

**PROHEXADIONA DE CALCIO Y ACIDO GIBERELICO ESTIMULAN EL
RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE TUBERCULOS PARA SIEMBRA.**

SERGIO MUNDO CANDELARIO

TESIS

Presentada como requisito parcial para

Obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

EN HORTICULTURA



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2008

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**PROHEXADIONA DE CALCIO Y ACIDO GIBERELICO ESTIMULAN EL
RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE TUBERCULOS PARA SIEMBRA.**

TESIS POR:

SERGIO MUNDO CANDELARIO

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada
como requisito parcial, para optar al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:

Dr. Homero Ramírez Rodríguez.

Asesor:

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor:

Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Director de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Diciembre de 2008

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por permitirme lograr mis sueños, y darme el mejor regalo en la vida: a mi familia.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por abrirme una vez mas sus puertas y darme la oportunidad de continuar preparándome profesionalmente.

Al **Dr. Homero Ramírez Rodríguez**, por el valioso tiempo, por enseñarme a corregir mis errores y a valorar mis aciertos en mi actividad académica y de investigación, por las sugerencias y recomendaciones. Pero sobre todo mi sincero agradecimiento por la confianza depositada en mí.

A la Dra. **Rosalinda Mendoza Villarreal**, por su asesoría y apoyo en la realización de mi trabajo de investigación.

Al **Dr. Adalberto Benavides Mendoza**, por sus sugerencias, por el apoyo brindado en esta investigación y por el entusiasmo con que transmite sus conocimientos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) gracias, por el apoyo brindado en esta etapa de mi vida profesional.

A la Lic. **Laura Olivia Fuentes Lara**, por el apoyo brindado en el laboratorio y amabilidad.

Al T.L.Q. **Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel**, por su apoyo y consejos en la realización de los análisis de laboratorio.

Al **Dr. Victor Zamora Villa**, por su apoyo y consejos en la realización de la tesis.

A todas las personas que me apoyaron siempre y me dieron una palabra de aliento para seguir adelante muchas gracias.

DEDICATORIA

A MIS HIJAS

Angélica María y Mayra Guadalupe Mundo Bacarrillo

Por lo que me enseñan a diario ya que son el principal motivo de todos mis esfuerzos y deseos de superación

MI ESPOSA

Maria Guadalupe *A una gran persona que ha sabido entender y comprender cada uno de mis errores, valorando mis derrotas y triunfos, por su cariño, sonrisa, comprensión y ternura, por ser una mujer admirable e inteligente por lo cual la respeto, la quiero y la amo mucho.*

A MIS PADRES:

Juan Mundo Mireles

Silvia Candelario Gómez

Con todo respeto y admiración, por su paciencia conmigo y porque me han enseñado a salir siempre adelante sin importar la adversidad y siempre están ahí para apoyarme. Gracias

A MIS HERMANOS:

Juan Manuel, Eduardo, Luis Alberto, José Arturo, Mayra Alejandra, Ernesto.

Gracias por su apoyo.

FAMILIA BACARRILLO RANGEL.

Gracias por su incondicional apoyo, ya que me han aceptado como un integrante más de la familia, por lo que yo les considero también mi familia.

COMPENDIO

**PROHEXADIONA DE CALCIO Y ACIDO GIBERELICO ESTIMULAN EL
RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE TUBERCULOS PARA SIEMBRA.**

POR

SERGIO MUNDO CANDELARIO

MAESTRIA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Diciembre 2008

Dr. Homero Ramírez Rodríguez - Asesor.

PALABRAS CLAVE: tubérculo, papa, prohexadiona de calcio, acido giberelico

En Coahuila y Nuevo León la superficie dedicada a la producción de papa en años recientes ha disminuido debido principalmente a la escasez de tubérculo de calidad para enfrentar adversidades en campo. En este trabajo se investigó la influencia de prohexadiona de calcio (P-Ca) y ácido giberélico (AG₃) en la producción, rendimiento y calidad de tubérculos para fines de siembra. La variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Gigant fue tratada en su fase de tubérculo y/o en planta con diferentes dosis de P-Ca (0, 50, 100 y 150 mg·litro⁻¹) y AG₃ (0, 5, 10, 15 y 50 mg·litro⁻¹). Los resultados indican que los tratamientos AG₃ 15 mg·litro⁻¹ y P-Ca 100 mg·litro⁻¹ + AG₃ 10 mg·litro⁻¹ aplicados al tubérculo; así como P-Ca 100 mg·litro⁻¹ + AG₃ 50 mg·litro⁻¹ asperjados a la planta estimularon un aumento significativo ($P \leq 0.05$) en el número de tubérculos por planta. El rendimiento por planta se incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) con los tratamientos a tubérculo y foliar de AG₃ 5 mg·litro⁻¹, P-Ca 50 mg·litro⁻¹ + AG₃ 5 mg·litro⁻¹ y P-Ca 100 mg·litro⁻¹ + AG₃ 10 mg·litro⁻¹. La aplicación foliar de P-Ca a 100 mg·litro⁻¹ provocó un aumento significativo en el contenido de azúcares totales y almidón en tubérculos. El contenido de proteína en tubérculo aumentó con los tratamientos P-Ca 150 mg·litro⁻¹ y AG₃ 15 mg·litro⁻¹ al tubérculo; así como P-Ca 50 mg·litro⁻¹ aplicado en ambas etapas. El nivel de grasa se incrementó en los tratamientos de AG₃ 15 mg·litro⁻¹ al tubérculo, AG₃ 50 mg·litro⁻¹ y P-Ca 100 mg·litro⁻¹ + AG₃ 50 mg·litro⁻¹ foliar. El contenido de fenoles en tubérculos mostró aumento significativo en los tratamientos tubérculo y foliar con AG₃ 10 mg·litro⁻¹ y P-Ca 50 mg·litro⁻¹ + AG₃ 5 mg·litro⁻¹; así como la aplicación foliar de AG₃ 50 mg·litro⁻¹.

ABSTRACT

**PROHEXADIONE CALCIUM AND GIBBERELIC ACID IMPROVE YIELD
AND QUALITY OF TUBERS FOR SEEDING**

BY

SERGIO MUNDO CANDELARIO

MASTER AND CIENCS AND HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Decembe 2008

Dr. Homero Ramírez Rodríguez - Adviser -

KEY WORDS: tuber, potato, prohexadione calcium, gibberellic acid.

In recent years Coahuila and Nuevo Leon states have reduced the surface devoted to potato production as a result of lack in high quality tubers which can not met environmental adverse condition during crop field growing. In this work id was studied the influence of prohexadione calcium (P-Ca) and gibberellic acid

(GA₃) on yield, production and quality of tubers for seeding purposes. The potato (*Solanum tuberosum* L.) Gigant variety was treated at tuber and/or plant stages with P-Ca (0, 50, 100, and 150 mg·liter⁻¹) and GA₃ (0, 5, 10, 15 and 50 mg·liter⁻¹). The results indicate that treatments with GA₃ 15 mg·liter⁻¹ and P-Ca 100 mg·liter⁻¹ + GA₃ 10 mg·liter⁻¹ applied to tubers; as well as P-Ca 100 mg·liter⁻¹ + GA₃ 50 mg·liter⁻¹ sprayed to plant, significantly increased the plant's tuber number. Plant yield was also increased ($P \leq 0.05$) with tuber and foliar applications of GA₃ 5 mg·liter⁻¹, P-Ca 50 mg·liter⁻¹ + GA₃ 5 mg·liter⁻¹ and P-Ca 100 mg·liter⁻¹ + GA₃ 10 mg·liter⁻¹. The foliar treatment with P-Ca 100 mg·liter⁻¹ has provoked a significant increase in total sugars and starch content in tubers. The amount of protein in these organs was also increased with P-Ca 150 mg·liter⁻¹ and GA₃ 15 mg·liter⁻¹ when applied to tubers; as well as with P-Ca 50 mg·liter⁻¹ applied in both stages. Tuber fat was higher in tuber application with GA₃ 15 mg·liter⁻¹ and GA₃ 50 mg·liter⁻¹. Same effect was observed with foliar application of P-Ca 100 mg·liter⁻¹ + GA₃ 50 mg·liter⁻¹. The increment in content of phenols was observed in tuber and foliar application of GA₃ 10 mg·liter⁻¹ and P-Ca 50 mg·liter⁻¹ + GA₃ 5 mg·liter⁻¹. Similar behaviour resulted with foliar treatment of GA₃ 50 mg·liter⁻¹.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	
Generalidades del cultivo de papa	4
Descripción del cultivo	4
Requerimientos edafoclimáticos	6
Características del tubérculo de papa	7
Biorreguladores de crecimiento	9
Retardantes de crecimiento	9
Prohexadiona de calcio	9
Acido giberélico	11
ARTÍCULO	13
Resumen	13
Materiales y Métodos	18
Resultados	23
CONCLUSIÓN	37
LITERATURA CITADA	38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Número de tubérculos-semilla como efecto de la aplicación de P-Ca y AG ₃ a diferentes dosis (mg·litro ⁻¹) y vías de aplicación	24
Figura 2. Rendimiento por planta como efecto de la aplicación de P-Ca y AG ₃ a diferentes dosis (mg·litro ⁻¹) y vías de aplicación	25
Figura 3. Contenido de azúcares totales como efecto de la aplicación de P-Ca y AG ₃ a diferentes dosis (mg·litro ⁻¹) y vías de aplicación	27
Figura 4. Contenido de almidón como efecto de la aplicación de P-Ca y AG ₃ a diferentes dosis (mg·litro ⁻¹) y vías de aplicación	28
Figura 5. Contenido de proteína como efecto de la aplicación de P-Ca y AG ₃ a diferentes dosis (mg·litro ⁻¹) y vías de aplicación	29
Figura 6. Contenido de grasa en 5gr de peso fresco como efecto de la aplicación de P-Ca y AG ₃ a diferentes dosis (mg·litro ⁻¹) y vías de aplicación	29
Figura 7. Concentración de fenoles en 1gr de peso seco como efecto de la aplicación de P-Ca y AG ₃ a diferentes dosis (mg·litro ⁻¹) y vías de aplicación	30

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.), en la mayoría de los países se siembra en superficies extensas, y por el volumen de producción, ocupa el cuarto lugar a nivel mundial, después del arroz, trigo y maíz. En México la importancia socioeconómica del cultivo, radica en el uso de mano de obra rural, ya que para realizar las diversas labores se ocupan en promedio 120 jornales por hectárea. Aunque este cultivo requiere de alta inversión para su establecimiento y conducción, también ha manifestado ser rentable. A nivel comercial, la papa se propaga vegetativamente por medio del tubérculo al cual se le da el nombre genérico de semilla; esto permite mantener su constitución genética inalterable, sin embargo, existen otras formas de propagación por medio de semilla sexual o, por partes vegetativas como esquejes, brotes y meristemas (Macias Valdez, 2006).

