

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Efecto de la Fertilización Foliar en el Desarrollo de Plántulas de *Echinocactus platyacanthus* Link&Otto

Por:

**MANUEL ALEJANDRO ARREDONDO ARREDONDO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Efecto de la Fertilización Foliar en el Desarrollo de Plántulas de Echinocactus  
platyacanthus Link&Otto

Por:

**MANUEL ALEJANDRO ARREDONDO ARREDONDO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Ing. Raúl Gándara Huitrón

Asesor Principal



QFB María Elena González Guajardo

Coasesor



M. C. Juan David Sánchez Chaparro

Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios**

Por nunca dejarme caer en el camino que emprendí desde el comienzo de mi carrera profesional, fortaleciendo mi fe en momentos de soledad y cuidar de mí en cada paso y decisión que tome para lograr cumplir esta meta que por ahora veo finalizada.

### **A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

Por a verme abierto sus puertas dándome la oportunidad de desarrollarme como profesionista, lograr cumplir la meta con la que llegue hace algunos años y ser un segundo hogar en mi estancia universitaria.

### **A MI ASESOR ING. RAÚL GÁNDARA HUITRÓN**

Por su apoyo en la realización del presente trabajo de investigación, sus acertadas observaciones y consejos

### **A MI ASESOR LA QFB MARÍA ELENA GONZÁLEZ GUAJARDO**

Por sus recomendaciones para la realización del presente trabajo de investigación

### **A MI ASESOR MC. JUAN DAVID SANCHEZ CHAPARRO**

Por darme la oportunidad de ser participe en este trabajo de investigación, sus enseñanzas, paciencia, confianza y tiempo.

### **AI INIFAP C.E.SALTILLO**

Que me permitió realizar mi periodo de prácticas profesionales dentro de sus instalaciones y realizar el presente trabajo de investigación.

### **A LA RONDALLA DE SALTILLO DE LA UAAAN**

Principal pilar que sostuvo mi carrera profesional con dedicación, esfuerzo, trabajo y compañerismo.

### **A LA FAMILIA HERNÁNDEZ ALCALÁ**

Por darme su apoyo y confianza incondicional

## **DEDICATORIA**

### **Madre**

El ser que más amare toda mi vida es para ti cada uno de mis logros tu amor enseñanzas confianza y paciencia me han llevado por un camino de éxito por todo tu apoyo he logrado hacer cada una de mis metas realidad es para ti a quien primero dedico este trabajo eres mi mayor fuente de inspiración para seguir superándome.

### **Padre**

Por ser participe en cada paso enseñarme la forma de ver la vida a tu manera y darme un propio panorama para la mía. Nunca me dejaste solo y sé que jamás será así siempre con respeto y cariño te llevo en mi corazón.

### **Hermanos y hermanas**

A cada uno de ustedes que siempre han visto por mí de manera tanto económica como sentimental sé que siempre contare con su apoyo incondicional aunque la vida nos ha llevado por caminos diferentes la distancia no ha logrado dejar de frecuentarnos y querernos como siempre ustedes siendo mis hermanos de igual manera son mis mejores amigos.

### **Siomi**

Por todo tu amor, comprensión, paciencia y apoyo eres fortaleza en mi vida te amo, siempre te llevo en mi corazón gracias por cada momento que me has brindado.

### **Berenice**

Cuñada por tus atenciones, amistad y apoyo fuiste participe en este logro.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
I.INTRODUCCIÓN .....	6
II. OBJETIVOS .....	9
III. HIPOTESIS: .....	9
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
Origen y distribución de las cactáceas.....	10
Importancia de las cactáceas .....	10
Vulnerabilidad de las cactáceas a la extinción .....	13
Metabolismo Ácido de las Crasuláceas .....	15
Morfología de las cactáceas.....	17
<b>Requerimientos edafoclimáticos .....</b>	<b>22</b>
Macronutrientes (N, P y K) .....	23
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
Diseño experimental .....	29
Prueba de comparación de medias .....	30
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
VII. CONCLUSIONES .....	36
VIII. LITERATURA CITADA.....	40
IX. ANEXOS.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 4.1. Estructura de la hoja .....	26
Figura 4.2. Fertilización Foliar: la penetración de los cationes a la hoja por difusión pasiva es proporcional a la concentración de la solución .....	26
Figura 5.1 Metodo de cálculo para soluciones hidropónicas a partir de fertilizantes solidos complejos. ....	28
Figura 6.2 Altura de planta.....	34
Figura 6.1Diametro de planta .....	32
Figura 7.1 Desarrollo del diámetro de planta .....	37
Figura 7.2 Desarrollo de altura de planta .....	38
Figura 7.3 Relación entre diámetro y altura de planta obtenidos con las distintas soluciones nutritivas.....	39

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 5.1 Soluciones nutritivas para evaluar su efecto en el crecimiento de plántula de Echinocactus platyacanthus .....	29
Cuadro 6.1Análisis de varianza para diámetro de planta.....	31
Cuadro 6.2 Comparación de medias diámetro de planta .....	32
Cuadro 6.3 Análisis de varianza para altura de planta.....	33

## RESUMEN

La presión osmótica de la solución nutritiva afecta la absorción de agua y nutrimentos y, por consiguiente, el crecimiento y la nutrición de las plántulas durante su desarrollo en maceta. Con el fin de acelerar el desarrollo de la biznaga (*Echinocactus platyacanthus*) el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el efecto de soluciones nutritivas a diferentes presiones osmóticas preparadas a partir de dos fertilizantes comerciales de fácil acceso en el mercado Hakaphos(18-18-18) y Grofol(20-30-10). Una vez recabados los datos del crecimiento se encontró que, con la presión osmótica de 0.054 Mpa con la fuente nutrimental Hakaphos (18-18-8) en la solución nutritiva se logró un mayor crecimiento con diferencias estadísticamente significativas.

Palabras clave: nutrición, cactáceas, presión osmótica, solución nutritiva.

Correo electrónico; manuel Alejandro Arredondo Arredondo, [elbuitrers@gmail.com](mailto:elbuitrers@gmail.com)

## I.INTRODUCCIÓN

En México la familia de las cactáceas está representada por 67 géneros con alrededor de 625 especies, lo que la constituye como un grupo muy importante de la flora nativa de nuestro país. Se estima que más del 35% de las especies de cactáceas mexicanas están clasificadas en diversos grados de riesgo, ya sea amenazadas, en protección especial o en peligro de extinción, lo que significa que se está acabando con estos recursos fitogenéticos valiosos, sin tener una idea precisa de la utilidad que representan para los ecosistemas y la humanidad (Guzmán *et al.*, 2007; Villavicencio *et al.*, 2010).

