

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Suministro de Diferentes Fuentes de Potasio en el Índice y Densidad Estomática en
Brócoli (*Brassica oleracea* var *itálica*)

Por:

BERNARDO TAPIA HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Abril de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Suministro de Diferentes Fuentes de Potasio en el Índice y Densidad Estomática en
Brócoli (*Brassica oleracea* var itálica)

POR:

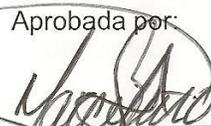
BERNARDO TAPIA HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por:


Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Asesor Principal


Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor


M.C. Rocío Maricela Peralta Manjarrez
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía


Coordinación
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México

Abril de 2014

DEDICATORIAS

A DIOS: Por darme la oportunidad de esta vida y haberme permitido llegar donde estoy hoy en día, gracias por haberme permitido vencer todo los obstáculos en la vida, por iluminar siempre mí camino, por seguir brindándome salud y cuidar de los seres que más amo en la vida. Te doy las gracias por todos los momentos maravillosos que he vivido al lado de mis seres queridos.

A MI PADRE: Bernardo Tapia López, por darme la oportunidad de seguir estudiando y sobre todo su confianza que puso en mí, por sus consejos que me ha sabido brindar en los momentos más difíciles de mí vida, gracias por apoyarme para que mis sueños se hicieran realidad.

A MI MADRE: Teresa Hernández H. a quien agradezco por darme la vida, por brindarme todo su cariño y amor en mi infancia, que a pesar de ya no estar más con nosotros siempre vivirás en nuestros corazones.

A MIS HERMANOS: Julia, Ofelia, Guadalupe, Aurora, Agustín y Marcelino, con mucho cariño y respeto, por haberme apoyado para alcanzar mi sueño motivándome en todo momento, eso es algo que nunca podre pagárselos, pero toda mi vida estaré agradecido con ustedes por todo y cada uno de los esfuerzos que hicieron por mí. Gracias por ser mis mejores amigos y por todo el amor que me han brindado en esta hermosa vida, los quiero mucho.

A TÍ: Yuridia Silva Ramos, gracias por tu apoyo incondicional que me has brindado todo este tiempo, por todo el cariño que me ha brindado tu familia, nunca podre pagarle todo lo que han hecho por mí, pero siempre estaré agradecido por darme la fuerza y valor para iniciar una nueva etapa en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a **Dios** por esta oportunidad de vida que me ha dado y de la maravillosa familia que me ha permitido tener en este mundo.

A mi **Alma Terra Mater** por darme la oportunidad de adquirir los conocimientos y habilidades durante mi estancia en esta gloriosa casa de estudio.

Al **Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente**, por la oportunidad que me ha brindado todo este tiempo asesorándome y la paciencia que tuvo en mi todo este tiempo para terminar mi trabajo de investigación.

A **Yuridia Silva Ramos** por su apoyo incondicional que me ha brindado en los momentos más difíciles, sobre todo por hacerme ver la vida diferente y seguir apoyándome todo este tiempo.

A mis amigos: Raudel Noé, Floriberto, Leonel, Ángel, Mirna Yadira, José Luis, Jesús, Pedro. Por la gran amistad así como su apoyo que me han brindado y los momentos maravillosos que compartimos durante mi estancia en la universidad.

RESUMEN

El trabajo se realizó en el ciclo agosto-diciembre del 2012 en el campo experimental del Departamento de Horticultura, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes fuentes de fertilización potásica en el índice y densidad estomática del cultivo de brócoli. Se evaluaron 5 tratamientos los cuales fueron: Tratamiento 1 (Testigo), Tratamiento 2 (Nitro K Sul), Tratamiento 3 (Sulfato de potasio), Tratamiento 4 (Cloruro de potasio), Tratamiento 5 (Amifol K), cada uno con 9 repeticiones, en un diseño completamente al azar utilizando el programa estadístico SAS versión 9.0 mediante la prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$). Las variables evaluadas fueron: número de estomas adaxial y abaxial, índice estomático adaxial y abaxial, densidad estomática adaxial y abaxial.

Los resultados obtenidos en la variable índice estomático adaxial el tratamiento Cloruro de Potasio superó al testigo, en la parte abaxial mostró diferencias significativas, los tratamientos Sulfato de Potasio y Amifol K fueron superior al testigo. El tratamiento Cloruro de Potasio favoreció la densidad estomática en la superficie adaxial, en la parte abaxial mostró diferencias significativas, los tratamientos Sulfato de Potasio y Amifol K superaron al testigo. El tratamiento Cloruro de potasio favoreció el número de estomas en la superficie adaxial, en la parte abaxial el tratamiento Sulfato de Potasio y Amifol K superaron al testigo mostrando diferencias significativas esta variable.

Palabras claves: Brócoli, Estomas, Potasio, Densidad Estomática.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
INDICE DE CONTENIDO	IV
INDICE DE CUADROS	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
INDICE DE IMAGENES	X
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo General.....	2
1.2. Objetivo Específicos	2
1.3. Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Generalidades del Cultivo.....	3
2.1.1. Origen e Historia del Brócoli	3
2.2. Clasificación Taxonómica	3
2.3. Descripción Botánica del Cultivo	3
2.3.1. Raíz.....	3
2.3.2. Tallo	3
2.3.3. Hojas.....	4
2.3.4. Inflorescencia.....	4
2.3.5. Flor.....	4
2.3.6. Semilla	4

2.4. Fases del Cultivo	4
2.4.1. Crecimiento:	4
2.4.2. Inducción floral:	4
2.4.3. Formación de pellas:	5
2.4.4. Floración:	5
2.4.5. Fructificación:	5
2.5. Requerimiento Climático del Cultivo	5
2.5.1. Temperatura	5
2.5.2. Luminosidad.....	5
2.5.3. Humedad	6
2.6. Requerimientos Edáficos.....	6
2.6.1. Suelo.....	6
2.7. Siembra	6
2.8. Densidad de Plantación.....	6
2.9. Riego	6
2.10. Fertilización	7
2.11. Índice de Cosecha	7
2.12. Producción Nacional.....	8
2.13. Importancia del Potasio en los Cultivos	8
2.14. Usos del Potasio en la Agricultura	9
2.15. Forma de Potasio en el Suelo	9
2.15.1. Potasio inorgánico.....	9
2.15.2. Potasio orgánico	9
2.16. Dinámica del Potasio en el Suelo	10
2.16.1. Potasio en la Solución del Suelo.....	10

2.16.2. Potasio intercambiable (Ki)	10
2.16.3. Potasio no intercambiable (Kni)	11
2.17. Capacidad Amortiguadora de Potasio	11
2.18. Factores Ambientales que Influyen en la Absorción y Translocación del Potasio en las Plantas	12
2.18.1. El nivel de oxígeno.....	12
2.18.2. Humedad del suelo	12
2.18.3. La labranza del suelo.....	12
2.13.4. La temperatura del suelo	12
2.19. Antagonismo y Sinergismo del Potasio	12
2.20. Forma de Absorción del Potasio por la Plantas.....	13
2.21. Funciones Metabólicas del Potasio	13
2.22. Funciones Fisiológicas del Potasio en las Plantas	14
2.23. Deficiencias de Potasio	14
2.24 Excesos de potasio	15
2.25. Definición de Estomas, Composición y Ubicación.....	15
2.26. Funciones de los Estomas en las Plantas	15
2.27. Índice Estomático	16
2.28. Densidad Estomática.....	17
2.29. Relación de los Estomas en cuanto a la Productividad y Producción de los Cultivos.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Localización y Características del Área de Estudio	18
3.2. Clima	18
3.3. Material Vegetal.....	18

3.4. Siembra	18
3.5. Establecimiento del Experimento	18
3.5.1. Preparación del Terreno	18
3.5.2. Trasplante	19
3.6. Descripción de los Tratamientos	19
3.7. Aplicación de los Tratamientos	20
3.8. Manejo del Cultivo	20
3.8.1. Deshierbe:.....	20
3.8.2. Fertilización:.....	20
3.8.3. Riego y Frecuencia de Lámina de Riego	20
3.8.4. Desbrote:	20
3.8.5. Manejos preventivos:	20
3.9. Diseño Experimental	21
3.10. Variables Evaluadas.....	21
3.10.1. Número de estomas Adaxial y Abaxial.....	21
3.10.2. Índice estomático Adaxial y Abaxial	21
3.10.3. Densidad estomática Adaxial y Abaxial	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Número de Estomas en la parte Adaxial	23
4.2. Número de Estomas en la parte Abaxial.....	24
4.3. Índice Estomático Adaxial.....	25
4.4. Índice Estomático Abaxial.....	26
4.5. Densidad Estomática Adaxial	27
4.6. Densidad Estomática Abaxial.....	28
V. CONCLUSIONES.....	29

VI. BIBLIOGRAFÍA.....	30
VII. APÉNDICE	35

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Recomendaciones de fertilización en el cultivo de brócoli.....	7
Cuadro 2. Descripción de los Tratamientos Aplicados al Cultivo de Brócoli	19
Cuadro A1. Análisis de varianza de la variable “Numero de Estomas Adaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.	35
Cuadro A2. Análisis de varianza de la variable “Numero de Estomas Abaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.	35
Cuadro A3. Análisis de varianza de la variable “Índice estomático Adaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.	36
Cuadro A4. Análisis de varianza de la variable “Índice Estomático Abaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.	36
Cuadro A5. Análisis de varianza de la variable “Densidad Estomática Adaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.	37
Cuadro A6. Análisis de varianza de la variable “Densidad estomática Abaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.	37
Cuadro A7. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable “Número de Estomas Adaxial” en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.	38
Cuadro A9. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable “Índice Estomático Adaxial” en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.	38
Cuadro A10. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable “Índice estomático Abaxial” en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.	39

Cuadro A11. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable “Densidad Estomática Adaxial” en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.	39
Cuadro A12. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable “Densidad estomática Abaxial” en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de las medias para variable número de estomas adaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásico.	23
Figura 2. Comportamiento de las medias para variable número de estomas abaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásico.	24
Figura 3. Comportamiento de las medias para la variable índice estomático adaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásico.	25
Figura 4. Comportamiento de las medias para la variable índice estomático abaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásico.	26
Figura 5. Comportamiento de las medias para la variable Densidad estomática adaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásico.	27
Figura 6. Comportamiento de las medias para la variable Densidad estomática abaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásico.	28

INDICE DE IMAGENES

Fotografías 1. Observación de estomas en hoja de brócoli, tratamiento testigo (Sulfato de Amonio). Vista superficial a 40X.	40
Fotografías 2. Observación de estomas en hoja de brócoli, tratamiento Nitro K Sul. Vista superficial a 40X.....	40
Fotografías 3. Observación de estomas en hoja de brócoli, tratamiento Sulfato de Potasio. Vista superficial a 40X.....	41
Fotografías 4. Observación de estomas en hoja de brócoli, tratamiento Cloruro de Potasio. Vista superficial a 40X.....	41
Fotografías 5. Observación de estomas en hoja de brócoli, tratamiento Amifol K. Vista superficial a 40X.....	42

I. INTRODUCCIÓN

El brócoli es originario del mediterráneo, principalmente de Italia. Su aparición es más reciente que el repollo o col blanca y la coliflor, siendo introducido a los Estados Unidos en 1925 por inmigrantes italianos. Es una hortaliza de la familia de las crucíferas relacionada con la col o repollo, coliflor o coles de Bruselas. En la actualidad un cultivo dominante que tiene gran demanda en los mercados en fresco y proceso, nacional y para exportación. Existen 2 variedades de brócoli, el italiano (*Brassica oleracea* itálica) y el brócoli de cabeza (*Brassica oleracea*) que se parece una coliflor, (Gray, 1982).

