

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

**“FERTIGACIÓN CON FOSFITOS EN EL CULTIVO DE BRÓCOLI
(*Brassica oleraceae* var. *Itálica* (L.) Plenck) HÍBRIDO HERITAGE, EN
LA REGIÓN DE LA COSTA DE HERMOSILLO, SONORA”**

TESIS

ROSENDO MOLINA CASTILLO

DICIEMBRE DEL 2009

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

“FERTIGACIÓN CON FOSFITOS EN EL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleraceae* var. *Itálica* (L.) Plenck) HÍBRIDO HERITAGE, EN LA REGIÓN DE LA COSTA DE HERMOSILLO, SONORA”

TESIS

Sometida a la consideración del
Departamento de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

Por

Rosendo Molina Castillo

Como requisito parcial para obtener
El título de Ingeniero Agrónomo

Diciembre de 2009

Esta tesis fue realizada bajo la Dirección del Consejo Particular aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención de:

INGENIERO AGRÓNOMO

CONSEJO PARTICULAR:

DIRECTOR:



M.C. JOSÉ JIMÉNEZ LEÓN.

ASESOR:



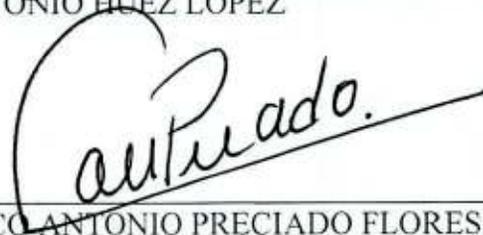
DR. JESÚS LÓPEZ ELÍAS

ASESOR:



DR. MARCO ATONIO HUÉZ LÓPEZ

ASESOR:



M.C. FRANCISCO ANTONIO PRECIADO FLORES

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: Por darme la oportunidad de vivir esta vida y tener todo lo que tengo que es muy apreciado, salud, familia y amigos que me estiman.

A LA UNIVERSIDAD DE SONORA: Por toda la formación que me han brindado desde 1979 la que fue base para lograr mi formación profesional

A MIS MAESTROS DE LA ESCUELA DE AGRICULTURA Y GANADERIA: Por transmitirme todos sus conocimientos y por apoyarme a concluir hasta el final de esta etapa de mi formación académica.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE LA ESCUELA DE AGRICULTURA Y GANADERIA: Quienes me han brindado todo su apoyo y confianza en finalizar esta tesis.

A MI ESPOSA MARTHA BAYLISS C.: Por su eterna confianza de que este trabajo llegaría a su fin.

DEDICATORIA

A MIS PADRES, AMELIA Y REYES: Por darme la vida y ejemplo de su honradez y perseverancia en lograr sus objetivos, y muy especial a mi madre que me esta cuidando y guiando por el buen camino desde el cielo.

A MIS HERMANOS, PEDRO, HUGO, MARCOS, LUZ, DOLORES Y MARIA LAURA: Por el respaldo que me han brindado en todo momento.

A MI ESPOSA MARTHA: Por su incondicional amor y apoyo en todo momento.

A MIS HIJOS, EDUARDO ALEJANDRO, CARLOS ROSENDO Y RAUL ANDRES: Que siempre me han demostrado su amor, respeto y deseos de seguir mi ejemplo.

A MIS TIAS Y TIOS: CHATA (+), NENA, SOCORRO, LOLA, ESTHER, CARMEN, DELIA, BENJAMIN (+) RAFAEL Y JULIO CESAR, RAFAEL,

A MIS AMIGOS DE TODA LA VIDA, EDUARDO, JESUS, LUIS , GONZALO Y ABRAHAM: Que me tienen bien situado en su corazón y no me han olvidado.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA MANERA COLABORARON PARA CULMINAR EXITOSAMENTE EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACION Y QUE NO SON CITADOS EN EL PRESENTE MANUSCRITO.

CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE CUADROS	vi
INTRODUCCIÓN	1
LITERATURA REVISADA	3
La función del fósforo en la planta	5
Diferencias entre Fosfato y Fosfito	7
Funcionamiento de los fosfitos	10
Movilidad de los fosfitos	10
Características de los fosfitos	11
Fertigacion	12
MATERIALES Y MÉTODOS	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
CONCLUSIONES	17
LITERATURA CITADA	18

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el cultivo de brócoli mediante el método de fertigación.	13
Cuadro 2. Rendimiento en t ha ⁻¹ en el cultivo de Brócoli (<i>Brassica oleraceae</i> L.) utilizando el método de fertigación con fosfitos en la Costa de Hermosillo.	15

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en el campo Agrícola Experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en un módulo de riego por goteo con cinta en el cultivo de brócoli, en una superficie total del experimento de 500 metros cuadrados.