Actualmente este cultivo ha presentado una serie de problemas en cuanto a la producción de semilla de papa ya que cada productor produce y selecciona su propia semilla. En la actualidad la superficie dedicada a la producción de semilla (tubérculo) ha disminuido debido al ataque de plagas y enfermedades lo que ha provocado que esta superficie quede cuarentenada a la siembra de semilla por lo que el productor ha buscado producir un mayor número de tubérculos calibre (semilla) en menor superficie, con nuevos métodos de

producción. En base a lo anterior, en la actualidad, las hormonas vegetales o biorreguladores ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción hortícola. Estas sustancias son únicas en su característica de ser absorbidas por el tejido vegetal y transportadas a un sitio de reacción antes de inducir un efecto deseado (Ramírez, 2003).

Los retardantes de crecimiento de las plantas reducen la división y elongación celular en tejidos de brotes, regulando de esta forma la altura de las plantas, de manera fisiológica, sin provocar malformaciones en las hojas o los tallos (Rademacher *et.al.*, 1998).

Prohexadiona de Calcio (P-Ca) es un retardante del crecimiento que presenta perspectivas interesantes. Este biorregulador actúa inhibiendo la biosíntesis de giberelinas sin toxicidad y persistencia limitada (Fallahi, 1999 y Evans *et al*, 1993).

Actualmente no se han hecho trabajos con este producto en el cultivo de papa, pero se ha utilizado en frutales y algunas hortalizas con excelentes resultados

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es investigar la influencia de P-Ca y AG_3 en la formación y rendimiento de tubérculos, así como su calidad para fines de siembra.

Modificar la producción y calidad de tubérculos con la aplicación P-Ca.

HIPÓTESIS

La prohexadiona de calcio estimula mayor producción de tubérculos por planta así como mejora su calidad.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Cultivo de Papa

La importancia de la Papa radica en su alto valor nutritivo, en la superficie sembrada y en la gran demanda de mano de obra que necesita durante todo su desarrollo agrícola. En México se registran alrededor de 49 especies hortícolas que se producen a nivel comercial. Debido a la gran diversidad de microclimas y tipos de suelos que se tienen en nuestro país favorable para la producción de hortalizas es posible obtener estos productos todo el año particularmente cultivos como la papa, tomate, cebolla y chile, los cuales son productos de mayor consumo a nivel nacional. De los 12 principales productos hortícolas, de la Papa se cosechan 1.21 millones de toneladas lo que representa el 11 % total de las hortalizas, solo por debajo del tomate con un 13 % (Siller 2000).

Descripción del Cultivo

Parte subterránea: Morfológicamente el tubérculo es un tallo subterráneo, acortado engrosado y provisto de yemas u ojos en las axilas de sus hojas escamosas. En cada ojo, existen normalmente 3 yemas, aunque en ocasiones pueden ser más. Una yema es, en consecuencia, una rama lateral del tallo subterráneo con entrenudos no desarrollados y todo el tubérculo un sistema

morfológico ramificado y no una simple rama. Los ojos se concentran con mayor frecuencia hacia el extremo distal (corona o roseta), siendo a la vez más profundos en esta región. Las yemas de esta región normalmente se desarrollan primero. Cuando la yema apical es removida o muerta, otras yemas son estimuladas a desarrollarse. Cada ojo es capaz de producir un infinito número de brotes, dependiendo del tamaño del tubérculo y de la reserva de hidratos de carbono.

Parte aérea:

Consta de un número variable de tallos principales, primero erguidos pero que, con la edad pueden permanecer verticales o llegar a ser parcial o totalmente rastreros, dando a la planta un porte más o menos extendido. El tallo es débil, pubescente o glabro de 30 a 90 cm. de largo. Las hojas son imparipinadas, miden de 10 a 25 cm. de largo, con 3 o 4 pares de folíolos enteros, agudos, ovados, con otros folíolos pequeños entre ellos. La flor se presenta en una inflorescencia cimosa; es pentámera, con los sépalos y pétalos unidos en la base; es blanca o azulada de 2.5 a 3.7 cm. de diámetro; la corola es rotada, los lóbulos del cáliz son lineal-lanceolados, miden casi un tercio de la longitud de la corola; tiene 5 estambres insertos en la entrada del tubo de la corola; las anteras son connatas en el cono alrededor del pistilo y la mayoría abriéndose en el ápice. El ovario es bicelular, multiovulado y el estigma es pequeño. El fruto es una baya bicelular o tricelular, de forma globular; mide aproximadamente 1.8 cm. de diámetro y es de color amarillo o verde.

Requerimientos edafoclimáticos

Durante su crecimiento la papa requiere de una variación en la temperatura ambiental. Es una planta semiresistente al frío, pero no tolera heladas. Se desarrolla desde alturas de 500 hasta de 3000 msnm. Se trata de una planta de clima templado-frío, siendo las temperaturas más favorables para su cultivo las que están el rango de 13 y 18°C. Al efectuar la plantación, la temperatura del suelo debe ser superior a los 7°C, con unas temperaturas nocturnas relativamente frescas. El cultivo prefiere los suelos ligeros o semiligeros, silíceo-arcillosos, ricos en humus y con un subsuelo profundo. Soporta el pH ácido entre 5 a 5.7 con un mínimo de materia orgánica de 2 %, ya que estos incrementan el rendimiento del cultivo, el contenido de carbonatos totales debe ser bajo y sin exceso de sales de sodio (Montaldo, 1984; Narro, 1980).

Las hormonas juegan un rol crucial en la comunicación de las señales entre los órganos de las plantas. Una gran cantidad de investigaciones se han llevado a cabo para descubrir la naturaleza de las señales internas de la planta que resultan en el inicio y mantenimiento del proceso de tuberización. Estas señales a través de hormonas son provocadas por estímulos del medio ambiente, al cual la planta se adapta.

Literatura reciente cita nuevas clases de sustancias de crecimiento que están solamente presente en plantas de papa inducidas y han probado ser activas como inductoras de la tuberización. Sin embargo, entre las muchas hormonas candidatas a regular la formación de tubérculos las giberelinas ocupan un lugar prominente (Aldabe y Dogliotti , 2007)

Características del Tubérculo de Papa

Dentro de los componentes nutritivos el que se encuentra en mayor nivel es el agua que constituye en torno al 80% del total. Le siguen los carbohidratos que constituyen el 16-20% entre los que hay que destacar el grupo de los almidones que son polisacáridos complejos que se absorben como glucosa previa hidrólisis enzimática. La fibra alimentaria representa 1-2% del total de la papa y se encuentra preferentemente en la piel. La concentración de azúcares sencillos es baja (0,10,7%) siendo los más importantes la glucosa, fructosa y sacarosa. Es importante controlar la concentración de azúcares de la papa con objeto de prevenir las reacciones de pardeamiento no enzimático o reacciones de Maillard. Este tipo de reacciones indeseables puede aparecer cuando se alcanzan concentraciones del 2% de azúcares reductores. La cantidad de azúcares de la papa está afectada por tres tipos de reacciones: Para ello es fundamental controlar la temperatura de almacenamiento. Si se reducen las temperaturas de almacenamiento para evitar la germinación por debajo de 10°C se reducen las velocidades de las reacciones de forma desigual generándose tubérculos dulces y con una mala textura. Si se mantienen las temperaturas entre 15-20°C se produce disminución del contenido de azúcares. Las proteínas son el nutriente más abundante después de los carbohidratos constituyendo el 2% del total asentándose mayoritariamente en el cortex (zona inmediatamente debajo de la piel) y la médula (zona central). Destacan las albúminas (49%) y globulinas (26%) como las fracciones proteicas más abundantes seguidas de prolaminas (4,3%) y glutelinas (8,3%). Asimismo destaca la presencia de gran cantidad de enzimas y aminoácidos libres cuyas

concentraciones dependen de la forma de cultivo y almacenamiento. Los lípidos no tienen importancia desde un punto de vista cuantitativo (0,1%) y se encuentran mayoritariamente en la piel. Existe gran cantidad de vitaminas hidrosolubles tales como la vitamina C y algunas del complejo B. También la papa es rica en minerales, los cuales constituyen el 1% del total de la papa, destacando el potasio como elemento mayoritario. En lo que se refiere a los componentes no nutritivos resaltan los pigmentos que son carotenoides responsables del color de la papa de color y las clorofilas que se pueden hacer patentes en el caso de papas expuestas al sol. Además existen ácidos orgánicos tales como cítrico, oxálico, fumárico y málico que, además de regular la acidez de la savia de la papa, contribuyen al aroma y sabor. Existen algunos glicósidos tóxicos siendo el más importante la solanina constituida por el alcaloide solanidina que se encuentra unido a sendas moléculas de glucosa, galactosa y ramnosa. La concentración en condiciones normales es de 50-100 mg/100g, pero cuando las papas se exponen al sol se pueden alcanzar concentraciones tóxicas (≈ 200 mg/100g). La solanina se concentra en la piel y brotes y también en el córtex de la papa por lo tanto, un pelado generoso es una alternativa interesante para prevenir la intoxicación aunque, como contrapartida, se eliminan una parte importante de los nutrientes y fibra. Además, el calentamiento que se realiza durante los diferentes procesos culinarios hidroliza parcialmente estos alcaloides inactivando su acción tóxica. (Siller 2000)

Biorreguladores de Crecimiento

Los biorreguladores auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico y etileno son sustancias que tienen funciones decisivas en diferentes procesos o etapas de las plantas. El medio ambiente juega también un papel muy importante ya que puede modificar el desarrollo de las mismas (Weaver, 1996). Normalmente sus efectos están regulados por los mecanismos internos que tienen las plantas. Estas hormonas son sintetizadas en muy bajas concentraciones en los cloroplastos y se translocan a otras regiones de la planta en donde modifican su crecimiento y desarrollo (Yáñez, 2002).