La compleja relación de la nutrición del K con las funciones metabólicas y el crecimiento, así como su interrelación con otros nutrimentos dentro de la planta y el suelo, permiten al K modificar la resistencia o susceptibilidad a las enfermedades. El K probablemente ejerza un gran efecto sobre las enfermedades, a través de una función metabólica específica que altera la compatibilidad de la relación ambiental parásito-huésped, (Huber y Arny, 1985).

En plantas bien suplidas de potasio, la tasa de transpiración no depende sólo del potencial osmótico del mesófilo de las células, sino también del control que ejerce sobre la abertura y cierre de los estomas, (Mac Robbic, 1981; citado por Marschner, 1986).

Hemos desarrollado esta investigación como una contribución al entendimiento de la relación demanda-suministro de potasio empleado en brócoli en los cuales buscamos comprobar que el potasio modifica las estructuras epidérmicas de la planta lo cual a su vez modifica la calidad y rendimientos de las plantas.

1.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la fertilización potásica sobre el índice y densidad estomática del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var *Itálica*).

1.2. Objetivo Específicos

Determinar el índice estomático adaxial y abaxial en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

Cuantificar la densidad estomática adaxial y abaxial de la hoja en el cultivo de brócoli.

Cuantificar número de estomas en respuesta a la fertilización potásica.

1.3. Hipótesis

El índice y densidad estomática es modificado por la adición de diferentes fuentes de fertilización potásica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del Cultivo

2.1.1. Origen e Historia del Brócoli

El origen del brócoli o brécol se asienta en los países con climas templados a orilla del Mediterráneo oriental, en Oriente Próximo. La Península de Anatolia, Líbano o Siria serían el lugar de origen de los primeros ejemplares de esta planta provenientes de una especie silvestre común con las coles y coliflores, donde se la comenzó a seleccionar por características especiales al menos 2500 años atrás. Durante la época de dominio del Imperio Romano, esta llegó hasta la Península Itálica donde fue cultivada para consumo. Pero sería mucho más tarde, a mediados del siglo XX, cuando su producción se desarrollaría en Europa. Como resultado de la selección, dentro de *B. oleracea* se encuentran seis vegetales distintos, conocidos colectivamente como coles, (Babula, *et al.*, 2007).

2.2. Clasificación Taxonómica

El brócoli pertenece a la familia de las Crucíferas, al género *Brassica* y a la especie *Oleracea*, es una planta perenne de aproximadamente 60 cm en estado máximo de la clase Dicotiledoneae, (Barahona, 2002).

2.3. Descripción Botánica del Cultivo

2.3.1. Raíz

La raíz es pivotante profunda, por lo tanto con una zona radicular amplia que le permite un buen anclaje y alta capacidad de absorción de agua y nutrientes, (Maurer, 1976).

2.3.2. Tallo

El brócoli desarrolla un tallo principal con diámetro de 2 a 6 cm y de 20 a 50 cm de largo, sobre el que se disponen las hojas con entrenudos cortos, con una apariencia de roseta de coliflor, donde termina la inflorescencia principal, (Barahona, 2002).

2.3.3. Hojas

En los cultivos de brócoli, las hojas suelen ser de color verde oscuro, rizadas, festoneada, con ligerísimas espículas, presentando un limbo foliar hendido, que en la base de la hoja puede dejar a ambos lados del nervio central (muy pronunciado pequeños fragmentos de limbo foliar a manera de foliolos, son de tamaño grande, posee un pecíolo bien desarrollado y generalmente se extiende en forma horizontal y abierta, (Maroto, 1995).

2.3.4. Inflorescencia

Está formada por primordios florales o flores inmaduras, dispuesta en un corimbo primario, en el extremo superior del tallo, o en ramificaciones de las yemas axilares, y puede superar los 20 cm de diámetro. El peso de la pella varía de 50 a 1000 g. Los corimbos son de color variable según el cultivar, desde verde claro a púrpura, y mantiene una estructura compacta durante poco tiempo, hasta que se acelera la elongación de los pedúnculos y la maduración de las flores, (Pollak, 2003).

2.3.5. Flor

Las flores son actinomorfas, con cuatro pétalos libres, amarillos, dispuestos en forma de cruz (crucíferas). A pesar de poseer flores compuestas, debido a problemas de autoincompatibilidad, la especie presenta polinización cruzada, la que es realizada por insectos, (Maroto, 1995).

2.3.6. Semilla

Son redondas, de color oscuro, tiene 2 mm de diámetro y se encuentran en número de 250-300 semillas-gr dependiendo del cultivar, (Barahona, 2002).

2.4. Fases del Cultivo

En el desarrollo del brócoli se pueden considerar las siguientes fases:

2.4.1. Crecimiento: En esta fase la planta desarrolla solamente hojas.

2.4.2. Inducción floral: Después de haber pasado un número determinado de días con temperaturas bajas la planta inicia la formación de la flor, al mismo tiempo que

está ocurriendo esto, la planta sigue brotando hojas de tamaño más pequeño que en la fase de crecimiento.

2.4.3. Formación de pellas: La planta en la yema terminal desarrolla una pella y, al mismo tiempo, en las yemas axilares de las hojas está ocurriendo la fase de inducción floral con la formación de nuevas pellas, que serán más pequeña que la pella principal.

2.4.4. Floración: Los tallos que sustentan las partes de la pella inician un crecimiento en longitud, con apertura de las flores.

2.4.5. Fructificación: Se forman los frutos (silicuas) y semillas, (DAGV, 1992).

2.5. Requerimiento Climático del Cultivo

Los factores ambientales como: Precipitación pluvial, humedad relativa, luminosidad, ejerce fuerte influencia sobre el comportamiento de las plantas, los cuales delimitan las áreas productoras de las diversas especies hortícolas, (Hernández, 1992).

2.5.1. Temperatura

El brócoli es un cultivo de clima frío y fresco. Así mismo, puede tolerar heladas de hasta -2°C siempre y cuando no se hayan formado aun las inflorescencias. El rango de temperatura para su germinación es de 5 a 28°C , la temperatura ambiental para su desarrollo es de 15 a 25°C , siendo la óptima de 17°C ; a temperatura de 0°C y mayores de 30°C puede detener su desarrollo, (Valadez, 1998).

2.5.2. Luminosidad

La luz favorece la fotosíntesis, fenómeno responsable del aumento de la biomasa, actuando negativamente sobre el crecimiento de los tallos favoreciendo en cambio al desarrollo de las hojas. Los vegetales elaboran durante el día los materiales orgánicos y lo acumulan en forma de reserva. La falta de luz en las plantas da lugar a un crecimiento desordenado de los tallos, alargándose los entrenudos quedando sin resistencia, así tenemos que la luz interviene en la fotosíntesis, en el fotoperiodo, en el fototropismo, en el crecimiento de tejidos y en la floración, (Hernández, 1992; Torres, 1984).

2.5.3. Humedad

Para el cultivo de brócoli la humedad relativa tanto de aire y suelo debe ser 60 -75% como condiciones ideales, (Krarup, 1992).

2.6. Requerimientos Edáficos

2.6.1. Suelo

El brócoli se desarrolla bien en cualquier tipo de suelos, prefiriendo los francos arenosos, con buen contenido de materia orgánica; es ligeramente tolerante a la acidez, siendo un rango de pH de 6.0 a 6.8, y medianamente tolerante a la salinidad (4 mmhos ó 2560 ppm), (Nonnecke, 1989; Peirce, 1988).

2.7. Siembra

El brócoli puede sembrarse de forma directa o indirecta (trasplante). El primer sistema se refiere a la utilización de sembradoras de precisión las cuales consumen un promedio de 2.0 a 2.5 lb-ha. En el de siembra indirecta la utilización de almacigo, ya sea a campo abierto o bajo condiciones de invernaderos, en el que los trasplantes se debe efectuar cuando las plántulas tengan de 4 a 5 hojas verdaderas, que por lo general ocurre en un lapso de 28 a 35 días, (Valadez, 1998).

2.8. Densidad de Plantación

La densidad de cultivo por hectárea es de 50.000 plantas, cuya productividad depende del sistema de riego que se utilice, así como de otros factores inherentes al cuidado del cultivo, (Mayberry, 1995).

2.9. Riego

Sus requerimiento de agua son muy elevados, ya que requiere humedad constante, se estima una lámina de riego de 5.5 cm., durante todo el desarrollo del cultivo o bien de 8 a 12 riegos, con intervalo promedio de 15 días, esto dependiendo del cultivar, época del año y textura del suelo, (Valadez, 1998).

Hortalizas de sistema radicular poco profundos, como el brócoli son susceptible a cualquier estrés hídrico. Así si existiera un punto o periodo crítico de donde la planta

fuera más susceptible a un estrés de humedad, sería el periodo de formación de cabeza, (Maurer, 1976).

2.10. Fertilización

Es un cultivo que requiere un alto nivel de materia orgánica, que se incorporará un mes o dos antes de la plantación. El brócoli es exigente en potasio y también lo es en boro; en suelos en los que el magnesio sea escaso conviene hacer aportación de este elemento, en el cuadro 1 se observa las recomendaciones de fertilización para este cultivo, (Mayberry, 1995).