Una región rica en diversidad de cactáceas se localiza en el desierto Chihuahuense, en la que se distribuyen 25 géneros con aproximadamente 148 especies (Guzmán *et al.*, 2007). A pesar de que esta área ecológica cuenta con una gran riqueza cactológica, muchas de estas especies se encuentran en la NOM-059 SEMARNAT 2010 como amenazadas o en peligro de extinción, al igual que las orquídeas y cicadáceas (SEMARNAT, 2010).

La ecoregión donde se distribuyen y habitan las cactáceas presenta un alto grado de degradación, por lo que se ha hecho necesario implementar un programa de manejo y conservación *ex situ* enfocado a la reproducción de especies con problemas de sobrevivencia y baja regeneración, principalmente con aquellos taxones que se encuentran en el Apéndice I y II de la Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, (CITES, 41 taxones), en la Nom-059 SEMARNAT (2010) (255 taxones) y en el libro rojo de la IUCN (65 taxones) (Cites, 1990; Guzmán *et al.*, 2007; Villavicencio *et al.*, 2010).

Del análisis a la información contenida en dichas instancias se han considerado como prioritarios para la conservación *ex situ* a corto, mediano y largo plazo los



géneros: *Echinocactus platyacanthus*, *Ariocarpus*, *Astrophytum*, *Aztekium*, *Coryphantha*, *Disocactus*, *Echinocereus*, *Escobaria*, *Mammillaria*, *Melocactus*, *Obregonia*, *Pachycereus*, *Pediocactus*, *Pelecyphora*, *Sclerocactus*, *Strombocactus* y *Turbincarpus* (Leszczyńska, 1991).

Las especies de cactáceas en estatus de riesgo se caracterizan por presentar poblaciones naturales escasas con un ciclo reproductivo limitado que depende del periodo de precipitación del ciclo anterior y tienen una reducida producción de semillas, así como de brotes laterales, por lo que es necesario implementar métodos de conservación de germoplasma *ex situ*. Para poder establecer estas poblaciones *ex situ* es que se opta por utilizar las herramientas del Cultivo de Tejidos Vegetales *in vitro* (CTV) en virtud de ser muy valiosas para el rescate y conservación de este tipo de especies logrando obtener muchas plantas a partir de un solo explante (segmentos de tejido) (Arredondo, 2009; Giusti *et al.*, 2002; Villavicencio *et al.*, 2006, 2009)

En la producción masiva de cactáceas los viveristas –productores de este tipo de plantas- se enfrentan a diversos problemas fitosanitarios, técnicos y de manejo, algunas especies son difíciles de cultivar por; escaso desarrollo de sus raíces, pudrición radical por sensibilidad a la humedad, crecimiento muy lento y falta de pigmentos fotosintéticos en algunas especies (Reyes, 1997).

En México no se ha desarrollado un paquete tecnológico para la producción de cactáceas ornamentales de importancia comercial que le permita al productor obtener plantas uniformes con mejores características en un menor tiempo de producción y que se puedan comercializar como plantas de maceta de 3” y 6” que es el tamaño comercial preferente.

En México la producción de cactáceas genera un millón de plantas anuales que representa un ingreso aproximado de 1.5 millones de dólares anuales. Sin embargo, para las especies de los géneros *Echinocactus platyacanthus*, *Ariocarpus*, *Astrophytum*, *Aztekium*, *Coryphantha*, *Disocactus*, *Echinocereus*,

*Escobaria, Mammillaria, Melocactus, Obregonia, Pachycereus, Pediocactus, Pelecyphora, Sclerocactus, Strombocactus y Turbinicarpus* la producción de plantas no supera el 5% de dicho volumen, por lo que es necesario atender este nicho de mercado nacional e internacional. Este volumen se obtiene principalmente de 141 viveros dedicados a la producción, compra y reventa de cactus, distribuidos principalmente en Puebla (46%), Morelos, Distrito Federal y Baja California (5.0%), Guanajuato (4%), Jalisco (3%), Coahuila, Tamaulipas, y Nuevo León (2%), Querétaro e Hidalgo. En la mayoría de estos invernaderos y viveros se producen plantas generalmente de una especie en cantidad variable, estableciéndose la producción comercial en diferentes épocas del año sin importar el ciclo vegetativo de la especie a producir, por lo cual en una misma época se obtienen plantas con diferente tamaño, debido a que se utilizan diferentes tipos de sustrato, recomendaciones de fertilización no adecuadas para este tipo de especies y aplicación de riegos excesivos, que provocan un alto porcentaje de pérdida de planta en la fase de producción en vivero e invernadero.

Con el propósito de conservar este recurso fitogenético e impulsar la actividad ornamental del país con nuevas opciones productivas y con modernos sistemas de producción como lo demanda el Comité Nacional del Sistema Producto Ornamentales (CNSPO, A.C.), es muy importante desarrollar un programa de nutrición vegetal específico.

## II. OBJETIVOS

Evaluar el efecto de soluciones nutritivas a diferentes presiones osmóticas en la aceleración en el desarrollo de plántulas de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto bajo condiciones de invernadero

## III. HIPOTESIS:

Efecto sobre diámetro de plántula

- **Hipótesis nula:** El promedio de diámetro de planta en los tratamientos a evaluar es igual, con 95% de confiabilidad.
- **Hipótesis alternativa:** En al menos un tratamiento el promedio de diámetro de planta es distinto, con un 95% de confiabilidad.

Efecto sobre altura de plántula

**Hipótesis nula:** El promedio de diámetro de planta en los tratamientos a evaluar es igual, con 95% de confiabilidad.

**Hipótesis alternativa:** En al menos un tratamiento el promedio de diámetro de planta es distinto, con un 95% de confiabilidad

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen y distribución de las cactáceas

Las cactáceas son un grupo natural que ha evolucionado en los últimos 80 millones de años, a partir de formas no suculentas, siendo los géneros *Pereskia* y *Pereskiopsis* los más primitivos.