La aplicación de los tratamientos de fertilización se llevó a cabo utilizando el método de fertigación, con un diseño experimental completamente al azar compuesto de cinco tratamientos (P-Suelo 4 l ha⁻¹, Magnum 3 l ha⁻¹, Cytophite 3 l ha⁻¹, Orofos 3 l ha⁻¹ y testigo) con cuatro repeticiones.

La fecha de trasplante se realizó el 15 de noviembre de 2006, la aplicación de los tratamientos fueron siete días después del trasplante, más tres aplicaciones en intervalos de quince días hasta la cosecha.

El mejor tratamiento resultó ser P-suelo 4 l ha⁻¹ con una producción de 5.815 toneladas, el tratamiento Magnum 3 l ha⁻¹ fue el segundo mejor con 5.1575 toneladas, siguiéndoles Orofos p+k, Cytophite y el testigo con 4.615, 4.4475 y 4.065 toneladas respectivamente.

Los días de transplante a cosecha fueron de 83 días, realizándose un total de cinco cortes.

La aplicación de fosfitos mediante fertigación presenta grandes ventajas como fácil aplicación, ahorro de agua y mano de obra. Además aplicar fósforo en forma de ión fosfito resulta ser más móvil en el suelo haciéndolo más asimilable, estimulando el metabolismo de la planta acortando los días a cosecha.

INTRODUCCIÓN

Las Brásicas son cultivos que prosperan en regiones con climas fríos y frescos; sin embargo en México se cuenta con ciertas regiones donde se pueden cultivar todo el año. Es importante mencionar que las mayores producciones son alcanzadas en la temporada invernal, pero con el uso de algunas variedades se pueden lograr buenas producciones en épocas con mayores temperaturas, como en el caso de la región de la Costa de Hermosillo.

El cultivo del brócoli (*Brassica oleracea* L.) resulta de gran importancia para algunas regiones de nuestro país y muy particularmente de la región norte de nuestro estado, donde actualmente se realizan varias investigaciones con la finalidad de mejorar los métodos de su cultivo y de esa manera aumentar el volumen de producción y la calidad del mismo. Tal es el caso de la implementación de sistemas de riego presurizados y las ventajas que conlleva, como lo es la práctica de fertirrigación. El término fertirrigación se refiere a la aplicación de fertilizantes junto con el agua de riego. Se sabe con certeza que los sistemas de fertirrigación deben ser utilizados en su totalidad con nutrientes solubles en agua. En el caso de nitrógeno y potasio esto generalmente no presenta problemas técnicos, sin embargo se pueden tener serias dificultades cuando se utilizan fertilizantes a base de fósforo, principalmente en condiciones alcalinas. Pero las ventajas del sistema se fortalecen con la utilización de fósforo soluble.

El fósforo es un nutriente que juega un papel de gran importancia en las reacciones metabólicas de la planta, forma parte de varias sustancias esenciales de la misma, como enzimas y proteínas, además es un componente estructural de fosfoproteínas, fosfolípidos y ácidos nucleicos. Este elemento tiene una participación vital en el ciclo de vida de las plantas, siendo aun más importante en el crecimiento reproductivo y la floración, además está presente en la formación y translocación de azúcares, almidones y estimula la maduración temprana y calidad de la maduración.

También su importancia radica en el proceso de maduración y formación de semilla. En resumidas cuentas el fósforo es sin duda el nutriente energético en la reproducción de la planta (Raunshkolb et al., 1976).

La finalidad de la aplicación de fósforo en forma de fosfito en el sistema de riego, es agilizar la disponibilidad de este elemento tan importante para tener un óptimo desarrollo de la planta y una buena productividad de la misma, ya que el fósforo es poco móvil en el suelo y se precipita fácilmente con algunos elementos como calcio y magnesio, pero al aplicarlo por medio del sistema de riego este queda más expuesto a las raíces de la planta facilitando el proceso de absorción por difusión, a diferencia de aplicar fosfatos como comúnmente se practica, de este modo el fósforo se ahorra un paso de su ciclo evitando en gran medida la precipitación y por consiguiente su pérdida, lo cual refleja grandes pérdidas económicas y de tiempo.

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es evaluar una nueva forma de suministrar fósforo en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.) mediante fertilizantes a base de fosfitos en diferentes concentraciones utilizando el método de fertirrigación.

LITERATURA REVISADA

Hatch (1983) cita que la palabra brócoli proviene del italiano brocco que significa brazo o rama. Brocolo es el diminutivo de brocco y se refiere a un retoño del repollo, mientras que brócoli es el plural de Brocolo, y se refiere a los numerosos brotes en esta forma de *Brassica oleracea*. Originalmente, el término brócoli, se refería a los brotes jóvenes que se desarrollaban en algunas especies de coles y fueron usados como verduras en tiempos primitivos.

