Collinson, Reed, Simmons, Taylor, Tonnage, Jalma, Santana, Covocado, Colín V-33, Bacon, Zutano, Fuerte, Hass y Carmen Hass (Sangerman, 2014).

Las características distintivas entre las razas se notan en: La época de floración y de recolección, el peso del fruto, las características de la corteza, el contenido de aceite y la resistencia al frío (Gómez, 2000).

### **2.4 Aguacate cv. Hass.**

La cultivar Hass pertenece a la raza guatemalteca (*Persea nubigena* var. *guatemalensis*) y se adapta a condiciones subtropicales, fue patentada en 1935 por Rudolph Hass, en Habra Heights California, en virtud de la calidad de sus frutos, alta producción y maduración tardía, comparado con otras variedades importantes (Whiley *et al.*, 2002). Por su parte Téliz (2000) menciona que la variedad Hass es el principal cultivar comercial en el mundo, esta variedad cuenta con un 10-15 % de genes de la raza Mexicana y el resto de la raza Guatemalteca.

### **2.5 Aguacate cv. Carmen Hass.**

En 1986, en la región sur del valle de Basilia en el municipio de Uruapan, Michoacán, México, se observó un árbol de aguacate distinto en cuanto a la época de floración. Este árbol pertenecía a un huerto de Hass y su morfología resultaba similar a los árboles Hass de los alrededores, en cuanto a sus hojas, estructura de la planta y apariencia de la fruta. Sin embargo, este árbol individual mostró consistentemente un período de floración atípico, en

comparación con los árboles adyacentes del Hass, lo que resultó en una floración fuera de temporada, con la cosecha coincidente con la época de bajo volumen de Hass, además de presentar características de calidad diferente. El árbol con estas características fue referido como el tipo Méndez. Posteriormente en 1997 se registró en California, Estados Unidos como cultivar Hass Carmen o Carmen Hass, siendo los derechos legales asegurados de acuerdo con el expediente No. Brokaw-36564 (Hilsley *et al.*, 2011).

## 2.6 Etapas fenológicas del aguacate cv. Hass.

La fenología es la relación entre el clima y los procesos biológicos periódicos, por lo tanto, el estudio de la fenología del cv. Hass es importante para la correcta planeación y ejecución de las prácticas de manejo de los huertos, como: Podas, fertilización y riegos (Cossio *et al.*, 2008). Wolstenholme y Whiley (1990) indican que los árboles frutales muestran diversas fases fenológicas, por ejemplo: Iniciación y diferenciación floral, flujos de crecimiento vegetativo, amarre y caída de fruto, crecimiento y maduración del fruto, crecimiento de raíces, abscisión de hojas, etc.

De acuerdo con Cossio *et al.* (2008), las diferentes etapas fenológicas que presenta el aguacate cv. Hass en clima semicálido de Nayarit, México se describen en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Fenología del aguacate Hass en el clima semicálido de Nayarit, México.

| <b>Etapas Fenológicas</b>        | <b>E</b> | <b>F</b> | <b>M</b> | <b>A</b> | <b>M</b> | <b>J</b> | <b>J</b> | <b>A</b> | <b>S</b> | <b>O</b> | <b>N</b> | <b>D</b> |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flujo vegetativo de invierno     |          | x        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Flujo vegetativo de verano       |          |          |          |          |          |          | x        |          |          |          |          |          |
| Des. floral de yemas de verano   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | x        |          |
| Des. floral de yemas de invierno |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | x        |
| Coliflor                         | x        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Antesis                          |          |          | x        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Crecimiento de Raíces            |          |          |          |          |          |          |          | x        |          |          |          |          |
| Caída de Fruto                   |          |          |          |          |          | x        |          |          |          |          |          |          |
| Crecimiento de Fruto             |          |          | x        | x        | x        | x        | x        | x        | x        | x        | x        |          |
| Cosecha                          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | x        | x        |

Des= desarrollo.



## 2.7 Requerimientos edafoclimático del cultivo.

Los mejores suelos son los de textura media, francos arcillo arenosos, profundos (0.80 a 1.50 m), con buen drenaje interno y superficial, de 3 a 5 % de materia orgánica y un pH entre 5.5 a 6.5, requiere de una altitud de 400 a 1,800 m, es susceptible a heladas, las temperaturas favorables oscilan entre de 17 a 30 °C, precipitación pluvial de 1,200 a 2,000 mm anuales, una humedad relativa de 60 %, no tolera encharcamientos de agua y es susceptible a vientos fuertes (ANACAFE, 2004).

## 2.8 Riego.

El manejo de riego es importante en cultivo del aguacate. El grado de humedad del suelo depende altamente de la tasa de riego que se aplique, por lo que una condición de falta o exceso de agua en el suelo, no sólo depende de las características físicas del suelo y disponibilidad de agua, si no del manejo de riego.

Migliaccio *et al.* (2010) consideran que en la actualidad la agricultura requiere un incremento de la productividad por unidad de superficie, con un manejo eficiente del riego y de los fertilizantes se pueden reducir al mínimo la contaminación por lixiviación de fertilizantes y la reducción de los volúmenes de agua aplicados sin afectar los rendimientos, por lo tanto, el riego es una práctica que mejora la eficiencia de los fertilizantes.

Para climas de tipo mediterráneo, Lahav y Whiley (2002) recomiendan, un suministro hídrico según la edad del árbol de aguacate, para árboles de un año ( $4-8 \text{ L d}^{-1}$ ) de dos años ( $8-15 \text{ L d}^{-1}$ ) de tres años ( $30-50 \text{ L d}^{-1}$ ) y para los árboles de 4 años ( $80-150 \text{ L d}^{-1}$ ). esta última carga de agua equivale a una lámina de riego de  $2.2-4.2 \text{ mm d}^{-1}$ . Faber (2006) reporta que en California (USA), los productores aplican anualmente entre 450-1,500 mm; por su parte Pilar *et al.* (2010) evaluaron diferentes gastos de agua (47 L/h, 35 L/h, 28 L/h y 20 L/h) en producción y calidad de fruta, concluyen que un gasto de 20 L/h no afecta el rendimiento ni la calidad de la fruta, y dicho gasto fue el que obtuvo el mayor rendimiento, la cual fue de ( $37.1 \text{ Kg árbol}^{-1}$ ).

## **2.9 Monitoreo del nivel de humedad.**

La escasez de agua y la necesidad de aumentar los rendimientos llevó a esfuerzos para el desarrollo de instrumentos necesarios para la medición del nivel de agua del suelo y determinar el momento y el tiempo de riego y aumentar la eficiencia del uso del agua (Du *et al.*, 2010).

Un problema que se presenta en las huertas de aguacate es la ubicación correcta de los equipos para monitorear la humedad del suelo en las zonas donde las raíces están creciendo, un instrumento que puede ser utilizado es el tensiómetro, para su instalación en una huerta, se debe tener en cuenta algunos factores como: La representatividad de su colocación dentro del huerto, la distancia del tronco a la copa, ubicación alrededor del árbol y la profundidad (Gong *et al.*, 2006).

## **2.10 Efectos por estrés hídrico en el cultivo.**

El estrés hídrico altera significativamente las funciones fisiológicas de la planta, este tipo de estrés induce el cierre de estomas, reduce la evapotranspiración y el flujo de masa de la solución del suelo; por lo tanto, el suministro mineral disminuye y como consecuencia limita la nutrición de las plantas. En el cultivo de aguacate se debe evitar durante la etapa fenológica de floración, cuajado y crecimiento inicial del fruto, así como evitar el exceso de riego, para no afectar el sistema radicular por ausencia del oxígeno en el suelo (Dugo *et al.*, 2010).

El aguacate es una especie capaz de soportar algunos episodios de falta de agua, sin embargo, una producción exitosa depende de una adecuada disponibilidad hídrica (Schaffer y Whiley, 2002). Lahav y Whiley (2002) mencionan que como efectos de un estrés hídrico se presenta la disminución: De frutos cuajados, del contenido de aceite, del crecimiento de brotes y tronco, de la calidad interna de la fruta, así como del tamaño de la fruta y en general del rendimiento.

Por otra parte, el exceso de agua tiene un efecto adverso en la fisiología, producción y calidad de fruta. El aguacate es una especie sensible a la falta de agua por lo que la hipoxia en la zona de la raíz puede provocar una disminución del tamaño de las hojas, una

reducción del crecimiento de raíces y brotes, e incluso una severa abscisión de hoja y frutos, clorosis férrica en hojas, además de afectar también el índice de área foliar (Ferreira *et al.*, 2007).

### 2.11 Escala visual de yemas florales.

Con el propósito de contar con una herramienta práctica que permita conocer con precisión el estado de desarrollo de las yemas florales del aguacate, Salazar *et al.* (1998) diseñaron una escala visual (Figura 1), la cual permite relacionar la apariencia externa de las yemas apicales con su estado de desarrollo anatómico, además del monitoreo del desarrollo floral, esta escala es un auxiliar importante en la planeación de diversas actividades de manejo del huerto, tales como podas, fertilización, aplicaciones de reguladores del crecimiento, sobre todo, cuando se trata de influenciar la floración y el amarre o cuajado de fruto.

**Figura 1.** Escala visual que permite relacionar la apariencia externa de las yemas apicales con su estado de desarrollo anatómico (Salazar, 2002).



En el cuadro 2 se presenta la descripción de cada uno de los estados de desarrollo que tiene la flor de aguacate, según Salazar (2002).

**Cuadro 2.** Descripción del desarrollo de la flor de aguacate.

| Estado | Descripción Macroscópica  |
|--------|---|
| 1      | Yema cerrada y puntiaguda localizada dentro de las dos últimas hojas sin expandir el brote. |
| 2      | Yema cerrada y puntiaguda. Las dos últimas hojas están expandidas y maduras.                |
| 3      | Yema cerrada y puntiaguda. Senescencia parcial de las escamas de la yema.                   |
| 4      | Escamas separadas. Expansión de las brácteas de la inflorescencia hacia todos               |

---

los lados de la yema.

- 5 Aumento del tamaño de la yema. Escamas separadas.
  - 6 Yema redondeada. Solo las bases de las escamas exteriores permanecen. Presencia de brácteas de inflorescencia que la protegen.
  - 7 Las brácteas de la inflorescencia se abren. La inflorescencia empieza a emerger.
  - 8 Obvia elongación de los ejes secundarios (estado coliflor). Los ejes terciarios todavía están cubiertos por sus brácteas. Se observan flores pequeñas sin abrir.
  - 9 Elongación de ejes terciarios. La cima de flores es evidente. La yema vegetativa en el ápice de la inflorescencia indeterminada es visible.
  - 10 Las flores están completamente diferenciadas pero cerradas.
  - 11 Antesis. Rompimiento de la yema vegetativo en el ápice de la inflorescencia indeterminada; se inicia en el flujo vegetativo.
- 

### 2.12 Características de la flor.

Las flores son perfectas, presenta dicogamia protógina, los órganos son funcionales en diferente tiempo, haciéndolo primero los órganos femeninos (Bernal y Díaz, 2008), son de 1 cm de ancho y 6-7 mm de longitud de color de verde-amarillo, nueve periantos, nueve estambres y un pistilo; cada antera está conformada por cuatro sacos polínicos, los cuales contienen de 500 a 700 granos de polen (Scora *et al.*, 2002). El número de flores producidas por un árbol puede alcanzar los dos millones, pero se ha estimado que únicamente llegan al cuajado entre el 0.001-0.1 % (Alcaraz y Hormaza, 2011).

En el cultivo de aguacate existen dos tipos de flor, A y B. las flores de tipo A presentan su estado femenino una mañana y reabren como masculinas por la tarde del día siguiente, se presentan en cultivares (como Gwen, Hass, Lamb-Hass, Pinkerton, Wurtz y Reed). Por su parte, las flores de tipo B, abren primero como femeninas en la tarde y reabren como masculinas por la mañana del día siguiente, algunos cultivares de este tipo de flor son (Bacon, Fuerte, Sharwill, Shepard y Zutano) (Teliz, 2000).

### 2.13 Floración y factores que la inducen.

En México, un árbol de aguacate cv. Hass en etapa productiva, registra de dos a cuatro floraciones al año, dependiendo de las condiciones climáticas, manejo del huerto y cantidad de fruta en el árbol (Salazar, 2000).

Salazar *et al.* (2006) mencionan que en el estado de Nayarit, el cv. Hass presenta dos flujos principales de crecimiento vegetativo, el de invierno (febrero) y el de verano (julio a agosto), los brotes del flujo de verano, cinco meses más jóvenes que los de invierno, muestran un desarrollo floral más acelerado que los de invierno, de tal forma que la fecha de anthesis es la misma para los brotes florales de ambos flujos vegetativos, esto explica por qué en Nayarit, la variedad Hass usualmente presenta una sola floración, el descenso en las temperaturas diarias a valores  $\leq 19$  °C, que se registran a partir de julio, ha sido relacionado con la sincronización del desarrollo floral de los brotes de ambos flujos.

Los principales factores que influyen a la transición a la floración son él: Fotoperiodo, temperatura, irradiación y disponibilidad de agua. Se considera que los diferentes factores ambientales son percibidos por las diferentes partes de la planta. El fotoperiodo y la irradiación son percibidos principalmente por las hojas maduras. La temperatura es percibida por todas las partes de la planta, aunque la temperatura baja es principalmente percibida por el ápice del brote, la disponibilidad del agua es percibida por el sistema radical (Bernier *et al.*, 1993).

Téliz (2000) indica que la fluctuación constante de temperatura parece ser el principal factor que promueve la floración continua o la superposición de flujos de floración, los cuales son comunes en el cv. Hass, también menciona que se requiere no más de cuatro semanas de estrés por temperatura baja para promover dicha floración.

#### **2.14 Amarre de fruto y factores que lo afectan.**

El potencial de amarre de fruto de cada inflorescencia es diferente, en aguacate es relativamente alto, pero la abscisión de frutillos al inicio de su desarrollo es un aspecto importante. Los cultivares de aguacate son notorios debido a que producen miles de inflorescencias, cada una con más de 100 flores, de tal manera que el número total de flores por árbol puede estar entre 1-2 millones. Sin embargo, sólo uno o dos frutos por cada inflorescencia podría alcanzar la madurez, se estima que el aguacate presenta un amarre de fruto que va del 0.02 al 0.1 % (Teliz, 2000), este mismo autor menciona algunos factores que tienen un efecto sobre el amarre de frutos, tales como la competencia por carbohidratos, agua, y reguladores de crecimiento.

Lovatt (1990) mencionó que otra causa que afecta al amarre del fruto es la deficiencia de agua en el fruto, causada por una transpiración excesiva en las estructuras florales y de los propios frutillos, ya que estos últimos carecen de una cubierta protectora en sus etapas iniciales de desarrollo. También menciona que temperaturas frías reducen la viabilidad del óvulo y reducen la velocidad con que crece el tubo polínico, y por lo tanto disminuye el amarre del fruto.

### **2.15 Fruto y sus etapas de desarrollo.**

El aguacate es una baya con mesocarpio y endocarpio carnosos que contiene una sola semilla (15 al 16 % del peso del fruto). Las grasas son el principal componente después del agua, su valor calórico es elevado con respecto a otras frutas, es rico en ácido oleico, vitamina E, ácido ascórbico, vitamina B6,  $\beta$ -caroteno (Ozdemir y Topuz, 2004).

Al culminar la floración se produce la fecundación y las primeras divisiones celulares que le siguen; en esta etapa, el fruto alcanza el estado fenológico del cuajado, a partir de ahí comienza el desarrollo del fruto, el cual termina con la madurez del mismo. Larios *et al.* (2007) mencionaron que el fruto pasa por tres etapas distintas de desarrollo, a) multiplicación celular, b) engrosamiento celular y c) maduración.

### **2.16 Alternancia productiva.**

La alternancia productiva es un problema fisiológico común para muchas especies frutales, se caracteriza por un año de alta producción, seguido por uno o más años de bajo a nulo rendimiento (Bukovac *et al.*, 2006). En el aguacate, una alta producción de brotes vegetativos, produce una baja producción de inflorescencia en un año con abundante producción de fruta, mientras que para el año siguiente, la cosecha es escasa, resultando en una gran producción de inflorescencia y escasos brotes vegetativos (Salazar y Lovatt, 2000).

La alternancia se presenta por condiciones climáticas como heladas, altas temperaturas, y sequía, que causan la abscisión de frutos y flores. En el cultivo de aguacate, la alternancia es un problema importante, pues puede presentar de uno a seis flujos vegetativos por año,

dependiendo de las condiciones ambientales, y este crecimiento cíclico puede acrecentar el fenómeno de la alternancia productiva (Lovatt, 2005).

Salazar *et al.* (1998) sostienen que cuando se presenta una cosecha abundante, esto puede suprimir el número e intensidad de flujos vegetativos así como reducir la intensidad de la floración y retardar el tiempo de antesis, esta es una de las posibles causas por lo que se presenta este fenómeno en el aguacatero.