No está claro aún su distribución, algunas hipótesis indican que este tipo de plantas se originaron en la zona tropical seca de Sudamérica, otras mencionan que México es el centro de origen (Arias, 1997).

Sin embargo, el centro de origen primario de las cactáceas es el Continente Americano, siendo las regiones áridas y semiáridas las de mayor número de especies en nuestro país, la porción sureste del desierto Chihuahuense, y la zona árida Querétaro-Hidalguense, la diversidad de especies es sobresaliente, fuera de estas regiones su diversidad disminuye drásticamente. En América existen algunas otras regiones relativamente ricas en especies de cactáceas, como el suroeste de los Estados Unidos de América, el noreste de Brasil y la porción norte de Argentina junto con algunas regiones de Bolivia y Perú (Bravo y Scheinvar, 1995).

### Importancia de las cactáceas

La familia de las cactáceas esta presentada en México por 67 géneros y cerca de 925 especies , es un grupo conspicuo de la flora nativa de nuestro país especies reconocidas; del total de géneros que existen en nuestro país, 15 están estrictamente restringidos a sus límites territoriales y 20 más son casi endémicos. Así mismo, en esta Familia se encuentran plantas cuyo valor evolutivo, ecológico, histórico-cultural y económico es incuestionable (Bravo 1994). Los frutos, néctar y polen son básicos para la permanencia de otras especies que son parte fundamental de muy complejos ensambles biológicos; algunas especies son altamente ornamentales, por lo que son condicionadas por coleccionistas estadounidenses, europeos y asiáticos, lo que aunado a la destrucción de sus

hábitats las han llevado al borde de la extinción (Villavicencio, 2002). Entre los usos más importantes de las cactáceas diversos autores citan los siguientes:

#### **a) Alimento humano**

La mayoría de los frutos de las cactáceas son comestibles, tales como las tunas, xoconoxtles, garambullos, pitayas, pitahayas, quiotillas, tunillos, teteches, etc. Asimismo se pueden consumir los tallos o cladodios como hortaliza. Por otra parte, de algunas biznagas se elabora confitería como el dulce de acitrón. También se puede mencionar el aprovechamiento de flores de varias especies en forma de verdura (Mercado y Granados, 2002; Amaud, et al., 1997). Productos como la harina, capsulas y comprimidos de nopal generalmente son elaborados en México como complementos alimenticios (Nobel 1998).

El valor alimenticio de estos frutos se debe a su alto contenido de agua, azúcares, vitaminas y minerales que aportan, los cuales son básicos en la dieta de los pobladores mestizos e indígenas que viven en las zonas áridas y semiáridas del país (López, 2006).

Algunas cactáceas nativas con potencial para exportación en fruto fresco o pulpa congelada son: *Escotria chiotilla*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Stenocereus griseus*, *Hylocereus undatus*, *Opuntia ficus indica*, *Opuntia streptacantha* y *Stenocereus queretaroensis* (Nerd y Mizrahi, 1997; Esquivel, 2004).

#### **b) Construcción y comestible**

Las cactáceas, además de usarse en la alimentación algunas especies columnares (*Pachycereus marginatus*, *Stenocereus stellatus*, *Escotria chiotilla*, *Neobuxbaumia* y *Cephalocereus*). Son utilizadas como elemento de construcción y para combustible. Los haces vasculares de este tipo de cactus son verdaderamente rígidos por lo que son útiles en las zonas rurales indígenas. Asimismo, la leña de las cactáceas (*Cylindropuntia spp.*). En el valle de Tehuacán, Puebla y en la Mixteca baja de Oaxaca, se han aprovechado el fruto, la semilla y el tallo de siete géneros de cactáceas columnares, por ejemplo *Stenocereus pruinosus* se utiliza como fruto comestible crudo, en mermeladas, paletas así

como para la elaboración de licores y tortillas; con las semillas de *Pachycereus weberi* se elaboran tortillas y mole; con las semillas de *P. grandis*; se elaboran tortillas.

Las semillas de *Polaskia chichipe* y *Escontria chiotilla* se consumen sus frutos en fresco (Luna y Aguirre, 2001).

### **c) Forraje**

Varios géneros de cactus se han utilizado como forraje para alimentar diferentes tipos de ganado (Vacuno, equino, ovino, caprino y porcino). Los más utilizados son *Opuntia*, *Cylindropuntia* y *Nopalea*, donde *O. ficcus-indica* y *O. engelmanni* son las más comunes ya que no presentan tantas espinas o gloquidias (Nobel, 1988)

### **d) Obtención de colorantes**

Arnaud *et al.*, (1997); Viguera y Portillo (1997) citan que la obtención de colorantes a través de cochinilla o grana del nopal (*Dactylopus coccus*) es otra utilidad de cactáceas; este tinte fue usado desde la época prehispánica hasta nuestros días por su amplio potencial de uso como colorante aditivo en alimentos, cosméticos, fármacos y otras aplicaciones especializadas.

### **e) Medicinal**

A las cactáceas también se les relaciona con la mitigación de diversos dolores, por ejemplo el nopal en su uso medicinal fue utilizado por algunos grupos nativos para tratar diversas afecciones, los cladodios o pencas mitigan el dolor de muelas y curan inflamaciones, en forma similar a las compresas calientes; con la pulpa de las tunas se trataba la diarrea persistente en los infantes; la savia del nopal mezclado con el jugo de pitahaya se usaba contra fiebres biliosas y malignas; con la combinación de mucilago o baba de nopal y aceite del insecto *Monoephus axinas*, preparaba una solución para eliminar grietas de pies, manos y labios (Pimienta, 1997).

Los extractos de varios cactus tienen una amplia gama de aplicaciones médicas, los jugos extraídos de los tallos jóvenes macerados de *Opuntia* y *Lophocereus*

actualmente tienen una especial importancia ya que se usan como agentes antidiabéticos en muchas partes del mundo (Nobel, 1998).

#### **f) Psicotrópicos**

*Lophophora williamsii* (peyote) y *Trichocereus pachanoi* (San Pedro) son los casos más notables del uso de cactáceas como Psicotrópicos, utilizado la primera por diversas tribus del norte de México, como los Huicholes, Tepehuanos, Tarahumaras y la segunda por los Incas entre otros (Mercado y Granados, 2002). *Lophophora williamsii* en conjunto con otras cactáceas reciben el nombre de peyotes, porque presentan una gran cantidad de alcaloides como la mezcalina que es la que produce los efectos más fuertes que hacen que los que la consumen pierdan la noción del tiempo por sus propiedades alucinógenas (López, 2006).