Se cree que el brócoli se originó hace alrededor de 2,500 años de un repollo silvestre común en la costa europea. Las formas ancestrales de las variedades modernas parece que fueron seleccionados en Italia en los tiempos de Cristo. Se supone que las formas silvestres de *Brassica oleracea* se usaban inicialmente como alimento humano y probablemente los tipos más tiernos y menos amargos fueron seleccionados para su cultivo. En América se ha cultivado desde hace 200 años.

Todos los tipos de brócoli ahora cultivados se originaron en Italia, aunque algunas clases de brócoli fueron producidas de semillas de repollo silvestre Cirencester en el año de 1860.

El brócoli pertenece a la familia de las Brassicas y su nombre botánico es *Brassica oleracea*, variedad Itálica. Es una planta similar a la coliflor, aunque la cabeza que forma es más pequeña. La raíz es pivotante con raíces secundarias y superficiales. Las hojas son de color verde oscuro, algo rizado y erecto. El brócoli se desarrolla bien en cualquier tipo de suelo, prefiriendo los franco-arenosos, con buen contenido de materia orgánica; se clasifica como ligeramente tolerante a la acidez, siendo su rango de adaptación a pH 5.8-6.0 y medianamente tolerante a la salinidad (Hatch, 1983).

Las plantas por ser organismos vivos requieren de una adecuada, oportuna y balanceada nutrición que se logra mediante los elementos esenciales para el crecimiento

de las mismas, los cuales están divididos en dos grandes grupos: los minerales y no minerales. Estos últimos son el Carbono, Hidrógeno y Oxígeno que se encuentran en la atmósfera y el agua y son fundamentales en la fotosíntesis (Domínguez, 1978).

Los nutrientes minerales son aquellos que se han originado en el suelo y han sido divididos en tres grupos: los macronutrientes, estos son los que se encuentran en mayor cantidad en la planta como lo son; nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre y los micronutrientes, estos se encuentran en menor cantidad en la planta pero son igual de importantes que los macronutrientes para tener un óptimo desarrollo de las plantas tales como; zinc, hierro, manganeso, cobre, boro, molibdeno y cloro, teniendo un total de 16 elementos tanto minerales como no minerales (<http://www.abocol.com/>).

El requerimiento nutricional de los cultivos está definido por la especie y difiere entre variedades de una misma especie, de acuerdo a su nivel de producción, adaptación a las condiciones climáticas, propiedades físicas, químicas y fertilidad de los suelos, características del agua de riego, incidencia de organismos dañinos y manejo cultural (Greenwood, 1981).

Un fertilizante químico es un producto que contiene, por los menos, un elemento químico que la planta necesita para su ciclo de vida. La característica más importante de cualquier fertilizante es que pueda disolverse en el agua de riego, ya que la mayoría de los nutrientes entran en forma pasiva en la planta, a través del flujo del agua (Mendoza, 2003).

Se conoce como fertirrigación a la técnica de aplicar fertilizantes en los sistemas de riego presurizado, lo cual permite una dosificación racional en función de la demanda del cultivo, características de suelo y agua y condiciones ambientales específicas. También permite hacer frente a los problemas de contaminación que se pueden originar por un exceso transitorio de fertilizantes en el suelo (Cadahia, 1998; Mendoza, 2000).

La función del fósforo en la planta

Lauer en (1988) estableció que el fósforo es un componente esencial en el ciclo de vida de las plantas. Es necesario en casi todos los procesos metabólicos e influye en la capacidad de las plantas de aprovechar al máximo otros nutrientes. Este elemento desempeña un papel crítico en el proceso de maduración y de formación de semillas, además se encuentra íntimamente ligado con la formación del sistema radicular de las plantas.

A continuación se mencionan las funciones del fósforo en la planta:

1. *Transferencias de energía:* Los iones fosfóricos son capaces de recibir energía luminosa captada por la clorofila y transportarla a través de la planta en forma de ADP (adenosin difosfatos) y ATP (adenosin trifosfatos).
2. *Factor de crecimiento:* El fósforo es muy importante porque influye fuertemente sobre el desarrollo del sistema radicular y de las plantas.
3. *Factor de precocidad:* El fósforo activa el desarrollo inicial y tiende a acortar el ciclo vegetativo, favoreciendo la maduración de los frutos y mejorando su calidad.
4. *Factor de resistencia:* Este elemento aumenta la resistencia a las condiciones meteorológicas adversas, al encamado (cereales) y en general, a las enfermedades, función que comparte con la potasa. Este factor es de suma importancia para la rentabilidad de los cultivos (Palma, 2003)

El trifosfato de adenosin (ATP) se forma como resultado de la fotosíntesis y es utilizada en la respiración de la planta. Por lo anterior, el fósforo es muy importante para la generación de células nuevas; así, por ejemplo, la producción de raíces al inicio de los ciclos vegetativos es una función vital. Es esta la razón por la que el fósforo se aplica antes o al inicio de la siembra. La deficiencia de fósforo es común en suelos ácidos y alcalinos o calcáreos. En suelos Andisoles la fijación de fósforo puede ser muy alta, lo que se traduce en deficiencia del elemento en el cultivo.