Cuadro1: Recomendaciones de fertilización en el cultivo de brócoli

Fuente	% en unidades de fertilizante	Kg-ha	Unidades de fertilizante-ha
Sulfato amónico	20	600	120
Superfosfato de Cal	18	500	90
Sulfato potásico	50	300	150
Nitrato amónico	33.5	300	100

2.11. Índice de Cosecha

La cosecha se realiza cuando la cabeza principal o inflorescencia tiene un tamaño ideal de 5 a 6 pulgadas, grano fino y compacto, este es el momento óptimo de cosecha que es el parámetro usado en el mercado fresco. La cosecha para el mercado de proceso: se realiza un poco sobre maduro en el punto máximo de tamaño y grano fino a medio, antes de que reviente el pedicelo, para evitar daño mecánico. El tamaño ideal de corte es de 6 a 8 pulgadas, para que favorezca el corte de Spears y floretes, (Sakata, 2007).

2.12. Producción Nacional

Actualmente se han realizado investigaciones y mejoras en la planta de brócoli, lo avances científicos han mejorado la producción. El cultivo de esta hortaliza se ha convertido en un negocio rentable. Para el 2010, la producción de brócoli a nivel nacional, se reportaron 314 mil toneladas. Dentro de los principales cinco estados productores de brócoli: Guanajuato (con más de 50 % de la superficies sembrada) y el resto, Puebla, Michoacán Jalisco y Sonora; en estos estados se tienen una gran cantidad de empacadoras y congeladoras que permiten el envío a otros países de América, Europa y Asia. Las fases del cultivo del brócoli son: crecimiento, inducción floral, formación de pellas, calidad de glumas y fructificación. Los rendimientos promedio anual se reportan entre 15 a 25 ton-ha. El brócoli ha sido calificado como la hortaliza de mayor valor nutritivo por unidad de peso motivo; por el cual su consumo es cada vez mayor considerando la tendencia mundial de consumo de alimentos saludable. Los precios de brócoli en el mercado nacional son muy diversos, y por lo general se mantienen constantes casi todo el año: durante el 2009 oscilaron entre 12 y 17 pesos, con un promedio de 13.86 pesos por kilogramo. El precio en los mercados de Estados Unidos va de 1.16 a 1.32 dólares por libra de fruta fresca, (Internet 1).

2.13. Importancia del Potasio en los Cultivos

El potasio (k) es uno de los macronutrientes esenciales más importantes que permiten el funcionamiento de sistemas agropecuarios. Cumple funciones vitales en la fisiología vegetal y por lo tanto su deficiencia origina importantes mermas en el rendimiento y/o calidad de los cultivos. Si bien en gran parte de los suelos su disponibilidad edáfica aún no es limitante, en zonas tropicales y subtropicales, con suelos más meteorizados como los Oxisoles y Ultisoles, el agregado de K a través del uso de fertilizantes es una práctica cotidiana. Conocer las bases de su dinámica en sistemas agrícolas, es el primer paso para el diseño de estrategias de fertilización sustentables, (Rodríguez, 1990).

2.14. Usos del Potasio en la Agricultura

Beridze (1988), aplicó fertilización a base de potasio a un cultivo de mandarina (*Citrus reticulata*) con lo cual aumentó su rendimiento de 16.2 a 24.8 ton·ha, además obtuvo mayor porcentaje de materia seca, mayor calidad de carnosidad del fruto y un mayor contenido de vitamina C. En plantas bien previstas de K, se incrementa el número y tamaño de estomas por unidad de área, facilitando de esta manera el intercambio de CO₂ y el oxígeno del tejido de la hoja. Lo cual indica que el potasio está ligado al transporte y acumulación de azúcares dentro de la planta dando un mayor rendimiento y calidad de frutos.

Ozawa y Tazuke (1990), sometieron varias especies de hortalizas a diferentes concentraciones de potasio (0.02, 0.3 y 1.0 ppm) observando la respuesta máxima en rendimiento al aplicar 1.0 ppm. Hilman, *et al.*, (1988), reportaron un aumento de producción de 19.38% al aplicar cloruro de potasio y mencionan que el cloro participa en la fotólisis del agua, tiene gran implicancia en el cierre y apertura de los estomas, activa varias enzimas importantes al igual que el potasio, estos elementos en combinación con el da un mayor incremento en la productividad de la planta.

2.15. Forma de Potasio en el Suelo

El contenido de potasio en el suelo oscila entre 0.3 y 3%. Esta cantidad está presente casi exclusivamente en forma inorgánica. El potasio está presente en el suelo en diferentes fracciones y estados de disponibilidad para la planta, las cuales se describen a continuación:

2.15.1. Potasio inorgánico

Se encuentra en una proporción media del 1.5 %, contenido principalmente en materiales silicatados. Los terrenos formados a partir de las rocas volcánicas (como el granito) contienen mayor cantidad de este elemento que en las formadas a partir de las rocas sedimentarias (por ejemplo, la caliza), (Hilman, *et al.*, 1988).

2.15.2. Potasio orgánico

Procede de la descomposición de restos animales y vegetales. Representa una pequeña cantidad del total contenido en el suelo. Una parte del potasio orgánico se

solubiliza en el agua del suelo inmediatamente, y el resto es retenido por los microorganismos para sintetizar sus cuerpos. Este potasio inmovilizado, se recupera cuando los restos de microorganismos se incorporan al suelo, (Rodríguez, 1990).

2.16. Dinámica del Potasio en el Suelo

El entendimiento de la dinámica del K en el suelo permite, desde el punto de vista de la nutrición de cultivos, establecer una relación cuantificada entre los diferentes “pooles” o reservorios de K y la asociación de éstos con la absorción de K por los cultivos. En función de la comprensión que tengamos del sistema suelo-planta relacionado con el K podremos intervenir adecuadamente en el sistema de producción, sincronizando y el suministro de este nutrimento con el propósito de obtener altas producciones con calidad superior, (Hilman, *et al.*, 1988).

Desde 1933, con los trabajos de Hoagland y Martin. Se reconocen a la fecha cuatro formas o reservorios de K en el suelo: K en la solución del suelo (K_s), K intercambiable (K_i), K no intercambiable (K_{ni} ; fijado pero potencialmente disponible) y el K en la matriz de los materiales; sin embargo, los primeros tres reservorios son lo que intervienen en la nutrición de los cultivos y consecuentemente la medición de éstos reservorios y de los flujos que se establecen entre ellos, permitirán un mejor comprensión de las reservas de potasio y de su disponibilidad para las plantas, (Rodríguez, 1990).

2.16.1. Potasio en la Solución del Suelo

El K de la solución es aquel que se encuentra como ion K^+ libre en la solución del suelo y por lo tanto, es a partir de este reservorio de donde las raíces de las plantas lo absorben para satisfacer sus necesidades nutrimentales. Para su cuantificación en laboratorio, se utiliza una solución extractora de $CaCl_2$ 0.01 M, (Novazamsky Houba, 1987).

2.16.2. Potasio intercambiable (K_i)

El K_i es aquel que se encuentra en las posiciones de intercambio de las arcillas y su medición constituye un procedimiento generalizado para evaluar el suministro edáfico de K. Esta fracción de K es extraída con una solución de NH_4OAc IN, pH 7.0 en una

relación 1:10 suelo: extractantes y sus concentraciones en el suelo varían de <100 a 2000 ppm o más, (Knudsen, *et al.*, 1989). En Inceptisoles y Oxisoles es frecuente encontrar valores de K_i tan bajo como $<0.1 \text{ cmol} + \text{Kg}^{-1}$, (Bekker, *et al.*, 1994). El K_i tiende a estar equilibrado con el K_s y depende en gran medida del grado de selectividad de K^+ en los sitios de absorción de la fracción intercambiable de las arcillas. La absorción de K_i a partir de las posiciones de intercambio es relativamente fácil, introduciendo iones NH_4^+ en la solución del suelo mediante agitación, (Rodríguez, 1990).

2.16.3. Potasio no intercambiable (K_{ni})

El K_s y K_i son las principales fuentes aportadoras de K para las plantas, pero el K_{ni} puede contribuir significativamente a la cantidad de K que puede acceder, aunque tiene que pasar primero a las posiciones de intercambio y después a la solución del suelo para poder ser absorbido por las raíces. Los suelos con potencial para liberar K_{ni} , son aquellos con minerales de arcilla 2:1 del tipo de las micas e illitas, o ricos en minerales primarios como feldespatos de granulometría fina, (Memon, *et al.*, 1988). El K_{ni} puede ser liberado a partir de los minerales del suelo como mica, vermiculita y clorita, cuando el K_s y K_i disminuyen debido a la absorción por las plantas, (Rodríguez, 1990).

El K_{ni} es aquel que se encuentra entre los espacios interlaminares de las arcillas 2:1 y es retenido con mayor fuerza que el K_i . El K interlaminar no es fácilmente desplazado por otros cationes y mucho menos por cationes con radio iónico mayores como son el Ca o Mg^{2+} , por tal razón este reservorio es denominado K no intercambiable, (Mengel, 1980).

2.17. Capacidad Amortiguadora de Potasio

La capacidad amortiguadora o tapón de K de un suelo puede conceptualizar como la resistencia que ofrece un suelo a los cambios en la concentración de k de la solución del suelo. Dicho de otra manera, es la capacidad que tiene un suelo para reponer el K_s partir del K_i adsorbido en las arcillas. Por siguiente, el cK es un índice de la

labilidad del K_i y de las características del equilibrio entre el K_s y K_i , (Rodríguez, 1990).

El abastecimiento adecuado de K durante el ciclo de crecimiento de un cultivo es de vital importancia para lograr los altos rendimientos y calidad del producto. Se ha demostrado que principalmente la concentración de K en la superficie radical y la capacidad amortiguadora de K (cK) controlan la absorción nutrimental de K por las plantas, (Mengel, 1980).

2.18. Factores Ambientales que Influyen en la Absorción y Translocación del Potasio en las Plantas

Según PPI, (1997), las características generales de cada suelo en particular determinan la eficiencia con la que cada cultivo absorberá potasio. Por ejemplo:

2.18.1. El nivel de oxígeno: El oxígeno es necesario para el funcionamiento adecuado de las raíces, incluyendo la absorción de potasio.

2.18.2. Humedad del suelo: Las plantas absorben mejor el potasio cuando el suelo está húmedo.

2.18.3. La labranza del suelo: Cuando se labra el suelo con regularidad, la absorción de potasio es mejor.

2.13.4. La temperatura del suelo: De 15 a 26 Celsius es el rango de temperatura del suelo ideal para la actividad de las raíces y para la mayoría de los procesos fisiológicos en las plantas. Cuanto menor sea la temperatura, la absorción del potasio y otros nutrientes será más lenta, (Knudsen, *et al.*, 1989).