#### **g) Ornamental**

Lo peculiar de sus flores, formas, hábitos de crecimiento, respiración y resistencia a la falta de agua hacen de las cactáceas un grupo muy demandado en la horticultura ornamental mundial así algunos de los géneros más populares utilizados como plantas de ornato son: *Ariocarpus*, *Echinocereus*, *Epiphyllum*, *Gymnocalycium*, *Lobivia*, *Notocactus*, *Rebutia*, *Sulcorebutia* y en especial *Mammillaria* (Leszczyńska, 1991)

#### **Vulnerabilidad de las cactáceas a la extinción**

La mayoría de las especies de las cactáceas presentan tasas de crecimiento muy bajas y sus ciclos de vida son frecuentemente largos que las hace más vulnerables a los efectos de factores de perturbación como son: incendios, cambios en el uso del suelo, pastoreo, saqueo, etc. (Soberón, 1998; Glass, 1998). Muchas especies están estrictamente restringidas a límites territoriales (endémicas) por lo que su sobrevivencia es casi nula (Bravo y Scheinvar, 1995).

Entre los géneros más vulnerables se encuentran: *Ariocarpus*, *Aporocactus*; *Astrophytum*, *Astekium*, *Cephalocereus*, *Echinocactus*, *Epithelantha*, *Obregonia*, *Geohintonia*, *Leuchtembergia*, *Strombocactus* y *Lophophora*.

La actividad humana está teniendo fuerte impacto en las poblaciones de cactáceas, se da la destrucción de hábitats naturales debido a la construcción de caminos, la agricultura, La minería y la extracción de plantas por coleccionistas o comerciantes (Boyle y Anderson, 2002).

Es decir, muchas de ellas están sujetas a presiones de colecta y a la destrucción de su hábitat, además, por lo general tienen una habilidad limitada para restablecerse demográficamente después de un evento de perturbación.

El Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestre (CITES) es una organización administrada por la Organización de las Naciones Unidas en la que participan más de 123 países. Su función específica es la de regular el comercio internacional por medio de un listado en la que se determinan las categorías en que se ubican las especies, dependiendo de los índices de amenaza que presentan (Glass, 1998).

Las especies amparadas por el CITES están incluidas en tres apéndices, según el grado de protección que requieran. En el Apéndice I se incluyen todas las especies en peligro de extinción que están sometidas a comercio internacional; su comercio está prácticamente prohibido salvo en casos excepcionales, tales como intercambio científico o ejemplares propagados artificialmente en viveros registrados ante la Secretaria de la CITES, en este apéndice se encuentran varias especies de cactáceas mexicanas de los generos *Ariocarpus*, *Astrophytum*, *Aztekium*, *Coryphantha*, *Disocactus*, *Echinocereus*, *Escobaria*, *Mammillaria*, *Melocactus*, *Obregonia*, *Pachycereus*, *Pediocactus*, *Pelecyphora*, *Sclerocactus*, *Strombocactus*, *Turbinocarpus* y *Uebelmannia*. De acuerdo con la Unión Internacional para la Protección de la Naturaleza (IUCN), en México se registraron 285 especies amenazadas, entre indeterminadas, raras, vulnerables y en peligro de extinción.

La fascinación que existe por las cactáceas como plantas de ornato es una de las razones por las cuales en la actualidad se les considera uno de los grupos más amenazados de la flora mexicana, desde el siglo pasado, millones de



especímenes de cactáceas han sido extraídos de sus hábitats y enviados al extranjero, principalmente para formar parte de colecciones particulares (Glass, 1998).

México posee 925 especies de cactáceas que equivalen al 60% de todas las especies del mundo. Casi el 80% de las especies mexicanas son endémicas, 285 especies están clasificadas en alguna categoría de riesgo (amenazadas, protección especial o en peligro de extinción). Las especies sujetas a protección especial, son aquellas especies o poblaciones que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación (Benítez y Dávila. 2002).

### **Metabolismo Ácido de las Crasuláceas**

El Metabolismo Acido de las Crasuláceas (MAC), les permite a las plantas suculentas sobrevivir en ambientes secos, y el intercambio nocturno de gases las obliga a desarrollar grandes tejidos de reserva, donde almacenan durante el día las moléculas llenas de energía química, y por la noche el ácido málico producido como resultado de la fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico, para guardar estos ácidos nocturnos, las plantas son forzadas a formar tejido no fotosintético que les permite almacenar agua y por consiguiente son plantas de crecimiento lento (Mauseth, 2004; Nobel y Barrera, 2004).

A diferencia de las plantas C3 y C4 en las plantas MAC, presentan un tipo de metabolismo, en el que la actividad carboxilasa de tres carbonos (ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa/ oxigenasa: rubisco) y cuatro (fosfoenol piruvato carboxilasa) se presenta en una misma célula, con actividad enzimática separada temporalmente. (Dodd *et al.*, 2002; Lüttge, 2004). La definición más simple de MAC, descrita por primera vez para la Familia *Crassulaceae* consiste en:

- a) La asimilación nocturna de CO<sub>2</sub> vía apertura estomática, fijación por fosfoenol piruvato carboxilasa (PEPC) y acumulación CO<sub>2</sub> vía vacuolas como ácidos orgánicos, predominantemente ácido málico (Fase I).
- b) Se presenta removilización diurna de los ácidos orgánicos almacenados en la vacuola, decarboxilación y refinación más asimilación de CO<sub>2</sub> tras el cierre estomático en el ciclo de Calvin (Fase III).
- c) Entre estas dos fases existen transiciones en las que los estomas permanecen abiertos para la toma de CO<sub>2</sub> por lapsos cortos durante el amanecer (Fase II) y el atardecer produciendo como consecuencia la fijación directa de CO<sub>2</sub> a carbohidratos cuando el acervo de ácido vacuolar se encuentra agotado (Fase IV) (Lüttge, 2002; Geydan y Melgarejo, 2005).

Por lo tanto las plantas MAC exhiben tasas en la eficiencia del uso del agua, cinco a diez veces más altas que las plantas C<sub>4</sub>, resultando en una considerable ventaja competitiva en ambientes en que el agua es el factor limitante, como por ejemplo desiertos o ambientes epífitos (Ortíz, 2000; Cushman, 2001).