La magnitud de la alternancia productiva es variable entre las diferentes zonas aguacateras. Una forma de hacer una adecuada comparación entre huertos o regiones es usar un índice de la alternancia productiva (IAP). Para el aguacate se sugiere emplear la siguiente ecuación:  $IAP (\%) = \frac{\text{diferencia en rendimiento entre el año anterior y el presente}}{\text{suma de rendimiento de los dos años en cuestión}} * 100$  (Salazar y Lovatt, 2000).

## **2.17 Análisis foliar.**

El análisis foliar es una herramienta importante para conocer el estado nutrimental de huertos comerciales, particularmente para el desarrollo de programas de fertilización, ya que podría ayudar a mejorar no sólo el rendimiento, si no el tamaño y calidad de la fruta (Salazar y Lozano, 1999).

Los resultados del análisis foliar pueden interpretarse con diversos enfoques. Para esto se han generado valores críticos o estándares, ya sea mediante modelos matemáticos o por examinación cualitativa de las respuestas a los fertilizantes. En los años 60's y 70's, se generaron guías para determinar el estado nutrimental de algunos cultivos, incluyendo al aguacate, tales como: Niveles críticos e Intervalos de suficiencia (Embleton y Jones, 1966), Índices de Balance (Kenworthy, 1973) y DRIS (Sumner, 1985). Se considera que la técnica de Índices de Balance es apropiada para árboles frutales, ya que además de considerar en su cálculo un valor estándar (óptimo) del contenido de cualquier nutrimento, incluye la variación fisiológica natural existente en una población de árboles con altos rendimientos y no requiere de una gran base de datos, como es el caso del DRIS. Los Índices de Balance han sido utilizados exitosamente en México para diagnosticar el estado nutrimental del aguacate cv. Hass y Fuerte en Michoacán y Puebla, respectivamente (Núñez *et al.*, 1991).

así como en el cultivo de mango en los cultivares Haden y Tommy Atkins en Nayarit (Salazar *et al.*, 1993).

## 2.18 Intervalos de concentración nutrimental foliar.

Los valores óptimos de intervalo de concentración, determinados para el cultivo de aguacate obtenidos en diferentes regiones aguacateras del mundo (Bertin *et al.*, 1976; Embleton y Jones, 1972; Goodall *et al.*, 1979; Lahav *et al.*, 1990) se muestran en el cuadro 3.

**Cuadro3.** Intervalos de concentración foliar en aguacate, obtenidos por diferente autor.

| Nutrimento |                        | Intervalo Estimado | Goodall <i>et al.</i> (1979) | Bertin <i>et al.</i> (1976) | Jones y Embleton (1972) |
|------------|------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Nitrógeno  | (%)                    | 1.94-2.31          | 1.60-2.00                    | 1.80-2.20                   | 1.60-2.00               |
| Fósforo    | (%)                    | 0.15-0.18          | 0.1-0.25                     | 0.10-0.30                   | 0.08-0.25               |
| Potasio    | (%)                    | 0.81-1.09          | 0.25-0.80                    | 0.50-2.40                   | 0.75-2.00               |
| Calcio     | (%)                    | 1.28-2.59          | 1.00-3.00                    | 1.00-3.00                   | 1.00-3.00               |
| Magnesio   | (%)                    | 0.62-0.77          | 0.75-2.00                    | 0.30-0.50                   | 0.25-0.80               |
| Hierro     | (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | 85-114             | 50-200                       |                             | 50-200                  |
| Manganeso  | (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | 87.182             | 30-500                       |                             | 30-500                  |
| Zinc       | (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | 20-51              | 30-150                       |                             | 50-100                  |
| Cobre      | (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | 7-32               | 5-15                         |                             | 5-15                    |
| Boro       | (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | 126-352            | 50-100                       |                             | 30-150                  |

## 2.19 Estándar y coeficiente de variación (CV) de índices de balance Kenworthy.

El índice de Balance Kenworthy es un procedimiento de evaluación de las concentraciones foliares que permite determinar los desbalances nutrimentales. Este procedimiento requiere de valores de referencia o estándar, como los obtenidos para el cultivo de aguacate y que se muestran en el cuadro 4. Se considera que la técnica de Índices de Balance es apropiada para árboles frutales, ya que además de considerar en su cálculo un valor estándar óptimo del contenido de cualquier nutrimento, incluye la variación fisiológica natural existente en



una población de árboles con alto rendimiento y no requiere de una gran base de datos (Salazar y Lazcano, 1999).

**Cuadro 4.** Estándar y coeficiente de variación (CV) de Índices de balance Kenworthy para aguacatero.

| Nutriente |                        | Estándar | CV    |
|-----------|------------------------|----------|-------|
| Nitrógeno | (%)                    | 2.11     | 8.79  |
| Fósforo   | (%)                    | 0.15     | 13.66 |
| Potasio   | (%)                    | 0.93     | 15.38 |
| Calcio    | (%)                    | 1.92     | 34.54 |
| Magnesio  | (%)                    | 0.68     | 11.56 |
| Hierro    | (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | 98.20    | 15.08 |
| Manganeso | (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | 134.00   | 35.73 |
| Zinc      | (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | 34.90    | 43.98 |
| Cobre     | (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | 19.50    | 66.18 |
| Boro      | (mg.Kg <sup>-1</sup> ) | 238.60   | 47.51 |

## 2.20 Funciones de los nutrientes.

La amplitud del conocimiento sobre las funciones de los elementos esenciales en las plantas varían considerablemente para cada nutriente, pero todos ellos tienen, al menos un papel esencial en algún proceso fisiológico como activador de una enzima o como constituyente de algún metabolito. En el cuadro 5 se describen las funciones de cada uno de los nutrientes esenciales (Alcántar y Trejo, 2007).

**Cuadro 5.** Funciones de los nutrientes esenciales en las plantas.

| Nutriente | Funciones principales  |
|-----------|--|
| Nitrógeno | Está presente en coenzimas, nucleótidos, amidas, ureidos y en la clorofila.        |
| Fósforo   | Constituyente del ATP, interviene en los procesos de transferencia de energía.     |
| Potasio   | Activador de más de 50 en enzimas y participa en la regulación osmótica.           |
| Calcio    | Importante en la división celular y en la estabilidad de membrana y pared celular. |
| Magnesio  | Participa como activador de reacciones enzimáticas y componente de la              |

|           |   |
|-----------|---|
|           | clorofila.  |
| Azufre    | Se encuentra presente en proteínas y participa en el intercambio de energía.      |
| Hierro    | Participa en la transferencia de electrones, como en los citocromos.              |
| Manganeso | Activador de descarboxilasas y deshidrogenasas de la respiración.                 |
| Zinc      | Es necesario para la biosíntesis de la clorofila y ácido indolacético.            |
| Cobre     | Activador de enzimas y constituyente de la plastocianina.                         |
| Boro      | Participa en el transporte de carbohidratos y en la síntesis de la pared celular. |
| Molibdeno | Es importante en la asimilación de N, como constituyente de la nitrato reductasa. |
| Cloro     | Se requiere en la fotosíntesis y en la fotólisis del agua.                        |
| Níquel    | Constituyente de la enzima ureasa.  |

## 2.21 Síntomas de deficiencia y exceso de los nutrientes en aguacate.

En el cuadro 6 se enlista algunas patologías que presenta el aguacate por la deficiencia o exceso de algún macronutriente o micronutriente (Salazar, 2002).

**Cuadro 6.** Síntomas de deficiencia y exceso de los nutrientes en aguacate.

| Nutriente | Deficiencia   | Exceso   |
|-----------|---|--|
| Nitrógeno | Brotos vegetativos cortos delgados, follaje escaso. Los síntomas aparecen en las hojas de más edad.   | Elongación de brotes vegetativos superior a la normal. Hojas más grandes de lo normal y de color verde oscuro. Floración tardía es escasa.   |
| Fósforo   | En deficiencia aguda el follaje es escaso y localizado en el ápice del brote. Los brotes vegetativos son cortos y delgados y suele ocurrir defoliación temprana.                      | No hay descripción de síntomas de exceso de fósforo en aguacate. Sin embargo, su exceso en la planta puede manifestarse como una deficiencia de otros micronutrientes, como manganeso o zinc.    |
| Potasio   | Poco crecimiento, brotes delgados y cortos, muerte regresiva de brotes al final de los meses seco. Las hojas adultas presentan los primeros síntomas en forma de clorosis intervenal. | No se han reportado síntomas específicos del exceso de K. Sin embargo, como la relación entre el Ca, Mg, y K es importante, las condiciones de exceso de K pueden causar deficiencia de Ca o Mg. |
| Calcio    | Las hojas jóvenes se desarrollan deformes y con los márgenes irregulares, ondulados y curvados hacia abajo necróticas.  | No existen reportes de síntomas visuales de exceso de Ca.  |
| Magnesio  | Las hojas maduras son las primeras  | Los síntomas no han sido   |

|           |  |  |
|-----------|--|--|
|           | en manifestar síntomas, usualmente al final del otoño. La clorosis se presenta entre las nervaduras de la hoja, ya sea cerca de la nervadura central o de los márgenes.  | documentados para aguacate.  |
| Azufre    | Inicialmente se observa en las hojas jóvenes, estas son pequeñas y cloróticas. En deficiencia aguda puede ocurrir clorosis generalizada del árbol.   | No hay síntomas reportados para el aguacate.   |
| Cloro     | Es poco común debido a la abundancia de este nutrimento en la mayoría de las aguas usadas para riego. Dada la poca probabilidad de su ocurrencia no existe mucha información sobre síntomas típicos de su deficiencia en aguacate. | Se manifiesta como quemaduras en el ápice y márgenes de las hojas más viejas y en algunas ocasiones aparece un moteado amarillento junto a la quemadura. |
| Hierro    | Las hojas son pequeñas y completamente clorótica, defoliación y puede producirse la muerte de brotes.  | No han sido determinados los síntomas.   |
| Cobre     | Las hojas jóvenes son de menor tamaño que las normales y pueden ser abortivas. Las hojas adultas son de color oscuro y nervaduras color bronceado, enrollamiento e inclinación de peciolo de las hojas.                            | No han sido reportados síntomas específicos de exceso de cobre en aguacate.  |
| Manganeso | Aparece una clorosis en hojas jóvenes, puede iniciar como clorosis intervenal en los márgenes de la hoja y avanzar hacia la nervadura central o viceversa.   | Ennegrecimiento de la superficie de la hoja junto a la nervadura central, a veces sólo suele ocurrir en parte de la hoja.                                |
| Zinc      | Las áreas entre las nervaduras de las hojas presentan color amarillo pálido, conforme progresa la deficiencia, las áreas amarillas se hacen más grandes.   | No se encuentra literatura disponible para aguacate.   |
| Boro      | Regiones corrugadas y corchosas entre las nervaduras de las hojas jóvenes. La nervadura central se abre en la parte inferior de las hojas jóvenes. Desarrollo distorsionado de la lámina de la hoja.                               | Abultamiento de nervaduras en la parte inferior de las hojas. Necrosis apicales y marginales.  |

## 2.22 Fertilización mineral.

El uso adecuado de la fertilización requiere conocer las características del fertilizante, su efecto en las plantas y en el suelo, y las formas de aplicación, los suelos contienen todos los elementos esenciales que la planta requiere para su desarrollo y reproducción; sin embargo, en la mayoría de los casos, no se encuentran en las cantidades suficientes para obtener rendimientos altos y de buena calidad, por lo que es indispensable agregar los nutrimentos por medio de fertilizantes (SAGARPA, 2012).

La fertilización en aguacatero es una práctica importante que tiene como objetivo aumentar la concentración de nutrimentos en la solución del suelo cuando es insuficiente, lo que permite satisfacer las demandas nutrimentales del cultivo. Debido a que el sistema radical del aguacatero no es muy extenso y carece de pelos radicales, es necesaria una cantidad elevada en el suelo de nutrimentos de fácil disponibilidad (Téliz, 2000).

La fertilización de los árboles es un aspecto muy importante en la fruticultura, las diferentes etapas por las que pasa un árbol durante un ciclo productivo, así como el manejo, determinan la concentración de nutrientes presentes en los tejidos de los árboles, para el cv. Hass. Wright, (1989) reportó que los mayores requerimientos de N y K se presentan en la floración, fructificación y amarre de fruto, mientras que para el P, en la etapa de floración temprana.

Bould (1996) publicó que la fertilización del aguacatero, requiere de varios años de investigación para obtener resultados contundentes, la cual se ha basado en los niveles óptimos de los diferentes nutrimentos en las hojas, ya que la concentración de la hoja está controlada principalmente por el abastecimiento nutrimental general.

Para lograr niveles altos de productividad en el cultivo del aguacate en Nayarit se requiere de la aplicación de fuentes externas de nutrimentos. La aplicación de fertilizantes se debe de realizar considerando las necesidades de la planta, las características físico-químicas del suelo, las condiciones de cultivo y el comportamiento fenológico del árbol (Salazar y Lazcano, 1999).

Las prácticas de fertilización deben estar encaminadas a lograr más vigor y productividad de los árboles así como una calidad máxima del fruto. La decisión que se tome siempre debe ir respaldada por el análisis foliar y de suelo, ya que son herramientas para evaluar directamente el estado de disponibilidad de nutrimentos del suelo y de su contenido en las plantas (Cerdas *et al.*, 2006).

### 2.23 Ventajas de la fertilización mineral.

Las principales ventajas de la fertilización mineral según Salazar (2002) se describen en el cuadro 7.

**Cuadro 7.** Las principales ventajas de la fertilización mineral.

| Ventaja            | Descripción  |
|--------------------|--|
| Alta concentración | Elevada concentración de nutrimentos; bajo costo por unidad de nutrimento aplicado.          |
| Específica         | Se puede aplicar para cubrir una necesidad de un nutrimento en particular.                   |
| Fácil manejo       | Se puede aplicar en las etapas requeridas por la planta.                                     |
| Versatilidad       | Es posible preparar mezclas con el balance necesario para crecimiento adecuado de la planta. |

### 2.24 Requerimientos nutrimentales.

Los requerimientos nutrimentales de los árboles frutales, y en particular del aguacatero, varían durante el desarrollo y dependen de la edad del árbol, estado fenológico y cultivar (Sánchez y Ramírez, 2000).

Maldonado *et al.* (2007) realizaron una investigación en aguacate cv. Hass e indicaron que la concentración en tejido foliar se presentó en el siguiente orden de mayor a menor: Ca>N>K>Mg>P>B>Mn>Fe>Zn>Cu. Es decir, que el follaje acumuló mayores niveles de Ca, N y K, respecto a Mg y P, mientras que la acumulación de Mn y Fe fue mayor respecto a Zn y Cu. Estos mismos autores reportan que por cada t de fruto en promedio se extrae del suelo las cantidades descritas en el cuadro 8.



SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y DESARROLLO RURAL

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN AGROPECUARIOAS

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

INIA

**Cuadro 8.** Cantidad de nutrimentos extraídos por t de fruto fresco de aguacate cv. Hass (Maldonado *et al.*, 2007).

| Nutrimento | Forma                         | Kg   |
|------------|-------------------------------|------|
| Nitrógeno  | N                             | 2.73 |
| Fósforo    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.72 |
| Potasio    | K <sub>2</sub> O              | 4.00 |
| Calcio     | CaO                           | 0.23 |
| Magnesio   | MgO                           | Kg   |
| Hierro     | Fe                            | g    |
| Manganeso  | Mn                            | g    |
| Zinc       | Zn                            | g    |
| Cobre      | Cu                            | g    |
| Boro       | B                             | g    |

### 2.25 Potasio (K).

El potasio 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 *et al.* (2007) reportaron que la concentración óptima se encuentra en un rango de 2 a 5 %. Las raíces lo absorben en forma de ion K<sup>+</sup> 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, el 70 % se localiza en vacuolas y 30 % en citoplasma.

La (FAO, 2015) indicó que el uso mundial de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos sobrepasa los 200 millones de t. además mencionó que 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 t y 31,040,000 t en 2014, también se menciona 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) reportó que el consumo de fertilizantes potásicos está creciendo en México, al pasar las ventas de 60,000 t en 1984 a 217,000 t en 1998. Por otra parte la (FAO, 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 2012, mientras que en 2013, las ventas fueron de 1,290,200 y 306,943 t para los nutrimentos en mención. Respecto al consumo de K aumentó de 202,697 a 212,942 t de 2012 a 2013, 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 niveles adecuados de K en un cultivo, 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).

## **2.26 K en el suelo.**

La concentración de K en el suelo es entre 0.1 y 1 mM (White y Karley, 2010). Constituye el 2.1 a 2.3 % 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. El potasio que corresponde a la fracción pasiva 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, el K en la solución del suelo, el adsorbido en los sitios de intercambio, llamado K intercambiable, y el ocluido 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

caciones monovalentes tales como  $\text{Na}^+$  y  $\text{NH}_4^+$  que interfieren con su absorción (Rus *et al.*, 2004).