El fósforo no es abundante en el suelo y mucho del fósforo presente en él no está en formas disponibles para la planta. La disponibilidad de este elemento depende del

tipo de suelo, según este, una pequeña o gran parte del fósforo total puede estar “fijado” (no disponible) en los minerales del suelo. Esto significa que la planta no puede absorberlo. En la naturaleza, el fósforo forma parte de las rocas y los minerales del suelo. Las fuentes de fósforo como nutrimento para las plantas son los fertilizantes minerales y los fertilizantes orgánicos. Los fertilizantes minerales son compuestos inorgánicos de fósforo que se extraen de los grandes yacimientos de “roca fosfórica”. Estos compuestos minerales, son tratados para hacerlos más solubles para que así, sean disponibles y puedan ser utilizados por las plantas.

Las plantas absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en forma de HPO_4^{2-} (ión fosfato monoácido) y H_2PO_4^1 (ión fosfato diácido). Cualquier fertilizante ya sea de origen orgánico o mineral debe transformarse primero en esas especies (formas químicas) antes de ser utilizado por el cultivo. Las diferencias entre los fertilizantes de derivados de residuos orgánicos y los fertilizantes minerales son principalmente dos; la primera se refiere a la velocidad de disponibilidad para el cultivo, en donde los de origen de residuos orgánicos tienen que ser primero descompuestos por los microbios, mientras que los abonos minerales ya tienen los compuestos en la forma que la planta los utiliza y la segunda dirigida al parámetro de concentración donde los residuos orgánicos tienen concentraciones más bajas de fósforo que los compuestos minerales (Universidad de California, 2006).

La forma convencional de las plantas de absorber fósforo son los fosfatos. Actualmente existen varios productos químicos de uso agrícola, que han sido presentados como fertilizantes para suplemento de fósforo principalmente vía foliar y que utilizan como fuente primaria de este elemento, formas reducidas tales como los fosfitos en forma de fosfonatos de potasio. Sin embargo, sobre su efecto como fertilizante lo que se ha demostrado es poca o ninguna acción (Forster et al 1998; Smillie et al, 1989; Orovic et al, 2008).

Algunos estudios han corroborado que las formas más reducidas de fosfatos no son aprovechables directamente por las plantas y que más requieren de un proceso de

oxidación previo para que su absorción y aprovechamiento por la planta realmente ocurra (Marschner, 1996; McDonald *et al.*, 2001).

Para garantizar una producción rentable y devolver al suelo el fósforo que ha sido extraído por la cosecha, los agricultores deben aplicar fósforo a sus cultivos. El brócoli requiere de moderada a alta fertilización. La dosis de fertilizante debe ser escogida considerando el tipo de suelo, historia reciente de cultivo, y resultados de evaluaciones de suelo, los cuales ayudan a determinar los requerimientos de dicho elemento. La evaluación de fósforo extractable en base a bicarbonato estima cuanto fósforo está disponible para las plantas. Generalmente los suelos por encima de 30 ppm no requieren P adicional. Sin embargo, cuando se siembra en suelos fríos, hay menor cantidad de fósforo disponible para las plantas por lo que puede ser necesario realizar aplicaciones de P. Las aplicaciones de fósforo previo a la siembra pueden variar entre 56-280 kg de P_2O_5 ha^{-1} . Las dosis más altas se aplican antes de preparar las camas. Dosis más bajas son aplicadas en bandas 5-7.5 cm. hacia el costado y bajo la hilera de semillas después de la formación de la cama y antes de la siembra (www.infojardin.com/).

Diferencias entre Fosfato y Fosfito

Como sabemos, la tradicional fuente de fósforo como H_3PO_4 , ha sido el ácido fosfórico. El ácido fosfórico, cuando se neutraliza con una base, como puede ser el amonio o el potasio, forma una sal o fosfato.