El Metabolismo Acido de las Crasuláceas (MAC) ocurre en aproximadamente 7% de las plantas vasculares, existen evidencias que indican que la dirección evolutiva ha sido de intermedios C<sub>3</sub>-MAC a MAC totales paralelamente por especialización y colonización de nuevos ecosistemas progresivamente más áridos (Bastida, 1999; Cushman, 2001).

De acuerdo con Nobel (1988) y Ting (1985), el metabolismo MAC se presenta en aproximadamente diez por ciento de las angiospermas, lo que implica alrededor de 30 familias, entre las que se encuentran las cactáceas, crasuláceas y las agaváceas. Las plantas de la Familia *Cactaceae* son: fanerógamas (producen flores, frutos y semillas), dicotiledóneas y perennes, cuya vida dura más de dos años y por tiempo indefinido, llevan a cabo el Metabolismo Ácido de las

Crasuláceas (MAC), y su característica distintiva son las areolas (Barcenas *et al.*, 2002).

## **Morfología de las cactáceas**

### **Raíz**

Las raíces de las cactáceas poseen algunas particularidades por las cuales se consideran del tipo xerofítico, se han tenido que adaptar a las condiciones adversas del medio como son: falta periódica de humedad, la filtración rápida del agua, intensa insolación, subsuelos calizos, arenosos, de lava, etc. (Bravo, 1994). Desde el punto de vista fisiológico puede asentarse que la raíz principal constituye el sistema de fijación, su desarrollo es proporcional al tamaño de la planta. Las raíces secundarias intervienen particularmente en la absorción, la longitud que alcanzan, el grado de ramificación que adquieren y la profundidad ésta en relación directa con el factor humedad. Hay especies de cactáceas que poseen raíces tuberosas; papiforme, globosas, napiformes y fibrosas (Bravo, 1994).

La raíz de las cactáceas es semejante por lo general al de otras dicotiledóneas, procede de la radícula del embrión y en algunos casos es adventicia; fija la planta en el suelo, absorbe el agua con las sustancias nutritivas disueltas en ella y puede en algunos géneros servir de almacén de agua (Bravo, 1978). De acuerdo con Gibson y Nobel (1986), por su patrón de distribución las cactáceas presentan tres tipos de raíz; el primero se caracteriza por presentar una principal que constituye el sistema de fijación, las siguientes son las raíces secundarias, que intervienen en la absorción de agua y las sustancias nutritivas disueltas en ella y por último las raíces temporales, que solo aparecen durante la época de lluvias.

## Tallo

En las cactáceas conforma básicamente el cuerpo de la planta, engrosado por el desarrollo del parénquima (tejido de almacenamiento) interviene en la conducción de nutrientes, asume la función de las hojas, convirtiéndose en un almacenador y regulador de agua; varían en forma, tamaño y ramificaciones pero en ellos siempre se aprecian tubérculos o costillas, son generalmente verdes, según la especie, puede presentar coloraciones intensas o no, durante el invierno muchas de ellas adquieren una coloración rojiza, en sus partes expuestas directamente a la intemperie, especialmente en tubérculos y las areolas.

Los tipos morfológicos principales son: globoso, cilíndrico, candelabroiforme, cladodio en forma de hoja y columnar (Farré, 2001). Los tallos aplanados en forma de raqueta, técnicamente denominados cladodios, son particulares de los nopales (*Opuntia* spp.). Los tallos columnares o cilíndricos se observan en los órganos o pitayos, estos pueden ser simples y carecer de ramificación o ser ramificados. A los tallos cilíndricos de tres costillas se les llama trialados como en *Hylocereus undatus* (pitahaya). Otra forma de tallo es el globoso varían en tamaño, algunos son gigantescos, alargados, casi cilíndricos, del porte de un barril, por lo que se denominan toneliformes; otras son diminutas, alcanzando su madurez con solo dos centímetros de diámetro y de altura (Arreola, 1997).

### *Areolas y espinas*

La Familia de las cactáceas botánicamente se distingue de otras Familias, por la presencia de areolas en sus tallos. Las cactáceas se pueden definir desde dos puntos de vista; 1) Morfológico: son estructuras vegetativas de aspecto algodonoso de donde surgen fibras lanosas, cerdas, espinas, flores, frutos, hijuelos, hojas y hasta raíces en algunos casos; 2) Fisiológico: es una yema de tejido meristémico, esto es, un grupo de células no diferenciadas con toda la capacidad para dar lugar a cualquier tipo de tejido (Glass, 1998; Nava, 1997).

Las espinas son órganos que varían en forma, tamaño, color, consistencia, número, coloración etc. por su origen se dice que son hojas modificadas y

cumplen varias funciones; protegen contra la depredación de los animales, en el campo producen sombra y protección al tallo, reflejando los rayos solares, condensan la humedad ambiental y la dirigen hacia las raíces, donde es absorbida y facilitan la propagación vegetativa cuando se adhieren a la piel de algún animal que dispersa los tallos (Arreola, 1997; Nobel, 1998). Las espinas se clasifican de acuerdo a su posición dentro de la areola, pero también por su forma, dirección y ornamentación; por la colocación las hay de dos clases; centrales y radiales o marginales.

Por la forma que presentan; aciculares, cónicas, subuladas, plumosas y ramificadas; en cuanto a su dirección u orientación; las espinas son; divergentes, perectas, recurvadas, pectinadas y ascendentes, por su ornamentación, existen varios tipos como son las lisas, anilladas y envainadas (Demetra, 2000; Glass, 1998).

### **Flores**

Las flores de las cactáceas son hermafroditas (agrupan al gineceo o pistilo y al androceo o estambres dentro de una sola estructura floral) y muy efímeras; tienen formas, tamaños y coloraciones muy diversas.

En general, se han hecho famosas por su hermosura, aparecen generalmente en primavera y durante esa estación transforman las zonas áridas en jardines llenos de esplendor. La forma de las flores es comúnmente campanulada, y sus colores variados y combinados. Las flores pueden ser diurnas o nocturnas y su producción se restringe a una por areola (Bravo, 1994; Nava, 1997). Por las diferentes tonalidades tan llamativas de las flores y por la presencia de nectarina atraen a los insectos; preferentemente a los himenópteros, dípteros y lepidópteros que realizan la polinización; por lo regular es cruzada, y deberá tomarse en cuenta que los estambres maduran primero (protandria) (Becherer, 1996).