La liberación de K intercambiable a menudo es más lento que la tasa de absorción por las plantas, 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 *et al.* (2003) reportaron que en mango (*Mangifera indica* L.) la etapa fenológica que requiere más K es en la madurez de frutos.

Investigaciones recientes 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 de 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.

### **2.27 Absorción de K.**

El contacto entre la raíz y los nutrientes puede producirse debido al crecimiento de las raíces en el área donde se encuentra un nutriente, o al transporte del nutriente a la superficie de la raíz a través del suelo (Jungk y Claassen, 1997). El primer proceso, denominado intercepción 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 cultivos 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 menor a 4 mm (Yamaguchi y Tanaka, 1990; Vetterlein ; Jahn, 2004).



## **2.28 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 del rendimiento de los cultivos, por ejemplo el sinergismo del K con el N (Dibb y Thomson, 1985). Dibb y Welch (1976) se ha reflejado en una rápida asimilación de N. 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). La absorción de Cu, Mn y Zn mejora cuando el nivel de K es óptimo, esto indica un sinergismo entre estos elementos.

## **2.29 Funciones del K en las plantas.**

La concentración de K en el citoplasma 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, activa enzimas reguladoras particularmente de la piruvato quinasa y las fosfofructoquinasas, 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, y el crecimiento axial y tropismos (Shabala, 2003).

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) mencionan 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).

### **2.30 Síntomas de deficiencia y exceso de K.**

El K se desplaza 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 *et al.*, 2007). La falta de este 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 casos, las hojas tiende a curvarse hacia arriba (Navarro y Navarro, 2006).

Cuando este elemento es limitado en el suelo, provoca un crecimiento celular retardado, acumulación de carbohidratos simples, reducción de la actividad fotosintética y una reducción del crecimiento y producción, la deficiencia también puede reducir la resistencia de las plantas a factores bióticos y abióticos (Zërba *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. La absorción excesiva de este nutriente origina la deficiencias de otros como el: Mg, Fe y Zn (Navarro y Navarro, 2000).

### **2.31 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, el incremento de acidez tiende a disminuir la disponibilidad de K, ya que los hidrógenos interactúan con la capacidad de intercambio catiónico y, además, los protones compiten con el transporte de los iones metálicos por la raíz. La máxima disponibilidad se encuentra a un pH 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).

### 2.32 Fertilización potásica en frutales.

La fertilización potásica es uno de los factores determinantes del rendimiento y calidad en las frutas. En algunas investigaciones se ha buscado aumentar el rendimiento y calidad de los cultivos, a partir de la fertilización potásica. Por citar un ejemplo, en el estado de Nayarit Salazar *et al.* (2014) reportaron que en las variedades de mango (*Mangifera indica* L.) Kent y Tommy Atkins cultivados sin riego, la nutrición potásica puede afectar el rendimiento en función a la variedad, ya que en Tommy Atkins el máximo rendimiento (186.9 Kg árbol<sup>-1</sup>) se obtuvo con una dosis de 455-572 g, mientras que para Kent, el máximo rendimiento (138.2 Kg árbol<sup>-1</sup>) fue lograda con una dosis de 259-325 g K<sub>2</sub>O; con respecto al testigo que fue de 115.5 Kg árbol<sup>-1</sup>.

Un trabajo fue realizado en Guandong, China, en donde se evaluó la respuesta del mango a la fertilización sitio específico (N, P, K, Mg y S) permitió observar que el máximo rendimiento de fruto fue obtenido con la aplicación de 400 g N, 125 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 320 g K<sub>2</sub>O, 40 g Mg y 80 g S, por árbol por año, que permitió lograr un rendimiento de 15.2 t ha<sup>-1</sup> comparada con los rendimientos normales de esta de región que es de 3.75 t ha<sup>-1</sup> (Xiuchong *et al.*, 2001).

Algunos trabajos han mostrado efectos de la fertilización sobre los niveles nutrimentales foliares al segundo año de su aplicación, tal fue el caso del mango Zihuaman en alta densidad (855 plantas ha<sup>-1</sup>), dónde la fertilización con N, P, K, Mg y S incrementó los niveles foliares de K, Mg y S pero no los de N y P (Xiuchong *et al.*, 2001).

Opazo y Razeto (2001) evaluaron dosis de 3 Kg de K<sub>2</sub>O por árbol por año, en naranjo (*Citrus sinensis* L.), donde obtuvieron un rendimiento de 231 Kg árbol<sup>-1</sup>, mientras que el testigo obtuvo un rendimiento de 187 Kg árbol<sup>-1</sup>.

Una investigación realizada en Argentina evaluó la fertilización en naranja Valencia (*C. sinensis*) usando una dosis de 3 kg K<sub>2</sub>O por árbol al año, reportaron un rendimiento de 140 Kg árbol<sup>-1</sup> y el testigo 102 Kg árbol<sup>-1</sup> (Rodríguez *et al.*, 2005).

En naranjo (*Citrus sinensis*) con fertilización de 3 Kg  $K_2O$  por árbol por año, 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).

### 2.33 Fertilización en aguacate.

Salazar *et al.* (2009) evaluaron el efecto de la fertilización en aguacate cv. Hass en el periodo de 2001 a 2005 sobre la producción y tamaño del fruto en huertos de 10-12 años cultivados sin riego; reportaron que la dosis por árbol al año (2.140 Kg N, 0.742 Kg  $P_2O_5$ , 2.520 Kg  $K_2O$ , 810 g Zn y 94.30 g B) fue la mejor al incrementar los rendimientos de 15.6 t  $ha^{-1}$  a 28.197 t  $ha^{-1}$ , respecto a la mayor producción de tamaños primera, extra y súper extra, este rendimiento 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 otro trabajo se evaluó la respuesta del cv. Hass a la aplicación anual por árbol de: 2 kg N, 2 kg  $P_2O_5$  y 1 kg  $K_2O$  durante cinco años, obteniéndose un rendimiento promedio en los cinco años de 16.7 t  $ha^{-1}$ , comparado con el rendimiento promedio de 11.6 t  $ha^{-1}$  obtenido en los cinco años en árboles sin fertilización (Aguilera y Salazar, 1996).

Según Salazar *et al.* (2008), los cambios en la concentración nutrimental foliar en aguacate cv. Hass en condición de temporal por efecto de la fertilización, han sido encontrados después del segundo año.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Sitio experimental.

La investigación se realizó en un huerto comercial de aguacate, ubicado en el ejido La Fortuna, Municipio de Tepic, Nayarit, en las coordenadas 21° 33' L N y 104° 57' L O, a 774 m de altitud. Los árboles se encuentran establecidos en marco de plantación 6 x 4 m, lo que representa una densidad de plantación de 416 árboles por ha y cuenta con sistema de riego.

### 3.2 Clima.

El clima según Köppen, modificado por García, (1982) corresponde a un (A) e (W2) a (i), correspondiente a un clima semicálido (subtropical subhúmedo), el más cálido de los templados (c). El régimen pluviométrico es mayor a los 1300 mm anuales. El mes de máxima precipitación pluvial es julio con 370 a 380 mm y el mes más seco es mayo con menos de 30 mm. El régimen térmico medio anual varía de 20 a 29 °C, los meses más cálidos son junio, julio, agosto y septiembre con una temperatura media de 23 a 24 °C, los meses más fríos son diciembre y enero con un valor promedio de 16 a 17 °C.

### 3.3 Material biológico.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron árboles de aguacate cv. Carmen Hass, de 5-6 años de edad con una altura promedio de 4.5-5 m.

### 3.4 Tratamientos.

Se utilizó un diseño de tratamientos factorial 2x4, donde los factores son régimen de humedad (riego y temporal) y cuatro niveles de fertilización de  $KNO_3$  (nula, baja, media y alta).

Se elaboró una dosis de fertilización requerida por el cultivo, en cuanto a la necesidad de N, P, K, Ca y Mg, de acuerdo a los resultados del análisis de suelo, el cual reportó una concentración de K intercambiable de  $1190 \text{ mg Kg}^{-1}$ , que resultó deficiente para una meta de producción de 40 kg de fruto por árbol, con radio de exploración radicular de 60 cm, % de K en fruto de 0.77 y % de K en biomasa producida diferente a fruto de 1.1, con una

producción de 40 kg de materia seca anual, resultando en una dosis anual por árbol de 177 g de K, la cual se denominó dosis media (Dosis media), se establecieron dos dosis más, una dosis 50 % menor (Dosis baja) y una 50 % mayor (Dosis alta), el fertilizante utilizado fue  $\text{KNO}_3$  (12-00-46). Los tratamientos se describen en el (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Tratamientos de dosis de nitrato de potasio en dos condiciones de humedad.

| Tratamiento | Dosis de $\text{KNO}_3$ (g) árbol <sup>-1</sup> | Condición de humedad |
|-------------|---|----------------------|
| 1           | 0   | Riego                |
| 2           | 230   | Riego                |
| 3           | 460   | Riego                |
| 4           | 690   | Riego                |
| 5           | 0   | Temporal             |
| 6           | 230   | Temporal             |
| 7           | 460   | Temporal             |
| 8           | 690   | Temporal             |

### 3.5 Diseño experimental y tamaño de parcela.

Se utilizó un diseño en bloques al azar con un arreglo factorial 2x4 con 5 repeticiones. Cada unidad experimental, consideró 5 árboles.

### 3.6 Momentos de aplicación de los tratamientos.

#### a) Sistema de riego.

El 30 % de la dosis de  $\text{KNO}_3$  se aplicó de manera directa al suelo el 22 de julio del 2014, como compensación por periodo de lluvias, la dosis aplicada fue: T1= Sin fertilización, T2= 70 g, T3= 140 g, T4= 210 g. El 70 % de dosis restante se aplicó de manera fraccionada vía fertirriego, la aplicación del fertilizante se realizó cada 15 días a partir del 15 de febrero del 2015 al 15 de mayo del 2015, la dosis de  $\text{KNO}_3$  por árbol, que se aplicó por esta vía fue: T1= Sin fertilización, T2= 160 g, T3= 320 g, T4= 480 g.

## **b) Sistema temporal.**

La dosis de  $KNO_3$  se aplicó en su totalidad el 22 de julio de 2014 y los tratamientos fueron: T5= Sin fertilización, T6= 230 g, T7= 460 g y T8= 690 g, con una meta de rendimiento de 40 Kg árbol<sup>-1</sup>, considerando análisis de suelo y planta.

### **3.7 Manejo del riego.**

Se instalaron dos tensiómetros; uno a 0.4 m y otro a 0.8 m de profundidad, con el fin de monitorear el nivel de humedad del suelo, en los tratamientos en condición de riego y definir los momentos de riego, estos se realizaron cada vez que el tensiómetro marcó una lectura de 40 centibares, resultando en una frecuencia de riego de dos veces por semana.

### **3.8 Variables de estudio.**

#### **3.8.1 Variación nutrimental foliar.**

A partir de la aplicación de los tratamientos, cada mes se colectaron muestras foliares para evaluar la concentración tanto de K como de N, P, Ca y Mg. Las hojas se colectaron de brotes maduros sin fruto, de la posición cinco o seis del ápice del brote hacia abajo, tomando ocho hojas por árbol, dos hojas de cada punto cardinal según Salazar (2006). Las hojas se depositaron en bolsas de papel estraza y se trasladaron al laboratorio de análisis de suelo, agua y planta de la Unidad Académica de Agricultura, se lavaron cuidadosamente, con agua potable y después con agua destilada, se colocaron en una estufa de aire forzado a 70 °C hasta obtener peso constante, se molieron utilizando un molino de acero inoxidable; se depositaron en sobres de papel para su posterior análisis de concentración nutrimental. La determinación de N total se hizo por el método Kjeldahl (Kirk, 1950); para la determinación de P se utilizó el método colorimétrico de molibdato de amonio (Chapman y Pratt, 1979), para K se utilizó un flamómetro y, para Ca y Mg, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica (Alcántar y Sandoval, 1999).

### 3.8.2 Rendimiento.

Se realizó la estimación de rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) por tratamiento, considerando el promedio de producción de fruto por árbol multiplicado por la densidad de plantación (416 árboles ha).

**Producción de fruto ( $Kg\ árbol^{-1}$ ).** Se cortaron y pesaron todos los frutos que se encontraron en punto de cosecha (materia seca 21.8 %) independientemente del tamaño.

**Calibre de fruto (g).** El calibre de fruto se obtuvo mediante el peso individual de 10 frutos seleccionados al azar por árbol y se usaron los intervalos de peso establecidos en la NMX-FF-016-SCFI-2006: súper (>265 g), extra (211-265 g), clase I (171-210 g), mediano (136-170 g), comercial (85-135 g), canica (<85 g).

### 3.8.3 Extracción nutrimental en fruto.

De la cosecha de cada árbol se eligió 1 fruto al azar, estos fueron separados en sus componentes (epidermis, pulpa y semilla) para obtener el peso fresco de cada uno de ellos; el peso seco de cada componente del fruto fue obtenido mediante su deshidratación en un horno con aire forzado a 70 °C durante 72 h hasta obtener peso constante y se determinó en la materia seca el contenido de K así como la concentración de N, P, Ca y Mg.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Variación nutrimental en tejido foliar.

En el cuadro 10 se muestran los resultados del contenido foliar de N correspondiente a trece meses de muestreo, el análisis de varianza reportó diferencia estadística ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de tratamientos, aunque no en todos los momentos de muestreo, los meses en que se registró diferencia estadística fue en los meses de septiembre, noviembre, enero, abril y mayo, en este último mes el tratamiento 8 fue el que presentó mayor concentración de N (2.40 %), cuando el árbol iniciaba con la abscisión de frutos.

**Cuadro 10.** Concentración foliar de N (%) en aguacate cv. Carmen Hass por efecto de fertilización con  $KNO_3$  en dos condiciones de humedad.

| Tratamiento | -----2014----- |          |                    |                    | -----2015----- |                    |                    |
|-------------|----------------|----------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|--------------------|
|             | Septiembre     | Octubre  | Noviembre          | Diciembre          | Enero          | Febrero            | Marzo              |
| 1           | 1.73 b         | 1.71 b c | 1.68               | 1.74               | 2.35 a         | 2.43               | 1.95               |
| 2           | 1.85 a b       | 1.65 c   | 1.67               | 1.68               | 2.13 a b c     | 2.47               | 1.96               |
| 3           | 1.82 a b       | 1.79 a b | 1.72               | 1.72               | 2.31 a b       | 2.41               | 2.08               |
| 4           | 1.79 a b       | 1.80 a b | 1.86               | 1.71               | 2.08 a b c     | 2.21               | 1.96               |
| 5           | 1.97 a         | 1.79 a b | 1.81               | 1.67               | 2.06 a b c     | 1.89               | 1.86               |
| 6           | 1.77 a b       | 1.88 a   | 1.82               | 1.71               | 2.06 a b c     | 1.93               | 2.07               |
| 7           | 1.79 a b       | 1.86 a   | 1.78               | 1.64               | 2.05 b c       | 2.08               | 1.86               |
| 8           | 1.89 a b       | 1.78 a b | 1.84               | 1.67               | 1.95 c         | 2.05               | 2.03               |
| Pr > F      | 0.17*          | 0.0065*  | 0.57 <sup>NS</sup> | 0.99 <sup>NS</sup> | 0.05*          | 0.28 <sup>NS</sup> | 0.19 <sup>NS</sup> |
| C.V.        | 7.37           | 4.96     | 10.07              | 11.15              | 9.22           | 20.87              | 7.83               |

| Tratamiento | -----2015----- |          |                    |                    |                    |                    |
|-------------|----------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|             | Abril          | Mayo     | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre         |
| 1           | 1.92 a b       | 2.16 a b | 2.04               | 1.97               | 1.96               | 1.96               |
| 2           | 1.86 a b       | 2.14 b   | 2.05               | 2.02               | 1.96               | 1.96               |
| 3           | 1.88 a b       | 2.17 a b | 2.06               | 2.07               | 2.02               | 2.01               |
| 4           | 1.95 a b       | 2.26 a b | 2.08               | 2.11               | 2.03               | 2.05               |
| 5           | 2.06 a         | 2.40 a   | 2.22               | 2.06               | 2.05               | 2.04               |
| 6           | 1.92 a b       | 2.31 a b | 2.20               | 2.01               | 1.96               | 2.04               |
| 7           | 1.82 a b       | 2.35 a b | 2.27               | 2.04               | 2.02               | 2.09               |
| 8           | 1.72 b         | 2.40 a   | 2.24               | 2.00               | 2.04               | 2.07               |
| Pr > F      | 0.15*          | 0.08*    | 0.11 <sup>NS</sup> | 0.53 <sup>NS</sup> | 0.80 <sup>NS</sup> | 0.76 <sup>NS</sup> |
| C.V.        | 9.12           | 7.49     | 7.45               | 5.16               | 5.95               | 6.76               |

Medias con la misma literal en columnas son estadísticamente iguales. (Duncan= $P < 0.05$ ). 1= Sin fertilización, con riego; 2= 230 g  $KNO_3$ , con riego; 3= 460 g,  $KNO_3$ , con riego; 4= 690 g  $KNO_3$ , con riego; 5= Sin fertilización, sin riego; 6= 230 g  $KNO_3$ , sin riego; 7= 460 g  $KNO_3$ , sin riego y 8= 690 g  $KNO_3$ , sin riego.