Retardantes de Crecimiento

Los retardantes de crecimiento en las plantas reducen la división y elongación celular de los brotes, regulando de esta forma la altura de las plantas de manera fisiológica, sin provocar malformaciones en las hojas o los tallos (Weaver, 1996). Owens y Stover (1999), reportaron que otros productos como Daminozida y Cloromequat también inhiben el crecimiento vegetal pero presentan una persistencia en el tejido vegetal comestible con efectos toxicológicos al ser humano y por lo tanto tienen restricciones de uso agrícola.

Prohexadiona de Calcio

BAS 125W es el código experimental del regulador de crecimiento prohexadiona de calcio. Su nombre químico sistemático se identifica como: calcio 3-oxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexano-carboxilato. Otros códigos de este ingrediente activo son BX-112, KIM 112, y BAS 9054. El ingrediente activo

de prohexadiona de calcio es una patente de Kumiai Chemical Industry CO, el cual fue registrado con uso en arroz (*Oryza sativa* L.) en Japón. En Estados Unidos se registro para usarse en manzano (*Malus x domestica* Borkh.) y cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). En los países Europeos se registró como BASF AG para uso en granos pequeños y manzanos (Rademacher, 1993). La aplicación foliar de prohexadiona de calcio en un rango de 125 a 250 mg·Litro⁻¹ origina un control efectivo del crecimiento vegetativo en los brotes de manzanos. El vigor vegetativo está influenciado por numerosos factores incluyendo la carga de fruta, variedades, porta injerto, edad, poda y sistema de formación. La aplicación de P-Ca en los brotes nuevos se recomienda cuando estos alcanzan de 5-10 cm de crecimiento nuevo (Ramírez, 2003; Costa *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2005).

Modo de acción.

La prohexadiona de calcio inhibe la biosíntesis de las giberelinas A1, A4 y A7 reduciendo con esto los brotes de crecimiento. La estructura de prohexadiona de calcio es similar al ácido 2-oxoglutamico, el cual es un co-sustrato de la diogenasa, responsable de catalizar las hidroxilaciones involucradas en la biosíntesis de esas hormonas (Nakayama *et al.*, 1990; Nakayama *et al.*, 1992). El efecto de P-Ca es la hidroxilación de 3 β , y como consecuencia de ello, el reducir los niveles de AG1 (altamente activo) causando una acumulación inmediata del precursor AG20 (inactivo) (Rademacher, 1993). Las diogenasas relacionadas con el metabolismo de los flavonoides pueden afectar algunos límites y compuestos relacionados (Evans *et al.*, 1999).

Metabolismo.

La degradación de P-Ca en plantas superiores ocurre en pocas semanas, después de la asimilación y del rompimiento de su anillo. Se convierte en propano-1,2,3- tricarboxílico (ácido tricarboxílico), el cual se incorpora al metabolismo de la planta (Evans *et al.*, 1999). En el suelo, primero se descompone en CO₂ con una vida promedio de siete días. En el agua, la PCa se degrada por fotólisis a bióxido de carbono y otros productos naturales. En mamíferos, P-Ca es rápidamente absorbido y excretado, (Evans *et al.*, 1999).

Absorción y Translocación.

La prohexadiona de calcio es absorbido en manzana por el follaje, requiriendo un máximo de ocho horas. Esta hormona es translocada en forma acropetala a los puntos de crecimiento de los brotes individuales. El movimiento basipetalo es mínimo ya que típicamente los brotes tratados son los afectados. P-Ca no persiste en la planta; tampoco afecta el crecimiento de la siguiente temporada (Evans *et al.*, 1999).

Acido giberélico:

Las giberelinas son una familia de compuestos terpenoides los cuales regulan muchos aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas, se incluye la germinación de la semilla, elongación del tallo y peciolo, expansión foliar, floración, crecimiento de semillas y fruto (Weaver, 1996).

De las 121 giberelinas que han sido identificadas en plantas y hongos, relativamente pocas son consideradas que poseen actividad biológica intrínseca, las giberelinas bioactivas mas importantes para el crecimiento vegetativo y desarrollo probablente son AG₁ y AG₄, las cuales difieren en la

presencia o ausencia, respectivamente, de un grupo hidroxil en C-13 (Hedden, 1999).

Inducción en la formación de Tubérculos: Hay informes, aunque poco consistentes, de aumento en el rendimiento por aplicación de GA a la planta y en ocasiones, se ha tenido aumento en el número de Tubérculos pero descenso en su peso total. Rojas Garcidueñas *et al*, (1985) encontraron aumentos en el rendimiento al aplicar activol (GA) a la semilla y a la planta, lo mismo que Biozyme (GA + otras fracciones activas); tales aumentos fueron significativos cuando se aplico a la semilla, pero no significativos cuando la aplicación fue solo foliar. En general la aplicación de GA a la planta estimula el desarrollo de la parte aérea pero los efectos en el rendimiento son inconsistentes (Stallknecht, 1983).

PROHEXADIONA- CA Y ACIDO GIBERELICO ESTIMULAN EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE TUBERCULOS PARA SIEMBRA

H. Ramírez¹; S. Mundo Candelario¹; A. Benavides Mendoza¹; J. H. Rancaño Arrijoja¹

¹Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Correo-e: homeror@terra.com.mx (Autor responsable).

RESUMEN

En Coahuila y Nuevo León la superficie dedicada a la producción de papa en años recientes ha disminuido debido principalmente a la escasez de tubérculo de calidad para enfrentar adversidades en campo. En este trabajo se investigo la influencia de prohexadiona de calcio (P-Ca) y ácido giberelico (AG₃) en la producción, rendimiento y calidad de tubérculos para fines de siembra. La variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Gigant fue tratada en su fase de tubérculo y/o en planta con diferentes dosis de P-Ca (0, 50, 100 y 150 mg·litro⁻¹) y AG₃ (0, 5, 10, 15 y 50 mg·litro⁻¹). Los resultados indican que los tratamientos AG₃ 15 mg·litro⁻¹ y P-Ca 100 mg·litro⁻¹ + AG₃ 10 mg·litro⁻¹ aplicados al tubérculo; así como P-Ca 100 mg·litro⁻¹ + AG₃ 50 mg·litro⁻¹ asperjados a la planta estimularon un aumento significativo ($P \leq 0.05$) en el número de tubérculos por planta. El rendimiento por planta se incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) con los tratamientos a tubérculo y foliar de AG₃ 5 mg·litro⁻¹, P-Ca 50 mg·litro⁻¹ + AG₃

5 mg·litro⁻¹ y P-Ca 100 mg·litro⁻¹ + AG₃10 mg·litro⁻¹. La aplicación foliar de P-Ca a 100 mg·litro⁻¹ provocó un aumento significativo en el contenido de azúcares totales y almidón en tubérculos. El contenido de proteína en tubérculo aumentó con los tratamientos P-Ca 150 mg·litro⁻¹ y AG₃ 15 mg·litro⁻¹ al tubérculo; así como P-Ca 50 mg·litro⁻¹ aplicado en ambas etapas. El nivel de grasa se incrementó en los tratamientos de AG₃ 15 mg·litro⁻¹ al tubérculo, AG₃ 50 mg·litro⁻¹ y P-Ca 100 mg·litro⁻¹ + AG₃ 50 mg·litro⁻¹ foliar. El contenido de fenoles en tubérculos mostró aumento significativo en los tratamientos tubérculo y foliar con AG₃ 10 mg·litro⁻¹ y P-Ca 50 mg·litro⁻¹+ AG₃ 5 mg·litro⁻¹; así como la aplicación foliar de AG₃ 50 mg·litro⁻¹.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: tubérculo, papa, prohexadiona de calcio, ácido giberélico

PROHEXADIONE CALCIUM AND GIBBERELIC ACID IMPROVE YIELD AND QUALITY OF TUBERS FOR SEEDING

SUMMARY

In recent years Coahuila and Nuevo Leon states have reduced the surface devoted to potato production as a result of lack in high quality tubers which can not met environmental adverse condition during crop field growing. In this work it was studied the influence of prohexadione calcium (P-Ca) and gibberellic acid (GA₃) on yield, production and quality of tubers for seeding purposes. The potato (*Solanum tuberosum* L.) Gigant variety was treated at tuber and/or plant

stages with P-Ca (0, 50, 100, and 150 mg·liter⁻¹) and GA₃ (0, 5, 10, 15 and 50 mg·liter⁻¹). The results indicate that treatments with GA₃ 15 mg·liter⁻¹ and P-Ca 100 mg·liter⁻¹ + GA₃ 10 mg·liter⁻¹ applied to tubers; as well as P-Ca 100 mg·liter⁻¹ + GA₃ 50 mg·liter⁻¹ sprayed to plant, significantly increased the plant's tuber number. Plant yield was also increased ($P \leq 0.05$) with tuber and foliar applications of GA₃ 5 mg·liter⁻¹, P-Ca 50 mg·liter⁻¹ + GA₃ 5 mg·liter⁻¹ and P-Ca 100 mg·liter⁻¹ + GA₃ 10 mg·liter⁻¹. The foliar treatment with P-Ca 100 mg·liter⁻¹ has provoked a significant increase in total sugars and starch content in tubers. The amount of protein in these organs was also increased with P-Ca 150 mg·liter⁻¹ and GA₃ 15 mg·liter⁻¹ when applied to tubers; as well as with P-Ca 50 mg·liter⁻¹ applied in both stages. Tuber fat was higher in tuber application with GA₃ 15 mg·liter⁻¹ and GA₃ 50 mg·liter⁻¹. Same effect was observed with foliar application of P-Ca 100 mg·liter⁻¹ + GA₃ 50 mg·liter⁻¹. The increment in content of phenols was observed in tuber and foliar application of GA₃ 10 mg·liter⁻¹ and P-Ca 50 mg·liter⁻¹ + GA₃ 5 mg·liter⁻¹. Similar behaviour resulted with foliar treatment of GA₃ 50 mg·liter⁻¹.