### **Frutos y semillas**

Los frutos de las cactáceas son bayas, los cuales suelen ser pueden ser carnosos, jugosos o secos, en época de fructificación atraen a las aves y mamíferos que se

alimentan de ellos. Los hay dehiscentes e indehiscentes, los frutos constan de una cámara en cuyo interior se encuentran las semillas, unidas por una estructura llamada funículo, la cual determina su carnosidad o succulencia. La forma de los frutos es variable, desde globosos hasta alargados, son lanosos, escamosos espinosos, y su coloración puede ser blanca, verde, amarilla, púrpura, azul o casi negra (Pacheco, 1997).

Las semillas de las cactáceas son generalmente pequeñas, de uno a dos milímetros de longitud algunas pueden medir hasta medio centímetro, tienen formas diversas; discoide, reniformes, ovoides y son de colores que varían del negro al crema pasando por tonalidades pardas castañas o con tintes rojizos. La envoltura exterior es amarillenta, café o negra, casi siempre muy dura, brillante, lisa o provista de pequeñas puntuaciones o tubérculos (Bravo, 1994).

### **Anatomía de las cactáceas**

Sin duda algunas de las plantas más desarrolladas y sofisticadas que existen en el mundo, son las cactáceas, donde su morfología y fisiología están encaminadas al aprovechamiento eficiente del agua, es decir mejores canales de captación y almacenamiento. Para ello, estas plantas han desarrollado cualidades morfológicas y fisiológicas que les permiten perder el mínimo de agua de sus tallos (Ortíz, 2000). Para el estudio de la anatomía de las cactáceas se puede utilizar la de cualquier especie, ya que todas presentan la misma organización general, aunque la forma de la planta y por lo tanto las dimensiones de cada tejido pueden variar (Gibson y Nobel, 1986).

Los tejidos de almacenamiento (parénquima) están muy desarrollados lo que les permite conservar agua y nutrientes durante prolongados periodos de sequía. En las cactáceas a nivel general, el estudio de los tejidos que integran los tallos son:

#### **Epidermis e hipodermis**

La epidermis está formada por una gruesa cutícula impermeable de células cuya estructura varía con el tiempo, pues son distintas las que existen en la zona de

crecimiento de las células que cubren la parte media del tallo o de las que se encuentran en las proximidades de la raíz.

La pared exterior de la epidermis está cubierta por una capa de secreciones cerosas, la cual recibe el nombre de cutina y tienen como función proteger al tejido verde fotosintético y reducir la pérdida de agua (Cordero, 1999).

### **Las principales funciones de la epidermis son:**

- 2 Retención de agua dentro del cuerpo de la planta.
- 3 Protección contra la intensidad de la luz, plagas y enfermedades
- 4 Control del intercambio gaseoso.

La hipodermis está compuesta de un tipo de células llamadas colénquima, que son usadas por la planta como soporte mecánico, esta zona está formada por un número variable de hileras de células que presentan contornos irregulares que se caracterizan porque sus partes comúnmente están engrosadas y contienen altas concentraciones de pectina y hemicelulosa, pero no de lignina; la pectina retiene el agua con la cual llena las paredes y lo hacen duro pero flexible, con lo cual los tallos pueden extenderse y contraerse al perder agua sin sufrir daños (Cordero, 1997).

### **Clorénquima (región fotosintética)**

Debajo de la hipodermis se distingue una capa de células de color verde intenso que constituye este tejido, es aquí donde se transforma el agua y el CO<sub>2</sub> en azúcares en presencia de luz, mediante el proceso conocido como fotosíntesis, la luz atraviesa la epidermis y llega al clorénquima, donde es absorbida por la clorofila y carotenos presentes en los cloroplastos. En el caso de la pitahaya es muy abundante en relación al parénquima (tejido de reserva no fotosintético) (Cruz 1996; Nobel y Barrera 2004; Mauseth, 2004).

## **Xilema y floema**

El xilema (elementos vasculares) se localiza entre la médula y el tejido parenquimatoso siendo su función abastecer a los tejidos con agua y minerales del suelo vía las raíces y transportarlos azúcares del clorénquima hasta el resto de la planta. En las cactáceas columnares de gran tamaño los haces vasculares dan a la planta adulta resistencia estructural para soportar su peso, resistir la flexión y el pandeo producido por los vientos sobre sus grandes tallos suculentos (Cruz., *et al* 1995).

El tejido de almacenamiento parenquimatoso (floema) está muy desarrollados, lo que les permite a las cactáceas conservar agua y nutrientes durante prolongados periodos de sequía; debe su color al reducido número de cloroplastos y a la presencia de vacuolas grandes, los cuales ocupan el 95% del volumen celular en nopal, técnicamente a este tejido se le conoce como parénquima medular (Arévalo, 2000).

El parénquima está formado por células largas esferoides y pared celular delgada que permite la entrada del agua fácilmente, en algunas cactáceas se puede presentar en estos tejidos una estructura mucilaginoso y esta se considera altamente higroscópica, actúa como elemento de absorción y almacenamiento de agua. El mucílago de las células en los tallos parece envolver primero el córtex y posteriormente la médula (Cordero, 1997).

## **Requerimientos edafoclimáticos**

Para la producción comercial de cactáceas los sustratos son fundamentales, para el desarrollo de estos, un buen sustrato es el que sirve para obtener plantas de buena calidad comercial a un bajo costo y en el menor tiempo posible. Los sustratos recomendados para la producción comercial de esta especie de plantas, deberán ser de buena capacidad de drenaje, porosidad y densidad adecuada, textura gruesa que permita la fácil penetración de las raíces, buena aireación, bajos porcentajes de nitrógeno, disponibilidad y bajo costo (Bastida, 1999).



La temperatura óptima para el desarrollo de la pitahaya es de 26 °C; aunque puede sembrarse con éxito donde la temperatura varía de 21 a 35°C (Muñoz, 1997). La pitahaya crece adecuadamente desde el nivel del mar hasta los 1,200 metros de altura. La altura más adecuada va de 100 a 800 metros sobre el nivel del mar (Bárceñas, 2006). El crecimiento vegetativo se favorece por cierta cantidad de sombra, pero un sombreado excesivo produce tallos delgados con una coloración verde oscura (Delgado, 2002). Si las temperaturas bajan progresivamente, las plantas se endurecerán y entrarán en un estado de latencia, las temperaturas promedio, oscilan entre 10 °C durante el invierno y hasta los 45 °C en los días calurosos, las cactáceas se adaptan a las temperaturas altas, pero es necesario el frío para estimular la floración (March, 1997).