El mes que las plantas de aguacate presentaron menor concentración foliar de N, fue diciembre, con el tratamiento 7 (460 g KNO<sub>3</sub>) con (1.64 %), y coincidió cuando el frutal se encontraba en etapa de floración. Al respecto, Figueroa (2001) encontró que durante la etapa fenológica de floración y desarrollo vegetativo del frutal, se requieren altas cantidades de N, lo cual explica la menor concentración en tejido foliar que se observó durante esta etapa fenológica.

En el cuadro II, se aprecia que no se presentó diferencias estadísticas por efecto de la dosis de K en la concentración foliar de N, ésta ausencia de diferencias se atribuye a un efecto de dilución del N, en el follaje, documentada por Pérez y Orozco (2004); ya que los árboles que produjeron más fruto, tuvieron mayor volumen de copa, por lo tanto, el árbol presentó una mayor demanda nutrimental para abastecer la biomasa total de la copa.

**Cuadro II.** Efecto de dosis de KNO<sub>3</sub> en concentración foliar de N (%) en aguacate cv. Carmen Hass.

| Dosis (g de K) | 2014               |                    |                    |                    | 2015               |                    |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                | Septiembre         | Octubre            | Noviembre          | Diciembre          | Enero              | Febrero            | Marzo              |
| 0              | 0.13               | 1.75               | 1.74               | 1.70               | 2.21               | 2.16               | 1.90               |
| 230            | 1.81               | 1.77               | 1.74               | 1.70               | 2.10               | 2.20               | 2.01               |
| 460            | 1.81               | 1.83               | 1.75               | 1.68               | 2.18               | 2.25               | 1.97               |
| 690            | 1.84               | 1.79               | 1.85               | 1.69               | 2.02               | 2.13               | 1.99               |
| Pr > F         | 0.86 <sup>NS</sup> | 0.29 <sup>NS</sup> | 0.49 <sup>NS</sup> | 0.99 <sup>NS</sup> | 0.15 <sup>NS</sup> | 0.94 <sup>NS</sup> | 0.39 <sup>NS</sup> |
| C.V.           | 7.37               | 4.96               | 10.07              | 11.15              | 9.22               | 20.87              | 7.83               |

| Dosis (g de K) | 2015               |                    |                    |                    |                    |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                | Abril              | Mayo               | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre         |
| 0              | 1.99               | 2.28               | 2.13               | 2.01               | 2.00               | 2.00               |
| 230            | 1.89               | 2.23               | 2.13               | 2.02               | 1.96               | 2.00               |
| 460            | 1.85               | 2.26               | 2.16               | 2.05               | 2.02               | 2.05               |
| 690            | 1.83               | 2.33               | 2.16               | 2.06               | 2.04               | 2.06               |
| Pr > F         | 0.20 <sup>NS</sup> | 0.60 <sup>NS</sup> | 0.94 <sup>NS</sup> | 0.70 <sup>NS</sup> | 0.50 <sup>NS</sup> | 0.64 <sup>NS</sup> |
| C.V.           | 9.12               | 7.49               | 7.45               | 5.16               | 5.95               | 6.76               |

NS= ausencia de diferencias. Medias con la misma literal en columnas son estadísticamente iguales. (Duncan=P<0.05). 1= Sin fertilización, con riego; 2= 230 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 3= 460 g. KNO<sub>3</sub> con riego; 4= 690 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 5= Sin fertilización, sin riego; 6= 230 g KNO<sub>3</sub>, sin riego; 7= 460 g KNO<sub>3</sub>, sin riego y 8= 690 g KNO<sub>3</sub>, sin riego.

El cuadro 12 indica que la condición de humedad tuvo un efecto significativo en % de N en tejido foliar, en los meses de octubre, enero, febrero, mayo y junio, el mes de diciembre se presentó la menor concentración de N (1.71 y 1.67 %) para los árboles que estuvieron bajo riego y temporal respectivamente, en este mes el frutal presentaba la etapa fenológica de desarrollo floral de yemas de verano, es por eso que la concentración fue inferior respecto con los demás meses, ya que el N fue trasladado hacia los puntos de demanda. Embleton *et al.* (1959) reportaron que durante la floración y desarrollo vegetativo en aguacatero, dado que se presentan simultáneamente en el árbol, se requieren altas cantidades de N, lo que explica las bajas concentraciones en tejido foliar. La concentración mayor de N se presentó en la etapa fenológica de antesis en el mes de febrero bajo condición de riego (2.38 %), en este mes, el árbol presentaba la última etapa de desarrollo de yemas, por lo tanto los requerimientos de N fueron menores, es por eso que se observa el incremento en la concentración de este nutrimento, además se puede observar que la condición de humedad favoreció la absorción de este nutrimento y la acumulación en tejido foliar.

**Cuadro 12.** Efecto de dosis de  $KNO_3$  en dos condiciones de humedad en la concentración foliar de N (%) en aguacate cv. Carmen Hass.

| Condición de humedad | 2014               |         |                    |                    | 2015    |         |                    |
|----------------------|--------------------|---------|--------------------|--------------------|---------|---------|--------------------|
|                      | Septiembre         | Octubre | Noviembre          | Diciembre          | Enero   | Febrero | Marzo              |
| Riego                | 1.80               | 1.74 b  | 1.73               | 1.71               | 2.22 a  | 2.38 a  | 1.98               |
| Temporal             | 1.85               | 1.83 a  | 1.81               | 1.67               | 2.03 b  | 1.99 b  | 1.95               |
| Pr > F               | 0.18 <sup>NS</sup> | 0.0029* | 0.17 <sup>NS</sup> | 0.49 <sup>NS</sup> | 0.0062* | 0.0097* | 0.49 <sup>NS</sup> |
| C.V                  | 7.37               | 4.96    | 10.07              | 11.15              | 9.22    | 20.87   | 7.83               |

| Condición de humedad | 2015               |         |         |                    |                    |                    |
|----------------------|--------------------|---------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                      | Abril              | Mayo    | Junio   | Julio              | Agosto             | Septiembre         |
| Riego                | 1.90               | 2.18 b  | 2.05 b  | 2.04               | 1.99               | 2.00               |
| Temporal             | 1.88               | 2.37 a  | 2.23 a  | 2.03               | 2.02               | 2.06               |
| Pr > F               | 0.67 <sup>NS</sup> | 0.0017* | 0.0014* | 0.64 <sup>NS</sup> | 0.49 <sup>NS</sup> | 0.16 <sup>NS</sup> |
| C.V                  | 9.12               | 7.49    | 7.45    | 5.16               | 5.95               | 6.76               |

NS= ausencia de diferencia. \*= significativo  $P < 0.05$ .

En el cuadro 13 se muestran los resultados del contenido nutrimental foliar de P correspondiente a trece meses de muestreo, el análisis de varianza reportó diferencia estadística ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de tratamientos, aunque no en todos los momentos de muestreo, los meses en que se registró diferencia estadística fue en los meses de octubre, marzo, mayo y septiembre, los tratamientos 5 y 7 fueron los que presentaron mayor concentración (0.18 %), dicha concentración se presentó en el mes de octubre, la cual coincidió con el inicio de la recolección de frutos, lo que justifica que la demanda de este nutrimento por el fruto fue menor, esta concentración es similar a la reportada por Figueroa *et al.* (2001) quienes reportan concentración de (0.14 %) de P en tejido foliar. Los meses de junio, julio, agosto y septiembre del 2015 fueron los meses que presentaron menor concentración (0.06 %), estas concentraciones coinciden en la etapas de crecimiento y caída de fruto, y crecimiento del sistema radicular. Este fenómeno se puede explicar con lo mencionado por Brady (1990), quien reporta que el P tiene efecto importante en la fotosíntesis, floración, fructificación, formación de semilla, maduración del fruto y desarrollo de raíces.

**Cuadro 13.** Concentración foliar de P (%) en aguacate cv. Carmen Hass, por fertilización de  $KNO_3$  en dos condiciones de humedad.

| Tratamiento | 2014               |            |                    |                    | 2015               |                    |          |
|-------------|--------------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------|
|             | Septiembre         | Octubre    | Noviembre          | Diciembre          | Enero              | Febrero            | Marzo    |
| 1           | 0.13               | 0.14 a b c | 0.18               | 0.16               | 0.18               | 0.10               | 0.09 a b |
| 2           | 0.11               | 0.12 c     | 0.15               | 0.14               | 0.15               | 0.09               | 0.09 a b |
| 3           | 0.12               | 0.13 b c   | 0.17               | 0.17               | 0.18               | 0.09               | 0.09 a   |
| 4           | 0.12               | 0.13 a b c | 0.18               | 0.14               | 0.15               | 0.09               | 0.09 a b |
| 5           | 0.13               | 0.18 a     | 0.18               | 0.16               | 0.17               | 0.08               | 0.07 b c |
| 6           | 0.12               | 0.17 a b   | 0.18               | 0.16               | 0.19               | 0.09               | 0.07 b c |
| 7           | 0.12               | 0.18 a     | 0.17               | 0.15               | 0.19               | 0.10               | 0.06 c   |
| 8           | 0.12               | 0.17 a b   | 0.19               | 0.14               | 0.18               | 0.09               | 0.07 c   |
| Pr > F      | 0.96 <sup>NS</sup> | 0.02*      | 0.65 <sup>NS</sup> | 0.65 <sup>NS</sup> | 0.31 <sup>NS</sup> | 0.94 <sup>NS</sup> | 0.0009*  |
| C.V.        | 19.93              | 20.76      | 15.22              | 18.53              | 17.13              | 23.02              | 15.12    |

Siguiente..

| Tratamiento | Abril              | Mayo       | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre |
|-------------|--------------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| 1           | 0.08               | 0.07 c     | 0.08               | 0.07               | 0.07               | 0.07 b c   |
| 2           | 0.07               | 0.07 b c   | 0.06               | 0.07               | 0.07               | 0.06 c     |
| 3           | 0.07               | 0.07 c     | 0.07               | 0.07               | 0.07               | 0.07 b c   |
| 4           | 0.07               | 0.09 a     | 0.07               | 0.07               | 0.07               | 0.07 b c   |
| 5           | 0.08               | 0.08 a b c | 0.07               | 0.07               | 0.07               | 0.08 a b   |
| 6           | 0.08               | 0.08 a b c | 0.06               | 0.07               | 0.07               | 0.07 b c   |
| 7           | 0.07               | 0.08 a b c | 0.06               | 0.07               | 0.07               | 0.07 a b c |
| 8           | 0.08               | 0.08 a b   | 0.06               | 0.08               | 0.07               | 0.08*      |
| Pr > F      | 0.26 <sup>NS</sup> | 0.02*      | 0.39 <sup>NS</sup> | 0.72 <sup>NS</sup> | 0.97 <sup>NS</sup> | 0.01*      |
| C.V.        | 12.65              | 9.52       | 20.42              | 13.71              | 12.90              | 11.86      |

Medias con la misma literal en columnas son estadísticamente iguales. (Duncan= $P < 0.05$ ). 1= Sin fertilización, con riego; 2= 230 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 3= 460 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 4= 690 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 5= Sin fertilización, sin riego; 6= 230 g KNO<sub>3</sub>, sin riego; 7= 460 g KNO<sub>3</sub>, sin riego y 8= 690 g KNO<sub>3</sub>, sin riego.

El cuadro 14, indica que se presentó diferencias estadísticas por efecto de la dosis de KNO<sub>3</sub> en la concentración foliar de P, pero solo para los meses de abril, mayo y septiembre 2015, con una idéntica concentración de (0.08 %) aunque esta concentración no fue la mayor, fue en el mes de noviembre cuando se presentó la mayor concentración de P en tejido foliar (0.19 %), con la dosis de 690 g árbol<sup>-1</sup>. en este mes se finalizó la cosecha de fruto, y por lo tanto, la formación de la semilla ya habían finalizado y los requerimientos de P eran menores, es por eso que, se puede apreciar el incremento de este nutrimento en este mes, y en esta etapa fenológica. Esta concentración encontrada en estas condiciones y para el cv. Carmen Hass fue mayor a la encontraron por Figueroa *et al.* (2001), quienes reportan concentraciones de P en tejido foliar en el cv. Colín v-33 de (0.12 %).

**Cuadro 14.** Efecto de dosis de KNO<sub>3</sub> en concentración foliar de P (%) en aguacate cv. Carmen Hass.

| Dosis (g de K) | 2014               |                    |                    |                    | 2015               |                    |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                | Septiembre         | Octubre            | Noviembre          | Diciembre          | Enero              | Febrero            | Marzo              |
| 0              | 0.13               | 0.16               | 0.18               | 0.16               | 0.17               | 0.09               | 0.08               |
| 230            | 0.12               | 0.15               | 0.17               | 0.15               | 0.17               | 0.09               | 0.08               |
| 460            | 0.12               | 0.15               | 0.17               | 0.16               | 0.18               | 0.09               | 0.08               |
| 690            | 0.12               | 0.15               | 0.19               | 0.14               | 0.16               | 0.09               | 0.08               |
| Pr > F         | 0.72 <sup>NS</sup> | 0.89 <sup>NS</sup> | 0.42 <sup>NS</sup> | 0.53 <sup>NS</sup> | 0.75 <sup>NS</sup> | 0.94 <sup>NS</sup> | 0.88 <sup>NS</sup> |
| C.V.           | 19.93              | 20.76              | 15.22              | 18.53              | 17.13              | 23.02              | 15.12              |

Siguiente...

| Dosis (g de K) | 2015     |          |                    |                    |                    |            |
|----------------|----------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
|                | Abril    | Mayo     | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre |
| 0              | 0.08 a   | 0.08 a b | 0.07               | 0.07               | 0.07               | 0.07 a b   |
| 230            | 0.08 a b | 0.08 a b | 0.06               | 0.07               | 0.07               | 0.07 b     |
| 460            | 0.07 b   | 0.07 b   | 0.07               | 0.07               | 0.07               | 0.07 a b   |
| 690            | 0.07 a b | 0.08 a   | 0.07               | 0.07               | 0.07               | 0.08 a     |
| Pr > F         | 0.11*    | 0.16*    | 0.40 <sup>NS</sup> | 0.79 <sup>NS</sup> | 0.76 <sup>NS</sup> | 0.09*      |
| C.V.           | 12.65    | 9.52     | 20.42              | 13.71              | 12.90              | 11.86      |

NS= ausencia de diferencias. \*= significativo P= <0.05.

En el cuadro 15 se muestra que la condición de humedad tuvo diferencia significativa en el porcentaje de P en tejido foliar, en los meses de octubre, marzo, mayo y septiembre de 2015, en los primeros cinco meses de muestreo (septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero) después de la aplicación de la dosis de fertilizante la concentración se mantuvo de 0.12 a 0.18 %, para ambas condiciones de humedad, ya para el mes de febrero a septiembre del 2015 se observa una clara disminución en la concentración nutrimental en las dos condiciones, fue en el mes de junio donde se presentó la concentración menor (0.06 %), en condición de temporal, en este mes el sistema radicular del aguacatero crece y el P es un nutrimento que se le atribuye un efecto sobre el crecimiento radicular, es por eso que en este mes se presentó una disminución de P en tejido foliar ya que este nutrimento se movilizaba hacia el punto de mayor demanda que en ese momento era la raíz. Bernal y Espinosa (2003) reportan que el P se acumula en partes de la planta en crecimiento y en las semillas y que es determinante para el desarrollo de las raíces y de los tejidos meristemáticos. En el mes de octubre se presentó la mayor concentración de este nutrimento en condición de temporal (0.17 %).

**Cuadro 15.** Efecto de dosis de KNO<sub>3</sub> en dos condiciones de humedad en la concentración foliar de P (%) en aguacate cv. Carmen Hass.

| Condición de humedad | 2014               |         |                    |                    | 2015  |                    |         |
|----------------------|--------------------|---------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|---------|
|                      | Septiembre         | Octubre | Noviembre          | Diciembre          | Enero | Febrero            | Marzo   |
| Riego                | 0.12               | 0.13 b  | 0.17               | 0.15               | 0.16  | 0.09               | 0.09a   |
| Temporal             | 0.12               | 0.17 a  | 0.18               | 0.15               | 0.18  | 0.09               | 0.07b   |
| Pr > F               | 0.61 <sup>NS</sup> | 0.0002* | 0.49 <sup>NS</sup> | 0.87 <sup>NS</sup> | 0.05  | 0.83 <sup>NS</sup> | <0.001* |
| C.V.                 | 19.93              | 20.76   | 15.22              | 18.53              | 17.13 | 23.02              | 15.12   |

Siguiente...

| Condición de humedad | Abril              | Mayo   | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre |
|----------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| Riego                | 0.07               | 0.07 b | 0.07               | 0.07               | 0.07               | 0.07 b     |
| Temporal             | 0.08               | 0.08 a | 0.06               | 0.07               | 0.07               | 0.08 a     |
| Pr > F               | 0.12 <sup>NS</sup> | 0.003* | 0.16 <sup>NS</sup> | 0.09 <sup>NS</sup> | 0.74 <sup>NS</sup> | 0.0014*    |
| C.V                  | 12.65              | 9.52   | 20.42              | 13.71              | 12.90              | 11.86      |

NS= ausencia de diferencias. \*= significativo  $P = < 0.05$ .