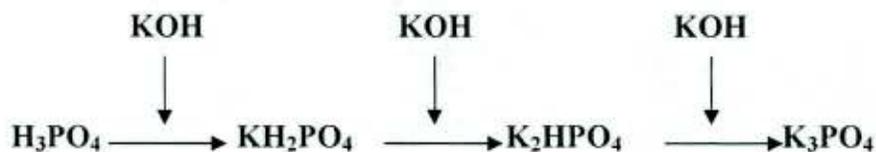
El fosfito es un átomo de fósforo combinado con tres de oxígeno (PO_3) mientras que el fosfato posee el mismo átomo de fósforo (PO_4), pero combinado con cuatro de oxígeno (<http://www.bonsaimenorca.com>).

El fosfito es muy activo en la planta, especialmente debido a que es ligeramente inestable, y tiende a reaccionar con todo, es muy soluble en agua, y es fácilmente absorbido por la planta tanto a través de las raíces como de las hojas. Por otro lado, la composición química de un fosfato es muy parecida a una roca. De hecho, los

tradicionales abonos de fósforo son manufacturados a partir de yacimientos minerales y deben ser administrados en grandes cantidades para obtener un buen resultado. La razón es porque el fosfato es muy estable. Por lo que de un modo u otro, a la planta le llega muy poca cantidad de la que aplicamos al suelo (Forster et al., 1998).



Fosfatos. Cuando el ácido fosfórico (H_3PO_4) es neutralizado con una base, como por ejemplo hidróxido potásico (KOH), se forma una sal. La sal del ácido fosfórico es un fosfato. Por ejemplo:



Fosfitos. Cuando el ácido fosforoso (H_3PO_3) es neutralizado con una base, como por ejemplo hidróxido potásico (KOH), se forma una sal. La sal del ácido fosforoso es un fosfito. Por ejemplo:



El ácido fosforoso (H_3PO_3) y su sal (fosfito) contiene concentraciones de P (39%) más altas que los fertilizantes fosfatados (32%) basados en ácido fosfórico (H_3PO_4). Las sales de fosfito son generalmente más solubles que las sales análogas de fosfato (<http://www.bonsaimenorca.com>)

El fosfato completamente oxidado es la forma más estable de P en el ambiente, por esta razón, el fosfito pasa por una transformación gradual después de adicionarse al suelo hasta formar fosfato. Los microorganismos del suelo son capaces de asimilar fosfitos y liberar fosfatos, ganando energía y nutrientes durante esta conversión biológica. Los microorganismos absorben preferentemente fosfato para su metabolismo, antes de tomar cantidades significativas de fosfito (<http://www.bonsaimenorca.com/bonsaimenorca.com/index.php/BonsaiMenorca/2008022750/Articulos/Fosfito-otatico/menu-id-82.html>).

El fósforo es un factor de crecimiento muy importante debiendo señalarse la fuerte interacción con el nitrógeno, sobre todo durante la primera fase del crecimiento. El desarrollo radicular se ve favorecido por una buena alimentación de fósforo al principio del ciclo vegetativo (Marschner, 1995).

El fósforo es muy poco móvil en el suelo ya que los iones fosfato no pueden ser extraídos por una raíz cuando entre ellos hay una distancia mayor a 2 mm. Es conveniente un abonado con abundancia de fósforo para asegurar la disponibilidad del mismo, además, con este elemento no se producen pérdidas por lavado o lixiviación (Razeto, 1993).

El fósforo influye en muchas funciones vitales de las plantas y no suplirlo en cantidades adecuadas, puede producir un síntoma invisible conocido como "hambre oculta". La deficiencia de este nutriente propicia que no se haga uso eficaz del agua, que disminuyan la calidad y la producción, que maduren muy lentamente y que sean más susceptibles por temperaturas extremas (Fersini, 1979).

El fósforo siempre ha sido uno de los nutrientes que más dificultad presenta para llegar a su destino, dentro de la planta. Aunque prácticamente todos los suelos contienen fósforo, puede que no tengan la cantidad adecuada y disponible para satisfacer las necesidades de los cultivos modernos los cuales son altamente productivos. Por eso, es necesario utilizar un fertilizante complementario, y los fosfitos son una herramienta superior que garantiza el suministro y la absorción del fósforo. Tradicionalmente, la

fuentes de fósforo más utilizadas en agricultura ha sido el ácido fosfórico, que cuando se neutraliza con una base forma una sal ó fosfato. En cambio los fosfitos se derivan del ácido fosforoso cuando se neutralizan con una base. El fosfito tiene una molécula menos de oxígeno que el fosfato, por lo que tiene un mayor grado de movilidad y solubilidad (<http://www.abocol.com/>).