La humedad es fundamental para los cactus; especialmente durante el proceso de germinación, si se somete a estrés el germoplasma en el semillero no se obtendrán los resultados esperados de germinación (March, 1997).

### **Macronutrientes (N, P y K)**

El nitrógeno es el elemento más limitante en el suelo para el crecimiento de las cactáceas, ya que cuando el nitrógeno está presente en más del 2% del peso seco en el clorénquima de agaves y cactus, se promueve la actividad metabólica.

Los niveles de nitrógeno en el tejido se correlacionan positivamente con la acumulación nocturna de ácidos y de CO<sub>2</sub>, así mismo, se obtiene un crecimiento óptimo para ambas especies cuando los niveles de N en el suelo son superiores al 0.1% en relación al peso seco del mismo (Nobel, 1988). Stefanis y Langhans (1980), reportan que al incrementar el nivel de nitratos en la solución hidropónica se incrementó el crecimiento de plantas de *Agave deserti*, *Carnegiea gigantea*, *Ferocactus acanthodes* y *Trichocereus chilensis*. Nobel *et al.*, (1987) reportaron que en *Opuntia phaeacantha* y *Opuntia rastrera*, conforme incrementa los niveles de Nitrógeno en el suelo, incremento la acumulación de biomasa.

En algunos cactus cultivados en hidroponía, la influencia del fósforo se empieza a notar cuando las plántulas tienen un año de edad, por ejemplo, con una

concentración de 1 mM H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – en la solución nutritiva se incrementa el peso seco del tallo en un 20% para *Carnegia gigantea*, *Ferocactus acanthodes* y *Trichocereus chilensis* (Nobel y Hartsock, 1983).

Nobel *et al.*, (1987), reportaron que para *O. phateacantha*, la aplicación de P en altas dosis incrementaron en un 48% el peso seco de la planta en un periodo de un año y medio en comparación con el testigo sin aplicación de fósforo.

Ortiz (2000), reporta que la pitahaya (*Hylocereus undatus*) requiere más cantidad de fósforo al inicio del periodo de floración y formación de fruto. De igual manera Delgado (1997) reporta que existen diferencias en demanda de fósforo entre diferentes pitahayas es mayor en pitahaya roja que en la pitahaya amarilla.

Al incrementar la concentración de K<sup>+</sup> en las células, se incrementa la presión osmótica de la misma, al respecto Nobel, (1988) reportó que ocurren pequeños cambios en plantas de un año de edad en *Carnegia gigantea*, *Ferocactus acanthodes* y *Trichocereus chilensis*, que fueron cultivadas por seis meses en solución hidropónica, se incrementó el nivel de K en un 10% en peso seco de los brotes incorporando a la solución K en proporción 0.1 mM.

Metral, (1995), reportó que las aplicaciones de 18-46-00 al suelo de 5 ó 10 g de K m<sup>2</sup> no ocasionan cambios significativos sobre la productividad de *Opuntia cochenillifera*. Para el caso del cultivo de la pitahaya a nivel comercial no es necesario realizar aplicaciones de potasio. Por su parte Ortiz (2000), reportó que se deben aplicar 33.9 kg ha<sup>-1</sup> de urea, esto para el caso de la fertilización de *Hylocereus* sp.

### **La nutrición foliar**

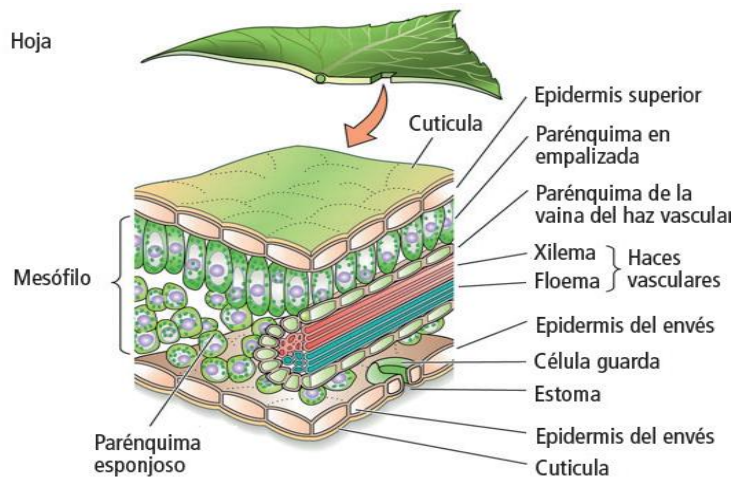
Las plantas satisfacen sus necesidades de nutrientes no gaseosos principalmente por vía radicular. No obstante, la mayoría de los órganos vegetales, incluyendo las ramas leñosas pueden absorber nutrientes en solución (Wittwer *et al* 1963); la fertilización foliar es una herramienta importante para el manejo sostenible y productivo de los cultivos; la capacidad de las hojas de la planta para absorber agua y nutrientes fue reconocida hace aproximadamente tres siglos (Fernandez y Eichert, 2009). La aplicación de las soluciones de nutrientes al follaje de las

plantas como estrategia alternativa para fertilizar un cultivo como las viñas, se utilizó ya al principio del siglo XIX, aunque las hojas pueden tomar sólo cantidades relativamente pequeñas de nutrientes, la práctica de nutrición foliar es altamente benéfica y reconocida como un importante desarrollo de la agricultura moderna.