ADDITIONAL KEY WORDS: tuber, potato, prohexadione calcium, gibberellic acid

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) en la mayoría de los países se siembra en superficies extensas, y de acuerdo al volumen de producción, ocupa el cuarto lugar a nivel mundial, después del arroz, trigo y maíz. En México la importancia socioeconómica del cultivo, radica en el uso de mano de obra rural, ya que para realizar las diversas labores se ocupan en promedio 120 jornales por hectárea. Aunque este cultivo requiere de alta inversión para su establecimiento y conducción, también ha manifestado ser rentable. A nivel comercial, la papa se propaga vegetativamente por medio del tubérculo al cual se le da el nombre comercial de “semilla”; esto permite mantener su constitución genética inalterable, sin embargo, existen otras formas de propagación por medio de semilla sexual o, por partes vegetativas como esquejes, brotes y meristemas (Macias Valdez, 2006).

Actualmente este cultivo presenta una serie de problemas relacionados a la producción de tubérculos ya que el agricultor produce y selecciona su propia semilla. En la actualidad la superficie dedicada a la producción de tubérculo ha disminuido debido al ataque de plagas y enfermedades, lo que ha provocado que esta superficie quede cuarentenada a la siembra de semilla de papa, con esta referencia el productor ha buscado producir un mayor número de tubérculos calibre semilla en menor superficie y con nuevos métodos de producción. Las hormonas vegetales o biorreguladores ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción hortícola.

Estas sustancias son únicas en su característica de ser absorbidas por el tejido vegetal y transportadas a un sitio de reacción antes de inducir un efecto deseado (Ramírez, 2003). Prohexadiona de calcio (P-Ca) es un retardante de crecimiento que se reporta como una herramienta útil para corregir diversas deficiencias fenotípicas en frutales (Rademacher, 2004). Recientemente se ha demostrado que P-Ca también aumenta el contenido de antioxidantes totales y de licopeno en tomate (Herrera-Gómez, 2007). Este biorregulador se caracteriza por ser un inhibidor de la biosíntesis de giberelinas como AG₁, AG₄ y AG₇. Este efecto permite que se estimule la formación de yemas florales, se incrementa el cuajado de fruto y se reduzca hasta un 60% el crecimiento vegetativo en especial en frutales como manzano, durazno y peral (Costa *et al.* 2004; Rademacher, 2006). Estas experiencias hacen de P-Ca un biorregulador prometedor para utilizarse en otros cultivos.

El ácido Giberélico es una hormona vegetal que estimula la brotación de yemas en tubérculos de papa y su efecto se prolonga hasta el desarrollo vigoroso de los mismos. Este efecto con frecuencia reduce la formación futura de tubérculos, particularmente cuando las concentraciones que se utilizan superan los 30 mg·litro⁻¹ (Rojas- Garcidueñas y Ramírez 1996).

El objetivo de este trabajo es investigar la influencia de P-Ca y AG₃ en la formación y rendimiento de tubérculos, así como su calidad para fines de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y condiciones de cultivo

El presente trabajo de investigación se llevo a cabo en las instalaciones del departamento de Horticultura, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con ubicación: Latitud Norte 25°23', Longitud Oeste 101° 01', msnm 1743 precipitación anual de 460.7 mm. temperatura de 20 °C, durante el periodo mayo–agosto de 2007. Se utilizó tubérculo de papa variedad Gigant, cosecha 2007. Los tubérculos experimentales se conservaron durante un periodo de 60 d a una temperatura de 6 °C. Lo anterior para inducir una brotación uniforme en ellos. Los tratamientos con biorreguladores fueron ejecutados en las etapas de tubérculo por inmersión de una hora y vía foliar cuando las plantas alcanzaron un 50 % de floración. El cultivo fue sembrado a campo abierto y fue manejado de acuerdo al paquete tecnológico utilizado en el departamento de Horticultura (Herrera- Gámez, 2007). La siembra se realizó en surcos de 2.5 m de largo con una separación de 90 cm. entre ellos, la densidad de población consistió de 9 plantas por surco con un intervalo de 25 cm. entre cada tubérculo.

Diseño experimental y tratamientos

La investigación incluyó los siguientes tratamientos: A) En fase tubérculo: P-Ca 50, 100 y 150 mg·litro⁻¹; AG₃ 5, 10 y 15 mg·litro⁻¹; P-Ca+AG₃ 50+5, 100+10 y 150+15 mg·litro⁻¹; B) En fase foliar: P-Ca 100 mg·litro⁻¹; AG₃ 50

mg·litro⁻¹ y P-Ca+AG₃ 100+50 mg·litro⁻¹; C) En fase tubérculo + fase foliar: utilizando las mismas dosis descritas en A y B; D) Testigo (agua).

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con tres repeticiones por tratamiento. Se aplicó la prueba de Tukey para estimar diferencias estadísticas.

Parámetros evaluados

Fase hortícola

Las variables evaluadas fueron número de tubérculos y rendimiento por planta. Lo anterior se realizó al término del ciclo del cultivo. Después de hacer el conteo de tubérculos y evaluar visualmente su calibre se procedió a determinar el rendimiento por planta en cada tratamiento utilizando una balanza digital marca Medi data modelo PS-5 capacidad de 5 kg.

Fase bioquímica

Los tubérculos para la evaluación bioquímicas fueron trasladados al laboratorio y conservados en refrigeración a una temperatura de 7 °C por 48 h. Para la determinación de azúcares, almidón, proteínas y grasas, se tomaron 10 g. de muestra fresca; mientras que para la medición de fenoles la muestra fue de 5 g de peso seco.

Azúcares. La determinación de azúcares se realizó utilizando el procedimiento para la determinación de azúcares reductores totales A.O.A.C. (1980). La muestra del tubérculo fue molida en una licuadora marca Osterizer modelo L-103, posteriormente fue filtrada en papel Whatman agregando agua destilada para lavar el extracto hasta alcanzar 50 ml de jugo diluido. Después el filtrado

fue transferido a un vaso de precipitado de 150 ml. y se añadieron 10 ml. de ácido clorhídrico. Se dejó reposar esta mezcla durante 18 h a temperatura ambiente. Se añadió 5 ml. de solución de hidróxido de sodio 10 N y los contenidos se ajustaron a un pH de entre 5 y 7 con una solución de hidróxido de sodio 1 N mediante el uso de un potenciómetro. Los contenidos se transfirieron a un matraz volumétrico de 100 ml y se aforo con agua destilada. Se tomó una alícuota de 1 ml de esta solución y se pipeteó a una celda de lectura analítica. Se efectuó su lectura en un espectrofotómetro Marca Helios 3 modelo Epsilon a 620 nm. Para determinar el contenido de azúcares totales, se construyó una curva de calibración con glucosa en un rango de 0-1.2 mg·litro⁻¹, combinada con los solventes referidos.

Almidón. La concentración de almidón en extractos fue medida por espectrofotometría, basándose en una reacción colorimétrica de oxidoreducción (Fernández-Reyes, 2000). La muestra del tubérculo fue molida con una licuadora marca Osterizer modelo L-103, una vez molida la muestra se procedió a filtrar con papel filtro Whatman y se agregó agua destilada para lavar extracto hasta alcanzar 25 ml de jugo diluido. Posteriormente en un vaso de precipitado de 150 ml se añadieron 4 ml de muestra filtrada, 6 ml de agua destilada, y 10 ml de solución de yodo. Los contenidos se transfirieron a un matraz volumétrico aforado de 100 ml y se aforo con agua destilada. Se tomó una alícuota de 1 ml de esta solución y se pipeteó a un matraz volumétrico de 100 ml. Se tomó una celda del espectrofotómetro y transfirió ahí el contenido de cada matraz (uno por celda). Se efectuó la lectura en el espectrofotómetro referido anteriormente y calibrado también a 620 nm. Para determinar el

contenido almidón, se construyó una curva de calibración con almidón en un rango de 0-1.0 mg·litro⁻¹, combinada con los solventes referidos.