El fosfito es una forma de fósforo muy eficaz y eficiente debido a que su configuración molecular es diferente a la del fosfato. Esta diferencia molecular es la que lo hace mas asimilable en la planta. La acción del fósforo en forma de ión fosfito, estimula el crecimiento y actúa sobre los mecanismos de autodefensa de las plantas, produciendo un fortalecimiento de los tejidos, fundamentalmente, en tronco, cuello y raíz (Universidad de California, 2006).

Funcionamiento de los fosfitos

El ión fosfito es un compuesto relativamente sencillo pero de una gran importancia en sanidad vegetal: Presenta un efecto fungicida frente a hongos del tipo Oomicetos y además es un excelente elemento nutritivo. Su actividad es doble: Por una parte, está implicado en activar los sistemas naturales de defensa de la planta. El ión fosfito provoca cambios en la pared celular del hongo. Asimismo, el ión fosfito penetra fácilmente en la planta y es sistémico por lo que facilita la distribución de los elementos nutrientes a los que está unido químicamente (<http://www.bonsaillevant.org>).

Movilidad de los fosfitos

Por su movilidad acrópeta y basípeta, el fosfito se diferencia de los fungicidas sistémicos ya que estos en la mayoría de los casos son solamente de acción ascendente, por esto es que a los fosfitos se les atribuye además de su acción propia, la capacidad de ser sinergizante, aportando propiedades adicionales a los productos con los que se les mezcla, ampliando la sistemia en ambos sentidos. Su modo de actuar escapa a la acción normal de los fungicidas, los fosfitos no actúan como inhibidores o destructores del

patógeno sino como un estimulante en la producción de defensas naturales contra el ataque (<http://www.argenpapa.com>).

Características de los fosfitos

Aplicaciones prácticas:

- Son 4 veces más móviles en el suelo y rápidamente asimilables y transportados.
- No inhiben el desarrollo de las micorrizas presentes en el suelo. Son más solubles en el agua.
- Suplen mayor cantidad de fósforo por unidad de volumen.
- Ayudan en la absorción foliar rápida de otros cationes K, Ca, Mg, etc. Son absorbidos por la planta dentro de las primeras 3 horas después de ser aplicados (los fosfatos tardan en promedio 36 horas).
- Mayor formación de raíces y aumento de los exudados.
- Mejoramiento de la floración y formación de frutos.
- Mayor tolerancia a heladas, encharcamientos y condiciones de estrés en la planta
- Mayor rendimiento de los cultivos.
- No forma precipitados durante el almacenamiento y transporte a diferencia de los fosfatos y polifosfatos usados comúnmente.
- Los fosfitos permiten inducir control sobre ciertas especies de hongos como *Peronospora sparsa*, *Phytophthora parasitica*, *Phytophthora infestans*, *Pythium* (Palma J, 2006).

El ácido fosforoso (H_3PO_3) y su sal (fosfito) contiene concentraciones de P (39%) más altas que los fertilizantes fosfatados (32%) basados en ácido fosfórico (H_3PO_4). Las sales de fosfito son generalmente más solubles que las sales análogas de fosfato (<http://www.bonsaimenorca.com>).

El fosfato completamente oxidado es la forma más estable de P en el ambiente, por esta razón, el fosfito pasa por una transformación gradual después de adicionarse al suelo hasta formar fosfato. Los microorganismos del suelo son capaces de asimilar

fosfitos y liberar fosfatos, ganando energía y nutrientes durante esta conversión biológica. Los microorganismos absorben preferentemente fosfato para su metabolismo, antes de tomar cantidades significativas de fosfito (<http://www.bonsaimenorca.com/bonsaimenorca.com/index.php/BonsaiMenorca/2008022750/Articulos/Fosfito-otasico/menu-id-82.html>).

El tiempo promedio para la oxidación de fosfito a fosfato en el suelo es de aproximadamente 3 a 4 meses. Sin embargo, debido a su gran solubilidad, cuando se aplica fosfito al suelo, éste es más disponible para los microorganismos y a las raíces de las plantas que el fosfato. La oxidación no biológica del fosfito ocurre gradualmente, pero en menor cantidad. Existe evidencia que el fosfito se adsorbe o fija en menor grado que el fosfato a los minerales del suelo. Esta propiedad podría usarse para mejorar la movilidad del P aplicado en banda o por medio de un emisor de goteo en el suelo. Este posible beneficio no se ha investigado en detalle. Sin embargo, se ha utilizado la mayor solubilidad en la formulación de fertilizantes basados en fosfito como fosfitos de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K). Se han realizado varios estudios para determinar la efectividad de fosfito aplicado al suelo como fuente de nutrientes para los cultivos. Los primeros trabajos con estos materiales se enfocaron en los efectos tóxicos del fosfito y ácido fosforoso cuando se usan como fuente principal de P en una variedad de cultivos (<http://www.bonsaimenorca.com>).