En el cuadro 16 se muestran los resultados del contenido nutrimental foliar de K correspondiente a los trece meses de muestreo, el análisis de varianza reportó diferencia estadística ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de tratamientos, aunque no en todos los periodos de muestreo; los meses en que se registró diferencia estadística fueron en los meses de enero, febrero, mayo y septiembre, el mes de diciembre fue el que presentó mayor concentración de K (1.58 %) en el tratamiento 6 (230 g árbol<sup>-1</sup>), los tratamientos testigos (1 y 5) también mostraron un comportamiento similar al tratamiento 6, la concentración en este mes (1.50 y 1.49 %), para este mes el árbol presentaba desarrollo de yemas florales de invierno, durante esta etapa el K no era el elemento clave, como lo era el N es por eso que la concentración de K se incrementó en este mes. En esta investigación se presentaron diferencias estadísticas en la concentración nutrimental de K en tejido foliar en el año de evaluación, resultado que difieren a lo reportado por (Opazo y Razeto, 2001) quienes evaluaron un efecto de diferentes fertilizantes potásicos (KCl, KNO<sub>3</sub> y K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a una dosis de 3 Kg de K<sub>2</sub>O árbol<sup>-1</sup> en el cultivo de naranja y no encontraron diferencias significativas en la concentración de K en tejido foliar durante el primer año de evaluación. Para el tratamiento testigo se reportan 5.5 % y para el tratamiento de KNO<sub>3</sub> reportan (6.2 %). En enero se presentó la menor concentración de K (0.87 %). Hamamoto y Uozumi (2014) mencionan que el K es un nutrimento de alta movilidad y que es el catión principal que contribuye a la expansión celular, la fenología que presentaba el frutal en dicho mes era el desarrollo de yemas, presentaba la etapa 8 (coliflor), en esta etapa inicia el desarrollo de las inflorescencias y debido a que el K es un nutrimento importante para su desarrollo es por eso que el K acumulado en el tejido foliar se moviliza a las inflorescencias, dejando una concentración menor en las hojas, lo que justifica el resultado en este mes de enero. Una investigación desarrollada por Figueroa *et al.* (2001) quienes evaluaron la concentración de

K en tejido foliar y en las inflorescencias en cultivo de aguacate cv. Hass concluyeron que el K se encuentra en mayor concentración en las inflorescencias que en las hojas (1.87 y 1.12 %) respectivamente.

**Cuadro 16.** Concentración foliar de K (%) en aguacate cv. Carmen Hass, por fertilización de KNO<sub>3</sub> en dos condiciones de humedad.

| Tratamiento | 2014               |                    |                    |                    | 2015     |          |                    |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------|----------|--------------------|
|             | Septiembre         | Octubre            | Noviembre          | Diciembre          | Enero    | Febrero  | Marzo              |
| 1           | 1.02               | 1.12               | 1.14               | 1.50               | 1.06 a b | 1.12 a b | 0.95               |
| 2           | 1.13               | 1.17               | 1.06               | 1.50               | 0.99 a b | 1.10 a b | 1.01               |
| 3           | 1.13               | 1.23               | 1.14               | 1.48               | 1.20 a   | 1.25 a   | 1.04               |
| 4           | 1.09               | 1.16               | 1.06               | 1.49               | 0.87 b   | 0.95 b   | 1.08               |
| 5           | 1.27               | 1.29               | 0.90               | 1.49               | 0.96 a b | 1.00 a b | 0.91               |
| 6           | 1.15               | 1.37               | 0.98               | 1.58               | 1.15 a   | 1.20 a b | 1.06               |
| 7           | 1.18               | 1.19               | 0.91               | 1.40               | 1.03 a b | 1.07 a b | 0.96               |
| 8           | 1.13               | 1.16               | 1.05               | 1.44               | 1.02 a b | 1.14 a b | 1.00               |
| Pr > F      | 0.66 <sup>NS</sup> | 0.38 <sup>NS</sup> | 0.49 <sup>NS</sup> | 0.97 <sup>NS</sup> | 0.09*    | 0.19*    | 0.90 <sup>NS</sup> |
| C.V.        | 16.51              | 14.30              | 20.45              | 15.91              | 16.14    | 16.01    | 20.82              |

Siguiente...

| Tratamiento | 2015               |          |                    |                    |                    |            |
|-------------|--------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
|             | Abril              | Mayo     | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre |
| 1           | 1.20               | 1.19 a b | 0.97               | 0.96               | 1.00               | 0.90 c     |
| 2           | 1.11               | 1.18 a b | 0.94               | 1.00               | 0.80               | 0.92 b c   |
| 3           | 1.18               | 1.23 a   | 1.02               | 0.95               | 1.04               | 0.97 a b c |
| 4           | 1.13               | 1.25 a   | 1.00               | 0.98               | 1.00               | 0.99 a b c |
| 5           | 1.16               | 1.07 a b | 0.88               | 0.96               | 0.95               | 1.06 a b c |
| 6           | 1.20               | 1.16 a b | 0.93               | 1.02               | 0.97               | 1.14 a     |
| 7           | 1.11               | 1.03 b   | 0.91               | 1.03               | 1.09               | 1.03 a b c |
| 8           | 1.19               | 1.16 a b | 0.89               | 1.07               | 1.05               | 1.10 a b   |
| Pr > F      | 0.78 <sup>NS</sup> | 0.12*    | 0.59 <sup>NS</sup> | 0.79 <sup>NS</sup> | 0.75 <sup>NS</sup> | 0.09*      |
| C.V.        | 10.07              | 10.32    | 13.73              | 12.68              | 17.77              | 13.17      |

Medias con la misma literal en columnas son estadísticamente iguales. (Duncan=P<0.05). 1= Sin fertilización, con riego; 2= 230 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 3= 460 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 4= 690 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 5= sin fertilización, sin riego; 6= 230 g KNO<sub>3</sub>, sin riego; 7= 460 g KNO<sub>3</sub>, sin riego y 8= 690 g KNO<sub>3</sub>, sin riego.

El cuadro 17, indica que se presentó diferencias estadísticas por efecto de la dosis de KNO<sub>3</sub> en la concentración foliar de K, esta diferencia solo se presentó en el mes de enero (1.11 %), con la dosis de 460 g árbol<sup>-1</sup>, en junio se presentó la menor concentración de este nutrimento (0.92 %) con la dosis de 0 g árbol<sup>-1</sup>, el frutal demanda una gran cantidad de K en este mes, ya que se requiere en el crecimiento del fruto y para minimizar la abscisión del mismo. Esta concentración inferior que se presenta en comparación a los otros meses muestreados, se le puede atribuir a la translocación de este nutrimento hacia los puntos de



demanda para la formación de almidón y proteínas (fruto), ya que es considerado el principal transportador de azúcares hacia los frutos, según Salisbury y Ross (1994).

**Cuadro 17.** Efecto de dosis de  $KNO_3$  en concentración foliar de K (%) en aguacate cv. Carmen Hass.

| Dosis (g de K) | 2014               |                    |                    |                    | 2015       |                    |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|--------------------|--------------------|
|                | (Sep 2014)         | (Oct 2014)         | (Nov 2014)         | (Dic 2014)         | (Ene 2015) | (Feb 2015)         | (Mar 2015)         |
| 0              | 1.14               | 1.21               | 1.02               | 1.50               | 1.01 a b   | 1.06               | 0.93               |
| 230            | 1.14               | 1.27               | 1.02               | 1.54               | 1.07 a b   | 1.15               | 1.03               |
| 460            | 1.15               | 1.21               | 1.03               | 1.44               | 1.11 a     | 1.16               | 1.00               |
| 690            | 1.11               | 1.16               | 1.05               | 1.47               | 0.94 b     | 1.04               | 1.04               |
| Pr > F         | 0.95 <sup>NS</sup> | 0.58 <sup>NS</sup> | 0.98 <sup>NS</sup> | 0.81 <sup>NS</sup> | 0.16*      | 0.34 <sup>NS</sup> | 0.64 <sup>NS</sup> |
| C.V.           | 16.51              | 14.30              | 20.45              | 15.91              | 16.14      | 16.01              | 20.82              |

Siguiente...

| Dosis (g de K) | 2015               |                    |                    |                    |                    |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                | Abril              | Mayo               | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre         |
| 0              | 1.18               | 1.13               | 0.92               | 0.96               | 0.98               | 0.98               |
| 230            | 1.16               | 1.17               | 0.93               | 1.01               | 0.93               | 1.03               |
| 460            | 1.14               | 1.13               | 0.96               | 0.99               | 1.06               | 1.00               |
| 690            | 1.16               | 1.20               | 0.94               | 1.03               | 1.02               | 1.05               |
| Pr > F         | 0.92 <sup>NS</sup> | 0.46 <sup>NS</sup> | 0.91 <sup>NS</sup> | 0.70 <sup>NS</sup> | 0.40 <sup>NS</sup> | 0.67 <sup>NS</sup> |
| C.V.           | 10.07              | 10.32              | 13.73              | 12.68              | 17.77              | 13.17              |

NS= ausencia de diferencias. \* = significativo  $P = < 0.05$ .

El cuadro 18 muestra que la condición de humedad tuvo diferencia significativa en % de K en tejido foliar, en los meses de noviembre, mayo y septiembre, en el mes de diciembre se presentó la mayor concentración de este nutrimento en condición de riego (1.49 %) y la menor concentración se presentó en el mes de junio (0.90 %) sin riego.

**Cuadro 18.** Efecto de dosis de  $KNO_3$  en dos condiciones de humedad en la concentración foliar de K (%) en aguacate cv. Carmen Hass.

| Condición de humedad | 2014               |                    |           |                    | 2015               |                    |                    |
|----------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                      | Septiembre         | Octubre            | Noviembre | Diciembre          | Enero              | Febrero            | Marzo              |
| Riego                | 1.09               | 1.17               | 1.10 a    | 1.49               | 1.03               | 1.10               | 1.02               |
| Temporal             | 1.18               | 1.25               | 0.96 b    | 1.48               | 1.04               | 1.10               | 0.98               |
| Pr > F               | 0.13 <sup>NS</sup> | 0.14 <sup>NS</sup> | 0.04*     | 0.84 <sup>NS</sup> | 0.89 <sup>NS</sup> | 0.95 <sup>NS</sup> | 0.55 <sup>NS</sup> |
| C.V.                 | 16.51              | 14.30786           | 20.45     | 15.91              | 16.14              | 16.01              | 20.82              |

Siguiente...

| Condición de humedad | Abril              | Mayo   | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre |
|----------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| Riego                | 1.16               | 1.21 a | 0.98               | 0.97               | 0.98               | 0.95 b     |
| Temporal             | 1.16               | 1.11 b | 0.90               | 1.02               | 1.01               | 1.08 a     |
| Pr > F               | 0.90 <sup>NS</sup> | 0.011* | 0.05 <sup>NS</sup> | 0.24 <sup>NS</sup> | 0.61 <sup>NS</sup> | 0.0030*    |
| C.V                  | 10.07              | 10.32  | 13.73              | 12.68              | 17.77              | 13.17      |

NS= ausencia de diferencias, \*= significativo P= <0.05.

En el cuadro 19 se muestran los resultados del contenido nutrimental foliar de Ca correspondiente a los trece meses de muestreo. El análisis de varianza reportó diferencia estadística ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de tratamientos, aunque no en todos los momentos de muestreo, los meses en que se registró diferencia estadística: fueron enero, febrero, abril, junio y agosto. La menor concentración se presentó en el mes de Abril con el tratamiento 7, con la dosis media (460 g  $KNO_3$  sin riego), la mayor concentración de Ca se registró en el mes de diciembre (6.89 %), con el tratamiento 8, con la dosis alta (690 g  $KNO_3$  sin riego), en este mes el árbol desarrollaba las yemas florales de invierno, esta etapa no requiere Ca en grandes cantidades es por eso que es notable el incremento de la concentración en tejido foliar. Marschner (1995) mencionó que el Ca es un elemento de lenta movilidad. Figueroa *et al.* (2001) publicaron que la concentración de Ca en tejido foliar fue mayor (1.68 %) que la concentración en las inflorescencias (0.83 %). El mes abril se presentó la menor concentración (1.45 %).

**Cuadro 19.** Concentración foliar de Ca (%) en aguacate cv. Carmen Hass, por fertilización de  $KNO_3$  en dos condiciones de humedad.

| Tratamiento | 2014               |                    |                    |                    | 2015       |          |                    |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|----------|--------------------|
|             | Septiembre         | Octubre            | Noviembre          | Diciembre          | Enero      | Febrero  | Marzo              |
| 1           | 4.33               | 4.19               | 3.90               | 5.67               | 3.04 a b c | 2.76 a b | 2.80               |
| 2           | 4.37               | 4.74               | 3.91               | 6.12               | 3.22 a b c | 2.76 a b | 2.42               |
| 3           | 4.13               | 4.07               | 3.96               | 5.98               | 2.50 c     | 2.47 b   | 2.24               |
| 4           | 4.32               | 4.29               | 3.79               | 5.88               | 4.15 a     | 3.38 a   | 3.17               |
| 5           | 3.95               | 4.42               | 3.16               | 5.93               | 3.34 a b c | 2.95 a b | 2.36               |
| 6           | 4.16               | 4.47               | 3.30               | 6.18               | 3.30 a b c | 2.88 a b | 2.36               |
| 7           | 4.02               | 4.29               | 3.26               | 6.20               | 2.92 b c   | 2.45 b   | 2.49               |
| 8           | 4.31               | 4.49               | 3.57               | 6.89               | 3.89 a b   | 2.85 a b | 2.94               |
| Pr > F      | 0.92 <sup>NS</sup> | 0.75 <sup>NS</sup> | 0.38 <sup>NS</sup> | 0.55 <sup>NS</sup> | 0.05*      | 0.29*    | 0.33 <sup>NS</sup> |
| C.V.        | 14.04              | 13.63              | 19.33              | 14.32              | 23.13      | 20.51    | 25.94              |

Siguiente..

| Tratamiento | Abril    | Mayo               | Junio    | Julio              | Agosto   | Septiembre         |
|-------------|----------|--------------------|----------|--------------------|----------|--------------------|
| 1           | 1.79 a b | 2.32               | 3.35 a b | 3.19               | 3.72 a b | 3.53               |
| 2           | 1.58 a b | 2.09               | 3.15 a b | 3.35               | 3.89 a   | 3.67               |
| 3           | 2.03 a   | 2.40               | 3.49 a   | 3.43               | 3.76 a b | 3.56               |
| 4           | 1.91 a b | 2.25               | 3.60 a   | 3.37               | 3.76 a b | 3.44               |
| 5           | 1.78 a b | 2.33               | 3.05 a b | 3.51               | 3.25 a b | 3.34               |
| 6           | 2.02 a b | 2.30               | 3.23 a b | 3.54               | 3.67 a b | 4.38               |
| 7           | 1.45 b   | 2.13               | 2.78 b   | 3.15               | 2.94 b   | 2.98               |
| 8           | 1.79 a b | 2.29               | 3.02 a b | 3.39               | 3.61 a b | 3.21               |
| Pr > F      | 0.26*    | 0.38 <sup>NS</sup> | 0.09*    | 0.65 <sup>NS</sup> | 0.18*    | 0.48 <sup>NS</sup> |
| C.V.        | 21.61    | 9.73               | 13.43    | 10.68              | 15.84    | 27.00              |

Medias con la misma literal en columnas son estadísticamente iguales. (Duncan= $P<0.05$ ). 1= Sin fertilización, con riego; 2= 230 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 3= 460 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 4= 690 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 5= sin fertilización, sin riego; 6= 230 g KNO<sub>3</sub>, sin riego; 7= 460 g KNO<sub>3</sub>, sin riego y 8= 690 g KNO<sub>3</sub>, sin riego.