2.19. Antagonismo y Sinergismo del Potasio

El antagonismo consiste en el aumento de la concentración de un elemento reduciendo la absorción de otro, son frecuente los antagonismo entre cationes y lo son menos en aniones, el potasio compite con otros cationes y su exceso puede originar carencias de magnesio si la concentración o el aporte de este elemento es deficiente, (Wild, 1989).

El antagonismo puede ocurrir durante la absorción, translocación o acumulación en el tejido o en el metabolismo. Esto puede involucrar la competencia entre dos o más elementos, pero también la precipitación de nutrientes u otros fenómenos. El antagonismo durante la absorción puede presentarse entre cationes, pero en algunos casos también entre aniones. Los antagonismos más documentados se han determinados entre K y Ca, K y Mg, Ca y Mg, NH_4 y Ca, NH_4 y K, (Maldonado, 2002).

El sinergismo se produce cuando uno de los iones provoca una acción excitante sobre la absorción del otro, como ocurre, por ejemplo, con el nitrógeno y potasio, (Oliveira, *et al.*, 2006).

2.20. Forma de Absorción del Potasio por la Plantas

La difusión es el principal mecanismo por el cual las raíces de las plantas accesan iones K^+ a partir de la solución del suelo, por lo que el movimiento de iones ocurre a partir de una zona de alta concentración a otra de baja concentración, (Barber, 1984).

En la absorción de K por las plantas pueden operar dos mecanismos dependiendo de la concentración presente en el exterior de las raíces. El mecanismo 1 sucede cuando la concentración de K es aproximadamente 0.5 mmol·L en la solución del suelo. En estas concentraciones la absorción de K es un proceso más selectivo. En cambio, el mecanismo 2 opera en concentraciones mayores de 50 mmol·L, y es menos selectivo. Sea uno u otro mecanismo las especies vegetal difieren en su habilidad para absorber K, la cual está relacionada con la densidad radical, (Mengel, 1980).

2.21. Funciones Metabólicas del Potasio

El K^+ activa una enzima llamada almidón sintasas que cataliza la síntesis de la formación de almidones en los cloroplastos a partir de difosfoglucosa de adenina (ADPG), siendo una de las razones por las cuales dicho ion es esencial para las plantas y que probablemente sean azúcares solubles y no almidones los que

acumulan en las plantas con deficiencias de K^+ , (Salisbury y Ross (1994); Marschner, 1986).

2.22. Funciones Fisiológicas del Potasio en las Plantas

Tisadale y Nelson (1982), afirmaron que el potasio es imprescindible para las siguientes funciones fisiológicas:

- Interviene en la formación y transportación del almidón.
- Interviene en el metabolismo del nitrógeno y síntesis de proteínas.
- Controla y regula las actividades de varios elementos minerales esenciales.
- Promoción del crecimiento de los tejidos meristemáticos.
- Ajusta la apertura de los estomas y regulación hídricas.

Demolon (1972), menciona que el papel fisiológico del potasio se relaciona, entre otras cosas, con la transpiración, el metabolismo de la presión osmótica y la turgencia celular. Esta última disminuye fuertemente cuando falta el potasio, incluso en presencia de buenas cantidades de agua.

2.23. Deficiencias de Potasio

A partir de la importancia fisiológica del potasio, en el metabolismo y catabolismo del vegetal, se deducen los problemas o trastorno ocasionado por su deficiencia, en los cuales están:

- Disminución de la fotosíntesis (producción de materia orgánica) y aumento de la respiración (destrucción de materia orgánica).
- Disminución de traslado de azúcares a la raíz (por una disminución de la síntesis del azúcar).
- Acumulación de compuesto orgánico que contiene nitrógeno, pues no se produce una síntesis de proteínas (y uniones peptídicas).

- Aparición en las células de las hojas de sustancias catabólicas, como la putresceína, que inician los procesos de muerte celular y de tejidos.
- Se promueve la susceptibilidad al ataque de los hongos (enfermedades criptogámicas, (Tisdale y Nelson (1982)).

2.24 Excesos de potasio

Los excesos de potasio pueden inducir una deficiencia de magnesio o calcio y en algunos casos, manganeso, zinc o hierro, (Havlin, 1999).

2.25. Definición de Estomas, Composición y Ubicación

Entre las estructuras que conforman el tejido epidérmico, se ubican los estomas formados por un ostiolo rodeados por dos células oclusivas de forma arriñonada, las cuales pueden estar acompañadas o no por otras células epidérmicas estructural y fisiológicamente asociadas a los estomas. La posición de los estomas sobre la superficie de la lámina es variable en sección transversal; se pueden presentar hundidos, al mismo nivel de las otras células epidérmicas o proyectarse hacia el exterior de la lámina. Otras características la distribución en la superficie de la lamia foliar, en las hojas en las cuales estas estructuras se ubican en la epidermis superior de la lámina se conoce como epiestomática; si están en el inferior, son hipostomática y por último, si se presenta en ambas superficie, adaxial y abaxial, son anfiestomáticas. Los estomas tienden a ser más frecuentes en la superficie abaxial de las hojas y en algunas especies, solo se presentan en esta. Estas estructuras desempeñan un papel vital en el mantenimiento de la homeostasis de la planta y de ahí la importancia de conocer tanto el número como la forma en que los poros se abren y se cierran como también los factores que controlan estos procesos, (Flores-Vinas, 1999).

2.26. Funciones de los Estomas en las Plantas

En las plantas tienen varias funciones fisiológicas importantes, involucran intercambio de gases entre la atmósfera y la hoja. El intercambio de gases generalmente se lleva a cabo a través de los estomas en la epidermis. Los estomas son responsables de la toma de CO₂ y de la pérdida de agua durante la transpiración

bajo las cambiantes condiciones ambientales. Por ello, la información acerca de la morfología, densidad y frecuencia de los estomas es importante ya que estos están relacionados con importantes funciones fisiológicas como la fotosíntesis y la respiración, relacionadas con el rendimiento de frutos y acumulación de biomasa en las plantas, (Barrientos, *et al.*, 2003).

Por esto, la apertura o cierre de los estomas está muy finamente regulada en la planta por factores ambientales como la luz, la concentración de dióxido de carbono o la disponibilidad de agua. En casos de sequía (estrés hídrico) se cierran los estomas impidiendo pérdidas de agua en la planta, lo cual, sin embargo, también imposibilita el intercambio de gases y, en consecuencia, la entrada de CO₂ atmosférico necesaria para la nutrición de las plantas mediante el proceso de fotosíntesis, (Castor, 2009).

El mecanismo de apertura y cierre de los poros de estomas ha sido objeto de diversas investigaciones, se admite de modo general que el movimiento estomático tiene lugar como respuesta directa al aumento o disminución de contenido osmótico de las células oclusivas, los cambios osmóticos obligan al agua a entrar o salir de las células oclusivas, haciendo aumenten de volumen o se tornen flácidas. Cuando las células oclusivas están turgentes, el estoma se abre y cuando están flácidas el estoma se mantiene cerrado, (Delvin, 1982).

2.27. Índice Estomático

El índice estomático representa el cociente entre el número de estomas y la cantidad de células epidérmicas, (Croxdale, 2000).

En estudios relacionados con la anatomía foliar, se deben considerar fenómenos anatómicos individuales tales como los índices estomáticos (IE), y que este valor puede variar dentro de la misma hoja según la parte del limbo que se utilice (ápice, media o base), en el mismo individuo cuando se consideran las hojas en diferente posición en la planta, además el ambiente ecológico puede ejercer cierta influencia sobre este carácter, (Esaú, 1976).

El índice estomático sirve para expresar el número de estomas por superficie foliar, independientemente del tamaño de las células epidérmicas. Tanto la DE como el IE pueden estar influenciados por las condiciones ambientales y nutricionales, (Cañizares, *et al.*, 2003).

2.28. Densidad Estomática

La densidad estomática corresponde al número de estomas por unidad de superficie foliar y representa un valor diagnóstico para fragmentos de láminas foliares. Del mismo modo, la densidad estomática (DE) alta o baja parece estar relacionada con ciertas familias también existe una relación conspicua entre la DE y el tamaño de las células oclusivas, así altas densidades se presentan en plantas con células oclusivas pequeñas, (Croxdale, 2000).

2.29. Relación de los Estomas en cuanto a la Productividad y Producción de los Cultivos.

Aunque el área foliar es importante, pues de ella depende la fotosíntesis, una rápida expansión foliar puede afectar negativamente la adaptación a la poca disponibilidad de agua. La disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz; la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés, (Potters, *et al.*, 2007; Shao, *et al.*, 2008).

Otro mecanismo de resistencia a nivel fisiológico es el cierre de estomas, ya que estos son los responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz y Zeiger, 2006). A nivel celular, otra respuesta de resistencia es el ajuste osmótico, que consiste en una disminución del potencial hídrico en los tejidos vegetales, lo cual tiene como consecuencia la entrada de agua y, por tanto, no se presenta una disminución en el turgor o en la productividad fotosintética. El ajuste osmótico se da en las plantas a través de la biosíntesis de osmolitos orgánicos de bajo peso molecular y por la acumulación de iones, fundamentalmente K⁺ (Cushman, 2001). Se debe señalar que el crecimiento está ligado a factores ambientales como luz, temperatura y humedad, entre otros, (Salisbury y Ross, 1994).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y Características del Área de Estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en el campo agrícola experimental del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Durante el periodo otoño-invierno del año 2012. Ubicado en las coordenadas 25°23' de la longitud norte y 110°00' longitud este, del meridiano de Greenwich y una altitud de 1737 m.s.n.m (Google Earth, 2013).

3.2. Clima

Es de tipo Bwhw (x) (e) seco, semicalido con invierno fresco extremo y templado, con lluvias principalmente en verano. La temperatura media anual es de 19.8°C, con una oscilación de 10.4°C, los meses más cálidos son Junio, Julio y Agosto con temperatura máxima de 37°C, durante diciembre y enero se registran temperaturas bajas de hasta 10°C bajo cero, la precipitación total media es de 298.5 mm, la temporada lluviosa va de Junio a Octubre, el mes más lluvioso es Junio y el mes más seco es Marzo (Google Earth, 2013).

3.3. Material Vegetal

Se utilizó la variedad Waltham 29 la cual presenta las siguientes características; produce cabezas de tamaño uniforme, de buen color, resistente al frio. Planta compacta, con brotes laterales grades.