Fertigacion

El término fertigación se refiere a la aplicación de fertilizantes junto con el agua de riego. Este método se ha utilizado ya desde hace varios años en la agricultura con riego por gravedad y riego por aspersión portátil. La fertigación usando sistemas de riego por goteo se ha desarrollado en algunas regiones del país donde se cultivan hortalizas como el brócoli, entre muchos otros. Aun cuando también se aplica en menor proporción en cultivos como las uvas y algunos frutales los sistemas de goteo han sido muy populares en sistemas hortícolas de exportación. La característica de este método es que manejado adecuadamente nos arroja resultados superiores en cantidad y calidad de

los productos cosechados comparado con los obtenidos por el riego por gravedad. La fertigación permite altos rendimientos, un mejor uso del agua y de los nutrientes, menores pérdidas por lixiviación y aplicaciones controladas durante el desarrollo de los cultivos. Las ventajas del sistema se potencian con la utilización de fósforos solubles tal como lo es el caso particular de los fosfitos (Universidad de California, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se estableció en un módulo de riego por goteo en cinta ubicado en el campo agrícola experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, localizado en carretera Hermosillo-Bahía Kino km 21 municipio de Hermosillo, Sonora, México.

La siembra en vivero se realizó el 20 de Noviembre de 2006, para ser transplantadas el 15 de Febrero, esperándose la cosecha el mes de Mayo. El área de cultivo estuvo ocupada por un módulo a una densidad de plantación de tres plantas por metro a doble hilera y una distancia entre surcos de un metro. Esta parcela constó de 4 surcos de 20 metros de largo, dejando un surco muerto entre cada tratamiento; haciendo una superficie total del experimento de 500 metros cuadrados.

El diseño experimental fue completamente al azar, compuesto de cinco tratamientos y cuatro repeticiones, se realizó el análisis de varianza de los datos, obteniéndose también la prueba de rango múltiple de Duncan con nivel de probabilidad del 5 %. Las variable que se evaluarán serán: el peso de la cabeza de brócoli, y los días transcurridos desde el transplante asta la cosecha.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el cultivo de brócoli mediante el método de fertigación.

Tratamientos	Dosis l.ha ⁻¹	Época de aplicación
1. P-Suelo®	4 l ha ⁻¹	Siete días del transplante más tres aplicaciones cada 15 días.
2. Magnum®	3 l ha ⁻¹	Siete días del transplante más tres aplicaciones cada 15 días
3. Orofos®	3 l ha ⁻¹	Siete días del transplante más tres aplicaciones cada 15 días
4. Cytophite®	3 l ha ⁻¹	Siete días del transplante más tres aplicaciones cada 15 días
5. Testigo		Siete días del transplante más tres aplicaciones cada 15 días

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se indica en el cuadro 1 y de acuerdo al Análisis de Varianza, y con la prueba de rango múltiple de Duncan con nivel de probabilidad del 5% la producción total en $t\ ha^{-1}$ en el cultivo de brócoli indicó que hubo diferencias significativas entre el tratamiento P-suelo $4\ l\ ha^{-1}$ con el resto de los tratamientos dando una producción de $5.8\ t\ ha^{-1}$.

El tratamiento Nutri-phite Magnum $3\ l\ ha^{-1}$ resultó también significativamente diferente a todos los tratamientos y fue el segundo mejor con $5.1\ t\ ha^{-1}$.

En cuanto a los tratamientos Orofos P+K $3\ l\ ha^{-1}$ y Cytophite $3\ l\ o\ ha^{-1}$ resultaron estadísticamente iguales con $4.6\ t\ ha^{-1}$ para Orofos y $4.4\ t\ ha^{-1}$ para Cytophite, a su vez el tratamiento Cytophite resultó ser estadísticamente igual al testigo que tuvo un rendimiento de $4.0\ t\ ha^{-1}$.

Los días de trasplante a cosecha fueron 83, y el número de cortes totales fueron cinco, siendo el primero el día seis de Febrero de 2007.

En la parcela experimental donde se aplicó el tratamiento P-suelo $4\ l\ o\ ha^{-1}$ se observó que hubo un mejor desarrollo de la planta y fue donde se inició primero la cosecha con cinco días de diferencia con respecto a los demás tratamientos.

En este trabajo se utilizó una nutrición complementaria a base de fosfitos que resultaron muy importantes ya que mejoran el transporte de los demás nutrientes esenciales para la planta, como lo menciona Mendoza, (2000).

Cuadro 2. Rendimiento en t o ha⁻¹ en el cultivo de Brócoli (*Brassica oleraceae* L.) utilizando el método de fertigación con fosfitos en la Costa de Hermosillo.