El cuadro 20, indica que se presentó diferencias estadísticas por efecto de la dosis de KNO<sub>3</sub> en la concentración foliar de Ca, en los meses de enero, febrero y marzo, con las concentraciones de 4.04, 3.11 y 3.05 %, respectivamente, todas con la dosis de 690 g árbol<sup>-1</sup>, pero las mayores concentración de Ca se presentaron en los meses de septiembre (4.31 %), con la dosis alta (690 g KNO<sub>3</sub>), octubre (4.39 %), con la dosis baja (220 g KNO<sub>3</sub>) y diciembre (6.39 %) con la dosis alta (690 g KNO<sub>3</sub>), está concentración se pudo haber incrementado en esto mes, porque en el desarrollo de yemas como en la floración el Ca no tiene una participación clave y el árbol presentaba dicha fenología, además que para este mes la radiación solar-es menor, lo que provoca que el Ca sea más inmóvil y tienda a acumularse en las hojas, tal a como sucedió en la presente investigación. En mes de abril se presentó la menor concentración de este nutrimento (1.74 %) con la dosis media de 460 g árbol<sup>-1</sup>.

**Cuadro 20.** Efecto de dosis de KNO<sub>3</sub> en concentración foliar de Ca (%) en aguacate cv. Carmen Hass.

| Dosis (g de K) | 2014               |                    |                    |                    | 2015    |                    |          |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|----------|
|                | Septiembre         | Octubre            | Noviembre          | Diciembre          | Enero   | Febrero            | Mazo     |
| 0              | 4.14               | 4.30               | 3.53               | 5.80               | 3.19 b  | 2.86 a b           | 2.58 a b |
| 230            | 4.27               | 4.61               | 3.60               | 6.15               | 3.26 b  | 2.82 a b           | 2.39 b   |
| 460            | 4.08               | 4.18               | 3.61               | 6.09               | 2.71 b  | 2.46 b             | 2.37 b   |
| 690            | 4.31               | 4.39               | 3.68               | 6.39               | 4.04 a  | 3.11 a             | 3.05 a   |
| Pr > F         | 0.79 <sup>NS</sup> | 0.45 <sup>NS</sup> | 0.96 <sup>NS</sup> | 0.52 <sup>NS</sup> | 0.0077* | 0.11 <sup>NS</sup> | 0.10*    |
| C.V.           | 14.04              | 13.63              | 19.33              | 14.32              | 23.13   | 20.51              | 25.94    |

Siguiente...

| Dosis (g de K) | 2015               |                    |                    |                    |                    |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                | Abril              | Mayo               | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre         |
| 0              | 1.78               | 2.33               | 3.20               | 3.35               | 3.48               | 3.43               |
| 230            | 1.80               | 2.20               | 3.19               | 3.44               | 3.78               | 4.03               |
| 460            | 1.74               | 2.27               | 3.13               | 3.29               | 3.35               | 3.27               |
| 690            | 1.85               | 2.27               | 3.31               | 3.38               | 3.68               | 3.33               |
| Pr > F         | 0.94 <sup>NS</sup> | 0.65 <sup>NS</sup> | 0.83 <sup>NS</sup> | 0.81 <sup>NS</sup> | 0.33 <sup>NS</sup> | 0.27 <sup>NS</sup> |
| C.V.           | 21.61              | 9.73               | 13.43              | 10.68              | 15.84              | 27.00              |

NS= ausencia de diferencias, \* = Significativo  $P < 0.05$ .

El cuadro 21 muestra que la condición de humedad tuvo diferencias significativa en el porcentaje de Ca en el tejido foliar, en los meses de noviembre (3.89 %), junio (3.40 %) y agosto (3.78 %), en árboles bajo condición de riego, en esta condición en el mes de julio del 2014, se realizó la aplicación del 30 % de la dosis del fertilizante, se observa que en los meses cercanos a la aplicación (septiembre a diciembre del 2014) las concentración nutrimental se incrementó, comparada con los meses restantes, oscilando de (3.89 a 5.95 %), pero fue para el mes de enero del 2015, donde se puede observar un claro descenso en la concentración (3.23 %), este comportamiento permaneció en los tres meses siguientes, febrero (2.84 %), marzo (2.65 %) y abril (1.83 %), para estos meses de baja concentración se realizaba la aplicación del 70 % de la dosis restante del fertilizante incluyendo el mes de mayo, un mes después de la terminación de la dosis de fertilización en el mes de junio, fue donde se presentó un incremento en la concentración (3.40 %), dos, tres y cuatro meses después de concluido la fertilización (julio, agosto y septiembre) la concentración se mantuvo en un promedio de (3.5 %). Para el caso de los árboles en temporal, se observa que la mayor concentración se presentó cinco meses después de la aplicación de la dosis, en el mes de diciembre (6.31 %), la etapa fenológica que transcurría era el desarrollo floral de yemas de invierno, la cual no es una etapa de alta demanda de Ca. Este incremento de la concentración de Ca en el tejido foliar coincide con lo encontrado por Cerdas *et al.* (2006) en sentido de que el Ca es importante en la fisiología de la planta, por el papel que desempeña durante el ablandamiento del fruto, ya que está involucrado en la organización celular y la integridad de la pared y membrana celular, además estos mismos autores mencionan que el Ca es absorbido por las raíces y distribuido al resto de la planta principalmente a través del xilema y que las hojas son los órganos que transpiran en mayor

proporción y tienden a acumular más Ca, la menor concentración se presentó en el mes de abril (1.76 %) en condición de temporal.

**Cuadro 21.** Efecto de dosis de  $KNO_3$  en dos condiciones de humedad en la concentración foliar de Ca (%) en aguacate cv. Carmen Hass.

| Condición de humedad | 2014               |                    |           |                    | 2015               |                    |                    |
|----------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                      | Septiembre         | Octubre            | Noviembre | Diciembre          | Enero              | Febrero            | Marzo              |
| Riego                | 4.29               | 4.33               | 3.89 a    | 5.95 a             | 3.23               | 2.84               | 2.65               |
| Temporal             | 4.11               | 4.42               | 3.32 b    | 6.31 a             | 3.33               | 2.78               | 2.54               |
| Pr > F               | 0.34 <sup>NS</sup> | 0.63 <sup>NS</sup> | 0.01*     | 0.17 <sup>NS</sup> | 0.58 <sup>NS</sup> | 0.74 <sup>NS</sup> | 0.59 <sup>NS</sup> |
| C.V                  | 14.04              | 13.63942           | 19.33     | 14.32              | 23.13              | 20.51              | 25.94              |

Siguiente...

| Condición de humedad | 2015               |                    |         |                    |        |                    |
|----------------------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|--------|--------------------|
|                      | Abril              | Mayo               | Junio   | Julio              | Agosto | Septiembre         |
| Riego                | 1.83               | 2.27               | 3.40 a  | 3.33               | 3.78 a | 3.55               |
| Temporal             | 1.76               | 2.26               | 3.02 b  | 3.40               | 3.37 b | 3.48               |
| Pr > F               | 0.58 <sup>NS</sup> | 0.94 <sup>NS</sup> | 0.0095* | 0.59 <sup>NS</sup> | 0.02*  | 0.81 <sup>NS</sup> |
| C.V                  | 21.61              | 9.73               | 13.43   | 10.68              | 15.84  | 27.00              |

En el cuadro 22 se muestran los resultados del contenido nutrimental foliar de Mg correspondiente a tres meses de muestreo, el análisis de varianza reportó diferencia estadística ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de tratamientos, aunque no en todos los momentos de muestreo, los meses en que se registró diferencia estadística fueron en el mes de octubre fue la mayor concentración de Mg registrada en el mes de julio, coincidiendo con el flujo vegetativo de verano, en esta etapa fenológica el Mg no es nutrimento clave como lo es en la estimulación de la floración temprana y en la disminución en el número de abortos de frutos (Chirinos, 1999), lo anterior puede explicar porque en el mes de enero cuando el árbol manifestaba la etapa fenológica de floración se presentó la menor concentración de Mg (0.44 %).

**Cuadro 22.** Concentración foliar de Mg (%) en aguacate cv. Carmen Hass, por fertilización de KNO<sub>3</sub> en dos condiciones de humedad.

| Tratamiento | 2014               |          |                    |                    | 2015               |                    |          |
|-------------|--------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------|
|             | Septiembre         | Octubre  | Noviembre          | Diciembre          | Enero              | Febrero            | Marzo    |
| 1           | 0.55               | 0.55 a b | 0.54               | 0.65               | 0.47               | 0.85               | 0.89 a b |
| 2           | 0.54               | 0.54 a b | 0.52               | 0.52               | 0.45               | 0.84               | 0.80 a b |
| 3           | 0.52               | 0.50 b   | 0.52               | 0.54               | 0.40               | 0.71               | 0.84 a b |
| 4           | 0.54               | 0.53 a b | 0.51               | 0.52               | 0.51               | 0.93               | 1.13 a   |
| 5           | 0.53               | 0.55 a b | 0.48               | 0.57               | 0.49               | 0.92               | 0.88 a b |
| 6           | 0.52               | 0.52 a b | 0.48               | 0.56               | 0.44               | 0.81               | 0.74 b   |
| 7           | 0.55               | 0.57 a   | 0.51               | 0.61               | 0.48               | 0.84               | 0.98 a b |
| 8           | 0.56               | 0.55 a b | 0.46               | 0.60               | 0.51               | 0.91               | 0.94 ab  |
| Pr > F      | 0.86 <sup>NS</sup> | 0.27*    | 0.47 <sup>NS</sup> | 0.58 <sup>NS</sup> | 0.33 <sup>NS</sup> | 0.33 <sup>NS</sup> | 0.35*    |
| C.V.        | 8.94               | 7.41     | 11.66              | 19.72              | 15.81              | 16.98              | 27.96    |

Siguiente...

| Tratamiento | 2015               |                    |                    |                    |                    |                    |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|             | Abril              | Mayo               | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre         |
| 1           | 0.71               | 1.15               | 1.34               | 1.44               | 1.50               | 1.45               |
| 2           | 0.64               | 1.05               | 1.23               | 1.43               | 1.51               | 1.42               |
| 3           | 0.75               | 1.05               | 1.35               | 1.45               | 1.44               | 1.41               |
| 4           | 0.75               | 1.17               | 1.35               | 1.49               | 1.41               | 1.40               |
| 5           | 0.83               | 1.26               | 1.38               | 1.54               | 1.39               | 1.27               |
| 6           | 0.87               | 1.14               | 1.37               | 1.41               | 1.41               | 1.44               |
| 7           | 0.70               | 1.24               | 1.42               | 1.49               | 1.43               | 1.35               |
| 8           | 0.72               | 1.20               | 1.39               | 1.50               | 1.49               | 1.25               |
| Pr > F      | 0.71 <sup>NS</sup> | 0.31 <sup>NS</sup> | 0.55 <sup>NS</sup> | 0.77 <sup>NS</sup> | 0.91 <sup>NS</sup> | 0.73 <sup>NS</sup> |
| C.V.        | 26.84              | 13.18              | 10.42              | 8.69               | 11.91              | 15.54              |

Medias con la misma literal en columnas son estadísticamente iguales. (Duncan= $P < 0.05$ ). 1= Sin fertilización, con riego; 2= 230 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 3= 460 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 4= 690 g KNO<sub>3</sub>, con riego; 5= Sin fertilización, sin riego; 6= 230 g KNO<sub>3</sub>, sin riego; 7= 460 g KNO<sub>3</sub>, sin riego y 8= 690 g KNO<sub>3</sub>, sin riego.

El cuadro 23, indica que se presentó diferencias estadísticas por efecto de la dosis de KNO<sub>3</sub> en la concentración foliar de Mg, en los meses de febrero (0.92 %) y marzo (1.04 %), con la dosis de 690 g árbol<sup>-1</sup>, en el mes de enero se presentó la menor concentración de este nutrimento (0.44 %) con la dosis de 460 g árbol<sup>-1</sup>, esta menor concentración se presentó cuando el desarrollo de las yemas florales se ubicaba en la etapa de coliflor, el Mg es importante en la floración es por eso que se trasladó de las hojas a las inflorescencias, el mes de julio presentó la mayor concentración (1.49 %). Los resultados de la presente investigación coinciden con lo reportado por Bárcenas *et al.* (2003), quienes observaron que la mayor acumulación de Mg se presentó en el periodo de lluvias, pero difieren a los

obtenidos por Salazar *et al.* (2007), quienes reportan que la tendencia del Mg durante el desarrollo de tejido foliar se comportó de forma acumulativa.

**Cuadro 23.** Efecto de dosis de  $KNO_3$  en concentración foliar de Mg (%) en aguacate cv. Carmen Hass.

| Dosis (g de K) | -----2014-----     |                    |                    |                    | -----2015-----     |          |          |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------|----------|
|                | Septiembre         | Octubre            | Noviembre          | Diciembre          | Enero              | Febrero  | Marzo    |
| 0              | 0.54               | 0.55               | 0.51               | 0.61               | 0.48               | 0.88 a b | 0.89 a b |
| 230            | 0.53               | 0.53               | 0.50               | 0.54               | 0.45               | 0.83 a b | 0.77 b   |
| 460            | 0.53               | 0.54               | 0.51               | 0.57               | 0.44               | 0.77 b   | 0.91 a b |
| 690            | 0.55               | 0.54               | 0.48               | 0.56               | 0.51               | 0.92 a   | 1.04 a   |
| Pr > F         | 0.82 <sup>NS</sup> | 0.80 <sup>NS</sup> | 0.61 <sup>NS</sup> | 0.59 <sup>NS</sup> | 0.19 <sup>NS</sup> | 0.14*    | 0.15*    |
| C.V.           | 8.94               | 7.41               | 11.66              | 19.72              | 15.81              | 16.98    | 27.96    |

Siguiente...

| Dosis (g de K) | -----2015-----     |                    |                    |                    |                    |                    |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                | Abril              | Mayo               | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre         |
| 0              | 0.77               | 1.20               | 1.36               | 1.49               | 1.44               | 1.36               |
| 230            | 0.76               | 1.10               | 1.30               | 1.42               | 1.46               | 1.43               |
| 460            | 0.73               | 1.15               | 1.39               | 1.47               | 1.43               | 1.38               |
| 690            | 0.73               | 1.19               | 1.37               | 1.49               | 1.45               | 1.33               |
| Pr > F         | 0.96 <sup>NS</sup> | 0.45 <sup>NS</sup> | 0.51 <sup>NS</sup> | 0.54 <sup>NS</sup> | 0.99 <sup>NS</sup> | 0.78 <sup>NS</sup> |
| C.V.           | 26.84              | 13.18              | 10.42              | 8.69               | 11.91              | 15.54              |

NS= ausencia de diferencias, \* = Significativo  $P = < 0.05$ .

El cuadro 24 muestra que la condición de humedad tuvo diferencia significativa en porcentaje de Mg en tejido foliar, en el mes de mayo (1.21 %), en árboles en condición de temporal, en el mes de julio se presentó la mayor concentración de este nutrimento en condición de temporal (1.49 %) y la menor concentración se presentó en el mes de enero (0.46 %) en condición de riego. Esta baja concentración pudo ser ocasionada por el crecimiento de brotes vegetativos y por la etapa fenológica de floración que se manifestó en enero (Yañez, 2002).

**Cuadro 24.** Efecto de dosis de  $\text{KNO}_3$  en dos condiciones de humedad en la concentración foliar de Mg (%) en aguacate cv. Carmen Hass.

| Condición de humedad | .....2014.....     |                    |                    |                    | .....2015.....     |                    |                    |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                      | Septiembre         | Octubre            | Noviembre          | Diciembre          | Enero              | Febrero            | Marzo              |
| Riego                | 0.54               | 0.53               | 0.52               | 0.56               | 0.46               | 0.83               | 0.91               |
| Temporal             | 0.54               | 0.55               | 0.48               | 0.59               | 0.48               | 0.87               | 0.88               |
| Pr > F               | 1.00 <sup>NS</sup> | 0.15 <sup>NS</sup> | 0.05 <sup>NS</sup> | 0.44 <sup>NS</sup> | 0.33 <sup>NS</sup> | 0.45 <sup>NS</sup> | 0.70 <sup>NS</sup> |
| C.V                  | 8.94               | 7.410718           | 11.66              | 19.72              | 15.81              | 16.98              | 27.96              |

Siguiente...

| Condición de humedad | .....2015.....     |        |                    |                    |                    |                    |
|----------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                      | Abril              | Mayo   | Junio              | Julio              | Agosto             | Septiembre         |
| Riego                | 0.71               | 1.11 b | 1.31               | 1.45               | 1.46               | 1.42               |
| Temporal             | 0.78               | 1.21 a | 1.39               | 1.49               | 1.43               | 1.33               |
| Pr > F               | 0.29 <sup>NS</sup> | 0.03*  | 0.10 <sup>NS</sup> | 0.40 <sup>NS</sup> | 0.49 <sup>NS</sup> | 0.17 <sup>NS</sup> |
| C.V                  | 26.84              | 13.18  | 10.42              | 8.69               | 11.91              | 15.54              |

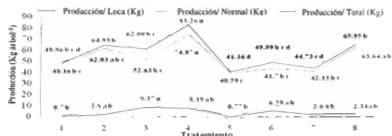
NS= ausencia de diferencias, \*= Significativo  $P = < 0.05$ .

