



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO**

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA FORESTAL

**CRECIMIENTO DE PLANTULAS DE BIZNAGA (*Echinocactus
grusonii* Hildman) CON DIFERENTES SUSTRATOS Y SOLUCIONES
NUTRITIVAS**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN MANEJO DE RECURSOS FORESTALES

P R E S E N T A

VÍCTOR HUGO ISLAS LÓPEZ

Tulancingo de Bravo, Hidalgo

Enero 2008

AGRADECIMIENTOS

Al **Instituto de Ciencias Agropecuarias**, perteneciente a la **Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**, por darme la oportunidad de formar parte de ella y de realizarme profesionalmente.

Al **Área Académica de Ingeniería Forestal**, por permitirme realizar el experimento, dentro de sus instalaciones.

Al **Dr. Juan Capulín Grande**, por la dirección y apoyo brindado en la realización del experimento y en la revisión del presente trabajo de investigación.

Al **Dr. José Justo Mateo Sánchez**, por sus acertadas observaciones y sus valiosas sugerencias para la revisión del presente trabajo de investigación.

Al **Dr. Leopoldo Mohedano Caballero**, por la asesoría prestada para la realización del presente trabajo.

Al **Dr. Joel Meza Rangel**, por su gran apoyo y acertados consejos para la realización del presente experimento.

Al **Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna**, por su amistad y apoyo en la revisión del presente trabajo.

A la **Dr. Juana Juárez Muños**, por facilitarme la semilla de la especie y asesorarme en la germinación de la misma.

Se agradece al **Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP)**, por el financiamiento económico de la investigación, mediante el oficio PROMEP/103.5/04/2760.

A todos mis compañeros y amigos quienes junto conmigo sobrepasaron los momentos difíciles y a su vez me acompañaron en los momentos gratos.

De manera muy especial a mis compañeros **Teo, Angela, Vianey, Aide, Oscar, Alberto, Angel, Ramiro, Carlos, Jesús, Hector, Danny y Marcelo** por brindarme su amistad.

DEDICATORIA

A TODA MI FAMILIA, EN ESPECIAL A MIS PADRES Y HERMANOS POR EL APOYO MORAL Y ECONOMICO BRINDADO Y PORQUE LOS AMO.

CONTENIDO

	Página
CONTENIDO.....	v
INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	x
I INTRODUCCIÓN.....	1
II OBJETIVO E HIPOTESIS.....	3
III REVISION DE LITERATURA.....	4
3.1. Generalidades de las cactáceas.....	4
3.2. Caracterización botánica de la especie.....	6
3.3. Funciones de los nutrimentos esenciales.....	7
3.4. Nutrición mineral de las plantas.....	10
3.5. Crecimiento radical y efecto del fósforo.....	11
3.6. Respuesta de las cactáceas a la fertilización.....	12
3.7. La hidroponia y sus componentes.....	14
3.7.1. Sustratos.....	14
3.7.2. Solución nutritiva.....	16
3.7.3. pH de la solución nutritiva.....	18
IV MATERIALES Y METODOS.....	19
4.1. Ubicación del área de procedencia de la especie.....	19
4.2. Colecta y germinación de las semillas.....	21
4.3. Trasplante.....	22
4.4. Preparación y aplicación de las soluciones nutritivas.....	22
4.5. Diseño experimental y tratamientos.....	24
4.6. Medición de las variables de estudio.....	25
4.7. Análisis del suelo.....	26
4.8. Análisis nutrimental.....	26
4.9. Análisis estadístico.....	26
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27

5.1. Contenido nutrimental del suelo.....	27
5.2. Análisis del crecimiento de la especie.....	29
5.2.1. Comparación del crecimiento por muestreo.....	29
5.2.2. Influencia de los sustratos en el crecimiento de la biznaga.	36
5.2.3. Influencia del fósforo en el crecimiento de la raíz.....	40
5.3. Contenido nutrimental de la biznaga.....	42
5.3.1. Nitrógeno.....	42
5.3.2. Fósforo.....	43
5.3.3. Potasio.....	44
VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
VII LITERATURA CITADA.....	47

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Fertilizantes y cantidades utilizados en la preparación de soluciones nutritivas completas.	23
2	Ubicación de los tratamientos por charola.	24
3	Tratamientos empleados en el crecimiento de biznaga (<i>Echinocactus grusonii</i> Hildman) mediante hidroponia.	25
4	Resultados del análisis de suelo de la Barranca de Mezquitlán.	27
5	Respuesta de la biznaga, a tres soluciones y tres sustratos a los 39 días después del trasplante, bajo invernadero.	29
6	Comparación de sustratos y niveles de P sobre el crecimiento de la biznaga a los 39 días después del trasplante, bajo invernadero.	30
7	Respuesta de la biznaga, a tres soluciones y tres sustratos a los 103 días después del trasplante, bajo invernadero.	31
8	Comparación de sustratos y niveles de P sobre el crecimiento de la biznaga a los 103 días después del trasplante, bajo invernadero.	32
9	Respuesta de la biznaga, a tres soluciones y tres sustratos a los 196 días después del trasplante, bajo invernadero.	33
10	Comparación de sustratos y niveles de P sobre el crecimiento de la biznaga a los 196 días después del trasplante, bajo invernadero.	34
11	Respuesta de la biznaga, a tres soluciones y tres sustratos a los 257 días después del trasplante, bajo invernadero.	35
12	Comparación de sustratos y niveles de P sobre el crecimiento de la biznaga a los 257 días después del trasplante, bajo invernadero.	36
13	Contenido nutrimental en el tejido vegetal de la biznaga (<i>Echinocactus grusonii</i> Hildman).	42

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización del Estado de Hidalgo en el mapa de la República Mexicana.	19
2	Ubicación del Municipio de Metztitlán en el Estado de Hidalgo.	20
3	Comparación del peso fresco total, peso seco total, altura, diámetro, longitud de raíz y peso seco de la raíz de plántulas de biznaga.	38
4	Comparación de los niveles de fósforo en la longitud de raíz y peso seco de la raíz de plántulas de biznaga.	41

RESUMEN

Con el fin de acelerar el lento crecimiento de la biznaga (*Echinocactus grusonii* Hildman), el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes soluciones nutritivas y diferentes sustratos en el desarrollo de la biznaga, en etapa de invernadero. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar en arreglo factorial, con dos factores y tres niveles cada factor; el primer factor correspondió a tres sustratos, suelo nativo de la Barranca de Metztitlán, tezontle y mezcla de turba, agrolita y vermiculita; el segundo factor fue niveles de fósforo en solución nutritiva completa; 100, 150 y 200% de fósforo. El testigo fue suelo nativo de la Barranca de Metztitlán y sólo regado con agua de la llave. Los tratamientos fueron 10 con 20 repeticiones. Las variables evaluadas fueron: peso fresco parte aérea, peso fresco raíz, peso fresco total, peso seco parte aérea, peso seco raíz, peso seco total, longitud de raíz, altura y diámetro de las plántulas. El análisis de varianza ($P \leq 0.05$); mostró una mayor producción de biomasa, altura y diámetro de las plántulas de biznaga cuando crecieron en tezontle y fueron regadas con solución nutritiva completa; sin embargo, se encontró que las plántulas presentaron menor longitud de raíz, con un mayor peso. La aplicación extra de fósforo no incremento el crecimiento de la raíz de la biznaga.

I. INTRODUCCIÓN.

México se caracteriza por tener una inmensa riqueza biótica que en buena parte está asociada a su cobertura vegetal forestal y que abarca aproximadamente 120 millones de hectáreas de bosques templados de coníferas, latifoliadas y mixtos, de bosques tropicales húmedos y deciduos, de bosques mesófilos, y de una gama muy amplia de humedales y zonas áridas. Estos ecosistemas forestales ofrecen el soporte ecológico que ubica a México entre los principales países de acuerdo a su biodiversidad, concepto que engloba a la riqueza total en composición y número de formas de vida en la naturaleza, lo que implica variación y abundancia de genes, organismos, poblaciones, especies, comunidades, ecosistemas y procesos ecológicos.

Lo anterior es enfocado al panorama general de los recursos forestales, por lo cual, al hablar de los recursos existentes en las zonas áridas, se debe tener sobre entendido que probablemente sean estas zonas en donde existe el mayor número de especies en peligro de extinción, debido a que su distribución se podría considerar restringida, si a ello se le suma las condiciones de estrés hídrico en la que se encuentran estas especies propias del lugar, y tomando en cuenta que existe un gran número de especies endémicas resulta de suma importancia la preservación de estas zonas.

La familia *Cactaceae* es autóctona del continente americano, excepto una especie del género *Rhipsalis* que se distribuye en África. En América la familia de las cactáceas está integrada por alrededor de 2000 especies, las cuales se encuentran distribuidas por lugares de clima desértico o muy seco, principalmente en América Central y América del Sur, aunque han sido introducidas y se han adaptado a otros lugares de clima seco y cálido, como Australia, la cuenca del Mediterráneo y África Oriental (Bravo-Hollis, 1978). Las condiciones geográficas de México, con su relieve tan particular, han favorecido la diversificación de estas plantas, dando lugar a zonas de una gran riqueza biológica, entre éstas pueden mencionarse las regiones de Tehuacán – Cuicatlán, y el valle de Metztitlán en el centro del país, el altiplano potosino hacia el norte, y la región de Tehuantepec hacia el sur (Rodríguez, 2003).

Las cactáceas son especies de muy lento crecimiento por lo que varias de ellas están en peligro de extinción. En condiciones normales de campo, las cactáceas sufren dificultades para su reproducción y crecimiento, por lo que resulta necesario encausar su reproducción en áreas controladas, y acelerar su desarrollo mediante la aplicación de técnicas de manejo como la hidroponía. Esta técnica es el arte de cultivar plantas sin el empleo de suelo, los nutrientes son suministrados mediante una solución nutritiva. En lugar de tierra se emplea algún tipo de material como sustrato, el cual no contiene nutrientes y se utiliza como un medio de sostén para las plantas, permitiendo que éstas tengan suficiente humedad y nutrientes. La solución nutritiva, permite el desarrollo óptimo de las plantas, además de acelerar el crecimiento, por lo que pueden ser utilizadas con fines de restauración dentro de un área degradada, o satisfacer la demanda de compradores y evitar así el saqueo de éstas especies.

II. OBJETIVO E HIPOTESIS

2.1. Objetivo

- ❖ Evaluar el efecto de diferentes soluciones nutritivas y sustratos en el desarrollo de la biznaga (*Echinocactus grusonii* Hildman).

2.2. Hipótesis

- ❖ El uso de soluciones nutritivas y sustratos favorecen el crecimiento de plántulas de biznaga (*Echinocactus grusonii* Hildman).

- ❖ El fósforo ayuda a que las plántulas de biznaga tengan mayor crecimiento radical.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Generalidades de las cactáceas

Por las condiciones ambientales extremas que predominan en las zonas áridas y semiáridas, las cactáceas han adquirido en su proceso evolutivo de selección natural estructuras, formas y estrategias que les han permitido afrontar ambientes hostiles, su cutícula con gran cantidad de ceras sirve para prevenir la pérdida de agua por transpiración, además sus hojas se han transformado en espinas que las protegen de los depredadores (Choreño, 2001).

La fotosíntesis se lleva a cabo en los tallos y presenta características fisiológicas muy distintas a las plantas con follaje, pues presenta el metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC), lo que induce a que los estomas solo abran durante la noche, y es durante las horas de oscuridad que las plantas llevan a cabo el intercambio gaseoso de asimilación de dióxido de carbono (CO_2) y liberación de oxígeno (O_2), evitando de esta manera la pérdida de agua por transpiración durante las horas de insolación (Riemman, 2000; citado por Choreño, 2001).

Por su patrón de distribución en el suelo, las cactáceas presentan cinco tipos de sistemas radiculares, el primero se caracteriza por estar entre cinco y quince cm de profundidad; el segundo, es extenso, muy largo, superficial y además presenta una raíz principal que da anclaje a la planta y es característico de cactáceas columnares; el tercero es representativo de cactáceas pequeñas, consta de pequeñas raíces densamente ramificadas, ubicadas bajo la planta que aprovechan las gotas de agua que bajan por la misma; el cuarto está constituido por una raíz pivotante, globosa y tuberosa, con pocas y pequeñas raíces secundarias; el quinto es característico de cactáceas epífitas, rastreras y postradas, está constituido principalmente por raíces adventicias (Gibson y Nobel, 1986).

Las raíces de las cactáceas, en respuesta a la poca duración de los periodos húmedos, cuentan con un sistema radical absorbente constituido por un numeroso grupo de raicillas blancas, provistas de pelos radiculares ubicados en la extremidad de

las raíces secundarias, los cuales se generan en periodos con humedad y su vida se restringe a la duración de las mismas (Bravo-Hollis, 1978).

Durante los periodos secos, el potencial hídrico del suelo es bastante bajo para que la raíz pueda absorber agua e incluso puede llegar hasta perderla. Para evitar que esto suceda las raíces permanecen pasivas, y gracias a la fuerte suberización de las paredes celulares evitan la salida del agua (Gibson y Nobel, 1986).

El tallo de las cactáceas es semejante, en lo general, al de otras dicotiledoneas, pero tienen algunas modalidades propias de las plantas suculentas y estructuras que caracterizan a la familia (Bravo-Hollis, 1978). La epidermis en la mayoría de las especies presenta una sola capa de células, aunque en algunas de éstas especies, pueden engrosarse teniendo varias capas. En las cactáceas se hace presente una capa cerosa denominada cutina, esta capa evita la salida de vapor y también repele la humedad exterior (Gibson y Nobel, 1986).