Tratamiento	Producto	Rendimiento t o ha ⁻¹	Duncan* $\alpha = 0,05$
T1	Nutri-phite P-suelo	58.1	a
T2	Nutri-phite Magnum	51.5	b
T3	Orofos P + K	46.1	c
T4	Cytophite	44.4	c d
T5	Testigo sin aplicar	40.6	d

*medias con la misma letra son consideradas estadísticamente diferentes

CONCLUSIONES

1. La aplicación de fosfitos mediante el método de fertirrigación presenta grandes ventajas como fácil aplicación, ahorro de agua y mano de obra.
2. Aplicar fósforo en forma de ión fosfito resulta ser más móvil en el suelo haciéndolo más asimilable, estimulando el metabolismo de la planta acortando los días a cosecha.

LITERATURA CITADA

- Cadahia, L.C. 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. 475p.
- Camou W., F. 1986. Evaluación de 10 variedades de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Itálica*) en una fecha temprana de establecimiento bajo las condiciones ambientales de la Costa de Hermosillo, en el municipio de Hermosillo, Sonora México.
- Choucair, K. 1965. Huertas y Hortalizas. Editorial Bedut. Medellín, Colombia. Pag. 145, 204, 211 y 213.
- Domínguez, V.A. 1978. Abonos minerales, ministerio de agricultura. Madrid, España. Pag. 361, 364 y 421.
- Fersini, A. 1979. Horticultura práctica. 2nd. Ed. Editorial Diana. México. Pag. 279, 280 y 527.
- Forster, H., J.E. Adaskaveg, D.H. Kim y M.E. Stanghellini. 1998. Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown rot in hydroponic culture. *Plant Disease* 82:1165-1170.
- Greenwood, D.J. 1981. Crop response to agronomic practice. In: Rose, D.A. and Charles-Eduards, D.A. (Eds.). *Mathematics and Plant Physiology*. Academic Press, London, pp. 195-216
- Hatch, R. 1983. El brócoli en la costa de Hermosillo, Sonora. *Agropecuario*. Hermosillo, Sonora, México. No. 1:6.
- McDonald, A.E., B.R. Grant, y W.C. Plaxton. 2001. Phosphite: Its relevance in agriculture and influence on the plant phosphate starvation response. *Recent research development in plant physiology* 2:49-56.
- Manual para Educación Agropecuaria. 1994. Elaboración de frutas y hortalizas. Editorial Trillas, México. Vol. 25. P 43; 115.

- Manual para Educación Agropecuaria. 1994. Horticultura. Editorial Trillas. México. Vol. 25. P 63; 112.
- Marschner, H. 1998. Mineral nutrition of higher plants. 2ed Academic press. 889 p.
- Mendoza, H. 2000. Fundamentos de fertirriego: química de los fertilizantes y dinámica de los nutrientes en el bulbo de riego. Fertirrigación y control en frutales y viñas. Primer Simposium Internacional-Bioamerica. 24 p. donde?
- Mendoza, H. 2003. Fertirrigación en frutales. Octavo Seminario Internacional de Fertirriego organizado por SQM-México, Manzanillo, México.
- Lauer, D.A. 1988. Vertical Distribution in soil of Sprinkler-Applied Phosphorus. Soil Science Society of America Journal. 52:862-868.
- Orovic, V., P.J.Syvertsen, D. Bright, D.L.Van Clief, y J.H. Graham. 2008. Citrus seedling growth and susceptibility to root rot as affected by phosphate. Journal of plant nutrition 31(4):774-787.
- Palma J. 2003. Detección-seguimiento y control de soluciones nutritivas en tres variedades de uva de mesa de exportación. Segundo Seminario Internacional de Fertirriego, Santiago de Chile.
- Palma J. 2006. Estrategia de fertilización en vid de mesa. Diseños y monitorización Tercer Seminario Internacional de Fertirrigación organizado por Soquimich Comercial. Hotel Marriot, Santiago de Chile.
- Raunshkolb, R.S., D.E. Rolston, R.J. Miller, A.B. Carlton, and R.G. Burau. 1976. phosphorus Fertilizer whith Drip irrigation. Soil Science Society of America Journal.
- Razeto, B. 1993. La Nutrición Mineral de los Frutales. Deficiencias y excesos.Publicación SQMC.Chile. Edición Diseño y Producción EVES S.A. 105 p.
- Smillie, R., B.R. Grant y D. Guest. 1989. The mode of action of phosphate: Evidence for both direct and indirect modes of action on three phythophthora spp. In plants. Phytopathology 79(9):921-926.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. "Soil fertility and Fertilizers." Fourth Edition. Mac Millan Publishing Company, New York, N. Y.