Proteínas. La técnica utilizada para la determinación de proteínas fue la de Kjeldahl (A.O.A.C., 1980). La muestra de tubérculo fue homogeneizada en un matraz de digestión Kjeldahl. Se agregaron 3 perlas de vidrio, 10 g de sulfato de potasio, 0.5 g de sulfato cúprico y 20 ml de ácido sulfúrico. Se conectó el matraz a la trampa de absorción que contiene 250 ml de hidróxido de sodio al 15 %. Se calentó en manta calefactora y una vez que la solución estuvo transparente, se dejó en ebullición por 20 min, se enfrió la muestra y se agregó 200 ml de agua. El matraz fue conectado a un aparato de destilación, luego se agregó lentamente 100 ml de NaOH al 30 % una vez destilado, el matraz se sumergió en el extremo del refrigerante en: 50 ml de una solución de ácido sulfúrico 0.1 N, agregando 5 gotas de rojo de metilo y 50 ml de agua destilada. Se tituló el exceso de ácido con NaOH 0.1 N hasta obtener un color amarillo. El contenido de proteína en por ciento se determino usando la siguiente formula:

$$\% \text{ Proteina} = \frac{14xNxVx100xfactor}{mx1000}$$

De donde:

V : 50 mL H₂SO₄ 0.1 N - gasto NaOH 0.1 N o gasto de HCl 0.1 N

m : masa de la muestra, en gramos

Factor: 6.25: para proteínas en general

Grasas. El procedimiento para determinar el contenido de grasa en tubérculos fue por el método Soxhlet (A.O.A.C., 1990). Cada muestra se homogeneizó y secó a 103 °C en estufa de aire, luego fue molida y 2 g colocados en un dedal de extracción preparada con algodón desgrasado. Se secó en un matraz vía extracción por 30 min a 103 °C. Se pesó el producto obtenido y se colocó en un matraz de extracción utilizando el sistema soxhlet al cual se le incluyó el dedal en el tubo de extracción. Se adicionó 5ml de benceno al matraz. Se extrajo la muestra con el solvente durante 8 h a una velocidad de condensación de 3-6 gotas/seg. Una vez terminada la extracción se eliminó el solvente por evaporación en rotavapor a baño maría bajo una campana. Cuando desapareció el aroma a éter, se transfirió al matraz con la grasa a una estufa con temperatura de 103 °C por 10 min. Luego se enfrió en desecador. El contenido de grasa se determinó utilizando la fórmula:

$$\% \text{grasa cruda} = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100$$

Donde:

m: peso de la muestra; m_1 : peso del matraz solo; m_2 : peso matraz con grasa.

Fenoles. La concentración de fenoles totales en tubérculo fue medida por espectrofotometría, basándose en una reacción colorimétrica de oxido-reducción (Filipiak, 2001). Se pesaron 5 g de muestra de tubérculo disolviéndose esta en 1 ml de agua destilada, posteriormente fue diluida en una concentración de 1:10 en agua destilada. Se agregó 1250 μL de agua destilada y después se adicionó 75 μL de NaNO_2 al 5 %. Se dejaron reposar por

un periodo de 6 min. Se agregó 150 μL de AlCl_3 al 10 %, y se dejó reposar por un periodo 5 min. Después de esto se adicionó 500 μL de NaOH 1M y finalmente se completó el volumen de cada muestra a 2.5 ml con agua destilada. Se Tomó una celda del espectrofotómetro y transfirió ahí el contenido de cada matraz. Se efectuó la lectura en el espectrofotómetro referido anteriormente y calibrado a 620nm. Para determinar el contenido de fenoles, se preparó una curva de calibración, utilizando una solución estándar de ácido gálico (0.1 mg/mL), del cual se tomaron volúmenes de 0 μL a 160 μL en intervalos de 20 μL .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento Hortícola

El parámetro de la producción de tubérculos por planta presentó diferencias significativas entre tratamientos (Figura 1). Los tratamientos 15 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de AG_3 , 100 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de P-Ca +10 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de AG_3 aplicados al tubérculo y el tratamiento 100 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de P-Ca + 50 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de AG_3 de aplicación foliar, provocaron un aumento significativo en el número de tubérculos ($P\leq 0.05$). Al comparar estos tratamientos con el testigo se observó en ellos una diferencia mayor aproximada de 10 tubérculos por planta. El resto de tratamientos no mostró influencia en la formación de tubérculos por planta. Los tratamientos referidos con superioridad estadística al ser observados fenotípicamente también mostraron un porcentaje superior al 60 % con

tubérculos calibre de 44-50 mm el cual es considerado muy adecuado para el propósito de siembra.

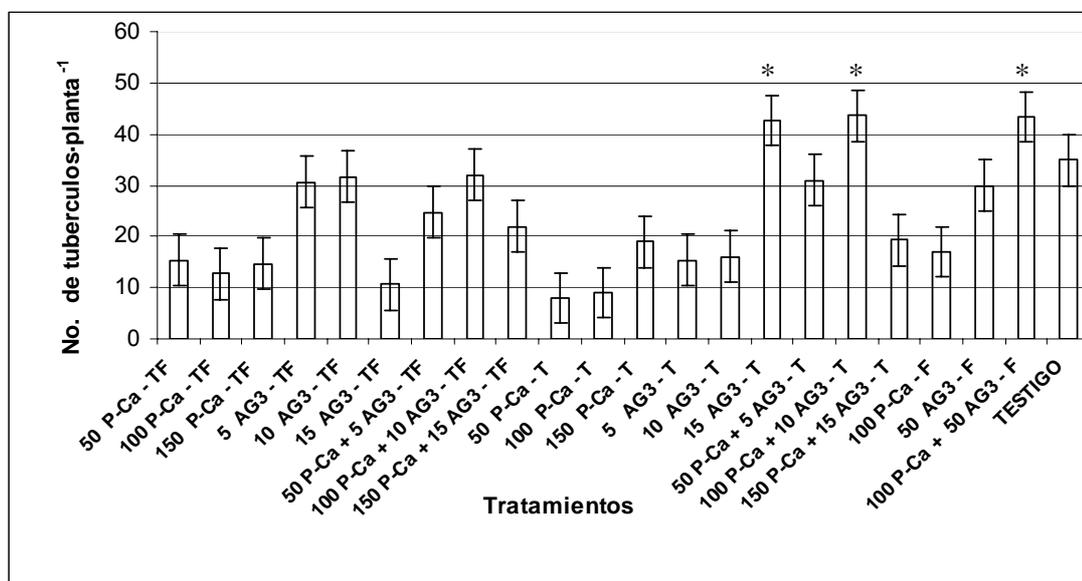


Figura 1. Número de tubérculos-semilla como efecto de la aplicación de P-Ca y AG₃ a diferentes dosis (mg·litro⁻¹) y vías de aplicación. TF (tubérculo + foliar), T (tubérculo) y F (foliar). Cada barra representa la media de tres repeticiones. * Diferencia al 5% según Tukey.

Los efectos hormonales en el rendimiento por planta se ilustran en la Figura 2. Los tratamientos 5 mg·litro⁻¹ de AG₃, 50 mg·litro⁻¹ de P-Ca + 5 mg·litro⁻¹ de AG₃ y 100 mg·litro⁻¹ de P-Ca + 10 mg·litro⁻¹ de AG₃ aplicados al tubérculo y vía foliar produjeron un aumento significativo en el rendimiento por planta. Las aplicaciones de 100 mg·litro⁻¹ P-Ca, 10 mg·litro⁻¹ AG₃, 150 mg·litro⁻¹ P-Ca + 15 mg·litro⁻¹ AG₃ a tubérculos y al follaje; así como 50 mg·litro⁻¹ P-Ca + 5 mg·litro⁻¹ AG₃ solamente a tubérculo mostraron una tendencia a mayor producción al compararse con el testigo.

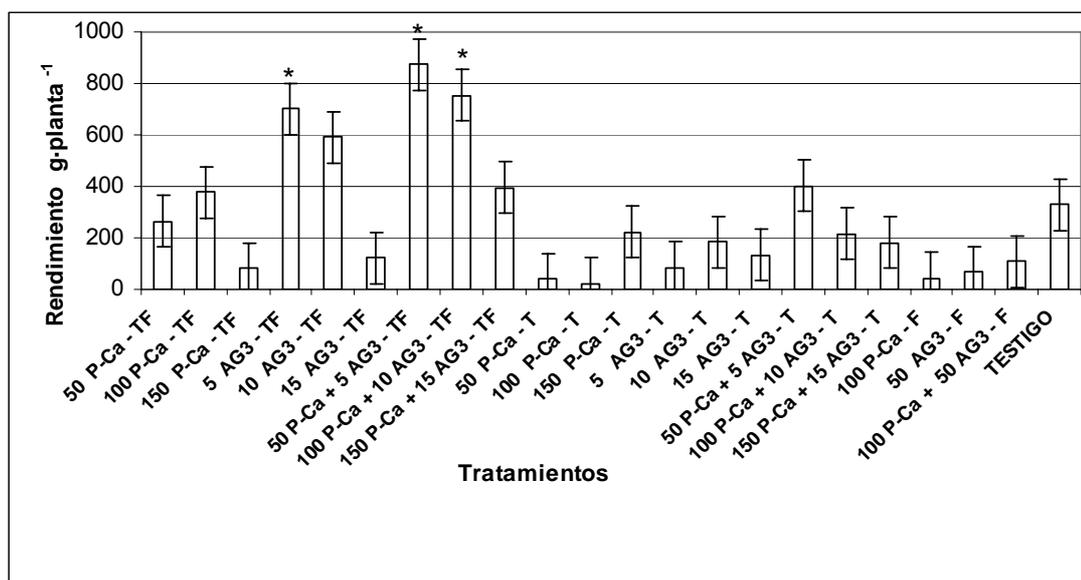


Figura 2. Rendimiento por planta como efecto de la aplicación de P-Ca y AG₃ a diferentes dosis (mg·litro⁻¹) y vías de aplicación. TF (tubérculo + foliar), T (tubérculo) y F (foliar). Cada barra representa la media de tres repeticiones. * Diferencia al 5% según Tukey.

La brotación de yemas en tubérculo y la formación de tubérculos hijos son estimuladas o inhibidas con la aplicación y dosis de ácido giberélico (Rojas- Garcidueñas y Ramírez, 1996). Se ha demostrado que los rangos entre 2 a 5 mg·litro⁻¹ de esta giberelina estimulan la formación de esos órganos así como su posterior desarrollo (Weaver, 1996). Lo anterior ha sido observado en este trabajo. Es probable que el AG₃ estimula la formación de estos órganos al momento que ocurre la inducción de tubérculos (Ramírez, 2007).