3.4. Siembra

Se llevó a cabo el 23 de julio en charolas de 200 cavidades permaneciendo en el invernadero del departamento de Horticultura.

3.5. Establecimiento del Experimento

3.5.1. Preparación del Terreno

El experimento se llevó a campo abierto, en la cual esta actividad se hizo de forma manual, para esto se tuvo que retirar los resto de malezas que había en el lugar para evitar problemas de contaminación por patógenos, así también se realizó la

nivelación del suelo para la formación de las camas. Se hizo la instalación del sistema de riego, que en este caso fue riego por goteo.

3.5.2. Trasplante

El trasplante se realizó el día 29 de agosto de 2012, se consideró un total de 23 plantas por tratamiento, de las cuales 10 de ellas se muestrearon durante su desarrollo. Se empleó un sistema de riego por goteo durante la etapa del cultivo. Para este experimento contamos con cinco tratamientos con 10 repeticiones, con un total de 50 unidades experimentales, cada tratamiento constó de tres plantas para ser analizadas en laboratorio.

3.6. Descripción de los Tratamientos

El experimento fue realizado con la finalidad de evaluar el efecto de la fertilización potásica utilizando cinco tratamientos incluido el testigo aplicado a una dosis de 2 gr·L de gua. En el cuadro 2 se observan los tratamientos empleados en el experimento.

Cuadro 2. Descripción de los Tratamientos Aplicados al Cultivo de Brócoli

TRATAMIENTOS	NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO	COMPOSICIÓN %				
		N	P	K	S	CL
1 (testigo)	Sulfato de Amonio	21	0	0	24	0
2	Nitro K Sul	12	0	45	1	0
3	Sulfato de Potasio	0	0	50	18	0
4	Cloruro de Potasio	0	0	60	0	90
5	** Amifol K	0	0	31	0	0

** Contiene aminoácidos libres 5.12%

3.7. Aplicación de los Tratamientos

Las aplicaciones de los tratamientos se hicieron manualmente, se realizaron en intervalo de cada cinco días, la primera aplicación se realizó el día 25 de septiembre en la etapa de crecimiento de la planta siguiendo el intervalo de aplicación mencionado, se aplicaron 200 ml-planta con un total de 8 aplicaciones de los tratamientos.

3.8. Manejo del Cultivo

3.8.1. Deshierbe: Esta actividad se realizó de manera manual durante el ciclo del cultivo.

3.8.2. Fertilización: Para la fertilización fueron aplicados cada tercer día micronutrientes (micro mix) en la cual se realizó manualmente aplicando con una probeta 200 ml-planta, se hizo solo dos aplicaciones de Nitrolour 2.5 ml-L de agua vía foliar y Tradecorp AZ 5 gr-L de agua vía suelo.

3.8.3. Riego y Frecuencia de Lámina de Riego

Para el riego se instaló un sistema por goteo para facilitar mejor la humedad en el suelo. El riego se aplicó diariamente por las temperaturas presentadas durante el experimento y de acuerdo a la necesidad de estas para así evitar la deshidratación y un mal desarrollo de la planta. Estos riegos se realizaban por las mañanas y en las tardes para aprovechar mejor la humedad en la planta, se dejaba aproximadamente de una hora diario de riego con un gasto de 13 ml-min. Dependiendo de la necesidad observada en la planta.

3.8.4. Desbrote: Se realizaba manualmente para evitar competencia de nutriente de la misma planta.

3.8.5. Manejos preventivos: Con el fin de evitar el ataque de algún patógeno se hicieron aplicaciones con fungicida aplicando Mancozeb a razón de 0.8 ml-L de agua, así también aplicaciones con Furadan a una dosis de 1 ml-L de agua. Para el control de algunos insectos se hicieron aplicaciones de Dimetoato a 0.6 ml-L de agua y Endosulfan a 1 ml-L de agua, estas aplicaciones por lo regular se hacían cada tercer día dependiendo de la necesidad observada en la planta.

3.9. Diseño Experimental

Los datos fueron analizados mediante el programa SAS versión 9.0 bajo un diseño completamente al azar con 5 tratamientos y 9 repeticiones, realizando una prueba de media por medio de la prueba Tukey con nivel de significancia 0.05.

3.10. Variables Evaluadas

3.10.1. Número de estomas Adaxial y Abaxial

Se tomaron al azar 3 repeticiones por tratamientos, para esta variable se tuvo que tomar una muestra de la hoja utilizando pegamento PVC, el cual se colocó una capa delgada en la superficie de la hoja dejándola unos minutos que secase y se le colocó encima un pedazo de cinta adhesiva transparente, colocándola después en un portaobjeto para ser analizada en laboratorio. Para los análisis en laboratorio, en cada impresión se observó al azar tres campos microscópicos a 40X y se hizo el conteo del número de estomas y células epidérmicas por campo visualizado. Los análisis fueron analizados en el Laboratorio de Citogenética ubicado en el departamento de fitomejoramiento de la UAAAN.

3.10.2. Índice estomático Adaxial y Abaxial

El índice estomático representa el cociente entre el número de estomas y la cantidad de células epidérmicas. Con los datos obtenidos en el conteo en número de estomas y células epidérmicas, para determinar el índice estomático se utilizó la fórmula siguiente:

Índice estomático= N° de estomas x 100/ células epidérmicas + N° de estomas.

3.10.3. Densidad estomática Adaxial y Abaxial

Con el número de estomas observadas en el microscopio, para poder determinar la densidad estomática se saca primero el diámetro del campo visual (ocular) para esto se divide el diámetro del ocular entre el objetivo (18/40x), el cual se utiliza para sacar el área del campo. Se procede para transformarlo con una regla de tres para determinar el número de estomas (mm^2).

Diámetro del campo visual= diámetro del ocular/el aumento del microscopio.

$$\text{Área del campo} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área del campo} = 3.1426 \times 0.506 = 0.1589 \text{mm}^2$$

Regla de tres simple:

Nº de estoma observado ----- área del campo

$$X \text{ ----- } 1 \text{ mm}^2$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Número de Estomas en la parte Adaxial

Los resultados obtenidos para la variable número de estomas adaxial no mostraron diferencias significativas entre las media de los tratamientos. Pero numéricamente si fueron diferentes mostrando las siguientes tendencias (Figura 1).

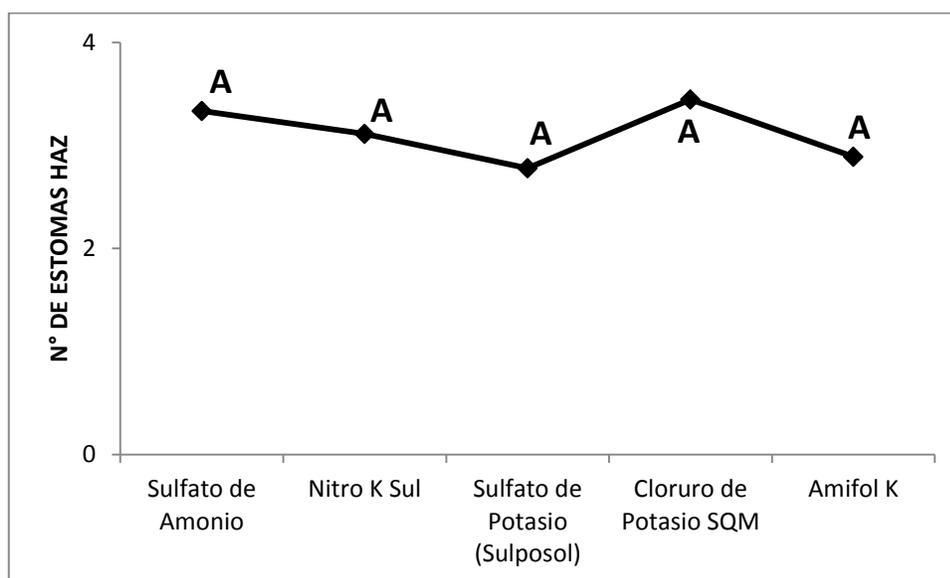


Figura 1. Comportamiento de las medias para variable número de estomas adaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásico.

En los resultados de esta variable se observa que el tratamiento a base de Cloruro de Potasio obtuvo el mayor número de estomas, siendo superior al testigo, mientras que los tratamientos que mostraron el menor número de estomas fueron el tratamiento de Sulfato de Potasio con 2.77 y el tratamiento Amifol K con 2.88 número de estomas. Pemadasa, (1978), menciona que el comportamiento diferencial de estomas tanto adaxial y abaxial se relacionan, en gran medida, a la diferencia de los cambios en las concentraciones de almidón y potasio en las células guarda, la cual una concentración baja de K declinan los niveles de almidones y se acumulan los de carbohidratos solubles y N. Con alta concentración de K los almidones se mueven eficientemente de las zonas de formación a los órganos de almacenamiento.

4.2. Número de Estomas en la parte Abaxial

Los resultados obtenidos para la variable número de estomas abaxial mostraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Figura 2).

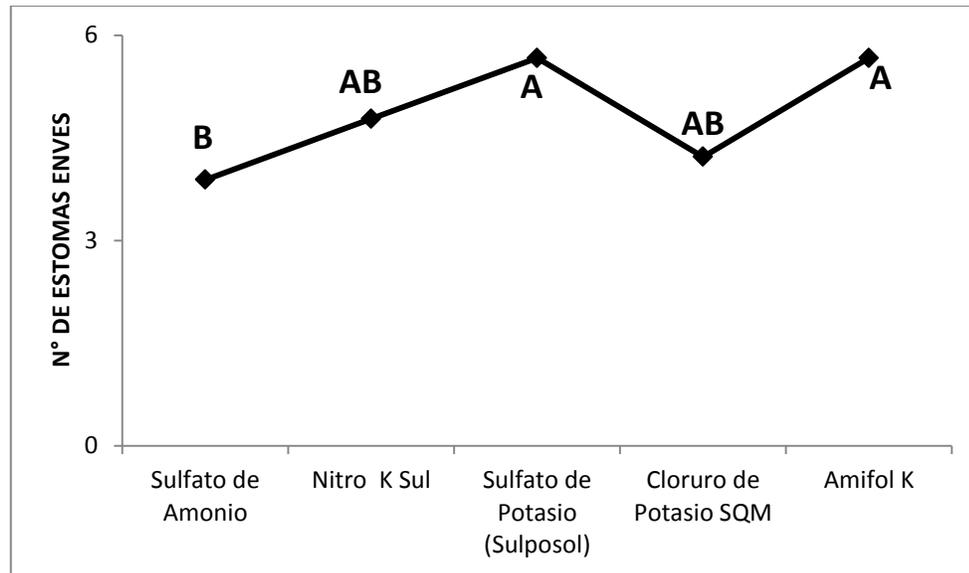


Figura 2. Comportamiento de las medias para variable número de estomas abaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

Con base a los resultados de la variable número de estomas abaxial los tratamientos a base de Sulfato de Potasio y Amifol K representan el mayor incremento alcanzando un valor de 5.66, los tratamientos (2 y 4) Nitro K Sul con un valor de 4.77 y Cloruro de Potasio con valor de 4.22 estomas, en estos resultados los tratamientos superan al testigo que fue Sulfato de Amonio con un valor de 3.88 números de estomas. Vuorine, *et al.*, (1992), mencionan que una función anaplerótica de las enzimas favorece la asimilación de amonio en la raíces mediante la producción de esqueletos carbonados que son utilizados en la síntesis de aminoácidos y que disminuyen el transporte y acumulación de amonio en las hojas donde puede alterar los procesos metabólicos, la cual puede reducir la tasa fotosintética y disminución de estomas, provocando un descenso en la productividad de la planta.