En las cactáceas el tallo es la principal área fotosintética, en este órgano existen numerosos estomas, variando de nueve hasta 70 por mm, ubicándose principalmente en las paredes de las costillas. Abajo de la epidermis se encuentra la hipodermis formada por tejido colenquimatoso, que se caracteriza por que las paredes celulares presentan una alta concentración de pectina y de hemicelulosa, sin la presencia de lignina, dándoles la propiedad flexible y de atraer el agua, por lo que pueden contraerse y expandirse sin sufrir daño (Gibson y Nobel, 1986).

La importancia de las cactáceas radica en su valor ecológico pues reducen los efectos de la erosión hídrica y eólica, además son albergue y alimento para muchos animales donde predominan éstas plantas, de igual forma tienen un impacto económico ya que se utilizan con fines frutícolas, obtención de agua y licores, contenedores, postes, medicinales, alimenticios, forrajeros, combustible, textil, abono verde, colorantes, ceremoniales y ornamentales (Nobel, 1998).

El uso alternativo de las cactáceas como plantas de ornato ha provocado que un gran número de éstas especies sean víctimas de la sobrecolecta, principalmente las

especies endémicas, pues el hecho de presentar áreas restringidas de distribución y pequeñas poblaciones, hace que sean muy vulnerables (Choreño, 2001)

3.2. Caracterización botánica de la especie

La distribución de la biznaga (*Echinocactus grusonii* Hildman) se da en el centro de México; desde San Luís Potosí hasta el estado de Hidalgo. Es una planta de cuerpo globular, generalmente solitario, salvo en ejemplares adultos, los cuales pueden emitir retoños desde su base. Es aplastado por la parte superior. Puede alcanzar diámetro y altura de hasta más de un metro, su cutícula es de color verde brillante con un gran número de espinas y cubierta por una lana de color dorado en el polo superior cuando la planta es adulta. Tiene de 20 a 27 costillas prominentes, rectilíneas y continuas. En los ejemplares jóvenes no se muestran éstas pues se hallan divididas en tubérculos cónicos. Las areolas son grandes, muy lanosas, en el caso de las situadas en el polo superior de la planta, éstas se hallan separadas uno o dos cm entre sí, al principio poseen una lana amarillenta para convertirse más tarde en blanquecina y llegando a ser grisácea. Las espinas son numerosas y fuertes, normalmente rectilíneas, tienen forma de lanza y su superficie es estriada transversalmente, su color es dorado al principio e incluso rojizo en algunas ocasiones, pero van palideciendo hasta llegar casi al blanco. Las espinas radiales son de ocho a diez en número, y de más de tres cm de largo, por su parte las centrales son de tres a cinco veces más gruesas y ligeramente curvadas hacia abajo, miden más de cinco cm de largo y están finamente estriadas (<http://usuarios.lycos.es>, 24-04-06).

Las flores nacen en las areolas jóvenes del polo superior de la planta, emergiendo entre la densa lana existente en esta zona. Miden de cuatro a seis cm de largo e incluso algo más; poseen forma de embudo y son amarillas, su diámetro es de cinco cm. La parte más baja de la flor tiene forma tubular por la disposición particular de los sépalos petaloides; está asimismo, cubierta de escamas, la floración se da entre los meses de junio a septiembre. Sus flores no abren más que a pleno sol y duran tres días. La floración se da en ejemplares adultos (<http://usuarios.lycos.es>, 24-04-06).

El suelo donde se desarrolla la especie debe ser calizo debido a que las plantas, en su etapa adulta, requieren la presencia de cierta cantidad de cal en el terreno para que sus espinas tengan las dimensiones y consistencia adecuadas. Un buen drenaje es fundamental (<http://usuarios.lycos.es>, 24-04-06).

La temperatura mínima aconsejable es de unos 5 °C, no obstante muchos *Echinocactus* toleran hasta -4 °C, siempre y cuando se trate de plantas sanas, adultas, bien establecidas y con sequedad en el suelo. La iluminación debe ser con un ligero sombreado en ejemplares jóvenes. En las plantas adultas es necesario que estén en pleno sol para conseguir una bella formación de las espinas (<http://usuarios.lycos.es>, 24-04-06).

Los riegos deben ser moderados durante el verano, pero en invierno requiere sequedad, que en el caso de ejemplares grandes deberá ser absoluta. La época de riegos debe comenzar algunas semanas más tarde que para otros géneros de *Cactus*. La multiplicación se da por medio de semillas de las cuales el tiempo de germinación tiene lugar entre cinco y siete días después de plantarlas. Además de que las semillas tienen que sufrir un proceso de escarificación, debido a que su testa es muy dura, este proceso ayuda al ablandamiento de la testa permitiendo la salida del embrión (<http://usuarios.lycos.es>, 24-04-06). La especie se encuentra protegida dentro de la norma oficial mexicana ECOL-059, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras, y las sujetas a protección especial y establece especificaciones para su protección, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de mayo de 1994.

3.3. Funciones de los nutrimentos esenciales

Nitrógeno (N), es absorbido por los vegetales tanto en forma de nitrato (NO_3^-) como de amonio (NH_4^+). El amonio es absorbido y utilizado fundamentalmente por las plantas jóvenes, mientras que el nitrato es la principal fuente utilizada durante el periodo de crecimiento. El N ejerce numerosas funciones en la planta debido a que interviene en procesos como formación de aminoácidos, síntesis de proteínas, en

procesos de ácidos nucleicos y bases nitrogenadas, además es constituyente de nucleotidos, amidas, aminos y varias coenzimas, por lo que juega un papel en numerosas reacciones metabólicas. Debido a que el nitrógeno forma parte de la molécula de clorofila, una deficiencia del mismo origina un color amarillento en las hojas (clorosis), debido a la falta de clorofila. El nitrógeno es también un constituyente de las paredes celulares (Urrestarazu, 2004).

Fósforo (P), es absorbido por los vegetales en cualquiera de sus dos formas: como ión fosfato monovalente (H_2PO_4^-) o como ión fosfato divalente (HPO_4^{2-}). La forma del ión absorbido viene determinada por el pH del suelo. Así que en suelos con pH debajo de 7.2 predomina la forma monovalente, mientras que por encima de 7.2 predomina la forma divalente. Existe un efecto notable del N sobre la captación del P en las plantas. Cuando N y P se encuentran física o químicamente asociados en el suelo, la captación del fósforo aumenta. El fósforo es un componente de los ácidos nucleicos, fosfoproteínas, fosfolípidos como las lecitinas, constituyentes de las membranas citoplasmáticas, así como enzimas y proteínas. Igualmente, ejerce un papel regulador en la formación y traslocación de sustancias como azúcares y almidón, interviene en los procesos de maduración, formación de semillas, crecimiento radical y está ligado a la fijación simbiótica del nitrógeno (Urrestarazu, 2004).

Potasio (K), nutriente requerido por las células para incrementar su turgencia, mantener su potencial osmótico; en especial las células oclusivas, encargadas de la apertura de los estomas. Está implicado en la captación de agua del suelo, retención de agua en los tejidos vegetales y transporte de agua y asimilados en floema y xilema, interviene en la estabilización de pH celular, y es requerido como activador de más de 60 enzimas en tejidos meristemáticos. Un aporte adecuado de potasio aumenta el espesor de las paredes celulares, proporcionando una mayor estabilidad a los tejidos; este efecto sobre el crecimiento celular mejora la resistencia a plagas y enfermedades. De igual forma se le atribuyen ciertos efectos sobre la calidad, debido a que las frutas y verduras que crecen con un aporte adecuado de potasio resisten durante más tiempo (Urrestarazu, 2004).

Calcio (Ca), este ión se encuentra en la planta en forma de pectato, componente importante de las células vegetales; está implicado en la elongación y división celular, influye en el pH celular, estabilidad estructural y permeabilidad de las membranas celulares, interviene en el proceso mitótico; proporciona vigor a la planta, rigidez a la pared celular, e interviene en la formación de semillas (Urrestarazu, 2004).

Magnesio (Mg), es un constituyente esencial de la molécula de clorofila y es cofactor de enzimas. Igualmente participa en la formación de azúcares y lípidos y activa la formación de cadenas polipeptídicas de aminoácidos (Urrestarazu, 2004).

Azufre (S), es constituyente de los aminoácidos cisteína, metionina y cistina, esenciales para la formación de proteínas. También está implicado en la formación de vitaminas y en la síntesis de algunas hormonas. Igualmente, está presente en los glicosidos que proporcionan el olor característico de la cebolla, mostaza y ajo (Urrestarazu, 2004).

Hierro (Fe), es un elemento esencial para la síntesis de la molécula de clorofila. Implicado en la fijación de nitrógeno, en la fotosíntesis y transferencia de electrones; forma parte del proceso de reducción del O_2 a H_2O durante la respiración (Urrestarazu, 2004).

Zinc (Zn), es un componente metabólico de numerosos sistemas enzimáticos que participan en la transferencia de electrones y en la síntesis y degradación de proteínas. Forma parte de las auxinas, una de las hormonas implicadas en la regulación del crecimiento vegetal (Urrestarazu, 2004).

Cobre (Cu), componente de algunas enzimas metabólicas. El Cu está implicado en la formación de la pared celular y, como otros micronutrientes, en el transporte electrónico y reacciones de oxidación (Urrestarazu, 2004).

Boro (B), está implicado en el transporte de azúcares de las membranas celulares y en la síntesis de la pared celular. Influye en la transpiración por medio de azúcar y formación de almidón. Afecta el metabolismo de los carbohidratos y juega un papel importante en la formación de aminoácidos y síntesis de proteínas. Las dicotiledóneas, por lo general, requieren tres o cuatro veces más boro que las monocotiledóneas (Urrestarazu, 2004).

Cloro (Cl), interviene en la captura y almacenamiento de energía luminosa, ya que participa en las reacciones de fosforilación de la fotosíntesis. El Cl junto con el potasio, está implicado en la regulación de la presión osmótica (Urrestarazu, 2004).

3.4. Nutrición mineral de las plantas

La productividad de los ecosistemas depende de una serie de factores ambientales que comprenden radiación, temperatura, agua y disponibilidad de los nutrientes. Las prácticas de manejo de la nutrición forestal integran los procesos ecológicos a las decisiones y operaciones del mismo. En general los procesos biogeoquímicos de los nutrientes comparten muchas características en común; sin embargo, el ciclo individual de cada compuesto nutricional también posee características únicas, ya que la falta o deficiencia de un elemento, provoca cambios en las plantas (Binkley, 1993).

Los síntomas de deficiencia de un elemento tienen características específicas. Sin embargo, los niveles de requerimiento y los grados de deficiencia varían con la especie y las condiciones en las cuales las plantas se desarrollan, de tal suerte que una especie puede desarrollarse normalmente en un medio, y para otra especie puede ser insuficiente desde el punto de vista nutricional (Lara, 1999).

Una forma de estudiar los efectos de las deficiencias de los elementos esenciales en las plantas es por el método del elemento faltante, usando soluciones nutritivas. Se pueden preparar soluciones completas que lleven todo los elementos esenciales, sin ofrecer peligros de deficiencia, o se pueden preparar soluciones en la que faltan uno o

más elementos y así estudiar el efecto que produce su ausencia en la planta. Los criterios más comunes usados para evaluar la mejor solución nutritiva, son medir el tamaño de la planta, su peso fresco y peso seco, viendo cómo afecta la producción de órganos específicos como raíces, hojas, flores, frutos y tubérculos entre otros. (INPOFOS, 1997).

3.5. Crecimiento radical y efecto del fósforo

La toma de agua y la reducción al mínimo de su pérdida son dos de los procesos fisiológicos más importantes de las plantas nativas de regiones donde el agua es escasa. Las raíces de los *cactus* tienden a estar a poca profundidad en suelos porosos y arenosos. Las lluvias ligeras que caracterizan a las regiones áridas y semiáridas por lo general no humedecen el suelo a gran profundidad. Así, las raíces someras están idealmente situadas para responder rápido a las lluvias ligeras. Sin embargo, las raíces pueden convertirse en los conductos por los cuales se da una pérdida masiva de agua de los tallos, los cuales poseen un alto contenido, en el suelo seco (Nobel, 1998).

Existen varios tipos y formas de raíces, las cuales desempeñan distintas funciones. Las raíces principales que se originan en el tallo tienden a ser largas, exploran gran volumen de suelo para obtener agua y nutrimentos. Las raíces laterales y delgadas se originan de las raíces principales e incrementan mucho el área de contacto entre el sistema radical y las partículas del suelo, lo cual facilita una toma adicional de agua y de nutrimentos del suelo (Nobel, 1998).

Las raíces de los *cactus* están ausentes en los primeros tres centímetros del suelo (excepto debajo directamente de los tallos), ya que esta región puede llegar a ser extremadamente caliente durante el verano. La época de lluvia puede inducir el crecimiento de nuevas raíces, que se originan en la base del tallo, por lo que el número de raíces principales tiende a incrementarse con la edad (Nobel, 1998).

El P es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas, desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y

transferencia de energía, la división y crecimiento celular y otros procesos que se llevan a cabo en la planta. Además, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces. El P ayuda a las plántulas a desarrollarse rápidamente y mejora su resistencia a las bajas temperaturas. Contribuye a la resistencia de algunas plantas a enfermedades y adelanta la madurez. Los suelos con un buen contenido de P influyen en los cultivos durante los periodos de estrés de humedad, ya que se reducen parcialmente los efectos del estrés hídrico (INPOFOS, 1997).

3.6. Respuesta de las cactáceas a la fertilización

Tanaka *et al.* (1983) encontraron que al aumentar al doble la concentración de N de la solución nutritiva en el riego de *cactus Echinocactus grusonii* Hildman en cultivo hidropónico, se incrementó el largo y ancho de los tallos; así mismo, las concentraciones de los elementos N, P, K, y Ca, se incrementaron en el tallo 3.04, 2.17, 1.88 y 0.63 %, respectivamente.