Los retardantes de crecimiento tienen la propiedad de bloquear la síntesis y acción de giberelinas en tejidos vegetales (Rademacher *et al*, 2006); además, inducen la formación de yemas reproductivas y el desarrollo de las mismas (Costa *et al*, 2004). Esos reportes sustentan los efectos observados en la formación de más tubérculos cuando se combinaron P-Ca y AG₃ a diferentes

dosis (Figura1). Es posible que la presencia de P-Ca $100 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ haya contrareestado el posible efecto inhibitorio que pudiera tener la acción de AG_3 a concentraciones de 10 y $50 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$. La P-Ca aplicada directamente al tubérculo probablemente induce condiciones para aumentar la capacidad de ese órgano a diferenciar mayor número de nuevos tubérculos como resultado de una modificación en el patrón de traslocación de asimilados y otros factores aun no conocidos como ha sido demostrado en manzano (Ramírez, 2007) y tomate (Herrera-Gamez, 2007). Cuando este retardante es aplicado vía foliar, su efecto inhibitorio en el crecimiento vegetativo a través del bloqueo en la síntesis de giberelinas puede resultar en mayor disponibilidad de asimilados traslocales desde las hojas al tubérculo y de esta manera originar el estímulo para formar mayor número de tubérculos (Rademacher, 2004).

El aumento en el rendimiento en papa ha sido reportado cuando las plantas son tratadas con AG_3 a nivel tubérculo (Pozo, 1997) o vía foliar (Cadiz, 1996). En este estudio (Figura 2), se sustenta también lo anterior, sobre todo considerando que las concentraciones de AG_3 utilizadas fueron de 5 y $10 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$. La información sobre la influencia de P-Ca en el rendimiento en papa es muy escasa (Rademacher, 2004). En esta investigación en donde se observaron aumentos significativos con los tratamientos de P-Ca a dosis de 50 y $100 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ en combinación con AG_3 aplicado a tubérculo y vía foliar, probablemente reflejan el estímulo a desarrollar tubérculos de mayor crecimiento como resultado de mayor disponibilidad de asimilados al reducirse la competencia con menor desarrollo vegetativo (Costa, *et al*, 2004; Guglielmetti y Gutiérrez, 1988).

Esta relación fue también observada en plantas de tomate cuando se les aplicó $175 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de P-Ca (Ramírez, *et al* 2005). Rojas-Garcidueñas y Ramírez (1996), reportaron el mismo comportamiento en tomate saladette al aplicar el retardante de crecimiento ácido N-dimetil amino succinámico y cloruro de 2-cloroetil trimetil amonio a una dosis de $500 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$.

Comportamiento Bioquímico

La influencia que tuvieron los diferentes tratamientos con biorreguladores en el contenido de azúcares totales y de almidón en los tubérculos se ilustran en las Figuras 3 y 4 respectivamente. Se puede observar que de las diversas concentraciones y combinaciones de P-Ca y ácido giberélico, el tratamiento foliar de P-Ca a una dosis de $100 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ mostró una marcada diferencia estadística ($P \leq 0.05$) contra el resto de tratamientos estudiados.

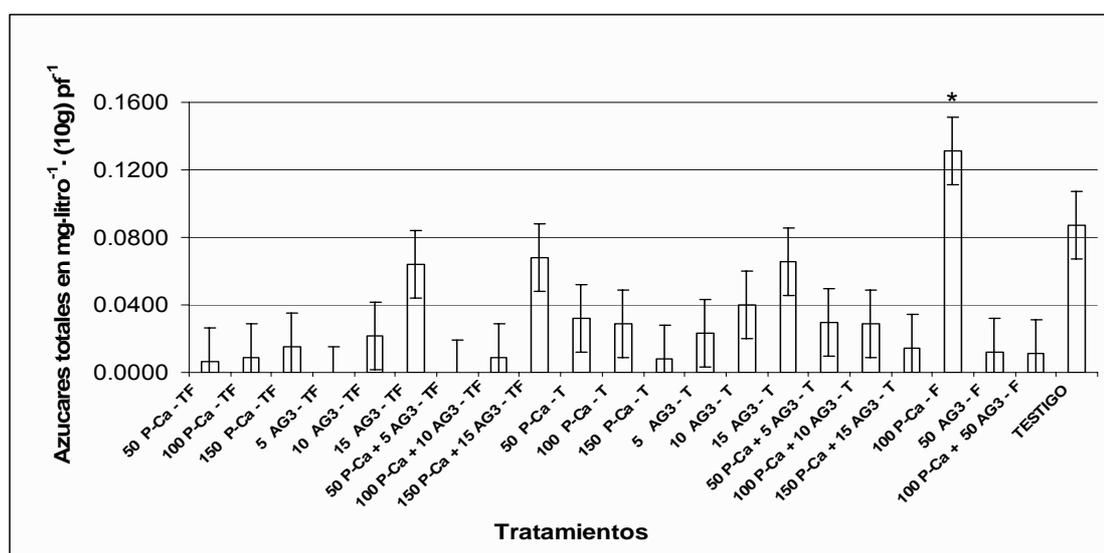


Figura 3. Contenido de azúcares totales como efecto de la aplicación de P-Ca y AG₃ a diferentes dosis ($\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$) y vías de aplicación. TF (tubérculo + foliar), T (tubérculo) y F (foliar). Cada barra representa la media de tres repeticiones. * Diferencia al 5% según Tukey.

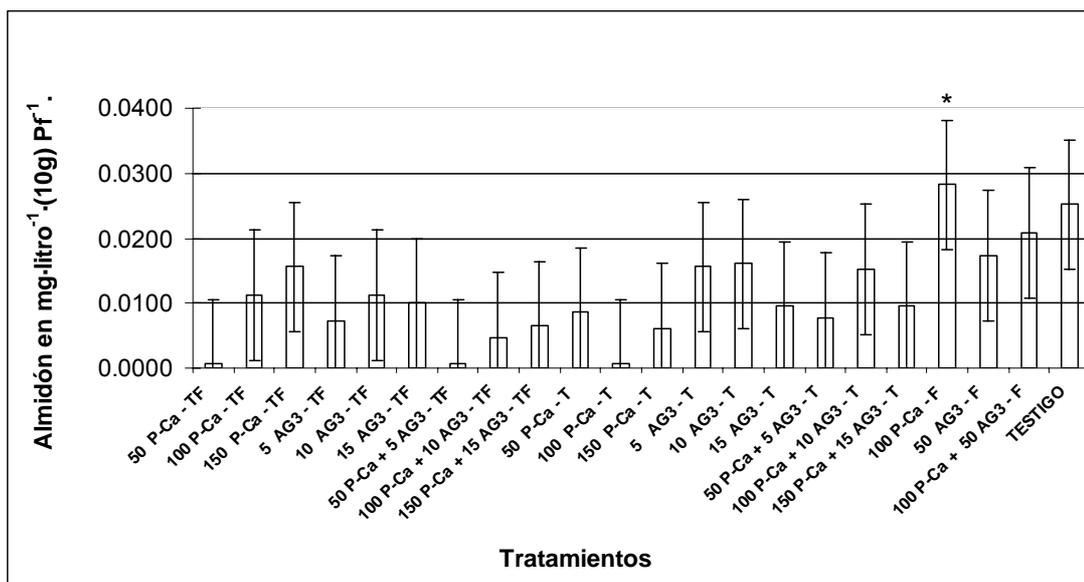


Figura 4. Contenido de almidón como efecto de la aplicación de P-Ca y AG₃ a diferentes dosis (mg·litro⁻¹) y vías de aplicación. TF (tubérculo + foliar), T (tubérculo) y F (foliar). Cada barra representa la media de tres repeticiones. * Diferencia al 5% según Tukey.

El contenido de proteína en tubérculo mostró efectos significativos entre tratamientos (Figura 5). En este parámetro, los tratamientos al tubérculo de P-Ca 150 mg·litro⁻¹ y AG₃ 15 mg·litro⁻¹; así como la aplicación tubérculo y foliar de P-Ca 50 mg·litro⁻¹ resultaron en un incremento significativo ($P \leq 0.05$) de estas sustancias en los tubérculos evaluados.

El porcentaje de grasa en tubérculo aumentó significativamente ($P \leq 0.05$) en los tratamientos con aplicación al tubérculo de AG₃ 15 mg·litro⁻¹ y vía foliar con dosis de AG₃ 50 mg·litro⁻¹ y P-Ca 100 mg·litro⁻¹ + AG₃ 50 mg·litro⁻¹ (Figura 6).

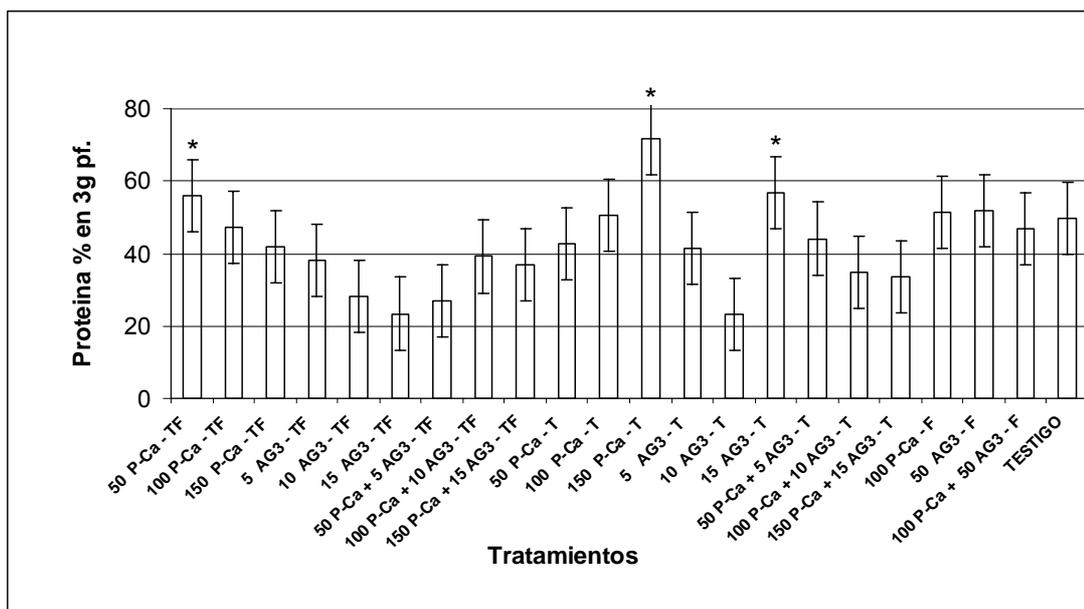


Figura 5. Contenido de proteína como efecto de la aplicación de P-Ca y AG_3 a diferentes dosis ($mg \cdot litro^{-1}$) y vías de aplicación. TF (tubérculo + foliar), T (tubérculo) y F (foliar). Cada barra representa la media de tres repeticiones. * Diferencia al 5% según Tukey.