4.3. Índice Estomático Adaxial

Los resultados obtenidos para la variable índice estomático adaxial no muestra diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Figura 3).

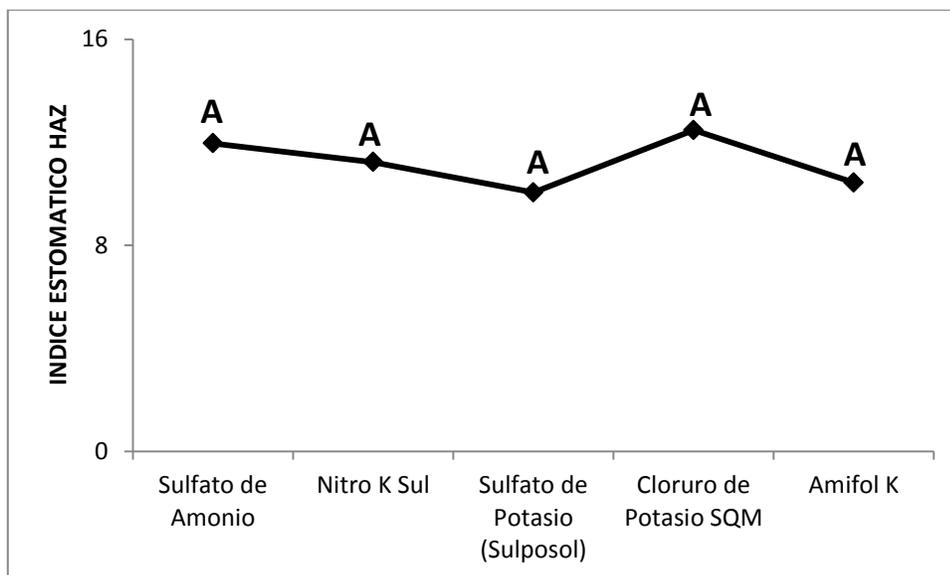


Figura 3. Comportamiento de las medias para la variable índice estomático adaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásico.

De acuerdo a los resultados el tratamiento Cloruro de Potasio con un valor de 12.46 supera al testigo por una diferencia de 0.5 %, y con 2.4 % al menor tratamiento que fue Sulfato de Potasio, lo cual pudo haber sido afectado por las condiciones ambientales como luz, temperatura y humedad que se presentaron durante el desarrollo del experimento, lo cual influyó en los tratamientos. Sekiya, *et al.*, (2008), encuentra diferencias significativas en la parte adaxial y abaxial en plantas de Caupi utilizando sulfato de amonio, cloruro de potasio y diferentes cantidades de fosforo en el suelo.

4.4. Índice Estomático Abaxial

Los resultados obtenidos para la variable índice estomático abaxial mostraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Figura 4).

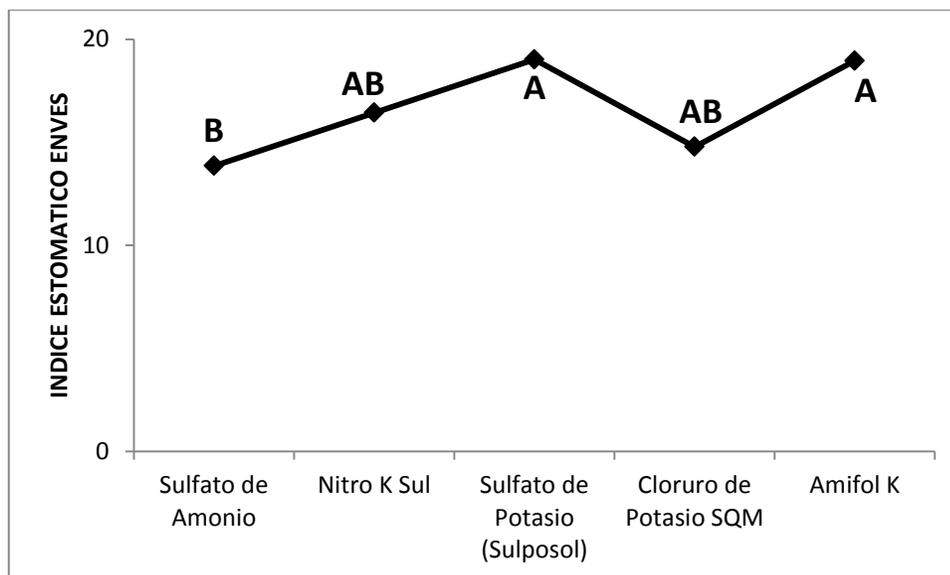


Figura 4. Comportamiento de las medias para la variable índice estomático abaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásico.

Los resultados en la variable índice estomático de manera abaxial, los tratamientos que mostraron mayor índice estomático fueron el tratamiento Sulfato de Potasio con un valor de 100 % y el tratamiento Amifol K con un índice estomático de 99.6 % , superando por completo al testigo Sulfato de Amonio que obtuvo un valor de 72.8 %. Terán, (2008), reporta diferencias significativas en cultivo de tomate bajo condición de invernadero utilizando en solución nutritiva sulfato y nitratos de amonio y potasio bajo el efecto de cinco dosis de C.E. Salas *et al.*, (2001), mencionan que la C.E influye en los procesos fisiológicos reduciendo el crecimiento y la tasa fotosintética, por lo tanto, el efecto osmótico no sólo causa un simple efecto físico sobre la reducción de la presión de turgor de las células de la planta, sino que involucra alteraciones bioquímicas o fisiológicas que envuelven la expresión, reduciendo el número de estomas del área foliar para aumentar su resistencia estomática y evitar el exceso de transpiración.

4.5. Densidad Estomática Adaxial

Los resultados obtenidos para la variable densidad estomática adaxial no mostraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. Numéricamente muestran las siguientes tendencias (Figura 5).

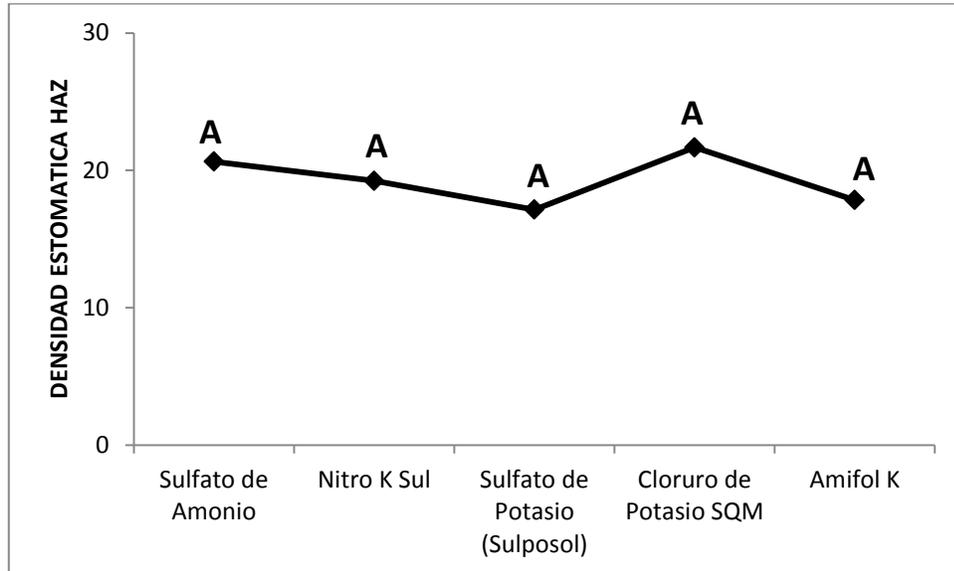


Figura 5. Comportamiento de las medias para la variable Densidad estomática adaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásico.

En esta variable se observa que el tratamiento Cloruro de Potasio supera al testigo por una diferencia de 1.04 % en densidad de estomática, mientras que el tratamiento que mostro un bajo valor fue el tratamiento Sulfato de Potasio. Afkari, *et al.*, (2009), encuentra diferencias significativas en cuatro cultivares de girasol con aplicación de tres dosis de sulfato de potasio (0, 75 y 150 kg·ha) bajo tres condicione de estrés hídricos.

Koch, *et al.*, (1975), reporta diferencias no significativas en cultivo de Maíz con diferentes suministro de potasio a 0.5 y 3.0 mm en solución nutritivas.

4.6. Densidad Estomática Abaxial

Los resultados para la variable densidad estomática abaxial muestran que hay diferencia significativa entre los tratamientos (figura 6).

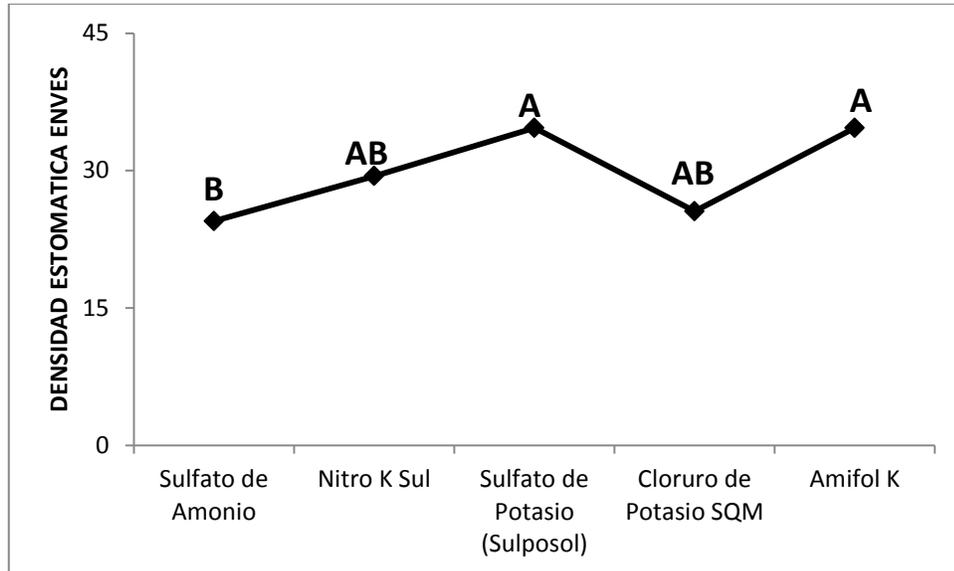


Figura 6. Comportamiento de las medias para la variable Densidad estomática abaxial tratadas con diferentes fertilizantes potásico.