Lara (1990), encontró la misma respuesta de incremento y de asimilación con la aplicación de diferentes fuentes de fertilizantes en nopal. El Ca aumentó su concentración en cladodios con la aplicación de estiércol bovino; lo mismo sucedió con los elementos P, Mg y Zn, con la aplicación de estiércol ovino; y los elementos Ca, Mg y Zn con gallinaza.

López (1993), reportó que la respuesta del nopal tunero a la aplicación de fertilizantes a los cladodios, tuvo respuesta positiva, puesto que los resultados indicaron que el número de brotes por planta fue estadísticamente mayor en los tratamientos con urea sola o combinada con nitrato de potasio (16-19 brotes); mientras que el testigo solamente produjo un promedio de 0.5 brotes/planta. En relación a la longitud y ancho de brotes, los tratamientos que más destacaron fueron aquellos en los cuales se aplicó urea sola o con nitrato de potasio (26 cm de largo y 14 cm de ancho en promedio por brote) a diferencia del testigo cuyos brotes alcanzaron 6 cm de largo y 3 cm de ancho, a los 90 días de la brotación vegetativa. En cuanto a contenidos nutrimentales, los más altos niveles de N (1.0%) lo presentaron las plantas con los tratamientos que tuvieron urea y nitrato de potasio, mientras que el testigo solo tuvo 0.5%, observando

que dichos tratamientos redujeron en un 60% la clorosis de las plantas. Respecto a los otros nutrimentos P, K, Ca, Mg, Mn, Fe y Zn no encontró diferencias significativas entre tratamientos.

Serrano (1996), evaluó la respuesta de la pitahaya a la aplicación en el suelo de N, P y K. Reportó que para el crecimiento de las plantas, los mejores tratamientos fueron las dosis de 120-00-00 kg ha⁻¹ y 80-60-40 kg ha⁻¹. Obteniendo mayores concentraciones de nitrógeno en el tejido vegetal con 1.8 y 1.0% para el primero y segundo tratamiento, respectivamente. Mostrando niveles más altos de P y K, el tratamiento con las dosis de 80-60-40 kg ha⁻¹ con un incremento en concentración de 108.3 y 39.4% respecto a los testigos. Las concentraciones medias de Ca, Mg, Mn, Zn y Fe, fueron 1.15%, 0.356%; 112.08 ppm, 12.84 ppm y 32.125 ppm respectivamente.

Ramírez (1995), cuantificó la respuesta de plantas de la pitahaya, mediante la aplicación de nutrimentos en forma de aspersión, distribuyendo la brotación vegetativa en cuatro periodos a lo largo del año, encontrando un incremento en la brotación del 73.8% y en la acumulación de N, P, K, Zn del 25.6, 26.2, 21.7 y 25.9 % respectivamente en brotes nuevos cuando se asperjaron los tallos y las raíces aéreas con fertilizante foliar en comparación con las mismas partes no asperjadas o asperjadas solo con agua. Las raíces terrestres y las raíces aéreas asperjadas con fertilizante foliar mostraron un incremento en la brotación de 43.5 y 47.4 % respectivamente. Este autor concluyó que las plantas asperjadas con fertilizante foliar en los sistemas radicales aéreos y terrestres, presentan respuesta igual entre ambas y superior a las plantas asperjadas sólo con agua.

Mata (1997), realizó un experimento con el objetivo de conocer la permeabilidad que tiene el tallo de pitahaya al nitrógeno, fósforo y potasio en aplicaciones mensuales, encontrando que no existieron diferencias significativas sobre el contenido nutrimental; concluyendo que los micro y macronutrientes no pueden ser absorbidos a través del tallo de pitahaya. Esto hace suponer que al no haber respuesta a las aplicaciones foliares de fertilización en los tallos de esta especie, la fertilización debe basarse en aplicaciones al suelo.

3.7. La hidroponia y sus componentes

El termino hidroponia se refiere al cultivo de plantas, que mantienen sus raíces inmersas, permanente o intermitentemente, en una solución que contienen los elementos minerales esenciales para el desarrollo normal de las mismas (Capulin, 2001).

Los sistemas hidroponicos pueden ser clasificados como: a) Sistemas de circuito abierto, en donde una vez que se ha sido suministrada la solución nutritiva a las plantas, no vuelve a colectarse para ser reusada, y b) Sistema de circuito cerrado, donde la solución es captada en un tanque de almacenamiento; se repone el agua evapotranspirada verificandose el pH y conductividad eléctrica y nuevamente es reciclada (Jensen y Collins, 1985).

Otra técnica de riego y fertilización de las especies es la aeroponia donde las raíces se encuentran suspendidas al aire, dentro de un medio oscuro y son regadas por medio de nebulizadores, controlados por temporizadores. Esta técnica no es recomendada para principiantes, debido a que requiere conocimientos tecnicos sobre el tema (Sanchez y Escalante, 1986).

3.7.1. Sustratos

La función del sustrato es la de proporcionar a la planta un medio de sostén, protegiendo a la raíz de la luz, además de retener la solución nutritiva para la planta. El sustrato en el que las raíces crecen debe ser lo suficientemente fino para mantener un adecuado nivel de humedad, pero a la vez no tan fino, con el objeto de permitir una aireación eficiente. Debe ser inerte, o sea no debe contener sustancias que reaccionen con la solución nutritiva ni sustancias tóxicas para las plantas, y se debe evitar en lo posible que esté contaminado con materia orgánica o fango, pues esto puede favorecer la incidencia de enfermedades.

Entre los sustratos empleados más comúnmente en hidroponia se cuentan: arena, grava, tezontle, ladrillos quebrados y/o molidos, perlita, vermiculita (silicato de

aluminio), peat moss (turba vegetal), aserrín, resinas sintéticas (poliuretano), cascarilla de arroz, carbón vegetal, entre otros (Pastor, 1999). A continuación se da la descripción de algunos sustratos.

Agrolita. Es un material de origen volcánico con excelentes propiedades en cuanto a aireación y retención de humedad. Se utiliza como mejorador para tierras de cultivo y no es difícil de conseguir. Se trata de una "piedrecilla" con diámetros entre uno y cuatro mm, de color blanco y muy ligera de peso. Al utilizar este sustrato el riego con solución nutritiva puede ser cada tercer día (Garcia *et al.*, 2001).

Vermiculita. Es una piedrecilla volcánica de color café-dorado. Tiene excelente aireación provocando que se mantenga caliente en invierno y fresca en verano. Presenta una absorbencia muy buena (cuatro veces su peso en agua), por lo que puede ser recomendable solamente para climas secos y cálidos. Si no se tiene cuidado con el riego, las raíces se pueden pudrir por exceso de humedad, especialmente en climas templados y lluviosos (Garcia *et al.*, 2001).

Arena de tezontle. Este material es el mejor debido a su gran capacidad de retención de humedad y puede ser importante en áreas tropicales debido a que la tasa de transpiración es alta (Schwarz, 1975). Asimismo, Baca (1983), indicó que el tezontle rojo tiene la capacidad de adsorber iones de K y P, además, por su porosidad permite la manifestación de un sistema acuoso de película delgada, extensivo al espacio libre aparente radical, en el cual puede tener acceso una mayor cantidad de estos iones mediante efectos difusivos, cuando en el sistema hidropónico existe un buen intervalo de riego (Baca, 1983). Es conveniente que la granulometría de las partículas sea lo más uniforme posible en el rango de 4 a 15 mm. La mezcla de diferentes tamaños de partículas de tezontle siempre ocasiona un bajo suministro de oxígeno a las raíces, debido a que las partículas más finas llenan los poros de las más grandes; consecuentemente se retendrá más agua sobre y alrededor de las raíces, ocasionando una ruta más larga de difusión del oxígeno (Steiner, 1968).

Peat moss. Es un material formado por la acumulación de materia orgánica cuando la tasa de acumulación supera a la tasa de mineralización, debido a que el material orgánico se encuentra en condiciones no favorables a la biodegradación, en medios anaeróbicos o semianaeróbicos. Bajo condiciones frías, elevada humedad y condiciones anaeróbicas, la descomposición del material orgánico se ve limitada, dando lugar a la acumulación de restos vegetales. Cuenta con una alta capacidad de retención de agua, muestra una acidez elevada, así como una elevada capacidad de intercambio catiónico y porosidad (Esquivel, 2001). En estado natural normalmente es un material deficiente en cuanto a los principales nutrimentos para las plantas; su disponibilidad es limitada debido a que es un material no renovable en el tiempo y tiene un nivel alto de degradación física durante el cultivo, por lo que se recomienda para cultivos de ciclos cortos. El hecho de que éste material no exista en México y se deba importar encarece considerablemente su adquisición (Burés, 1997).

3.7.2. Solución nutritiva

La solución nutritiva es el conjunto de elementos nutrimentales requeridos por las plantas, disueltos en agua. A pesar de los esfuerzos realizados en el siglo pasado, no se ha encontrado una solución "ideal" para las plantas cultivadas o, por lo menos, para algunas especies deseadas. Los ensayos reportan que esto se debe a que las plantas tienen diferentes requerimientos: a) entre especies, b) entre plantas de la misma especie para diferentes estaciones del año, c) durante el desarrollo de la planta, d) de órgano a órgano dentro de la misma planta. Además, la solución "ideal" también depende de: e) la duración del día, f) la temperatura, g) la radiación solar, y algunos otros factores, mismos que han dado origen a numerosas soluciones nutritivas formuladas por diferentes investigadores y para varios cultivos (Gauch, 1973).

La mayoría de las soluciones nutritivas que se han publicado son similares, aunque difieren en la cantidad de nitrógeno y potasio principalmente, debido a los diversos requerimientos de las plantas, ya que, como es conocido, necesitan menos nitrógeno durante días cortos u oscuros y más nitrógeno durante los días largos, claros y/o con altas temperaturas. En teoría cada planta en cada región del mundo tiene sus propios

requerimientos nutrimentales, pero en la práctica las plantas, afortunadamente, muestran una gran tolerancia. Las diferencias significativas estaban en el costo, pureza y solubilidad de los productos químicos incluidos en la solución nutritiva, lo que depende del grado utilizado, el cual puede ser puro, técnico, o fertilizante (Jensen y Collins, 1985).

La solubilidad de los componentes fertilizantes es variado, pero en general lo primero que se realiza es ajustar el pH del agua al valor deseado; en segundo lugar se incorporan los macronutrientes y después los micronutrientes. En todo el tiempo de preparación, el agua se mantiene en constante agitación y con un volumen no menor al 50% del total (Penningsfeld y Kurzman, 1975). Los macro y micronutrientes pueden suministrarse en seco (solos o mezclados) o previamente disueltos en agua individualmente, para formar una solución madre concentrada de cada uno de los nutrientes, (debe prepararse una solución para cada macronutriente, otra para Fe y otra con los micronutrientes restantes) y de ahí tomar la cantidad requerida para preparar la solución nutritiva (Sánchez y Escalante, 1981). Con la finalidad de que la planta disponga de todos los nutrientes contenidos en la solución es conveniente prepararla el día anterior a su empleo ya que algunas sales y/o fertilizantes son más lentos para solubilizarse o disolverse (Rodríguez, 1989).

Una solución nutritiva para que efectivamente tenga disponibles los nutrientes que contiene no debe tener precipitados. Steiner (1961) definió la solución nutritiva verdadera como aquella fórmula que coincida con el análisis químico de la misma y que sea homogénea en todas sus partes; además debe cumplir los siguientes requisitos: 1) una relación mutua de aniones, 2) una relación mutua de cationes, 3) una concentración iónica total, y 4) un pH con tolerancia de ± 0.1 , de esta manera desarrolló un método para preparar soluciones nutritivas. Steiner (1966) realizó estudios principalmente con jitomate, lechuga, pimiento, crisantemo, clavel, frijol y avena regados con solución nutritiva. Encontró que de las doce soluciones nutritivas probadas, el óptimo para lograr un mejor crecimiento y producción se encontró en una región muy limitada del hiperespacio explorado en su sistema de triángulo equilátero para formular prácticamente todas las combinaciones posibles de aniones y cationes.

A partir de aquí, seleccionó una composición denominada la “Solución Nutritiva Universal de Steiner”.

3.7.3. pH de la solución nutritiva

El pH es la medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia. El pH del sustrato o de la solución nutritiva afecta la disponibilidad de nutrimentos, a veces de forma considerable. Por ejemplo, los fosfatos se hacen menos solubles cuando el pH aumenta, esto particularmente en el rango de pH 6.0-7.0. De hecho, cinco micronutrimentos (B, Cu, Fe, Mn y Zn) se hacen menos solubles con pH alto, mientras que el Molibdeno (Mo) se hace menos disponible bajo pH 5.5. El control del pH en la zona radical es por lo tanto crucial, si se requiere optimizar la nutrición (Urrestarazu, 2004).

El crecimiento y desarrollo de las plantas se ven reducidos en condiciones de acidez o alcalinidad extremas. El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilación de nutrimentos, la capacidad de intercambio cationico y la actividad biológica. Por lo cual el pH de la solución nutritiva tiene un papel fundamental para el éxito de los cultivos, por lo cual se deben extremar los cuidados para garantizar a los cultivos la perfecta absorción de los nutrimentos controlando los niveles de pH (Urrestarazu, 2004).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del área de procedencia de la especie

El estado de Hidalgo esta en la porción central del país, colinda con los estados de México, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, San Luís Potosí y Querétaro, (Figura 1), la entidad hidalguense tiene una extensión de 20 813 Km², cruzado por la Sierra Madre Oriental, que recorre longitudinalmente todo su territorio, dando paso a las nueve grandes regiones naturales que la conforman geográficamente. (<http://www.hidalgo.gob.mx>, 24-04-06).