### 3.2 Producción de fruto (Kg árbol<sup>-1</sup>).

El análisis de varianza reportó diferencia estadística ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de tratamientos, en producción de fruto. En la gráfica 1 se muestran las medias de producción de fruto de la floración loca, normal y la acumulada de estas mismas en cada uno de los tratamientos. Se observa que la mayor producción para la floración loca se dio con el tratamiento número 3 (460 g  $\text{KNO}_3$ ) (9.37 Kg árbol<sup>-1</sup>), cabe mencionar que para esta cosecha aún no se iniciaba con la programación de riego, debido a que la zona se encuentra en temporada de lluvias y además solamente se había adicionado el 30 % de la dosis antes mencionada. La mayor producción que se obtuvo en la floración normal fue de (74.87 Kg árbol<sup>-1</sup>), con el tratamiento 4 (690 g  $\text{KNO}_3$ ) en condición de riego, la producción se incrementó en un 37 %, en comparación al rendimiento obtenido con el tratamiento 1 (0 g  $\text{KNO}_3$ ) el cual fue de (48.16 Kg árbol<sup>-1</sup>), en condición de temporal la producción se incrementó en 38 %, este



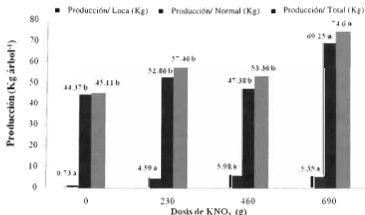
incremento se presentó en el tratamiento 8 (690 g  $\text{KNO}_3$ ), donde el rendimiento fue de (65.95  $\text{Kg árbol}^{-1}$ ) en comparación con el tratamiento 5 (0 g  $\text{KNO}_3$ ) donde el rendimiento obtenido fue de (40.59  $\text{Kg árbol}^{-1}$ ). En cuanto producción acumulada de dichas floraciones, la producción mayor se produjo el tratamiento 4 (690 g  $\text{KNO}_3$ ), con una producción de (83.26  $\text{Kg árbol}^{-1}$ ), bajo una condición de riego.



Gráfica 1. Efecto de dosis de fertilización de  $\text{KNO}_3$  en producción de fruto en aguacate cv. Carmen Hass, en dos condiciones de humedad.

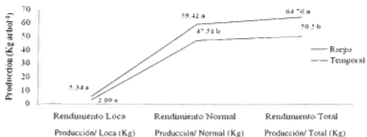
El efecto en el incremento de producción por la aplicación de  $\text{KNO}_3$  ha sido reportado por Raveh y Levy (2011) en una investigación realizada en el cultivo de pomelo, donde se aumentó la producción de 316 a 344  $\text{Kg árbol}^{-1}$ . Por su parte Salazar *et al.* (2009) reportó que la fertilización potásica incrementó el rendimiento del fruto en árboles de aguacate cv. Hass de 10-12 años de edad al pasar de 126 a 144  $\text{kg árbol}^{-1}$ , con una dosis aplicada de 2.5  $\text{kg K}_2\text{O}$ .

La grafica 2, reporta diferencia estadística por efecto de dosis de  $\text{KNO}_3$  en rendimiento de fruto, la dosis de 690 g  $\text{KNO}_3$  fue la que obtuvo mayor producción (74.60  $\text{Kg árbol}^{-1}$ ). Opazo y Razeto (2001) reportaron un incremento en la producción de fruto en la cultivo de naranja, usando una dosis de fertilización  $\text{KNO}_3$   $\text{Kg árbol}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , para el tratamiento testigo reportaron una producción de (187  $\text{Kg árbol}^{-1}$ ) mientras que para la dosis mencionada fue de (231  $\text{Kg árbol}^{-1}$ ).



**Grafica 2.** Efecto de dosis de fertilización de KNO<sub>3</sub> en producción de fruto en aguacate cv. Carmen Hass.

La gráfica 3 muestra la media del rendimiento que produjo la floración loca, normal y la acumulada de dichas floraciones, la condición de humedad no incrementó significativamente el rendimiento de fruto para la floración loca (Riego 5.34 Kg, Temporal 2.99 Kg), con respecto al rendimiento de la floración normal la condición de humedad presentó diferencia significativa, los árboles en condición de riego produjeron más fruto (59.42 Kg árbol<sup>-1</sup>) en comparación con los árboles en condición de temporal (47.51 Kg árbol<sup>-1</sup>). La condición de humedad también presentó diferencias significativas en el rendimiento acumulado de dichas floraciones, obteniendo mayor rendimiento los árboles que estuvieron bajo condición de riego (64.76 Kg árbol<sup>-1</sup>) en comparación con los árboles que estuvieron en condición de temporal (50.5 Kg árbol<sup>-1</sup>). Este incremento en el rendimiento concuerda con lo reportado por (Salazar *et al.*, 2014) quienes evaluaron la fertilización potásica a una dosis de (259-325 g K<sub>2</sub>O) reportando un incremento en el rendimiento de mango cv. Kent; en los tratamientos sometidos a esta dosis, el rendimiento fue de 23 Kg árbol<sup>-1</sup> más que el testigo.



Grafica 3. Efecto de dosis de fertilización de  $\text{KNO}_3$  en dos condiciones de humedad en la producción de fruto en aguacate cv. Carmen Hass.

### 3.3 Extracción nutricional en fruto.

En el cuadro 25 se muestran las cantidades en gramos de N, P, K, Ca y Mg que extrae el árbol, en relación al tratamiento y a la concentración del nutriente en el fruto. Se observa que la mayor extracción, 466.47 g de N, 26.83 g de P, 1021.80 g de K, 11.69 g de Ca y 3.05 g de Mg se presentó en el tratamiento 4 ( $690 \text{ g KNO}_3 \text{ árbol}^{-1}$  en condición de riego) dicho tratamiento fue la de mayor producción ( $83.26 \text{ Kg árbol}^{-1}$ ), la menor extracción nutricional se dio en el tratamiento 5 ( $0 \text{ g KNO}_3 \text{ árbol}^{-1}$  en condición de temporal) el cual extrajo de N (187.29 g), P (11.77 g), K (416.30 g), Ca (3.48 g) y Mg (1.06 g), el rendimiento obtenido de este tratamiento fue de ( $41.36 \text{ Kg árbol}^{-1}$ ). Se puede concluir que el K y el N fueron los nutrientes más extraídos por la cosecha de fruto. Los nutrientes extraídos por la cosecha presentaron el siguiente orden: K, N, P, Ca y Mg. Estos resultados son similares a los reportados por Maldonado *et al.* (2007), quienes indicaron una acumulación diferencial de nutrientes en el fruto, siendo el K el más concentrado, seguido de N, P, Mg, Ca, Fe, B, Zn, Cu y Mn.

**Cuadro 25.** Extracción nutrimental en gramos bajo diferentes dosis de  $KNO_3$  en árboles de aguacate cv. Carmen Hass.

| Tratamiento | N       |       | P       |     | K       |     | Ca      |     | Mg      |   |
|-------------|---------|-------|---------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|---|
| 1           | 219.32  | c d   | 13.54   | b   | 478.60  | b c | 16.83   | c d | 4.08    | b |
| 2           | 321.79  | b c   | 19.66   | a b | 717.40  | b   | 26.25   | a b | 7.06    | b |
| 3           | 357.10  | b     | 20.57   | a b | 695.80  | b c | 22.08   | b c | 7.25    | b |
| 4           | 466.47  | a     | 26.83   | a   | 1021.80 | a   | 32.51   | a   | 10.50   | a |
| 5           | 187.29  | d     | 11.77   | b   | 416.30  | c   | 10.60   | d   | 4.20    | b |
| 6           | 205.38  | d     | 13.08   | b   | 433.00  | b c | 13.58   | c d | 4.57    | b |
| 7           | 227.73  | c d   | 12.99   | b   | 459.50  | b c | 12.53   | d   | 4.60    | b |
| 8           | 290.90  | b c d | 18.35   | a b | 640.60  | b c | 14.58   | c d | 7.07    | b |
| Pr > F      | <.0001* |       | 0.0054* |     | 0.0004* |     | <.0001* |     | <.0001* |   |
| C.V.        | 26.98   |       | 35.61   |     | 32.80   |     | 32.02   |     | 33.12   |   |

Medias con la misma literal en columnas son estadísticamente iguales. (Duncan= $P < 0.05$ ). 1= Sin fertilización, con riego; 2= 230 g  $KNO_3$ , con riego; 3= 460 g  $KNO_3$ , con riego; 4= 690 g  $KNO_3$ , con riego; 5= Sin fertilización, sin riego; 6= 230 g  $KNO_3$ , sin riego; 7= 460 g  $KNO_3$ , sin riego y 8= 690 g  $KNO_3$ , sin riego.

El cuadro 26 reporta la extracción nutrimental por efecto de la dosis de  $KNO_3$ , la mayor extracción nutrimental se presentó con la dosis de (690 g de  $KNO_3$  árbol<sup>-1</sup>), la extracción fue de: 378.69 g de N, 22.59 g de P, 831.15 g de K, 7.97 g de Ca y 2.33 g Mg, la menor extracción de nutrimentos se presentó con la dosis de (0 g de  $KNO_3$  árbol<sup>-1</sup>) y la extracción nutrimental fue de: (203.31 g de N), (12.65 g de P), (447.42 g de K), (3.99 g de Ca) y (1.07 g de Mg). Estos resultados coinciden por lo reportado por Salazar (2002), quien indica que en la cosecha aguacate cv. Hass remueve principalmente K, seguido de N y P.

**Cuadro 26.** Extracción nutrimental en gramos por efecto de dosis de  $KNO_3$  en rendimiento de fruto en aguacate cv. Carmen Hass.

| Dosis (g de K) | N       |     | P       |   | K       |   | Ca     |     | Mg     |   |
|----------------|---------|-----|---------|---|---------|---|--------|-----|--------|---|
| 0              | 203.31  | c   | 12.65   | b | 447.42  | b | 13.72  | c   | 4.14   | b |
| 230            | 263.59  | b c | 16.37   | b | 575.17  | b | 19.91  | a b | 5.81   | b |
| 460            | 292.41  | b   | 16.78   | b | 577.65  | b | 17.31  | b c | 5.92   | b |
| 690            | 378.69  | a   | 22.59   | a | 831.15  | a | 23.55  | a   | 8.78   | a |
| Pr > F         | 0.0002* |     | 0.0092* |   | 0.0015* |   | 0.012* |     | 0.001* |   |
| C.V.           | 26.98   |     | 35.61   |   | 32.80   |   | 32.02  |     | 33.12  |   |

El cuadro 27 indica la extracción nutrimental del fruto, por efecto de la condición de humedad, la mayor extracción nutrimental se dio en la condición de riego la cual fue de: 341.17 g de N, 20.15 g de P, 728.37 g de K, 8.37 g de Ca y 2.13 g de Mg, respecto a la condición de temporal la cual extrajo, 227.83 g de N, 14.05 g de P, 487.32g de K, 4.35 g de Ca y 1.40 g de Mg. Estos resultados difieren a lo reportado por Salazar *et al.* (2011) quienes mencionaron que los frutos de aguacate producidos en huertos sin riego tuvieron mayor concentración de nutrimentos en las estructuras analizadas: principalmente el Ca, S y Cu en la epidermis; el P, K, Mn, Ca y Cu en la pulpa; el K, Mn, Cu en la testa, y el P, K, Mn en el embrión en comparación a los frutos cosechados en huertos con riego.

**Cuadro 27.** Extracción nutrimental en gramos por efecto de dosis de  $KNO_3$  en dos condiciones de humedad en rendimiento de fruto en aguacate cv. Carmen Hass.

| Condición de humedad | N        | P       | K        | Ca      | Mg      |
|----------------------|----------|---------|----------|---------|---------|
| Riego                | 341.17 a | 20.15 a | 728.37 a | 24.42 a | 7.22 a  |
| Temporal             | 227.83 b | 14.05 b | 487.32 b | 12.83 b | 5.11 b  |
| Pr > F               | <.0001*  | 0.0034* | 0.0006   | <.0001* | 0.0071* |
| C.V                  | 26.98    | 35.61   | 32.80    | 32.02   | 33.12   |

#### IV. CONCLUSIONES

- ✓ Se concluye que la concentración de N no presentó diferencias estadísticas, respecto al efecto de la dosis de  $\text{KNO}_3$ , pero si se presentó diferencias por la condición de humedad y por tratamiento.
- ✓ En la concentración de P, se presentaron diferencias significativas entre tratamientos y por la condición de humedad pero no se presentaron diferencias en la concentración en tejido foliar por la dosis de  $\text{KNO}_3$ .
- ✓ Respecto a la concentración en tejido foliar de K, se puede concluir que dicha concentración dependió de los tratamientos, la dosis de  $\text{KNO}_3$  y la condición de humedad, ya que se presentó diferencia estadísticas.
- ✓ En la concentración de Ca y Mg en tejido foliar, se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, por el efecto de las dosis de  $\text{KNO}_3$  y por la condición de humedad.
- ✓ Con la aplicación de 690 g  $\text{KNO}_3$  en condición de riego se satisface exitosamente las demandas nutricionales del aguacate cv. Carmen Hass en todas sus etapas fenológicas, en un clima subtropical, ya que contribuyó significativamente a obtener mayor producción (83.26 Kg árbol<sup>-1</sup>). Las dosis iguales o menores a 460 g  $\text{KNO}_3$  árbol<sup>-1</sup> no aumentaron de manera significativa la producción aun cuando se tenía disponibilidad de riego.

## V. LITERATURA CITADA

- Asociación agrícola de productores de aguacate de urapán Michoacán. El aguacate en el mercado internacional [online]. Available: <http://www.aproam.com/inter.htm>. [citado 18 de noviembre de 2011].
- Aguilar, C. 2008. Sistema nacional de innovación. Una aproximación teórica para la agricultura: el caso del cultivo de aguacate en Michoacán. *Rev. Acad. Econ.* 123-136 pp.
- Alcántar, G. y Sandoval, V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. Chapingo, Estado de México. Publicación especial. 156 p.
- Alcaraz, M. y Hormaza, J. 2011. Implications of starch content in the flower at anthesis on final fruit set in avocado. En: *Memorias VII World Avocado Congress*. Cairns, Australia. 7 p.
- Aguilera, L. y 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 p.
- Asociación Nacional de Café. 2004. Cultivo de aguacate. Programa de diversificación de ingresos de la empresa cafetera. Asociación Nacional de Café. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 23 pp.
- Alcántar, G. y Trejo, T. 2007. *Nutrición de Cultivos*. Ediciones Mundi-Prensa. Mexico. D.F. 220 pp.
- Anschütz, U. Becker, D. and Shabala, S. 2014. Going beyond nutrition: regulation of potassium homeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. *Journal Plant Physiol.* 670–87 pp.
- Álvarez, C., Fernández, M. y Hernández, M. 2012. Instituto de Productos Naturales y Agrobiología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Avenida Astrofísico Francisco Sánchez 3, La Laguna, 38206. Tenerife, España. *Cien. Inv. Agr* 105-116 pp.

- Ávila, J.A. 2001. El Mercado de los fertilizantes en México/Situación actual y perspectivas. Problemas del Desarrollo.190-207 pp.
- Barceñas, O.,Molina, E., Huanosto, M. y Aguirre, P. 2003. Contenido de Macro y Microelementos en Hoja Flor y Fruto del Aguacate Hass de Uruapan Michoacán. Actas del V Congreso Mundial del Aguacate. España.
- Bernal, J. y Espinosa, J. 2003. Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos. Instituto de la Potasa y el Fósforo. INPOFOS. Quito – Ecuador.
- Bertin, Y., Blondeau, J. and Dormoy, M. 1976. Premiers resultants d'une etude d'analyse foliare sur la avocatier 'Lula' a la Martinique. Fruits. 459-471 pp.
- Baligar, C., Fageria, K. and He, I. Nutrient use efficiency in plants. Commun. 2001. Soil Sci. Plant Anal. 921-950 pp.
- Becerra, L., Navia, S. y Núñez, C. 2007. Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar "Criolla Guaneña" en el departamento de Nariño. Revista Latinoamericana. 51-60 pp.
- Benítez, D., Hernández, M., Osuna, T., Valenzuela, M. y Galván, B. 2003. Muestreo y análisis foliar relacionados con fenología en mango en el sur de Sinaloa, México. Terra Latinoamericana. 273-283 pp.
- Bernal, A. y C. Díaz. 2008. Tecnología para el cultivo del Aguacate. Manual técnico 5. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Centro de Investigación La Selva, Rio Negro, Colombia. 241 p.
- Bernier, G., A Havelange, C. Houssa, A. Petitjean, and P. Lejeune. 1993. Physiological signals that induce flowering. Plant cell. 1147-1155 pp.
- Bould, H. 1996. Leaf analysis of deciduos fruit. Nutrients of fruit crop: temperate, subtropical, tropical. 651-684 pp.
- Brady, N.C. 1990. The nature and properties of soils. MacMillan. New York.