En esta variable se observa que los tratamientos Sulfato de Potasio y el tratamiento Amifol K con una densidad estomática de 34.65, fueron superior al testigo Sulfato de Amonio. Cadena, *et al.*, (2000), mencionan haber encontrado mayor densidad estomática en la parte abaxial en cultivo de chayote mediante la fertilización con la fórmula 170-46-220 recomendada por este mismo autor para este cultivo.

V. CONCLUSIONES

La fertilización potásica influyó en el índice y densidad estomática de la planta de brócoli en las cuales se pueden observar diferencias no significativas en la parte adaxial y diferencias significativas en abaxial de la hoja.

Con los resultados obtenidos para el índice estomático y la densidad estomática se concluye que el mejor tratamiento es el cloruro de potasio para el índice estomático adaxial, en tanto que para el índice estomático y la densidad estomática abaxial el mejor tratamiento fue el sulfato de potasio.

De acuerdo a los resultados obtenidos en promedio de número de estomas podemos clasificar al brócoli como una planta ambiestomática que presenta el mayor número de estomas en la parte abaxial de la hoja.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- A. Afkari Bajehbaj^{1,2}, N. Qasimov² and M. Yarnia³, 2009.** Effects of drought stress and potassium on some of the physiological and morphological traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars.
- Babula, D, Kaczmarek M, Ziolkowski PA, Sadowski J, 2007.** *Brassica oleracea*, en Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, capítulo 8, Vegetables, volumen 5 Editor C. Kole, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 227-285
- Bekker, A. W., N. V. Flue and R. G. Chase. 1994.** Effects of liming. K fertilization and leaching on K retention, nutrient uptake and dry matter production of maize grown on a Samoan Oxic Inceptisol. Fertilizer research. 38: 123-130.
- Barahona, M. 2002.** Manual de Horticultura. El Prado, Ec. I.A.S.A- ESPE. Pp. 22-25.
- Barber, S. A. 1984.** Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. John Wiley y sons, Inc. U. S. A. Pp. 398.
- Barrientos, Priego, Michal W. Borys, Carlos Trejo, Luis López López, 2003.** Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 26, núm. 4, Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. México. Pp. 291-299.
- Beridze, Z. A. 1988.** The effects of different rate of potassium on the chemical composition and mechanical end biochemical characteristics of mandarin fruits of different classes' subtropics kultury. Pp. 111-116.
- Cadena, I. J.¹; L. M. Ruiz-Posadas¹; C. Trejo-lópez¹; P. Sánchez-garcía²; J. F. Aguirre-medina³, 2000.** Regulación del intercambio de gases y relaciones hídricas en chayote (*sechium edule* (jacq.) Swartz).
- Cañizares Adolfo, Sanabria, M. Rodríguez E. Dorian A. y Perozo, Yaritz 2003.** Características de los estomas, índice y densidad estomática de las hojas de

lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) injertada sobre ocho patrones cítricos. Revista UDO Agrícola 3 (1): 59-64.

Castor, Hernández Luis. 2009. Tesis, Horticultura, UAAAN Características De Estomas y Vasos de Xilemas En Tretraploides de Tomate. 20 p.

Croxdale, J. 2000. Stomatal patterning in angiosperms. American Journal of Botany 87 (8):1069-1080.

Cushman, J. C. 2001. Osmoregulation in plants: implications for agriculture. Amer. Zool. 41, 758-769.

Demolon, A. L. 1972. Crecimiento de Vegetales Cultivados. Ediciones Omega. España. Pp. 92-113.

Departamento de Agricultura Gigante Verde S.A de C.V. 1992. Cultivo de Brócoli circular interna. México.

Devlin, Robert M, 1982. Fisiología Vegetal. Cuarta edición. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. Pp. 517.

Esaú, K. 1976. Anatomía Vegetal. Editorial Omega. Barcelona.

Flores-Vindas, E. 1999. La planta. Estructura y función. Vol 1. Libro Universitario Regional. (LUR). Costa Rica.

Gray, V. V. 1982. Producción de Hortalizas. Editorial Limusa. S.A. de C.V. México.

Havlin, J.D.G. Westfall and S.R. Olsen.1999. Mathematic models for potassium release kinetics in calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am J. 9; 371-377

Hernández, D.J 1992. Curso de Fisiología de hortalizas. UAAAN. Departamento de Horticultura. Buenavista Saltillo Coah. México.

Hilman, et al., (1988). Equilibrium N and K. Fertilisation trial on garlic in a rice field. Penelitian horticultura. Pp. 48-53.

- Huber D.M. y Arny. 1985.** Interactions of potassium with plant disease. pp. 467-488.
In: R.D. Munson (ed.). Potassium in agriculture. Madison, Wisconsin. USA.
- Internet1.** <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Estudios/Documents/monografias/brocoli.pdf> (Consultado el 11 de Febrero del 2014).
- Knudsen D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1989.** Lithium, sodium and potassium.
In: Methods of Soil Analysis. Part.2. Chemical and microbiological properties.
Ed. By A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney. Series Agronomy 9. Pp. 225-246.
- Krarpup, C. 1992.** Seminario sobre la producción de brócoli. Quito, Ecuador.
PROEXANT. AGRIDEC/CHEMONICS. Pp. 1-25.
- Maldonado, T. R. 2002.** Diagnostico nutrimental para la producción de aguacate has.
Informe de investigación. UACH. Texcoco, México. Pp. 167.
- Marschner, H. 1986.** Mineral nutrition of higher plants. New York, Academic Press,
674 pp.
- Maroto, J.V. 1995.** Special herb gardening. 3rd. Ed Madrid, Spain. Oxford University
Press. 568 pp.
- Maurer, A. R. 1976.** Response of Brócoli to five soil water regimes. Can. J Plant Sci
56. 952-959.
- Mayberry, K. 1995.** Producción de Brócoli en California Departamento de
Alimentación y Agricultura de California Sacramento-USA.
- Memon, Y. M., I. F. Fergus, J. D. Hughes and D. W. Page. 1988.** Utilization of
nonexchangeable soil potassium in relation to soil type, plant species and
stage of growth. Aust. J. Soil Res. 26: 489-496.
- Mengel, K. 1980.** Factors of plant nutrient availability relevant to soil testing. Plant
and soil 64: 129-138.

- Mengel, K., E.A. Kirkby. 1978.** Principles of plant nutrition. Berne, International Potash Institute, 593 pp.
- Nonnecke, Libner, Ib. 1989.** Vegetables Production. An ovi book Publñished by van Nostrand Reinhold New York.
- Oliveira, Prendes, J. A., E. Affif. Khouri., M. Mayor. López. 2006.** Análisis del suelo, Plantas y recomendaciones de Abonado. Universidad de Oviedo. España. Pp. 12-38.
- Ozawa, T. and Tazuke A. (1990).** The effect of potassium and calcium concentration in the nutrient solution on copper toxicities in vegetable crops. Horticultural Science. Pp. 365-370.
- Pemadasa, M. A. 1978.** Movements of abaxial and adaxial stomata. Department of Botanny University of Sri Lanka, Peradetiiya, Sri Lanka.
- Pollak, J. 2003.** Efecto de la fertilización nitrogenada y potásica sobre el rendimiento y calidad d brócoli (Brassica oleracea var. Itálica) cultivar Legacy. Tesis ing. Agr. En Santiago de Chile. Pp 24-30.
- Potash & Phosphate Institute, 1997.** Manual internacional de fertilidad de suelos. (Instituto de la Potasa y el Fósforo AC INPOFOS). P 81-93.
- Potters, G., T. P. Pasternak., Y. Guisez., K. J. Palme y M .A. K. Jansen. 2007.** Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? Trends Plant Sci. 12(3), 99-105.
- Rodríguez, J. 1990.** La Fertilización De Los Cultivos: Un Método Racional. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de chile. Pp. 406.
- Rodríguez, S. J. y A. Galvis-Spínola. 1989.** Dinámica del potasio en los suelos del país. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile.

- Salisbury, F. B. and Ross, C. W. 1994.** Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica México. Pp. 133-135; 270-273.
- Sakata, 2007.** Paquete Tecnológico De Brócoli Variedad Máximo (en línea) México. Disponible en <http://www.sakata.com.mx>.
- Sekiya, Nobuhito, Katsuya yano, 2008.** Stomatal density of cowpea correlates with carbon isotope discrimination in different phosphorus, water and CO₂ environments.
- Terán, B. A. C. 2008.** Selección y evaluación de híbridos y/o variedades comerciales de tomate de mesa (*solanum lycopersicum*) tolerantes a la salinidad, tanto en condiciones in vitro como de invernadero.
- Tisdale, S. L. y Nelson W. L. 1982.** Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. Editorial uteha. México, DF. Pp.138-165.
- Valadez, L. A. 1998.** Producción de Hortalizas. Editorial Limusa. S.A DE C.V. México. Pp. 45-55
- Wild, A. 1989.** Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russhell. Editorial Mundi Prensa. Madrid España. Pp. 73-83.