Figura 1. Localización del estado de Hidalgo en el mapa de la Republica Mexicana

El Municipio de Metztitlán esta ubicado sobre la carretera federal número 105, hacia la desviación, en el kilómetro 60 y en el Puente de Venados, a 84 kilómetros de la ciudad de Pachuca. Se ubica geográficamente entre los paralelos 20° 36´ de Latitud Norte y 98° 46´ Longitud Oeste, a una altitud de 1 320 metros sobre el nivel del mar.

La Figura 2 muestra la ubicación del Municipio de Metztitlán dentro del estado de Hidalgo, así como sus colindancias; al norte con los municipios de Molango, Eloxochitlán y Xochicoatlán; al sur con Actopan y Atotonilco el Grande; al Este con

Zacualtipan; al oeste con el Cardonal y Tlahuiltepa. Los centros más poblados del Municipio son: primero la cabecera municipal de Metztitlán, le siguen nueve cabeceras de subsistemas, una localidad con servicios primarios y 70 localidades menores. Siendo sus principales comunidades: El Pedregal, Zoquizoquipan, Fontezuelas, El Pirúl, Ixtayatla, San Pablo Tetlapayac, La Paila, El Carrizal y San Cristóbal. (<http://www.e-local.gob.mx>, 12-02-06)

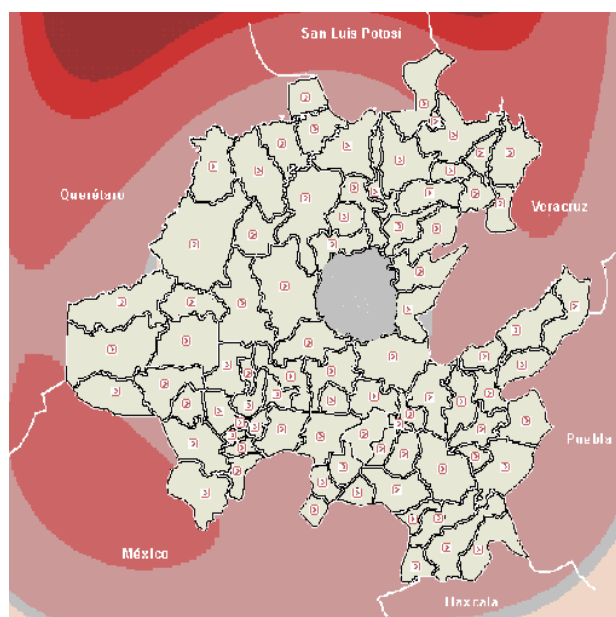


Figura 2. Ubicación del Municipio de Metztitlán en el estado de Hidalgo

La Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán se encuentra al centro-este del estado de Hidalgo. Comprende la cuenca de la Barranca de Metztitlán, entre los paralelos $98^{\circ}23'00''$ y $98^{\circ}57'08''$ Longitud Oeste y $20^{\circ}14'15''$ Latitud Norte, con elevaciones entre 1 000 y 2 000 msnm. En general la zona de la Reserva presenta una topografía accidentada, con pendientes pronunciadas y escarpadas suelos pobres y poca lluvia a lo largo del año; fisiográficamente, la Reserva se ubica en la provincia de la Sierra Madre Oriental, concretamente en la subprovincia del carso Huasteco (Rodríguez, 2003).

Presenta un clima que va de seco y semiseco hasta cálido en algunas áreas, esta variación del clima es propiciada por el efecto de sombra de lluvia que ejerce la Sierra

Madre Oriental sobre esta región. En la temporada de lluvias, en verano, los vientos alisios descargan su humedad sobre la zona del barlovento, tales vientos arriban a la cañada de Metztlán con poca humedad y la cruzan por encima contribuyendo a su carácter semiseco. La precipitación media anual de la Reserva es de 500 mm, alcanzando 600 mm y hasta 700 mm, con lluvias en los meses de junio a septiembre y una temperatura media anual de 18 a 22°C con heladas en los últimos meses del año.

Edafológicamente el sitio cuenta con nueve unidades de suelo: litosol, rendzina, regosol, fluvisol, feozem, vertisol, cambisol, luvisol, y planosol, dominando las seis primeras. Las márgenes del río Venados y la zonas de aluvión tienen suelos fluvisoles cálcicos y feozems. En la zona NE predominan litosoles, seguidos por rendzinas y luvisoles. En la porción Sur, aladaña al río, se encuentran regosoles cálcicos y regosoles eútricos. En la zona C-E hay algunas redzinas, mientras que al SE se hallan feozems háplicos y vérticos. En las porciones más altas del NE de la Reserva, se encuentran luvisoles verticos y cambisoles verticos (Rodríguez, 2003).

4.2. Colecta y germinación de semillas

La recolección de la semilla se realizó dentro de la Reserva de la Barranca de Metztlán, esta actividad se produjo en el mes de junio del 2005. Se colectó semilla de 10 plantas adultas de biznaga (*Echinocactus grusonii* Hildman), de las cuales se tomaron 5 cápsulas por planta, cada capsula contenía entre 30 y 50 semillas.

La germinación de las semillas se llevo a cabo en el laboratorio de Biotecnología forestal del Instituto de Ciencias Agropecuarias perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) en el mes de enero del 2006. Primero se extrajeron las semillas de las cápsulas, posteriormente se sometieron a un proceso de escarificación con ácido sulfúrico concentrado. La escarificación es un proceso que se realiza para producir el ablandamiento de la testa de la semilla y con ello inducir una germinación más rápida. El proceso consistió en sumergir por completo las semillas en el ácido durante un minuto, posteriormente se enjuagaron con agua previamente esterilizada en el autoclave, para evitar la aparición de hongos durante la germinación.

Las semillas escarificadas se depositaron dentro de cajas petri que contenían papel absorbente al cual se le agregaron cuatro ml de agua esterilizada; las cajas petri fueron cerradas y llevadas a una cámara de incubación con una temperatura de 26 °C y 24 horas de fotoperiodo. Todo el material utilizado en este proceso fue previamente esterilizado para evitar la aparición de hongos dentro de las cajas. El tiempo de germinación de la semilla dentro de la cámara fue de siete a diez días con un porcentaje de germinación del 55%.

4.3. Trasplante

Las plántulas fueron trasplantadas a los 7 días después de la germinación en charolas llenas con tres sustratos, a saber: suelo nativo de la Barranca de Metztitlán, tezontle molido, y una mezcla de peat-moss, agrolita y vermiculita (50-30-20%) respectivamente. Las plántulas se regaron moderadamente cada tercer día con agua destilada durante un mes, para que tuvieran un proceso de adaptación.

4.4. Preparación y aplicación de las soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas fueron preparadas a partir de la Solución Nutritiva Universal de Steiner (1973), la cual contiene todos los nutrimentos esenciales, y una relación óptima de aniones y cationes. Para la elaboración de las soluciones nutritivas se utilizaron fertilizantes comerciales en grado fertilizante (Cuadro 1). Para pesar los fertilizantes se utilizó una balanza digital marca ADAM PW 124 (120g x 0.0001g).

Cuadro 1. Fertilizantes y cantidades utilizados en la preparación de soluciones nutritivas completas

Fertilizante	Solución 1 L	Solución 20 L
	(g)	(g)
Nitrato de calcio (CaNO_3)	0.947	18.94
Nitrato de potasio (KNO_3)	0.47	9.4
Sulfato de potasio (K_2SO_4)	(1) 0.282 ^z	5.64
	(2) 0.226	4.52
	(3) 0.197	3.94
Sulfato de magnesio (MgSO_4)	0.495	9.9
Fosfato de potasio (K_2HPO_4)	(1) 0.088 ^w	1.76
	(2) 0.132	2.64
	(3) 0.176	3.52
Sagaquel Fe	0.062 ml	1.24 ml
Acido Bórico	0.043	0.86
Sulfato de Cu	0.016	0.32
Sulfato de Zinc	0.0107	0.214
Sulfato de Mn	0.012	0.24

^z1, 2 y 3 reducción del sulfato de potasio y ^w 1, 2 y 3 aumento del fosfato de potasio para incrementar el contenido de P en 150 y 200%.

Cada fertilizante fue disuelto en agua destilada contenida en vasos de precipitados para una mejor disolución, posteriormente se vertió la solución en garrafones de 20 L, esta solución preparada se utilizó como solución madre para cada contenido de fósforo, con ello se formaron las soluciones nutritivas para los riegos. A cada solución madre se le midió, la conductividad eléctrica (CE), obteniendo un valor de 2.4 dS m⁻¹; también se midió el pH de la solución presentando un valor de 6.8 a 7.0. A continuación se redujo el pH de la solución agregando unas gotas de ácido sulfúrico con una pipeta; la literatura recomienda un pH entre 5.5 a 6.5, para favorecer la disponibilidad de los nutrientes (Maldonado, 1994).

Durante los primeros cuatro meses, el riego a las plantas se hizo con una solución nutritiva preparada con un litro de solución madre por cada diez litros de agua destilada (1:10), esto con el propósito de disminuir la conductividad eléctrica (CE) y evitar que las plántulas tuvieran una reducción en su desarrollo a consecuencia de las sales. La CE de la solución nutritiva con esta disolución fue de 1.1 dS m⁻¹. Después de este periodo se incrementó la cantidad de sales en la solución nutritiva con el empleo

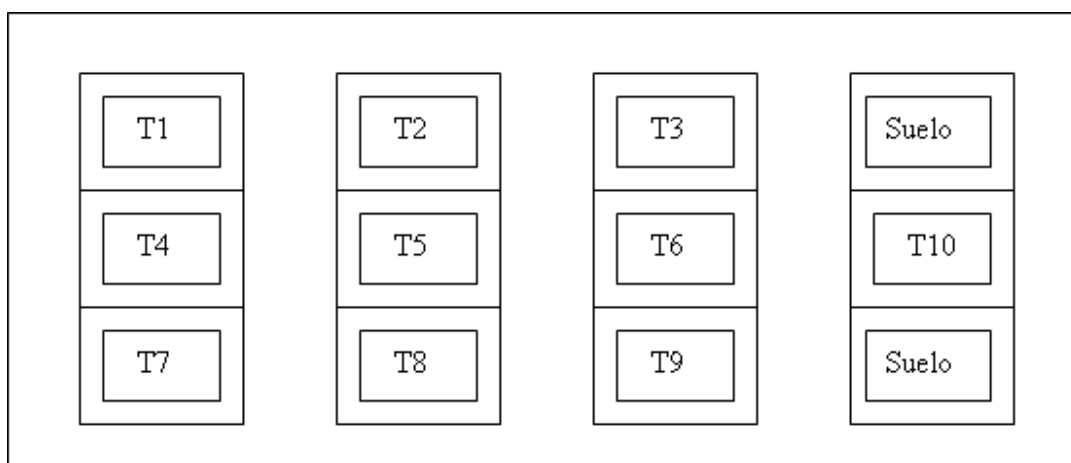
de 8 litros de agua vs 1 litro de solución madre hasta el final de el experimento, aumentando la CE de la solución nutritiva a 1.4 dS m^{-1} . La aplicación de las soluciones nutritivas se llevo a cabo por medio de un aspersor manual.

El riego se realizó diariamente durante los primeros dos meses; después éste se hizo cada tercer día. Los tratamientos se ubicaron de tal forma que se evitó la contaminación de algún tratamiento por la aplicación de una solución, que no, correspondiera al tratamiento.

4.5. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente al azar en arreglo factorial (Cuadro 2), y se tuvieron dos factores de estudio con tres niveles, a saber: el primer factor correspondió a la fertilización con solución nutritiva con tres niveles de fósforo; el segundo factor se refiere al uso de tres sustratos, haciendo un total de nueve tratamientos; además se incluyo un décimo tratamiento como testigo para efectos de comparación (Cuadro 3). Cada tratamiento constó de 20 plantas y cada planta representó la unidad experimental.

Cuadro 2. Ubicación de los tratamientos por charola.



Cuadro 3. Tratamientos empleados en el crecimiento de biznaga (*Echinocactus grusonii* Hildman) mediante hidroponia.

Tratamiento	Sustrato	Solución nutritiva
1	Suelo nativo	SNC (100% P) ^y
2	Suelo nativo	SNC (150% P)
3	Suelo nativo	SNC (200% P)
4	Tezontle	SNC (100% P)
5	Tezontle	SNC (150% P)
6	Tezontle	SNC (200% P)
7	Mezcla ^z	SNC (100% P)
8	Mezcla	SNC (150% P)
9	Mezcla	SNC (200% P)
10	Suelo nativo	AGUA DE LA LLAVE

^zMezcla = Peat-Moss 50%, Agrolita 30% y Vermiculita 20%; ^ySNC = Solución Nutritiva Completa con tres niveles de fósforo.

4.6. Medición de las variables de estudio

La medición de las variables fue por medio de muestras destructivas y se realizó a dos o cuatro plantas dependiendo del número existente en cada tratamiento. La medición se hizo en la primera semana de los meses de marzo, mayo, agosto y octubre del 2006. Las variables que se evaluaron fueron: altura, diámetro, longitud de raíz, peso húmedo y seco de la parte aérea y de la raíz de las plántulas, contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, con lo cual se evaluó el efecto de los tratamientos.