- Bukovac, J. M., Sabbatini, P., Schwallier, G.P. 2006. Modifying alternate bearing of spur-type Delicious apple whit Ethephon. HortScience. 1606-1611 pp.
- Carr, M. 2013. The water relations and irrigation requirements of avocado (*Persea americana* Mill.). Expl Agric. 256-278 pp.
- Cerdas, M., M. Calderón y E. Díaz. 2006. Manual de Manejo Pre y Poscosecha de Aguacate (*Persea americana*). MAG. San José, Costa Rica. 95 p.
- Chapman, H. y Prat, P. 1979. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas. Trillas. México. 195 pp.
- Chirinos, U. 1999. Fertilización de papayo (*Carica papaya* L.). Info Agro. 1-4 pp.
- Cossio, L.; Salazar, S.; González, S. y Medina, R. 2008. Fenología del aguacate 'hass' en el clima semicálido de Nayarit, México. Revista Chapingo. Serie horticultura. 324 pp.
- Dibb, D. and Thompson, R. 1985. Interaction of potassium with other nutrients. In: Potassium in agriculture. Munson. 515-533 pp.
- Dibb, D. and Welch, F. 1976. Corn growth as affected by ammonium vs. nitrate absorbed from soil. Agron Journal. 89-94 pp.
- Du, N.; Guo, W.; Zhang, X. and Wang, R. 2010. Morphological and physiological responses of *Vitex negundo* L. var. *heterophylla* (Franch.) Rehd. to drought stress. Acta Physiol Plant. 839-848 pp.
- Dugo, G.; Durand, V. and Gastal, F. 2010. Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. Agron. Sustain. Develop. 529-544 pp.
- Embleton, T. and Jones, W. 1966. Avocado and mango nutrition. In: Fruit Nutrition. Childers. (ed.) Horticultural Publications. Rutgers Univ. New Brunswick, NJ. USA. 51-76 pp.
- Embleton, T. Jones, W. and Garber, M. 1959. Curvilinear relationship between leaf nitrogen and yield of Fuerte avocados. Proceedings of the American Society for Horticultural Science. 378 - 382 pp.

- Embleton, T. and Jones, W. 1972. Development of nitrogen fertilizer programs for California avocados. California Avocado Society Yearbook. 90-96 pp.
- Fageria, N. 1983. Ionic interactions in rice plants from dilute solutions. *Plant Soil*. 309–316. pp.
- Fageria, N., Baligar, V. and Jones, A. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops, 2a edition. Marcel Dekker. 737–742 pp.
- Faber, A. 2006. Avocado irrigation in California. Paper presented at Seminario: Manejo del Riego y Suelo en el Cultivo del Palto, INIA, La Cruz, Chile, 27–28 de Septiembre de 2006, 5 pp. Available from: [http://www.avocadosource.com/Journals/INIA/INIA\\_Palta\\_FABER\\_PAPER.pdf](http://www.avocadosource.com/Journals/INIA/INIA_Palta_FABER_PAPER.pdf) [Accessed 2 November 2011].
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2015. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>. Consultado el 11 de Marzo del 2015.
- Ferreira, R., Sellés, G., Celedón, J., Maldonado, P. and Torres, A. 2007. Effect of the soil air content in the water status and development of avocado. Proc. Sixth World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile.
- Figuerola, A., Castillo M., Avitia, E. y Tirado, L. 2001. Concentración nutrimental en hojas e inflorescencias de tres cultivares de aguacatero. *Terra Latinoamericana*. 127-132 pp.
- García, E. 1982. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de geografía de la universidad nacional autónoma de México. México D.F.
- Gavi, F. 2012. Uso de fertilizantes. Secretaria De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. 1-11 pp.
- Gómez, A. 2000. Producción de aguacate Hass para exportación. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Texcoco, Estado de México. 122 pp.
- Gong, D., Kang, S., Zhang, L., Du, T. and Yao, L. 2006. A two dimensional model of root water uptake for simple apple trees and its verification with sap flow and soil water content measurements. *Agric. Water Manage.* 119–129 pp.

- Goodall, G., Embleton, T. and Platt, R. 1979. Avocado fertilization. Univ. Calif. Coop. Ext. Bull. 20 pp.
- Hamamoto, S. Uozumi, N. 2014. Organelle localized potassium transport systems in plants. *Journal of Plant Physiology*. 171–743 pp.
- Holthusen, D.; Peth, S. and Horn, R. 2010. Impact of potassium concentration and matric potential on soil stability derived from rheological parameters. *Soil Tillage Res.* 75–85 pp.
- Johnston, A. 2005. Understanding potassium and its use in agriculture. Brussels: EFMA.
- Jungk, A. and Claassen, N. 1997. Ion diffusion in the soil root system. *Advances in Agronomy*. 53–110 pp.
- Kenworthy, A. 1973. Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards. In: *Soil testing and plant analysis*. Walsh, L.M. and J.D. Beaton (eds.) Soil Sci. Soc. Amer. Madison WI. USA. 381-392 pp.
- Kirk, P. J. 1950. Método de Kjeldahl para nitrógeno total. *Anal. Chem.* 22:354-358 p.
- Lahav, E. and Whaley, A. 2002. Irrigation and mineral nutrition. Chapter 11. In *The Avocado: Botany, Production and Uses*, (Eds A. W. Whaley, B. Schaffer and B. N. Wolstenholme). Wallingford, UK: CABI Publishing. 259–297. pp.
- Lahav, E., Bar, Y. and Kalmer, D. 1990. Effect of nitrogenous fertilization on the annual variations in nutrients in avocado leaves. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 13-16 pp.
- Larios G.A., Tapia V.L.M., Vidales, F.I., Villaseñor R.F.J. 2007. *Frutas tropicales y subtropicales 2a ed.* Mexico. pp.75-77
- Lovatt, J. C. 2005. Eliminating alternate bearing of the Hass avocado. California, Avocado Commission. 75-86 pp.
- Lovatt, C. 1990. Factors affecting fruit set/early fruit drop in avocado. California Avocado Society Yearbook. 193-199 pp.

- Maldonado, R., M. Álvarez, G. Almaguer, A. Barrientos y R. García. 2007. Estándares nutrimentales para aguacatero Hass. Revista Chapingo Serie Horticultura. 103-108 pp.
- Maídonado, R. 2002. Diagnostico Nutricional para la Producción de Aguacate. Fundación Produce Michoacán, A. C., Morelia, Michoacán, México. 74 pp.
- Marschner, P. 2012. Mineral nutrition of higher plants. Elsevier, London.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press, London, UK. 889 p.
- Migliaccio, W.; Schaffer, B.; Crane, H. and Davies, S. 2010. Plant response to evapotranspiration and soil water sensor irrigation scheduling methods for papaya production in south Florida. Agric Water Manag. 1452-1460 pp.
- Navarro, S. Navarro, G. 2006. Química Agrícola. Mundi-Prensa. 430 p.
- Navarro, S. Navarro, G. 2000. Química Agrícola. Ediciones. Mundi-Prensa. Madrid. 255 p.
- Norma Mexicana (NMX-FF-016-SCFI-2006). Productos alimenticios no industrializados para uso humano. fruta fresca, aguacate (*Persea americana* Mill).
- Núñez, J., Cortes, J., Salazar, S., Landoispalencia, L. 1991. Evaluación del método DRIS para diagnosticar el estado nutrimental del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Fuerte. Agrociencia, serie: Agua-Suelo-Clima. 39-57 pp.
- Öborn, L., Andrist, Y., Askegaard, M., Grant, C., Watson, A. and Edwards, C. 2005. Critical aspects of potassium management in agricultural systems. Soil Use Manage. 12-102 pp.
- Opazo, A. y 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. 470-478 pp.

- Ozdemir, F. and Topuz, A. 2004. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chemistry*. 79-83 p.
- 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): 439-445.
- Pérez, O. y Orozco, J. 2004. Rendimiento y concentración nutrimental foliar de árboles de limón mexicano fertilizados con nitrógeno, fósforo y potasio. *Terra Latinoamericana*. 99-108 pp.
- Pilar, M., Ferreyra, R., Karlezi, D., Troncoso, C., Saavedra, J., Robledo, P. y Defilippi, B. 2010. Determinación del efecto de distintas cargas de agua en la fisiología, rendimiento y postcosecha de paltos cv. Hass. 12 p.
- Raveh, E. y Levy, Y. 2011. Effect of KNO<sub>3</sub> fertilization and rootstock on grapefruit response to reclaimed, salinized water. *Israel Journal of Plant Sciences*. 177-186. pp.
- Reynolds, M.; Bonnett, D.; Chapman, S.; Furbank, R.; Manes, Y. and Mather, D. 2011. Raising yield-potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. *J Exp Bot*. 52-439 pp.
- Römheld, V. and Kirkby, E. 2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant Soil* 80-155 pp.
- Rodríguez, J., Pinochet, D. y Matus, F. 2001. Fertilización de los cultivos. *Lom. Santiago de Chile*. 117 p.
- Rodríguez, A.; Mazza, S., Martínez, C. and Ferrero, A. 2005. Zn and k influence in fruit sizes of Valencia orange. *Revista Brasileira. Frutic Jaboticabal*. 132-135 p.
- 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*. 875-884 pp.

- Rus, A., Yokoi, S., Sharkbuu, A., Reddy, M., Lee, H., Matsumoto, T., Koiwa, H., Zhu, J., Bressan, A. and Hasegawa, M. 2004. AtHKT1 is a salt tolerance determinant that controls Na<sup>+</sup> entry into plant roots. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 141-155 pp.
- Salazar, S. 2002. *Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) e Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Querétaro, México. 165. pp.
- Salazar, S. 2006. Técnica de muestreo foliar para el diagnóstico nutrimental del aguacate 'Hass' en Nayarit. 6. pp.
- Salazar-García, S., L. Cossio-Vargas, C. Lovatt, I. González-Duran y M. Pérez-Barraza. 2006. Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of Hass avocado. *Hort Science*. 1541-1546 pp.
- Salazar, S., Cossio, L., González, I. y Lovatt, C. 2007. Desarrollo floral del aguacate 'Hass' en clima semicálido. Parte I. Influencia de la carga de fruto y edad de los brotes. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 87-92 pp.
- Salazar, S.; Cossio, E. y González, L. 2008. Corrección de la deficiencia crónica de zinc en aguacate 'Hass'. México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 153-159 p.
- Salazar, S., Cossio, V. y González, D. 2009. La fertilización de sitio específico mejoró la productividad del aguacate 'Hass' en huertos sin riego. *Agricultura Técnica de México*. 439-448. pp.
- Salazar, S., Santillán, G., Hernández, E., Medina, R., Ibarra, M. y Gómez, R. 2014. Efecto a corto plazo de la fertilización de sitio específico en mangos 'Kent' y 'Tommy Atkins' cultivados sin riego. 658 p.

- Salazar, S. y Lazcano, I. 2003. La fertilización en "sitio específico" incrementa los rendimientos y el tamaño de la fruta del aguacate en México. Actas del V Congreso Mundial del Aguacate. Granada-Málaga, España. 373-377 pp.
- Salazar, S. 2000. Fisiología reproductiva del aguacate. In: Téliz, O. D. (Ed.) El aguacate y su manejo integrado. Mundi Prensa, México, D. F. 57-83 pp.
- Salazar, S. 2002. Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) e Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Querétaro, México. 165 p.
- Salazar, S., Gutiérrez, G., Becerra, E. y Gómez, R. 1993. Diagnóstico nutricional del mango en San Blas, Nayarit. Rev. Fitotecnia Mex. 190-202 pp.
- Salazar, S. and Lovatt, C. 2000. Use of GA3 to manipulate flowering and yield of the Hass avocado. J. Amer. Soc. Hort. Sci. (in review).
- Salazar, S. Lord, E. and Lovatt, C. 1998. Inflorescence and flower development of the Hass avocado (*Persea Americana* Mill.) during on and off crop years. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 537-544 pp.
- Salazar-García, S., I.J.L. González-Duran y L.M. Tapia-Vargas. 2011. Influencia del clima, humedad del suelo y época de floración sobre la biomasa y composición nutrimental de frutos de aguacate 'Hass' en Michoacán, México. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 17(2):183-194.
- Salazar, S. y Lazcano, I. 1999, Diagnostico nutrimental del aguacate 'hass' bajo condiciones de temporal. Revista Chapingo Serie Horticultura. 173-184 pp.
- Salazar-García, S.; Gutiérrez Camacho, G.; Becerra Bernal, E.; Gómez Aguilar, J.R. 1993. Diagnóstico nutricional del mango en San Blas, Nayarit. Rev. Fitotecnia Mex. 16: 190-202.
- Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2012). Centro de Estadística agropecuaria. México.

- Salisbury., F. y Ross, W. 1994. Fisiología Vegetal. 6a. edición. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. México. 758 pp.
- Sánchez, P. y Ramírez, M. 2000. Fertilización y nutrición del aguacatero, In: El Aguacate y su Manejo Integrado. Téliz, D. (ed.). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. México. 103-113 pp.
- Sangerman, J., Larqué, B., Omaña, J., Shwenstesius, R. y Navarro, A. 2014. Tipología del productor de aguacate en el estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1081-1095pp.
- Schaffer, B. y Whiley, W. 2002. Environmental physiology. In: Whiley AW, Schaffer B, Wolstenholme BN (eds) *Avocado: Botany, Production and Uses*, CABI Publishing, Wallingford, UK, de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. pp 135-160.
- Scora, R., B. Wolstenholme and U. Lavi. 2002. Chapter 2. Taxonomy and Botany. En: Whiley, A., B. Schaffer y B. Wolstenholme (ed.). *The avocado, botany, production and uses*. First Edition. CABI Publishing, Londres, U.K. 25-45 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*. 1070-1077 pp.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2016.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015). Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/Consultado el 11 de Marzo del 2015>.
- Shabala, S. 2003. Regulation of potassium transport in leaves: from molecular to tissue level. *Ann Bot*. 34-92. pp.
- Sumner, E. 1985. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) as a guide to orchard fertilization. *International Seminar on Leaf Analysis as a Guide to Orchard Fertilization*. Food and Fert. Tech. Center for Asia and Pac. Reg. Suweon, Korea. 21 p.



- Téliz, D. 2000. El aguacate y su manejo integrado. Mundi Prensa, México, D. F. 57-83 pp.
- Torres, H. 2009. La competitividad del aguacate mexicano en el mercado estadounidense. *Rev. Geog. Agríc.* 43-62 pp.
- Ulloa, J. 1994. Requerimiento de cal en once tipos de suelos ácidos de origen volcánico en el Valle de Matatipac. Tesis Profesional. Escuela Superior de Agricultura, Univ. Aut. Nayarit, Xalisco, Nay. 47 p.
- 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.* 307-317 pp.
- Wakeel, A. 2013. Potassium, sodium interactions in soil and plant under saline sodic conditions. *J Plant Nutr Soil Sci* 344-176.
- Whiley, A. 2002. Crop management, Chapter 10. In *The Avocado: Botany, Production and Uses*. Wallingford, UK: CABI Publishing. 231-258. pp.
- White, J. and Karley, A. 2010. Potassium. In: Hell RMRR, editor. *Cell biology of metals and nutrients*. Heidelberg. Springer 199-224 pp.
- Wigoda, N., Moshelion, M. and Moran, N. 2014. Is the leaf bundle sheath a "smart flux valve" for K nutrition. *Journal of Plant Physiology.* 715-171 pp.
- Wolstenholme, B., A. Whiley and J. Saranah. 1990. Manipulating vegetative: reproductive growth in avocado (*Persea americana* Mill.) with Paclobutrazol foliar sprays. *Scientia Horticulturae.* 315-327 pp.
- Wolstenholme, B., C. Kaiser and P. Palmer. 1991. Yield potential of intensively managed avocados in the Natal Midlands - the early bearing years. *South African Avocado Growers' Assn. Yrbk.* 14: 15-18 pp.
- Wolstenholme, B. 1986. Energy costs of fruiting as a yield-limiting factor with special reference to avocado. *Acta Hort.* 121-126 pp.

- Xiuchong, B.; Guojian, L.; Jianwu Y.; Shaoying, A. and Lixian, Y. 2001. Balanced fertilization on mango in Southern China. *Better Crops International*. 16-20 p.
- Yahia, E. 2011. Avocado, Chapter 8 in Rees D. Farrell G. and Orchard J. E. eds, *Crop Postharvest: Science and Technology. Perishables*. Wiley-Blackwell Publishing . Oxford, UK . In press.
- Yamaguchi, J, and Tanaka, A. 1990. Quantitative observation on the root systems of various crops growing in the field. *Soil Science and Plant Nutrition*. 483-493 pp.
- Zörba, C., Senbayram, M. and Peiterc, E. 2014. Potassium in agriculture Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*. 656-669 pp.