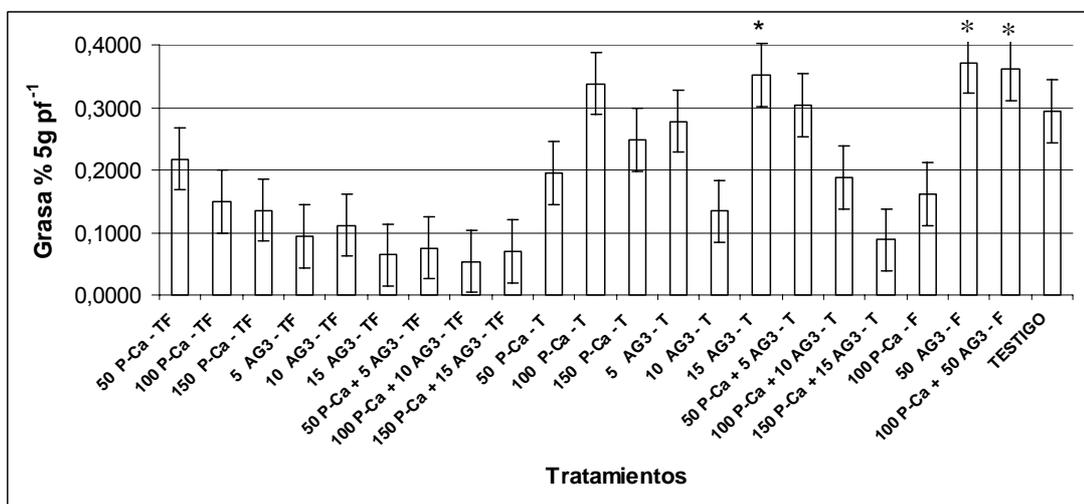


Figura 6. Contenido de grasa en 5gr de peso fresco como efecto de la aplicación de P-Ca y AG_3 a diferentes dosis ($mg \cdot litro^{-1}$) y vías de aplicación. TF (tubérculo + foliar), T (tubérculo) y F (foliar). Cada barra representa la media de tres repeticiones. * Diferencia al 5% según Tukey

Con relación al contenido de fenoles en los tubérculos estudiados, se encontró que los tratamientos realizados al tubérculo y vía foliar con AG₃ 10 mg·litro⁻¹ y P-Ca 50 mg·litro⁻¹ + AG₃ 5 mg·litro⁻¹; así como AG₃ 50 mg·litro⁻¹ foliar produjeron un aumento significativo ($P \leq 0.5$) en el contenido de esos compuestos (Figura 7).

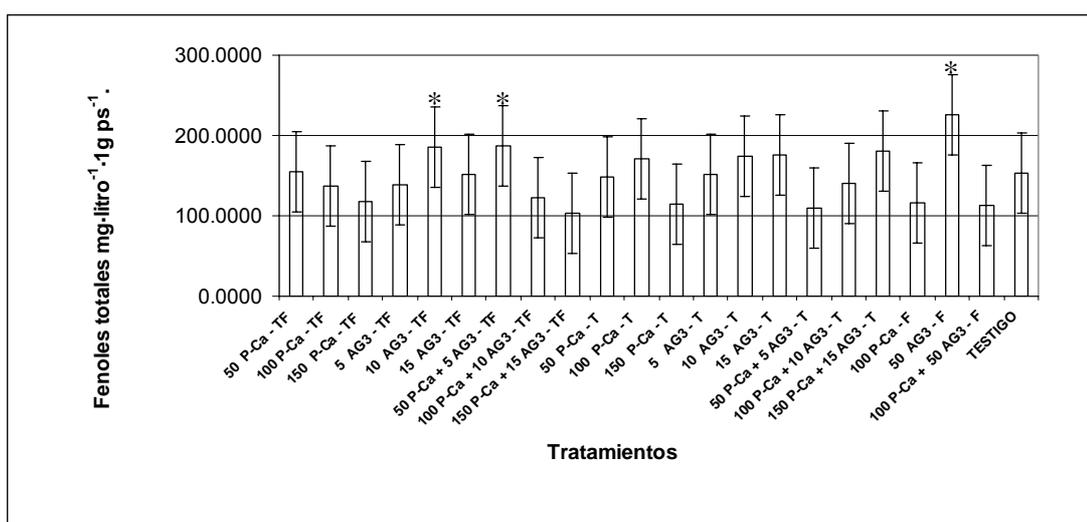


Figura 7. Concentración de fenoles en 1gr de peso seco como efecto de la aplicación de P-Ca y AG₃ a diferentes dosis (mg·litro⁻¹) y vías de aplicación TF (tubérculo + foliar), T (tubérculo) y F (foliar). Cada barra representa el promedio de tres repeticiones. * Diferencia al 5% según Tukey.

Se ha reportado que la tuberización es inducida por cambios hormonales endógenos, los cuales estimulan un incremento en carbohidratos como almidón y azúcares (Srivastava, 2002). Este efecto también es consistente cuando las plantas de papa son asperjadas con Cicocel y Alar clasificados como retardantes de crecimiento (Rojas – Garcidueñas y Ramírez, 1996). En este estudio se observó la influencia positiva que P-Ca tuvo en el aumento de azúcares (Figura 3) y almidón (Figura 4). Este incremento pudiera explicarse

presumiblemente en términos de un aumento en la capacidad fotosintética causada por la presencia de P-Ca en la hoja, como ha sido determinado en plantas de tomate (Ramírez *et al* 2005). Bajo esa condición habrá una mayor disponibilidad de azúcares (Srivastava, 2002) y almidón (Nolte y Olsen, 2001) en el tubérculo al reducirse la demanda de asimilados en la parte aérea de la planta, una vez que el retardante cause menor crecimiento en los tejidos (Rademacher, 2004). En años recientes se ha demostrado que la aplicación de P-Ca y ácido giberélico en frutales como peral y manzana provocan un incremento de proteínas y grasas en los frutos cosechados (Costa *et al*, 2004; Rademacher, 2004). Resultados similares han sido reportados en trigo y soya cuando ácido giberélico fue asperjado antes de la floración (Srivastava, 2002). El P-Ca también ha demostrado ser un estimulante en aumentar el contenido de proteínas y grasas en arroz, cerezo, durazno y kiwi (Rademacher, 2006). Con estas experiencias, el efecto de P-Ca y AG₃ reflejado en los aumentos en el contenido de proteína (Figura 5) y grasas (Figura 6) contribuyen a enriquecer los beneficios en plantas vegetales de ambos biorreguladores. La presencia de proteínas y grasas presumiblemente contribuyen en el proceso de formación de estructuras que integran el desarrollo de los tubérculos evaluados; así como un mejoramiento en la calidad nutricional y conservación adicional en poscosecha (Coria, 2004). La información relacionada a la influencia que AG₃ y P-Ca tienen en la producción de fenoles en papa es muy escasa (Ramírez *et al*, 2007). En este trabajo se observó que el biorregulador AG₃ aplicado a tubérculo y vía foliar así como en combinación con P-Ca provocaron un aumento en el nivel de fenoles en los tubérculos producidos (Figura 7). Esta información es muy

valiosa ya que enriquece el conocimiento relacionado a los aumentos de antioxidantes previamente reportados en hortalizas (Ramírez *et al.*, 2006; Herrera-Gamez 2007). Se conoce que P-Ca y en ocasiones AG₃ son capaces de modificar la ruta biosintética de los flavonoides en manzano y peral, generando nuevos flavonoides que al parecer poseen actividad antioxidante en hojas y frutas (Gosch, *et al.*, 2003; Halbwirth, *et al.*, 2003). Es posible que los aumentos en flavonoides causados por P-Ca y AG₃ en los tubérculos estudiados (Figura 7) contribuyen substancialmente en una producción adicional de antioxidantes (Rommelt, *et al.*, 2003). Este tema merece una futura investigación.

Lo observado en este estudio reflejó que la influencia que tiene P-Ca y AG₃ en la fisiología bioquímica de la papa, esta ligada a la concentración y fase de aplicación de esos biorreguladores.

Por lo tanto, las características de los tubérculos producidos en esta investigación, lucen prometedores como nuevo material de siembra para la región Coahuila – Nuevo León. Lo anterior será el tema de un futuro estudio.

CONCLUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos se concluye: Prohexadiona de calcio y ácido giberélico aplicados en forma individual o combinados a tubérculos y/o vía foliar en diferentes concentraciones provocan aumento en el rendimiento, número de tubérculos por planta, así como incrementos en el contenido de azúcares, almidón, proteínas, grasas y fenoles en los tubérculos formados.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. Official Methods of Analysis. 1980., 13th Ed., W. Horwitz, (Ed.), Association Of Official Analytical Chemists., Washington, Dc., USA. Method N° 28.022.
- AOAC 1990. In Official Methods of Analysis, 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, modified. Method 960.39.
- CALDIZ, D.O. 1996. Seed potato (*Solanum tuberosum* L.) yield and tuber number increase after foliar applications of cytokinins and gibberellic acid under field and glasshouse conditions. *Plant Growth Regulation* 20: 185-188.
- CORIA, G.N.; Pérez, P.A.; Sarquiz, R.J.I.; Cantú, S.I.; González, R.H.; Gómez, M.M.V., 2004. Regeneración de la Planta de Papa (*Solanum Tuberosum* L.) In Vitro a partir del estolón. *Ciencia UANL*, julio-septiembre, Vol. VII, Número 003, pp. 361-370.
- COSTA, G.; Sabatini, E.; Spinelli, F.; Andreotti, C.; Bomben, C.; Vizzoto, g. 2004. Two years application of P-Ca na Apple. Effect on vegetative and cropping performance, fruit quality, return bloom and residual effect. *Acta Horticulturae* 653:35-49.
- FERNÁNDEZ- REYES, J. F. 2000. Actividad α - amilasa en tortillas de maíz con diferentes concentraciones de calcio. Tesis de licenciatura. Departamento de investigación de alimentos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México. 95 p.

- Filipiak, M. 2001. Electrochemical Analysis of Polyphenolic Compounds. *Analytical Sciences, The japan society for analytical chemistry*, 17.
http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsac/analsci/ICAS2001/pdfs/1600/1667_p4069.pdf
- Guglielmetti, H.; Gutiérrez, M. 1988. Aumente el rendimiento en papa "cuaresmera". Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria La Plata Nº 50. 10-12 p.
- Gosch, C.; Puhl, I.; Halbwirth, H.; Schlangen, K.; Roemmelt, S.; Andreotti, C.; Costa, G.; Fischer, T. C.; Treutter, D.; Stich, K.; and Forkmann. G. 2003. Effects of prohexadione-Ca on various fruit crops: Flavonoid composition and substrate specificity of their dihydroflavonol 4-reductases. *European Journal of Horticultural Science* 68(3): 144-151.
- Halbwirth, H.; Fischer, T. C.; Roemmelt, S.; Spinelli, F.; Schlangen, K.; Peterek, S.; Sabatini, E.; Messina, C.; Speakman, J. B.; Andreotti, C.; Rademacher, W.; Bazzi, C.; Costa, G.; Treutter, D.; Forkmann, G.; and Stich. K. 2003. Induction of antimicrobial 3-deoxyflavonoids in pome fruit trees controls fire blight. *Zeitschrift für Naturforschung* 58: 765-770.
- Herrera-Gómez, B. 2007. Prohexadiona-Ca modifica parámetros hortícolas, actividad enzimática y antioxidantes totales en tomate y chile pimiento. Tesis de maestría en ciencias en ingeniería de sistemas de producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 92 p.
- Macias-Valdez, L.M. 2006. Guía para cultivar papa en Aguascalientes. Campo Experimental Pabellón. CIRNOC-INIFAP.
- Nolte, P.; Olsen, N. 2001. Heat Stress Causes Low-Specific Gravities. Artículo Científico. *Potato Grower Magazine*. Volumen 3, Número 7.

- Pozo, M. 1997. Tuberización, Tamaño de Semilla y Corte de Tubérculos. EN Hidalgo, O. Producción de Tubérculos- Semilla de Papa. Manual de Capacitación del CIP.
- Rademacher, W. 2004. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. *Acta Horticulturae* 653: 9-15.
- Rademacher, W.; Spinelli, F.; Costa, G. 2006. Prohexdiona-Ca: Mode of action of a multifunctional plant biorregulator for fruit Trees. *Acta Horticulturae* 727: 97-106
- Ramírez, H. 2003. El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. Memorias del 3er Simposio Nacional de Horticultura, Producción, Comercialización y Exportación de Cultivos Hortícolas. México.
- Ramirez, H.; Peralta-Manjarrez. R.M.; Benavides-Mendoza, A.; Sanchez-López, A.; Robledo-Torres, V.; Hernández-Dávila. J. 2005. Efectos de prohexadiona-Ca en tomate y su relación con la variación en La concentración de giberelinas y citocininas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(2): 283-290.
- Ramirez, H.; Rancaño-Arriola, J.H.; Benavides-Mendoza, A.; Mendoza-Villareal, R.; Padron-Corral, E. 2006. Influencia de promotores de oxidación controlada en hortalizas y su relación con antioxidantes. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2): 189-1 95.
- Ramirez, H.; Benavides, A.; Rademacher, W. 2007. Prohexadiona – Ca, um retardante de crescimento útil em frutales de clima templado. *Tópicos Selectos de Botânica* 3. Gonzáles M.; Salcedo, S Eds. UANL: 139-145.

- Roemmelt, S.; Zimmermann, N.; Rademacher, W.; Treutter, D. 2003. Formation of novel flavonoides in apple (*Malus x domestica*) treated with the 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase inhibitor prohexadione-Ca. *Phytochemistry* 64: 709-716.
- Rojas-Garcidueñas.; Ramírez, H. 1996. Control hormonal de desarrollo de las plantas. Ed. Limusa. 258 p.
- Srivastava, M. L., 2002. Plant growth and development hormones and environment. Ed. Academic press Columbia Canada. 772 p.
- Weaver, R.J. 1996. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Octava reimpresión. Editorial Trillas. México. 622 p.

CONCLUSIÓN

En base a los resultados de ésta investigación y bajo las condiciones en que se realizó, se concluye que la aplicación de P-Ca bajo diferentes formas de aplicación ya sea en forma individual o combinada con AG₃ a dosis de 50 y 100 mg·l⁻¹ provocan un aumento en el número de tubérculos, rendimiento por planta, contenido de proteínas y fenoles; a dosis de 100 mg·l⁻¹, se incrementó el contenido de azúcares, almidón y grasas 150 mg·l⁻¹ se aumentó el contenido de proteínas. Las aplicaciones de AG₃ bajo diferentes formas de aplicación a dosis de 5 mg·l⁻¹ provocó un aumento en el rendimiento; a dosis de 10 mg·l⁻¹ estimuló un aumento en el contenido de fenoles; a dosis de 15 mg·l⁻¹ provocó un aumento en el número de tubérculos, así como en el contenido de proteínas y grasas; y a dosis de 50 mg·l⁻¹ aumentó el número de tubérculos y el contenido de grasas y fenoles en el tubérculo formado.

LITERATURA CITADA

- Aldabe L.; Dogliotti S. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L). Curso de Fisiología de los Cultivos. Universidad de la República–Facultad de Agronomía.
http://www.fagro.edu.uy/~cultivos/hortalizas/Repartido_Fisiologia_Papa.pdf
- Costa, G.; Sabatini, E.; Spinelli, F.; Andreotti, C.; Bomben, C.; Vizzotto, G. 2004. Two years of application of prohexadione-ca on apple: Effect on vegetative and cropping performance, fruit quality, return bloom and residual effect. *Acta Horticulturae* 653: 35-40.
- Evans, J., A. Marshall, N. Kitson, K. Summers and R. Donald. 1993. Factor affecting ACTH release from perfused equine anterior pituitary cells. *J. Endocrinol.* 137(3): 391-401.
- Evans, J.R.; Evans, R.R.; Regusci, C.L.; Rademacher, W. 1999. Mode of action, metabolism, and uptake of BAS 125 W, prohexadione calcium. *HortScience* 34(7): 1200-1201.
- Fallahi, E. 1999. Metabolis, action and use of Bas-125W in apples *HortScience* 34:1192-1193.
- Hedden, P. 1999. Recent advances in gibberellin biosynthesis. *J. Exp. Bot.* 50(334):553-563
- Macias-Valdez, L.M. 2006. Guía para cultivar papa en Aguascalientes. Campo Experimental Pabellón. CIRNOC-INIFAP.

- Montaldo, A. 1984. Cultivo y Mejoramiento de la papa. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, San José, Costa Rica.
- Nakayama, I.; Miyazawa, T.; Kobayashi, M.; Kamiya, Y.; Abe, H.; Sakurai, A. 1990. Effects of a new plant growth regulator prohexadione calcium (BX-112) on shoot elongation caused by exogenously applied gibberellins in rice (*Oriza sativa L*) seedlings. *Plant and Cell Physiology* 31(2): 195-200.
- Nakayama, I.; Kobayashi, M.; Kamiya, Y.; Abe, H.; Sakurai, A. 1992. Effects of a plant-growth regulator, prohexadione-calcium (BX-112), on the endogenous levels of gibberellins in rice. *Plant and Cell Physiology* 33(1): 59-62.
- Owens, C.L.; Stover, E.D. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. *HortScience*, Vol. 34(7):1194–1196.
- Rademacher, W. 1993. On the mode of action of acylcohexadiones-a new type of plant growth retardant with possible relationships to daminozide. *Acta Horticulturae* 329: 31-34
- Rademacher, W.; Kraus, M. Hoepfner, P.; Evans, J.R.; Evans, R. R. 1998. Prohexadione-Ca a new bioregulator for the control of vegetative growth in apple. Data report APE/HF 19984296 RAD, BASF agricultural center.
- Ramírez, H. 2003. El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. Memorias del 3er Simposio Nacional de Horticultura, Producción, Comercialización y Exportación de Cultivos Hortícolas. México.
- Ramírez, H.; Peralta-Manjarez, R.M.; Benavides-Mendoza, A.; SánchezLópez, A.; Robledo-Torres, V.; Hernández-Dávila, J. 2005. Efectos de prohexadiona-ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 11(2):283-290.

Siller, C. J. H. 2000. Análisis de Hortalizas en México. Revista productores de hortalizas. Año 9 No 10. Octubre del 2000. publicación periódica Meister Publishing Co 8 - 12

Weaver, R.J. 1996. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Octava reimpresión. Editorial Trillas. México. 622 p.

Yáñez, R.J.N. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. Watts. Saltillo, Coahuila. pp. 40-42.