Se utilizó un vernier digital para la medición de las variables altura, diámetro, y longitud de la raíz; el diámetro se midió a la mitad de la parte aérea de la planta y la longitud de raíz se midió de la base que une a la parte aérea con la raíz, hacia abajo. Para las variables peso húmedo y seco de la parte aérea, y de la raíz de las plántulas se dividió la parte aérea de la raíz y se utilizó una balanza digital marca ADAM PW 124 (120g x 0.0001g), para obtener el peso seco se introdujeron las plántulas en una estufa marca Grieve Mod. LW-201 C, a 70 °C durante 48 h, los pesos totales se obtuvieron realizando la suma del peso de la parte aérea y el peso de la raíz.

4.7. Análisis de suelo

Para conocer el contenido nutrimental donde crece la especie, se tomó una muestra compuesta por cuatro submuestras de suelo de la Barranca de Metztitlán, posteriormente la muestra se secó al aire y finalmente se envió al laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados para su análisis químico, y saber el contenido de nutrimentos que presenta el suelo de la región, para tomarlo como referencia. Los métodos utilizados en el análisis de las muestras de suelo se muestran en el Cuadro 4.

4.8. Análisis Nutrimental

El material vegetal de cada muestreo y tratamiento, se secó en una estufa marca Grieve Mod. LW-201 C, a 70 °C durante 48 horas a 70° C. Una vez seco el tejido vegetal se molió en una capsula de porcelana con mortero. Se formó una muestra compuesta para cada tratamiento juntando las cantidades obtenidas de los cuatro muestreos, debido a que en cada muestreo se obtuvo una cantidad muy pequeña, que no alcanzaba para realizar el análisis químico individual. El tejido vegetal se llevó al Laboratorio Central de la Universidad Autónoma Chapingo, donde le realizaron el análisis del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio los métodos utilizados son los siguientes: digestado con mezcla diácida y determinado por arrastre de vapor, fotolorimetría por reducción con molibdo-vanadato y espectrofotometría de emisión de flama para nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente.

4.9. Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados con el programa estadístico del SAS versión 8.0, haciendo un análisis de varianza y la comparación de medias entre tratamientos y entre factores de estudio con la prueba de Tukey (SAS, 1997).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Contenido nutrimental del suelo

Con la finalidad de comprender las condiciones naturales del suelo donde se desarrolla la biznaga, se realizó un análisis de suelo de la Barranca de Metztitlán, obteniendo los resultados que se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados del análisis de suelo de la Barranca de Metztitlán.

	pH 1:2 H ₂ O	MO (%) Walkley Black	N-NO ₃ KCL 2N ppm	N-NH ₄ ppm	P Olsen ppm	K	Ca NH ₄ OAc1N pH7 (centimoles + Kg ⁻¹)	Mg
Suelo	8.4	7.7	33	25	1	0.4	38.4	0.8

El pH del suelo donde crece la especie en estudio, presenta un valor de 8.4, clasificado como fuertemente alcalino (INPOFOS, 1997). Granados y Castañeda (1991) y García (1990) mencionan que las cactáceas se desarrollan bien en suelos calcáreos y con pH tendientes a alcalinos, por lo cual esta propiedad no se considera como limitante. Por otra parte este valor indica que existe gran cantidad de cationes intercambiables y disponibles, mientras que sugiere una reducción en el contenido de micronutrientes disponibles para la planta en el suelo.

El contenido de materia orgánica es de 7.7%; clasificado como un contenido medio (Etchevers *et al.*, 1971). Este valor indica que existe una cantidad considerable de materia orgánica, propia de un suelo derivado de cenizas volcánicas, los cuales son ricos en materia orgánica, pero en general su tasa de mineralización es muy baja, esto debido a que la materia orgánica que poseen está altamente estabilizada, lo cual indica que existe una baja disponibilidad de nitrógeno y otros nutrientes.

El nitrógeno nítrico y el nitrógeno amoniacal representan el nitrógeno inorgánico del suelo, cuyo contenido es menor del 2% respecto al nitrógeno total del suelo (Navarro y

Navarro, 2000). Conviene destacar que la cantidad de nitrato y amonio es escasa, producto de la baja tasa de mineralización de la materia orgánica. Este contenido propicia un pobre crecimiento de la vegetación existente, en especial de la especie en estudio.

Para el contenido de P el valor obtenido es de 1 ppm, y de acuerdo a la clasificación de P extractable Olsen, la CSTPA (1980) indica que niveles de P, menor a 5.5 ppm son considerados bajos. La cantidad de P en el suelo donde se desarrolla la especie es muy pobre, por lo cual es posible que la planta tenga deficiencias y esto ocasione un pobre crecimiento por la carencia de este elemento. Por lo cual se esperaría que los tratamientos con una aplicación extra de fósforo en las plantas muestren una respuesta favorable; sin embargo, esta aseveración no ocurrió.

Para el caso del Ca, Mg y K se tomó en cuenta la clasificación de Etchevers *et al.* (1971) la cual indica que en el caso del Ca, el cual tiene un valor de $38.4 \text{ Cmol kg}^{-1}$, corresponde a una clase alta, el Mg que tiene un valor de 0.8 corresponde a una clase baja, y lo mismo sucede con el K con un valor de 0.4 centimoles por kg de suelo. Esto indica que los sitios de intercambio del suelo están dominados por el Ca, lo que redundará en poco K y Mg en el suelo y probables deficiencias de estos nutrimentos para la planta.

En base a las clasificaciones mencionadas anteriormente se encontró que el suelo de la Barranca de Metztitlán es un suelo pobre, con poco contenido de nutrimentos, debido a que se encuentra en una zona semidesértica, las plantas se encuentran sometidas a un estrés hídrico causado por la escasez de agua en el sitio. La suma de estos dos factores da como resultado que el crecimiento de la biznaga se vea afectado, no sólo por su propia fisiología, sino también por las condiciones ecológicas tan limitantes que imperan en el sitio, siendo éstas determinantes en el desarrollo de las plantas.

5.2. Análisis del crecimiento de la especie

5.2.1. Comparación del crecimiento por muestreo

El crecimiento de la biznaga a los 39 días después del trasplante (ddt), se muestra en el Cuadro 5. Indica que las variables peso fresco parte aérea, peso fresco raíz, peso fresco total, altura y diámetro, no presentan diferencia significativa entre los tratamientos; sin embargo, existe un valor estadístico mayor del tratamiento cuatro y ocho para peso seco total de planta y longitud de raíz, respectivamente, respecto al resto de los tratamientos. A pesar de las diferencias que existen entre algunos tratamientos, éstas no son atribuibles a la aplicación de la solución nutritiva, debido a que el tiempo transcurrido entre el trasplante y la toma de datos fue muy corto por lo cual durante éste periodo las plántulas aún contaban con reservas de nutrimentos proporcionados por las semillas incluyendo el testigo, dando lugar a que no se pudieran observar diferencias entre tratamientos de las variables evaluadas.

Cuadro 5. Respuesta de la biznaga, a tres soluciones y tres sustratos a los 39 días después del trasplante, bajo invernadero.

Tratamientos	Variables ^z						
	Pfpa	Pfr	Pftot	Pstot	Alt	Diam	Lr
	----- mg planta ⁻¹ -----			----- mm -----			
S+snc (100% P)	49 a	0.8 a	51 a	1.8 cd	7.34 a	6.15 a	4.54 ab
S+snc (150% P)	54 a	1.8 a	65 a	3.1 bcd	6.51 a	6.80 a	4.12 b
S+snc (200% P)	18 a	0.8 a	19 a	7.9 ab	6.14 a	5.94 a	2.50 b
T+snc (100% P)	49 a	2.3 a	52 a	8.8 a	6.67 a	5.13 a	3.88 b
T+snc (150% P)	30 a	0.9 a	31 a	1.4 d	5.32 a	5.07 a	3.44 b
T+snc (200% P)	48 a	0.6 a	49 a	1.4 d	7.64 a	4.79 a	3.47 b
M+snc (100% P)	59 a	1.0 a	61 a	1.3 d	6.78 a	4.72 a	3.98 b
M+snc (150% P)	62 a	1.2 a	63 a	6.4 ab	6.84 a	4.58 a	7.71 a
M+snc (200% P)	34 a	0.9 a	38 a	1.2 d	5.64 a	3.89 a	3.58 b
Testigo	43 a	1.3 a	45 a	1.5 d	6.58 a	3.25 a	3.27 b
DMS	94	3.4	98	4.9	4.05	9.30	3.58
C. V. (%)	52.95	62.34	52.28	35.32	15.63	37.38	22.32

^zPfpa = peso fresco parte aérea; Pfr = peso fresco raíz; Pftot = peso fresco total; Alt = altura; Diam=diámetro; Lr = longitud de raíz; Pstot = peso seco total. Medias seguidas con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, $P \leq 0.05$

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de la comparación entre factores y niveles a los 39 ddt. Esta comparación indica que no hubo diferencia estadística de las

variables en estudio, a excepción de la longitud de raíz cuando a la solución nutritiva se le agregó 50% más de fósforo, lo cual resultó contrastante, ya que se esperaría que un contenido mayor de P, proporcionaría una longitud de raíz mayor puesto que una de las funciones del fósforo es el crecimiento radical de la planta (INPOFOS, 1997).

Cuadro 6. Comparación de sustratos y niveles de P sobre el crecimiento de biznaga a los 39 días después del trasplante, bajo invernadero.

Factor	Variables ^z						
	Pfpa	Pfr	Pftot	Pstot	Alt	Diam	Lr
	----- mg planta ⁻¹ -----			----- mm -----			
Sustratos							
Suelo	40 a	1.8 a	43 a	4.2 a	6.66 a	5.78 a	3.72 a
Tezontle	42 a	1.3 a	44 a	3.8 a	6.54 a	5.08 a	3.59 a
Mezcla	52 a	1.0 a	54 a	3.0 a	6.42 a	3.98 a	5.09 a
Niveles de Fósforo							
100% de P	52 a	1.4 a	54 a	3.9 a	6.93 a	4.81 a	4.13 ab
150% de P	48 a	2.0 a	51 a	3.6 a	6.22 a	5.25 a	5.09 a
200% de P	33 a	0.8 a	35 a	3.5 a	6.47 a	4.77 a	3.18 b
DMS	40	1.4	41	2.1	1.62	3.04	1.53
C. V. (%)	52.52	62.04	54.77	35.06	15.40	38.10	22.96

^zPfpa = peso fresco parte aérea; Pfr = peso fresco raíz; Pftot = peso fresco total; Alt = altura; Diam=diámetro; Lr = longitud de raíz; Pstot = peso seco total; P= fósforo. Medias seguidas con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, P ≤ 0.05

A los 103 días después del trasplante no se observó diferencia estadística entre los tratamientos (Cuadro 7), a excepción de la variable diámetro en la cual los tratamientos 4 y 6, que corresponden a los crecidos en tezontle, y el 8 en el cual las plantas se crecieron en la mezcla. Durante esta etapa de crecimiento la supervivencia de las plantas se vio afectada considerablemente, principalmente en los tratamientos 7, 8 y 9, los cuales corresponden a la mezcla que se hizo de peat-moss (50%), agrolita (30%) y vermiculita (20%), muestran una mortandad de plantas, disminuyendo su número, probablemente debido a un exceso de agua, ya que los sustratos con los que se realizó la mezcla tienen una capacidad alta de retención, comparada con los demás sustratos utilizados (Esquivel, 2001). Tomando en cuenta que los riegos fueron iguales para todos los tratamientos, y a pesar de la disminución en el número de plantas en la mezcla, los riegos se realizaron con la misma intensidad y frecuencia con el objetivo

de que no existieran diferencias atribuibles a la intensidad del riego entre los tratamientos.

Cuadro 7. Respuesta de la biznaga, a tres soluciones y tres sustratos a los 103 días después del trasplante, bajo invernadero.

Tratamientos	Variables ²						
	Pftot	Pspa	Psr	Pstot	Alt	Diam	Lr
	-----mg planta ⁻¹ r-----			----- mm -----			
S+snc (100% P)	270 a	15.6 a	1.7 a	17 a	12.65 a	5.3 ab	9.68 a
S+snc (150% P)	140 a	11.6 a	1.2 a	12 a	10.20 a	4.6 ab	6.77 a
S+snc (200% P)	170 a	17.0 a	1.1 a	18 a	11.13 a	5.4 ab	9.66 a
T+snc (100% P)	390 a	18.3 a	2.3 a	20 a	13.38 a	6.2 a	8.44 a
T+snc (150% P)	320 a	15.0 a	1.4 a	16 a	11.17 a	5.5 ab	9.02 a
T+snc (200% P)	340 a	15.6 a	2.0 a	17 a	12.88 a	6.3 a	4.68 a
M+snc (100% P)	170 a	15.0 a	1.1 a	16 a	9.68 a	5.2 ab	6.37 a
M+snc (150% P)	250 a	16.0 a	1.4 a	17 a	10.31 a	6.0 a	6.43 a
M+snc (200% P)	270 a	18.0 a	1.4 a	19 a	9.62 a	5.6 ab	8.98 a
Testigo	280 a	15.3 a	1.5 a	16 a	12.49 a	5.5 ab	9.60 a
DMS	326	7.7	1.7	8	5.4740	1.29	7.43
C. V. (%)	38.01	15.51	34.87	15.01	15.10	7.28	29.30

²Pftot = peso fresco total; Alt = altura; Diam=diámetro Lr = longitud de raíz; Pspa = peso seco parte aérea; Psr = peso seco raíz; Pstot = peso seco total. . Medias seguidas con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, P ≤ 0.05.