VII. APÉNDICE

Cuadro A1. Análisis de varianza de la variable “Numero de Estomas Adaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadros	Cuadrados medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	4	2.88888889	0.72222222	0.36	0.8325
Repetición	8	26.04444444	3.25555556	1.64	0.1524
Error	32	63.51111111	1.98472222		
Total	44	92.44444444			
Media	3.111111				
C.V	45.28291				

Cuadro A2. Análisis de varianza de la variable “Numero de Estomas Abaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadros	Cuadrados medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	4	23.91111111	5.97777778	3.82	0.0120
Repetición	8	9.91111111	1.23888889	0.79	0.6139
Error	32	50.08888889	1.56527778		
Total	44	83.91111111			
Media	4.844444				
C.V	25.82568				

Cuadro A3. Análisis de varianza de la variable “Índice estomático Adaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadros	Cuadrados medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	4	36.8120000	9.2030000	0.46	0.7647
Repetición	8	288.5528444	36.0691056	1.80	0.1135
Error	32	640.7342000	20.0229437		
Total	44	966.0990444			
Media	11.22889				
C.V	39.84989				

Cuadro A4. Análisis de varianza de la variable “Índice Estomático Abaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadros	Cuadrados medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	4	200.6933333	50.1733333	3.89	0.0110
Repetición	8	86.0589600	10.7573700	0.83	0.5795
Error	32	412.6513067	12.8953533		
Total	44	699.4036000			
Media	16.60667				
C.V	21.62391				

Cuadro A5. Análisis de varianza de la variable “Densidad Estomática Adaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadros	Cuadrados medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	4	127.7235644	31.9308911	0.47	0.7582
Repetición	8	949.6217778	118.7027222	1.74	0.1265
Error	32	2179.848556	68.120267		
Total	44	3257.193898			
Media	19.30578				
C.V	42.75145				

Cuadro A6. Análisis de varianza de la variable “Densidad estomática Abaxial” de planta de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadros	Cuadrados medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	4	843.0628756	210.7657189	3.84	0.0117
Repetición	8	318.8005111	39.8500639	0.73	0.6676
Error	32	1756.507844	54.890870		
Total	44	2918.371231			
Media	29.74756				
C.V	24.90570				

Cuadro A7. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable “Número de Estomas Adaxial” en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

Agrupamiento Tukey	Medias	Tratamientos
A	3.33	1
A	3.11	2
A	2.77	3
A	3.44	4
A	2.88	5

Medias con las mismas letras no son significativamente diferentes.

Cuadro A8. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable “Número de Estomas Abaxial” en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

Agrupamiento Tukey	Medias	Tratamientos
B	3.88	1
AB	4.77	2
A	5.66	3
AB	4.22	4
A	5.66	5

Medias con las mismas letras no son significativamente diferentes.

Cuadro A9. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable “Índice Estomático Adaxial” en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

Agrupamiento Tukey	Medias	Tratamientos
A	11.96	1
A	11.23	2
A	10.05	3
A	12.46	4
A	10.43	5

Medias con las mismas letras no son significativamente diferentes.

Cuadro A10. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable “Índice estomático Abaxial” en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

Agrupamiento Tukey	Medias	Tratamientos
B	13.85	1
AB	16.42	2
A	19.01	3
AB	14.77	4
A	18.95	5

Medias con las mismas letras no son significativamente diferentes.

Cuadro A11. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable “Densidad Estomática Adaxial” en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

Agrupamiento Tukey	Medias	Tratamientos
A	20.63	1
A	19.23	2
A	17.14	3
A	21.67	4
A	17.84	5

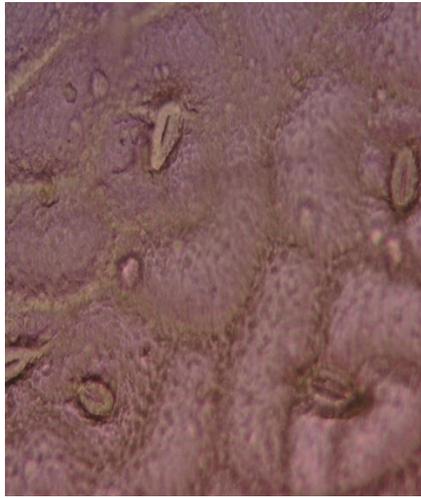
Medias con las mismas letras no son significativamente diferentes.

Cuadro A12. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable “Densidad estomática Abaxial” en plantas de brócoli tratadas con diferentes fertilizantes potásicos.

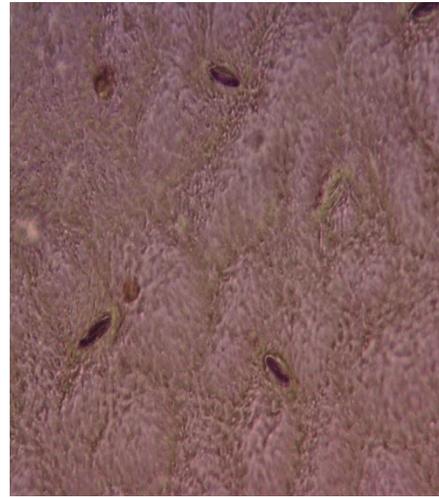
Tukey agrupamiento	Medias	Tratamientos
B	24.46	1
AB	29.39	2
A	34.65	3
AB	25.56	4
A	34.65	5

Medias con las mismas letras no son significativamente diferentes.

Fotografías 1. Observación de estomas en hoja de brócoli, tratamiento testigo (Sulfato de Amonio). Vista superficial a 40X.

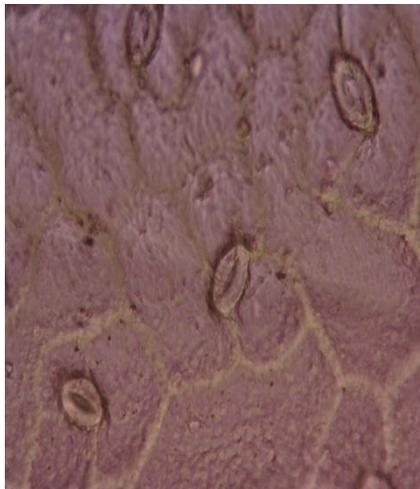


Parte adaxial

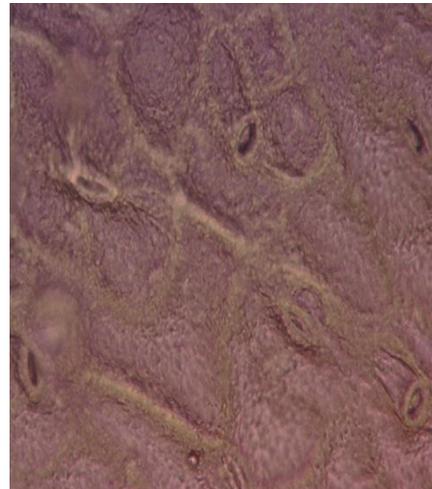


Parte abaxial

Fotografías 2. Observación de estomas en hoja de brócoli, tratamiento Nitro K Sul. Vista superficial a 40X.

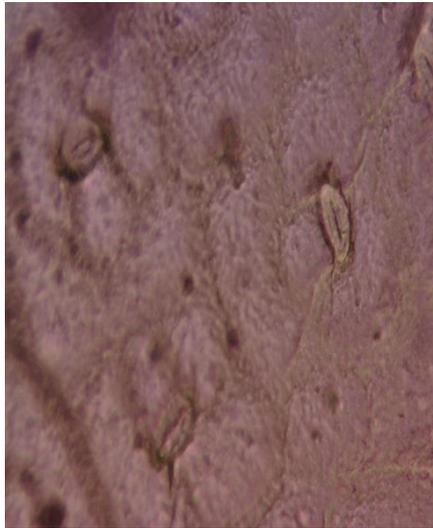


Parte adaxial

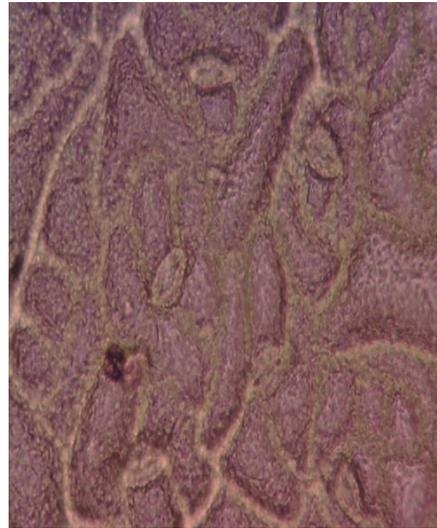


Parte abaxial

Fotografías 3. Observación de estomas en hoja de brócoli, tratamiento Sulfato de Potasio. Vista superficial a 40X.

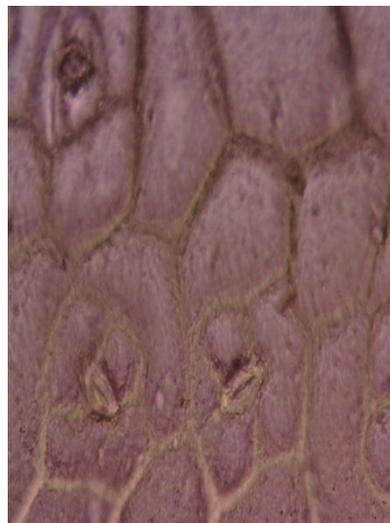


Parte adaxial



Parte abaxial

Fotografías 4. Observación de estomas en hoja de brócoli, tratamiento Cloruro de Potasio. Vista superficial a 40X.

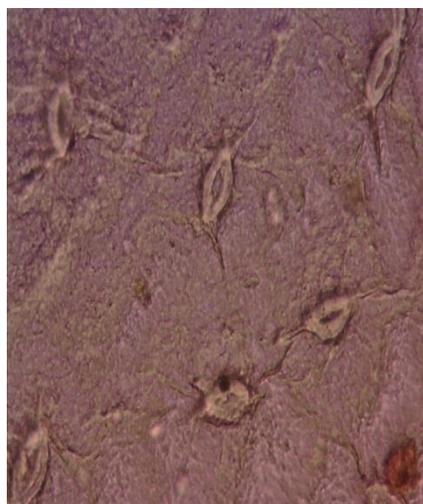


Parte adaxial

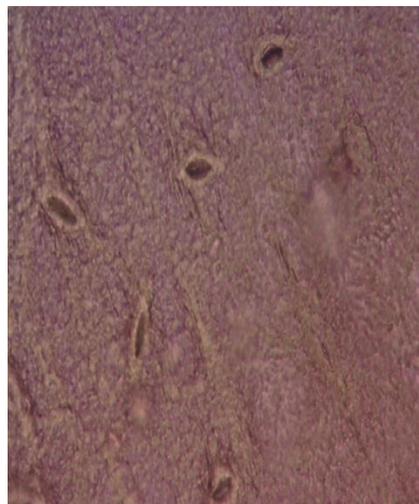


Parte abaxial

Fotografías 5. Observación de estomas en hoja de brócoli, tratamiento Amifol K.
Vista superficial a 40X.



Parte adaxial



Parte abaxial