El análisis de los factores del Cuadro 8 muestra diferencias significativas para ambos factores. El primer factor corresponde a los sustratos utilizados, en el cual se encontró que el tezontle tuvo una superioridad significativa en las variables peso fresco total, altura y diámetro de las plántulas, seguido de las plántulas crecidas en mezcla dejando al último las de suelo. Las variables restantes no muestran ninguna diferencia estadística. Sin embargo, se observa una tendencia en la mayoría de las variables a obtener valores mayores cuando las plantas son crecidas en tezontle; lo que indica que el tezontle es un material que retiene suficiente agua sin afectar su aireación y nutrimentos disponibles para la planta, y además presenta un espacio poroso adecuado para evitar saturación y reducción en la absorción de las raíces (García *et al.*, 2001).

El segundo factor que corresponde a los niveles de fósforo utilizados, muestra una diferencia significativa en las variables peso seco parte aérea y peso seco total de

plántulas crecidas con 200% de fósforo, en comparación con el nivel medio de fósforo 150%, el cual muestra el valor más bajo. Para el resto de las variables no existió diferencia significativa.

Es importante destacar que a partir de este muestreo el crecimiento de la raíz en el tezontle es menor. Esto ocasionado por la pérdida de la dominancia apical de la raíz y, por lo tanto, crecen varias raíces secundarias lo que reduce su longitud pero incrementa su peso.

Cuadro 8. Comparación de sustratos y niveles de P sobre el crecimiento de biznaga a los 103 días después del trasplante bajo invernadero.

Factor	Variables ^z						
	Pftot	Pspa	Psr	Pstot	Alt	Diam	Lr
	-----mg planta ⁻¹ r -----			----- mm -----			
Sustrato							
Suelo	202 b	14.5 a	1.4 a	15.9 a	11.35 ab	5.14 b	8.58 a
Tezontle	353 a	16.3 a	1.9 a	18.2 a	12.47 a	6.03 a	7.38 a
Mezcla	240 ab	16.5 a	1.3 a	17.9 a	9.83 b	5.63 ab	7.51 a
Niveles de Fósforo							
100% de P	293 a	16.5 ab	1.8 a	18.3 ab	12.1 a	5.64 a	8.3 a
150% de P	239 a	14.0 b	1.3 a	15.3 b	10.5 a	5.34 a	7.5 a
200% de P	277 a	16.8 a	1.6 a	18.4 a	11.2 a	5.87 a	7.5 a
DMS	130	2.8	0.7	3.1	2.24	0.54	3.08
C. V. %	37.32	13.54	35.72	13.70	15.21	7.49	30.34

^zPftot = peso fresco total; Alt = altura; Diam=diámetro Lr = longitud de raíz; Pspa = peso seco parte aérea; Psr = peso seco raíz; Pstot = peso seco total. Medias seguidas con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, P ≤ 0.05.

Un tercer muestreo de plántulas se realizó a los 196 ddt (Cuadro 9), donde todas las variables en estudio no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. La poca repuesta de las plántulas a la aplicación de los tratamientos para este muestreo resultó desconcertante, ya que en anteriores muestreos sí se encontraron algunas diferencias estadísticas, por lo cual se esperaba una mayor respuesta de las plántulas hacia los tratamientos.

Aunque no hay diferencias significativas existe la tendencia de un mayor valor de las variables de las plantas crecidas en tezontle, a excepción de la longitud de raíz. Como

ya se menciona anteriormente, en los tratamientos 8 y 9 no hubieron plantas para muestrear, es por ello que no se obtuvieron valores. El testigo, se observó que presentó los menores valores de peso fresco total y longitud de raíz.

Cuadro 9. Respuesta de la biznaga, a tres soluciones y tres sustratos a los 196 días después del trasplante, bajo invernadero.

Tratamientos	Variables ²						
	Pftot	Pspa	Psr	Pstot	Alt	Diam	Lr
	g planta ⁻¹			mm			
S+snc (100% P)	0.79 a	0.051 a	0.019 a	0.066 a	15.71 a	7.25 a	20.3 a
S+snc (150% P)	1.03 a	0.069 a	0.006 a	0.077 a	18.14 a	8.08 a	21.3 a
S+snc (200% P)	0.79 a	0.030 a	0.012 a	0.060 a	15.80 a	7.34 a	25.8 a
T+snc (100% P)	1.51 a	0.267 a	0.012 a	0.097 a	22.05 a	9.09 a	12.6 a
T+snc (150% P)	1.67 a	0.380 a	0.019 a	0.110 a	21.49 a	8.48 a	12.8 a
T+snc (200% P)	1.63 a	0.223 a	0.017 a	0.106 a	21.58 a	8.93 a	14.7 a
M+snc (150% P)	1.17 a	0.053 a	0.006 a	0.059 a	19.11 a	7.52 a	24.6 a
Testigo	0.79 a	0.057 a	0.008 a	0.066 a	16.29 a	7.92 a	17.2 a
DMS	0.97	0.598	0.014	0.065	6.53	2.00	13.4
C. V. (%)	33.07	157.22	47.23	32.41	14.42	10.30	31.52

²Pftot = peso fresco total; Alt = altura; Diam=diametro; Lr = longitud de raíz; Pspa = peso seco parte aérea; Psr = peso seco raíz; Pstot = peso seco total. Medias seguidas con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, P ≤ 0.05.

La comparación de medias entre factores (Cuadro 10) muestra una diferencia significativa para el factor sustrato, en donde el tezontle presentó superioridad estadística en las variables peso fresco total (1.6 g planta⁻¹), peso seco total (0.29 g planta⁻¹), altura (21.6 mm) y diámetro (8.8 mm), pero una inferioridad en la variable longitud de raíz mostrando el valor más bajo (13.5 mm), además un valor superior sin significancia al de los demás sustratos en el peso seco de la raíz (0.016 g planta⁻¹), y peso seco de parte aérea (0.28 g planta⁻¹). Después del tezontle, el sustrato que alcanzó las variables intermedias fue la mezcla, y finalmente el suelo fue el sustrato que presentó el menor desarrollo de plántulas. González (2005) encontró resultados inversos al utilizar turba más solución orgánica, y tezontle más solución orgánica, en la producción de jitomate en invernadero, encontrando que la turba obtuvo valores ligeramente mayores a los obtenidos por el tezontle, aunque sin mostrar diferencia estadística.

Las plántulas crecidas en el tezontle desarrollaron una raíz más ramificada que la de los demás sustratos, esto probablemente se debió a que la capacidad de retención de agua del tezontle es inferior a la de la mezcla, provocando con ello que la planta desarrollara un sistema radical de poca profundidad pero muy ramificado y lo que le permitiría ser más eficiente en la absorción de nutrimentos por el espacio poroso que presenta (Esquivel, 2001). La mezcla es el sustrato que retiene mayor cantidad de agua y por esto hubo muerte de plantas, por su parte el suelo presentó una retención media de agua.

Cuadro 10. Comparación de sustratos y niveles de P sobre el crecimiento de biznaga a los 196 días después del trasplante, bajo invernadero.

Factor	Variables ^z						
	Pftot	Pspa	Psr	Pstot	Alt	Diam	Lr
	----- g planta ⁻¹ -----			----- mm -----			
Sustratos							
Suelo	0.9 b	0.05 a	0.010 ab	0.06 ab	16.8 b	7.6 ab	22.3 a
Tezontle	1.6 a	0.28 a	0.016 a	0.29 a	21.6 a	8.8 a	13.5 b
Mezcla	1.1 ab	0.05 a	0.012 a	0.06 b	19.1 ab	7.5 b	24.6 a
Niveles de Fósforo							
100% de P	1.21 a	0.16 a	0.013 a	0.085 a	19.47 a	8.24 a	16.5 a
150% de P	1.31 a	0.19 a	0.011 a	0.085 a	19.58 a	8.13 a	18.7 a
200% de P	1.35 a	0.15 a	0.015 a	0.091 a	19.66 a	8.40 a	18.4 a
DMS	0.62	0.31	0.009	0.040	4.27	1.2	8.28
C. V. (%)	33.57	153.9	48.06	32.40	15.20	10.84	31.9

^zPftot = peso fresco total; Alt = altura; Diam=diámetro Lr = longitud de raíz; Pspa = peso seco parte aérea; Psr = peso seco raíz; Pstot = peso seco total. Medias seguidas con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, P ≤ 0.05.

La comparación de medias del último muestreo realizado a los 257 ddt (Cuadro 11), indicaron diferencia significativa para las variables, peso fresco total, peso fresco de raíz, altura y diámetro. El tratamiento 8 (3.7 g planta⁻¹) fue superior al tratamiento 2 (1.3 g planta⁻¹) y al testigo (1.0 g planta⁻¹) en el peso fresco total de la planta; el tratamiento 5 (0.031 g planta⁻¹), fue superior al testigo (0.004 g planta⁻¹) en el peso seco de raíz; para la altura de plantas el tratamiento 8 (29 mm) fue superior al tratamiento 3, 2 y testigo con valores de 21, 18 y 17 mm, respectivamente; el diámetro mayor se obtuvo con el tratamiento 4 (15 mm) y el menor con el testigo (9 mm).

Contrario al comportamiento anterior, las variables peso seco parte aérea, peso seco total y longitud de raíz no mostraron diferencia significativa en la comparación de los tratamientos, pero se observa la tendencia de los tratamientos 4 y 8 con los mayores valores en cada variable. El testigo presentó los valores más bajos de todos los tratamientos, esto puede explicarse por que el suelo ya no fue capaz de suministrar en cantidades suficientes los nutrientes para el crecimiento de las plántulas.

Cuadro 11. Respuesta de la biznaga a tres soluciones y tres sustratos a los 257 días después del trasplante, bajo invernadero.

Tratamientos	Variables ^z						
	Pftot	Pspa	Psr	Pstot	Alt	Diam	Lr
	----- g planta ⁻¹ -----			----- mm -----			
S+snc (100% P)	2.3 abc	0.13 a	0.018 ab	0.15 a	23 abc	13 abc	29.0 a
S+snc (150% P)	1.3 c	0.08 a	0.017 ab	0.10 a	18 c	10 bc	29.0 a
S+snc (200% P)	1.8 bc	0.12 a	0.010 ab	0.13 a	21 bc	12 abc	34.7 a
T+snc (100% P)	3.4 ab	0.18 a	0.024 ab	0.20 a	27 ab	15 a	37.5 a
T+snc (150% P)	2.8 abc	0.16 a	0.031 a	0.19 a	25 abc	14 abc	17.2 a
T+snc (200% P)	2.6 abc	0.14 a	0.019 ab	0.16 a	24 abc	13 abc	16.1 a
M+snc (100% P)	1.9 abc	0.10 a	0.007 ab	0.11 a	22 abc	12 abc	29.3 a
M+snc (150% P)	3.7 a	0.18 a	0.021 ab	0.20 a	29 a	14 ab	42.0 a
M+snc (200% P)	2.6 abc	0.15 a	0.011 ab	0.16 a	26 abc	13 abc	36.0 a
Testigo	1.0 c	0.07 a	0.004 b	0.08 a	17 c	9 c	18.5 a
DMS	1.85	0.120	0.026	0.14	8.20	4.35	30.13
C. V. (%)	27.60	31.32	52.08	32.48	12.01	11.47	38.66

^zPftot = peso fresco total; Alt = altura; Diam=diámetro Lr = longitud de raíz; Pspa = peso seco parte aérea; Psr = peso seco raíz; Pstot = peso seco total. . Medias seguidas con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, P ≤ 0.05.

La comparación de tratamientos mostró que las plántulas crecidas en suelo y regadas con solución nutritiva obtuvieron en la mayoría de las variables el valor más bajo, sólo por encima del testigo, lo cual concuerda con lo mencionado por Tanaka *et al.* (1983), quienes encontraron una clara respuesta del *Echinocactus grusonii* a las aplicaciones de fertilizantes bajo cultivo hidropónico.

Las plántulas de biznaga a los 257 ddt (Cuadro 12), mostraron un desarrollo estadísticamente superior al crecer en sustratos alternativos como tezontle y la mezcla, en comparación con las crecidas en suelo originario de la Barranca de Metztitlán. No

hubo diferencia significativa en peso seco parte aérea, peso seco total y diámetro, aunque los mejores valores correspondieron a las plántulas crecidas en tezontle.

La aplicación extra de fósforo en la solución nutritiva no mostró ninguna diferencia entre las variables evaluadas, obteniendo prácticamente los mismos resultados. Esto indica que al agregarle 50 y 100% más de fósforo, sólo se incrementan los costos, pero no el desarrollo de la plántula. Este comportamiento indica que los requerimientos de fósforo que tiene la biznaga durante esta etapa de crecimiento se cubren con lo contenido en la solución nutritiva completa.

Cuadro 12. Comparación de sustratos y niveles de P sobre el crecimiento de la biznaga a los 257 días después del trasplante, bajo invernadero.

Factor	Variables ^z						
	Pftot	Pspa	Psr	Pstot	Alt	Diam	Lr
	gr planta ⁻¹			mm			
Sustratos							
Suelo	1.83 b	0.11 a	0.015 a	0.12 a	21.36 b	12.43 a	30.8 ab
Tezontle	2.87 a	0.15 a	0.024 a	0.18 a	25.38 a	14.05 a	20.4 b
Mezcla	2.79 a	0.14 a	0.013 a	0.16 a	25.92 a	13.61 a	35.7 a
Niveles de Fósforo							
100% de P	2.50 a	0.13 a	0.016 a	0.15 a	24.37 a	13.89 a	31.5 a
150% de P	2.43 a	0.13 a	0.023 a	0.15 a	23.53 a	12.95 a	26.9 a
200% de P	2.41 a	0.13 a	0.015 a	0.15 a	23.94 a	13.23 a	25.7 a
DMS	0.76	0.049	0.011	0.057	3.13	1.57	11.0
C. V. (%)	26.42	29.39	50.49	30.84	11.08	9.96	33.46

^zPftot = peso fresco total; Alt = altura; Diam=diámetro Lr = longitud de raíz; Pspa = peso seco parte aérea; Psr = peso seco raíz; Pstot = peso seco total. Medias seguidas con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, P ≤ 0.05.

5.2.2. Influencia de los sustratos en el crecimiento de la biznaga

La Figura 3 representa el comportamiento de las plantas con un sustrato específico para la variable peso fresco total, observándose una superioridad del tezontle en comparación con los otros sustratos, seguida por la mezcla, la cual muestra un valor muy cercano al del tezontle. Este resultado indica una superioridad de los sustratos tezontle y mezcla ante el suelo nativo, considerando que el aporte de nutrimentos que

se les aplicó fue homogéneo, por lo cual, las diferencias probablemente se deban al valor del pH de los sustratos. Como ya se mencionó el valor de pH del suelo es fuertemente alcalino y afecta de manera directa la disponibilidad de los nutrientes, la cual se encuentra en valores cercanos a la neutralidad, ya que valores por arriba o por debajo de este índice afectan la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo de las plantas (INPOFOS, 1997).

Es importante destacar que hasta los 103 ddt el peso fresco total de las plántulas fue similar en cualquier sustrato, quizás porque las reservas del suelo aún contaban con suficientes nutrientes para abastecer el buen crecimiento de las plantas. Sin embargo, después de este periodo se observó mayor producción de materia fresca en tezontle y la mezcla de sustratos, seguido del suelo nativo y por último una pobre producción con el testigo, debido a que las reservas nutrimentales ya no fueron suficientes para el crecimiento adecuado de las plántulas.

El peso seco total de plántulas presentó un comportamiento similar al del peso fresco total, donde el tezontle resultó ser superior en 125, 44 y 13% respecto al testigo, suelo nativo y mezcla respectivamente (Figura 3). Este comportamiento mostró que, efectivamente, el tezontle tiene un efecto positivo en el desarrollo de las plántulas de biznaga. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Valdivia (1989) en un experimento con diferentes sustratos en la producción de jitomate, encontrado que el tezontle a pesar de no mostrar una superioridad significativa ante los demás sustratos, mostró un valor relativamente mayor al de los demás. De igual manera González (2003) encontró la misma tendencia en la producción de jitomate utilizando tezontle como sustrato.

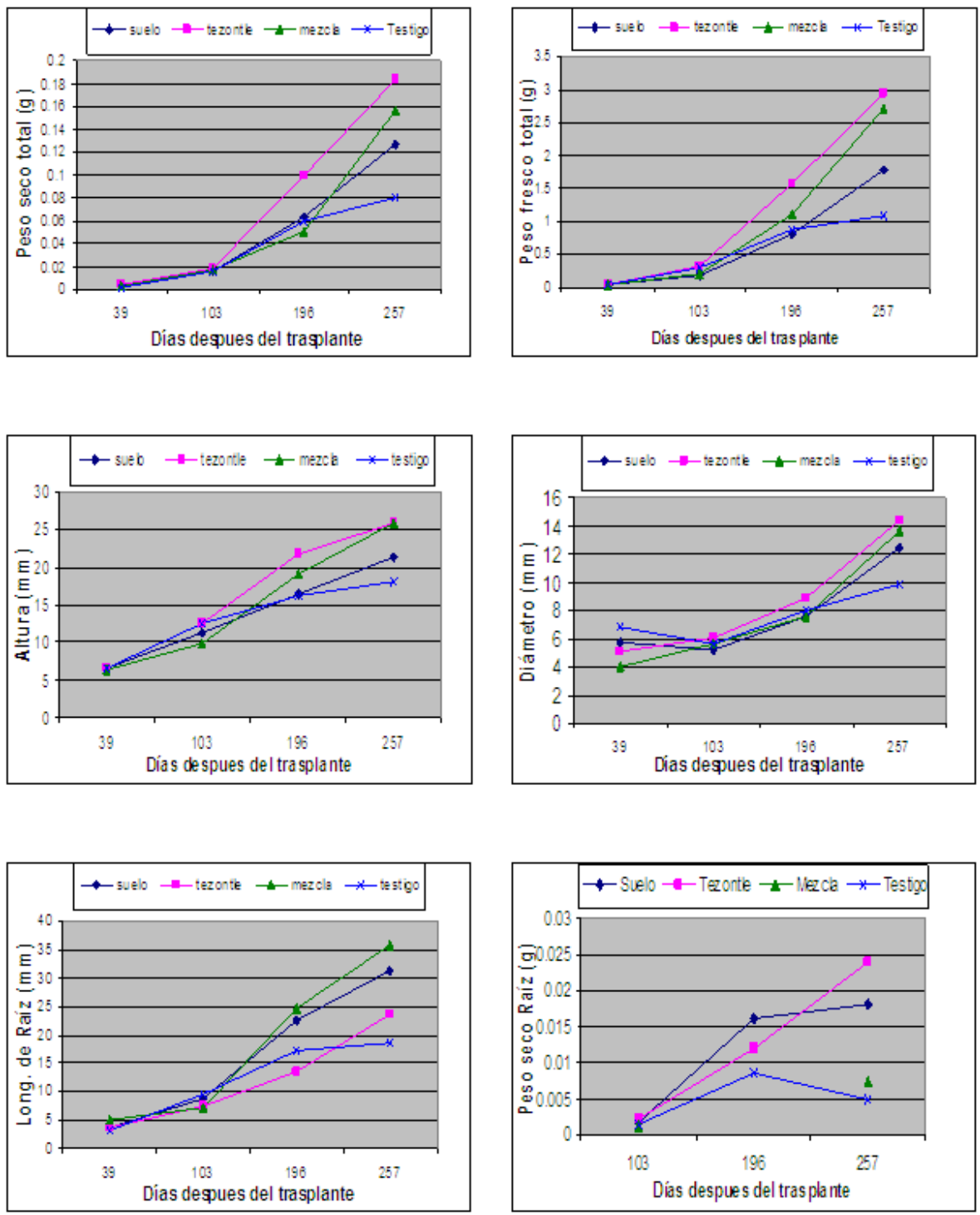


Figura 3. Comparación del peso fresco total, peso seco total, altura, diámetro, longitud de raíz y peso seco de raíz de plántulas de biznaga.

La altura de las plántulas de biznaga mostró un comportamiento similar al peso seco total, destacando la superioridad del tezontle y la mezcla, seguido del suelo y el testigo; esta diferencia es del 18 y 44% respectivamente (Figura 3). El diámetro continuó con el comportamiento mostrado por las variables anteriores donde el valor mayor lo obtuvo el tezontle seguido de la mezcla, mostrando una diferencia del 33 y 66% para el suelo y el testigo, respectivamente.

El comportamiento mostrado en las variables anteriores, resultó contrario para la variable longitud de raíz, donde la mezcla y el suelo muestran superioridad en un 74 y 133% para el tezontle y el testigo, respectivamente; esto se debió principalmente a que en el caso del tezontle las raíz principal mostró un gran número de ramificaciones por lo que su peso seco fue mayor en este sustrato (Figura 3).

Después de haber analizado las gráficas anteriores las cuales corresponden a cinco de las nueve variables medidas, se muestra un mayor desarrollo de las plántulas de biznaga cuando crecen en tezontle, a excepción de la variable longitud de raíz, en la cual el valor más alto se dio en las desarrolladas con la mezcla. Este comportamiento resultó contrastante debido a que la parte aérea de las plantas siempre estuvo en una estrecha relación con las raíces. Aunque la longitud de raíz fue menor en el tezontle, no significó que fuera malo para el desarrollo de las plantas. Nobel (1998) menciona que las raíces de las cactáceas no muestran una gran profundidad sino un sistema radical cubierto de raíces laterales a partir de los tres cm sin tener una alta profundidad. Esto se reflejó en la variable peso seco de la raíz, siendo superior al de las plántulas crecidas en tezontle respecto al resto de sustratos y suelo. Este comportamiento se debió a que el tezontle tiene gran capacidad de retención de humedad sin tener problemas de aireación (Esquivel, 2001), lo que es suficiente para abastecer de agua y nutrimentos a las plantas y lograr su buen crecimiento. Además, la porosidad que provocó el tezontle fue la adecuada para favorecer el intercambio gaseoso entre la raíz y el medio, en beneficio de la planta. El tezontle tiene gran capacidad para adsorber en su entorno iones como K, P, Ca, Mg, NH_4 y al formar una película delgada acuosa sobre la partícula, estuvo en disponibilidad de suministrar

agua y nutrimentos para la planta en crecimiento (Baca, 1983). El tezontle es un sustrato muy utilizado para la técnica de la hidroponia.

5.2.3. Influencia del fósforo en el crecimiento de la raíz

Los nueve tratamientos se regaron con la solución nutritiva completa, observándose que el crecimiento de la raíz está influenciado por el pH del medio donde se desarrolla la planta, además de la cantidad de fósforo presente en la solución del suelo o en la solución nutritiva (INPOFOS, 1997). Oliet *et al.* (2003) evaluaron el crecimiento radical en planta de vivero de *Pinus halepensis* encontrando una respuesta favorable en el crecimiento radical a la aplicación de osmocote 9-13-18, por otra parte mencionan que todas las plantas sobrevivieron un 70% en condiciones semiáridas, lo cual indicó que un crecimiento radical adecuado favorece la resistencia a la sequía. Villar-Salvador *et al.* (2005) reportaron que una buena fertilización en especies como *Quercus*, *Pinus* y *Juniperus* mejora la eficiencia de las raíces para explorar el suelo y, por lo tanto, se mejora la capacidad de las plantas para evitar el estrés hídrico. Estos estudios demuestran la importancia que tiene la fertilización en el crecimiento radical y las ventajas que tienen las plantas que muestran un crecimiento radical adecuado.

La longitud de la raíz (Figura 4), mostró una respuesta nula a las aplicaciones extras de fósforo, no así a la aplicación de P en la solución nutritiva, la cual fue superior al testigo que sólo se regó con agua. Toledo (1997) evaluó el efecto de diferentes concentraciones de fósforo en plantas de *Lilium*, encontrando una relación positiva entre la aplicación extra de fósforo, en la solución nutritiva y el crecimiento de la raíz lo cual resultó contrastante a los resultados encontrados en la presente investigación. Cabe mencionar que las características fisiológicas entre estas especies son totalmente distintas, por lo que quizás la aplicación extra de fósforo no actuó en el crecimiento radical de cactáceas, debido a que las cactáceas y específicamente la biznaga son de muy lento crecimiento, y por ello en este periodo de tiempo no se pudieron observar cambios o diferencias.

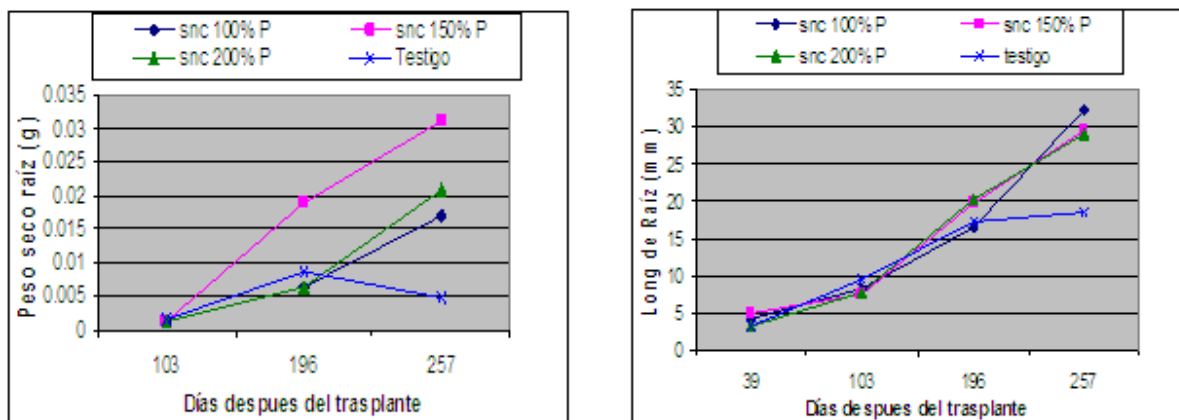


Figura 4. Comparación de los niveles de fósforo en longitud de raíz y peso seco de la raíz de plántulas de biznaga.

La solución nutritiva completa mostró superioridad, seguida de la que se le aplicó 50 y 100% más de fósforo, dejando atrás el testigo en un 90%. La sola aplicación de la solución nutritiva completa dio mejores resultados que cuando se hizo aplicación extra de fósforo, mostrando los tratamientos valores más bajos, inclusive se podría decir que a mayor aplicación de fósforo disminuyó su crecimiento. De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que las condiciones naturales donde crecen las biznagas favorecen aún más el lento crecimiento de esta especie, debido a que las condiciones del sitio son muy limitantes, ya que el suelo en el que se desarrollan es muy pobre casi en todos los aspectos, a pesar de que el nivel de materia orgánica pertenece a un nivel medio, propio de un suelo derivado de cenizas volcánicas, los cuales son ricos en materia orgánica. En general la tasa de mineralización que presentan los suelos es muy baja porque la materia orgánica que poseen está altamente estabilizada, y propicia una baja disponibilidad de nutrientes, aunado a esto, la zona en la que se desarrollan pertenece a un clima semiseco con una precipitación máxima de 700 mm por año (Rodríguez, 2003).

5.3. Contenido nutrimental de la biznaga

Los resultados del análisis nutrimental (Cuadro 13) indican la concentración de nutrimentos que tuvieron las plántulas en cada tratamiento. El material utilizado fue el que se junto de todos los muestreos obteniendo una muestra por tratamiento.

Cuadro 13. Contenido de N, P, K en el tejido vegetal de la biznaga (*Echinocactus grusonii* Hildman).

Tratamientos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
	-----%-----		
1 S+snc (100% P) ²	0.98	0.14	3.51
2 S+snc (150% P)	0.98	0.17	3.45
3 S+snc (200% P)	0.78	0.12	3.48
4 T+snc (100% P)	1.37	0.28	4.17
5 T+snc (150% P)	1.18	0.27	4.49
6 T+snc (200% P)	1.18	0.33	4.20
7 M+snc (100% P)	1.18	0.23	5.30
8 M+snc (150% P)	1.37	0.27	4.89
9 M+snc (200% P)	1.37	0.40	4.86
10 Testigo	0.78	0.11	2.84

²S=suelo; T=Tezontle; M=Mezcla; SNC=solución nutritiva completa; P=Fósforo.

5.3.1. Nitrógeno

El contenido de nitrógeno en las estructuras de la planta de biznaga presentó una concentración mayor cuando las plántulas fueron crecidas en tezontle y la mezcla de sustratos, y regadas con la solución nutritiva completa independientemente de la cantidad de fósforo aplicado, mostrando un valor máximo de 1.37%; se encontró una concentración media cuando se creció en suelo regado con la solución nutritiva y la menor concentración se obtuvo en el testigo (0.78%). Serrano (1996) encontró un contenido máximo de nitrógeno de 1.84% para plantas de Pitaya de 5 años de edad; por otra parte Mata (1997) encontró valores de 0.969% para plantas de pitaya de 1 año de edad, mientras que Ramírez (1995) reportó un valor promedio de 2.81% en

plantas de pitaya de 5-7 años de edad. A su vez Nóbél (1988) reportó que varias cactáceas tuvieron un contenido que va de 1.34-1.99% de nitrógeno.

Tomando en cuenta las edades de las plantas se observa que el valor que presenta la biznaga en este experimento correspondería a un valor medio-alto, concluyendo que se obtuvo una respuesta favorable en la absorción de este elemento, lo cual se confirma con las aplicaciones de nitrógeno reportada por diferentes autores. La aplicación de nitrógeno en cactáceas resulta de suma importancia debido a que este elemento está asociado a la actividad fotosintética de la planta (Nóbél, 1983). Tanaka *et al.* (1983) mencionan que la aplicación de nitrógeno en la biznaga y bajo cultivo hidropónico con solución nutritiva, incrementa el largo y ancho de los tallos de biznaga, en cambio, con el P y el K no ocurrió nada, aún incrementando concentraciones en la solución nutritiva. Esto confirma la buena respuesta de las plántulas de biznaga en la absorción de nitrógeno de la solución nutritiva.

5.3.2. Fósforo

La concentración de fósforo presente en el tejido de la planta (Cuadro 13) indica una relación directamente proporcional entre las dosis de fósforo aplicadas y el contenido de P en el tejido vegetal, tanto en el tezontle como en la mezcla de sustratos, encontrándose un valor máximo de fósforo (0.40%) cuando se aplica 200% más de fósforo en la mezcla. Esta relación no fue aplicable para el caso del suelo regado con solución nutritiva ya que el valor más alto correspondió a la aplicación de solución nutritiva y 150% de fósforo, mostrando una respuesta negativa por parte de este sustrato a una concentración mayor de fósforo. El tratamiento testigo obtuvo el valor mas bajo (0.11%). En todos los casos las plántulas que fueron regadas con solución nutritiva tuvieron un valor mayor al mostrado por el testigo. Es importante mencionar que los valores obtenidos son mayores a los reportados por Ramírez (1995) y Nobel (1998); sin embargo, dichos contenidos son similares a lo reportado por Serrano (1996).

Clarkson (1985), citado por Serrano (1996), menciona que el proceso de absorción de nutrientes de las raíces en el suelo depende del tamaño de las mismas, principalmente para los nutrientes poco móviles como el fósforo, incrementándose esta absorción con el tiempo y la concentración de la solución nutritiva cerca de la superficie radical. Tanaka *et al.* (1983) mencionan que no se tiene una respuesta en el largo y ancho del tallo de la biznaga, contrario a los resultados encontrados que muestran una absorción de fósforo, evidenciándose en la raíz, la cual mostró valores superiores en comparación con el testigo. Esto hace concluir que el fósforo no tiene influencia directa en el desarrollo de la parte aérea de la planta como lo mencionan Tanaka *et al.* (1983), pero sí en el desarrollo de la raíz y en la concentración de fósforo en el tejido vegetal, ya que una mayor concentración de fósforo no indica una raíz más larga, esto depende exclusivamente del sustrato donde crecen las plántulas.

5.3.3. Potasio

Para el potasio, los tratamientos aplicados mostraron un contenido mayor que el testigo, obteniendo resultados similares a los presentados por Ramírez (1995) y ligeramente por encima de los presentados por Nóbél (1998), aunque Mata (1997) obtuvo valores inferiores. Swietlik y Faust (1984) mencionan que aunque la respuesta a la absorción de potasio es más rápida por las hojas, es más efectivo su suministro por las raíces, lo cual podría explicar los niveles que se obtuvieron de K.

El potasio resultó muy importante en el desarrollo de la biznaga debido a que una de las funciones en que se ve involucrado este elemento es la apertura y cierre de estomas, y una deficiencia de este elemento podría exponer a las plantas a un estrés hídrico, por lo que resultó de suma importancia que se tuviera la cantidad suficiente para cubrir las necesidades de las plántulas y evitar su deshidratación.

VI. CONCLUSIONES

La aplicación de soluciones nutritivas completas acelera el crecimiento de plántulas de biznaga cuando crecen en sustratos alternativos como la mezcla (peat-moss 50%, agrolita 30% y vermiculita 20%), y el tezontle, no así cuando se crecen en suelo natural.

El tezontle con solución nutritiva completa muestra el mayor crecimiento de la parte aérea y radical de la biznaga.

El contenido de fósforo 2.5 mg L^{-1} dentro de la solución nutritiva completa es suficiente para el crecimiento de la raíz de la biznaga, obteniendo un resultado nulo a la aplicación extra de fósforo.

RECOMENDACIONES

Debido al lento crecimiento de la especie los resultados obtenidos no muestran diferencias estadísticas, por lo que se recomienda que el tiempo de duración del experimento sea más largo para obtener resultados más completos.

Durante el transcurso del experimento la cantidad de plántulas se redujo debido a la muerte de algunas de ellas, provocando que el número de repeticiones se redujera, por lo que se recomienda que la cantidad de plántulas para el experimento sea mayor para obtener un número mayor de repeticiones.

VII. LITERATURA CITADA

Baca, C., G. A. 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el sustrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Vol I. UNAM. México 743 p.

Burés. S. 1997. Sustratos. Ed. Aerotécnicas, Madrid, España. 341 p.

Binkley, D. 1993. Nutrición Forestal, Prácticas de Manejo. Editorial Limusa. México, D.F. 518p.

Capulín, G., J. 2001. Hidroponia: una alternativa para la producción de alimentos en zonas con escasez de agua. Revista Rumbo Universitario. pp. 1-15.

Choreño, T., J., M. 2001. Micropropagación de la cactácea *Cephalocereus seniles* (Haworth Pfeiffer) mediante la activación de areolas. Tesis Profesional. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp. 1-7.

CSTPA. (Council on Soil Testin and Plant Análisis). 1980. Hand book on referente methods for soil testing. Athens, Georgia.

Esquivel, T. S. 2001. Características y usos de los principales sustratos utilizados en los cultivos sin suelo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 125 p.

Etchevers, B., J. D., Espinoza, G. y E. Riquelme. 1971. Manual de Fertilidad y Fertilizantes. 2^a Edición Corregida. Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.

Etchevers, B., J. D. 1997. Interpretación de los análisis químicos de suelo. Apuntes del curso de análisis químicos de suelo.

García, A., F. C. 1990. Experiencias obtenidas en el cultivo de nopal tunero (*Opuntia amyoclaea*, Tenore) en zonas áridas y semiáridas de varios Estados de la Republica Mexicana pp. 225-232. En: López G., J. J. y Ayala O. M. J. (Eds.). El nopal, Memorias de la 3ª. Reunión Nacional y Internacional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México.

García, C., O., Alcantar, G., G. y Cabrera, F., R.I. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Revista Terra 17 (3): 249-259.

Gauch, G. H. 1973. Inorganic plant nutrition. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Stroudsburg. Pa. U.S.A. 488 p.

González, C., A. 2005. Sustratos y soluciones nutritivas orgánicas en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 166p.

González, P., L. 2003. Evaluación de dos sustratos en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. Tesis profesional. Universidad Autónoma, Chapingo, México. 41p.

Granados, S. D. y Castañeda P. A. 1991. El nopal, historia, fisiología, genética e importancia frutícula. Trillas. México, D. F. 227p.

Gibson, C. A. y P. S. Nobel. 1986. *Cactus primer*. Harvard University Press. London, England.

<http://usuarios.lycos.es> (24-Abril-2006).

<http://www.hidalgo.gob.mx> (24-Abril-2006).

<http://www.e-local.gob.mx>, (12-Febrero-2006)

INPOFOS (Instituto del potasio y del fosfato). 1997. Manual Internacional de Fertilidad de suelos. Querétaro, Qro. México. 310 p.

Jensen, H. M. y W. L. Collins. 1985. Hidroponic vegetable production. Horticultural Reviews 7:483-558.

Lara, H., A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponia. Revista Terra 17 (3): 231-237.

Lara, S., R. 1990. Dinámica nutrimental del nopal tunero (*Opuntia amyclaea* Tenore) con diferentes fuentes de fertilización. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 60p.

López, D., M. 1993. Respuesta del nopal tunero (*Opuntia amyclaea* T.) a la aplicación de N, P, K en los cladodios. Tesis Profesional. Chapingo, Mexico. 52p.

López, M., J. L. 1988. Contenidos nutrimentales en tallos y raíces de nopal tunero (*Opuntia amyclaea* Tenore). Tesis Profesional. Chapingo, Mexico. 68p

Mata, E., J. H. 1997. "Incorporación de nutrimentos en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth) a través del tallo". Tesis Profesional. Chapingo, México. 56p.

Maldonado, T., R. 1994. Método universal para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 36p.

Navarro B., S. y Navarro G., G. 2000. Química aplicada: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. Murcia, España. pp. 183-186.

Nobel, P. S. 1983. Nutrient levels in cacto-relation to nocturnal acid acumulation and growth. American Journal of Botany 70:1244-1253.

Nobel, P. S. 1998. Los incomparables agaves y cactus. México. 211 p.

Oliet, J., Planelles, R., Artero, F., Martínez M., E., Alvarez, L., L. Alejano, R. y López, A., M. 2003. El potencial de crecimiento radical en planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. Influencia de la fertilización. Invest. Agrar.: Recur. For. 12 (1), 51-60.

Pastor, S., J. N. 1999. Utilización de sustratos en vivero. Revista Terra, 17 (3): 231-237.

Penningsfeid, F. y Kurzmann, P. 1975. Cultivos Hidropónicos y en Turba. Versión en español. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España.

Rodríguez, C., E. 1989. Absorción de agua y nutrimentos en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en hidroponia. Tesis Profesional. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Rodríguez, G., A. 2003. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México, DF. pp. 17-28.

Ramírez, M. F. de J. 1995. Respuesta de la Pitaya (*Hylocereus undatus* Haworth) a la aspersion de fertilización foliar. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 56 p.

SAS Institute, Inc. 1997. SAS/STAT user's guide: Static's. Release 6.12. Cary, NC.

Sánchez, del C., F. y Escalante R., E. 1981. Hidroponia un sistema de producción, principios y método de cultivo. Patuach, Chapingo, México.

Sánchez, del C., F. y Escalante R., E. 1986. Principios y Métodos de Cultivo Hidropónico. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 225 p.

Serrano, P., B. 1996. Respuesta de la pitaya (*Stenocereus griseus* Haworth) a diferentes dosis de fertilización con N, P y K. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 59 p.

Schwartz, M. 1975. Guide to comercial hidroponics. Israel University Press. Jerusalem, Israel. 13 p.

Steiner, A. A. 1961. A Universal Method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. Plant and Soil 15: 134 – 154.

Steiner, A. A. 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. Plant and Soil 24: 454 -466.

Steiner, A. A. 1968. Soilles culture proccedings of the 6th colloquium of the International Potash Institute Florence, Italy. Published by: Int. Potash Inst. Berne Switzerland. pp. 324-341.

Steiner, A. A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. Proccedings of the 3th International Congress on Soilles culture. IWSC: Sassari, Italy. pp 43-54.

Swietlik, D. and Faust, M. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. Horticultural Review. 7:281-355.

Tanaka, T., Rikitoku, M. y Gomi, K. 1983. The effects of N, P and K on growth and chemical composition of cactus (*Echinocactus grusonii* Hildm). Horticultural abstracts. 53:855.

Toledo, R., O. 1997. Efecto de diferentes concentraciones de fósforo en plantas de *Lilium cv eurovisión* manejadas en hidroponia y sustrato comercial. Tesis profesional. Universidad Autónoma, Chapingo, México. 77 p.

Urrestarazu, G., M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Universidad de Almeria. Barcelona, España. 914 p.

Valdivia, V., M. A. 1989. Prueba de diferentes sustratos para la producción de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en hidroponia bajo invernadero rústico. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo México. 104 p.

Villar-Salvador, P., Puértolas, J., Peñuelas, L., J. y Planelles, R. 2005. Efecto de la fertilización nitrogenada en el vivero sobre la resistencia a la sequía y a la helada en especies forestales mediterráneas. Invest. Agrar.: Sist. Recur. For. 14 (3), 408-418.