Las situaciones en las cuales es recomendable el uso de fertilizantes foliares incluyen, entre otras: 1) Cuando las condiciones del suelo limitan la disponibilidad de nutrientes aplicados al suelo; 2) Cuando pueden ocurrir condiciones que conduzcan a altas pérdidas de nutrientes aplicados al suelo; 3) Cuando interactúan las etapas de crecimiento del cultivo, la demanda interna de la planta y las condiciones ambientales para limitar la entrega de nutrientes a órganos críticos de la planta; la fertilización foliar es teóricamente más amigable con el ambiente que la aplicación de nutrientes por vía radicular, tiene una acción más inmediata y orientada al objetivo que la fertilización del suelo ya que los nutrientes pueden ser aplicados directamente a los tejidos vegetales durante las etapas críticas del crecimiento de las plantas

Los procesos mediante los cuales una solución de nutrientes que se aplica al follaje de un cultivo es asimilada por las plantas incluyen: contacto con la hoja y adsorción a la superficie de la misma, penetración cuticular/estomática/a través de otras estructuras epidérmicas, absorción celular y penetración en los compartimentos celulares metabólicamente activos en la hoja (fig4.1), y finalmente, en su caso, la translocación y la utilización de los nutrientes absorbidos por la planta hacia el tejido desde el exterior, que se conoce como absorción: La mayor proporción de nutrientes absorbidos es de los cationes (+) por difusión pasiva.

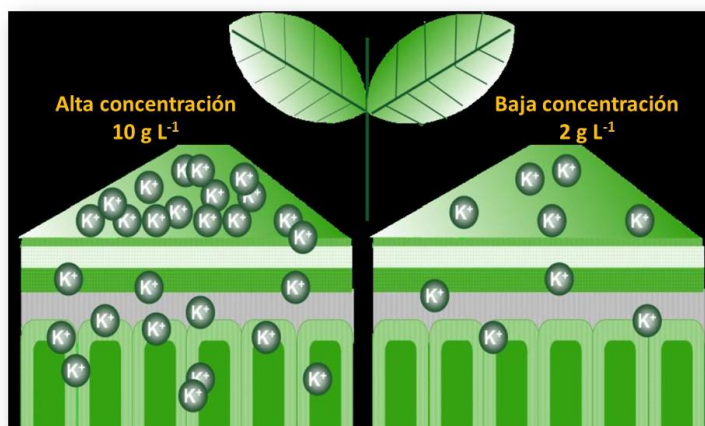
- Desde el punto de penetración hacia otras partes de la planta, conocido como transporte. El transporte de iones de célula a célula a través de los haces vasculares (floema, xilema) de las hojas a otros sitios donde son requeridos.



**Fig. 4.1. Estructura de la hoja**

**MECANISMO DE ABSORCIÓN DE FERTIIZANTES APLICADOS VÍA FOLIAR**

La penetración/absorción puede ser realizada a través de diversos elementos que existen en el tejido. La penetración principal se realiza directamente a través de la cutícula y se realiza en forma pasiva. Los primeros en penetrar son los cationes dado que éstos son atraídos hacia las cargas negativas del tejido, y se mueven pasivamente de acuerdo al gradiente de mayor concentración a menor concentración (del exterior al interior) (fig. 4.2).



**Figura 4.2. Fertilización Foliar: la penetración de los cationes a la hoja por difusión pasiva es proporcional a la concentración de la solución**

La adición de un surfactante en la solución que se va asperjar nos asegura una cobertura completa y distribución uniforme sobre la superficie de las hojas (Wittwer *et al* 1963, Schönherr & Bukovac. 1972). La tasa de penetración depende de la concentración de soluto en la superficie de la hoja y de la humedad relativa, que determina la tasa de evaporación de la solución asperjada.

El nitrógeno y el potasio son rápidamente absorbidos por las hojas y transportados a todas las partes de la planta, especialmente a puntos de activo crecimiento como nuevas hojas, frutos jóvenes, tallos en crecimiento y raíces (Audidier 1962, Depardon & Buron 1956). El Potasio ( $K^+$ ) en la planta se mueve de las raíces a los tallos como Nitrato de Potasio ( $KNO_3$ ) y de los tallos a las raíces como malato de potasio. El malato se forma en las hojas como respuesta a la reducción del nitrato (Lips *et al* 1970). Un adecuado suministro de potasio ( $K^+$ ) y nitrógeno (como  $NO_3^-$ ) aplicado a las hojas mediante pulverización con  $KNO_3$ , podría estimular el ciclo de movimiento de  $K^+$ ,  $NO_3^-$  y malato entre los tallos y las raíces.

### **pH DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA**

El pH es la manera en que se mide el grado de acidez o alcalinidad en una sustancia; el pH es un factor que afecta de manera importante la asimilación de nutrimentos por la planta por lo que, es fundamental regular este valor en la solución nutritiva para el desarrollo exitoso de la planta (Urrestarazu 2004).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se estableció en el invernadero de investigación del Programa de Plantas Ornamentales del INIFAP Campo Experimental Saltillo; semillas de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto se sembraron en charola germinadora de plástico negro con domo transparente sobre un sustrato de peat moss humedecido con agua destilada, la charola se colocó sobre una base metálica la temperatura promedio dentro del invernadero se mantuvo a 25 °C iniciando la germinación a los siete días de establecidas. A los 30 días de germinadas las plántulas se transfirieron a una charola de poliestireno de 200 cavidades con peat moss como sustrato y regadas cada 10 días con una solución nutritiva a una CE de 1 mScm<sup>-1</sup> formulada con un fertilizante comercial; cuando las plántulas presentaron las primeras espinas lo cual ocurrió a los dos meses de germinadas se trasplantaron a macetas de poliestireno de 2” de diámetro, utilizando como sustrato peat moss con una cubierta de grava de río cribada en malla de cinco mm para dar estabilidad a la plántula en la maceta.

Los tratamientos a evaluar consistieron en seis soluciones nutritivas elaboradas a partir de los fertilizantes complejos sólidos N:P:K 18-18-18 Hakaphos<sup>®</sup> y N:P:K 20-30-10 Grofol<sup>®</sup> (Cuadro 5.1) las cuales se ajustaron a tres niveles de presión osmótica (P.O.) para cada una de ellas, siendo estas: 0.072 Mpa, 0.054 Mpa y 0.036 Mpa; el cálculo de las soluciones nutritivas se realizó utilizando el método propuesto por Cadahia (1998) (Figura 5.1), para la elaboración de las mismas se utilizó agua destilada y se ajustó el pH a 6.5 antes de agregar las fuentes nutrimentales.

### Figura 5.1 Método de cálculo para soluciones hidropónicas a partir de fertilizantes solidos complejos.

Calculo de aporte de mEq L<sup>-1</sup> gr<sup>-1</sup> de fertilizante sólido complejo.

$$\text{mEq elemento gr}^{-1} \text{ producto} = \frac{\% \text{Concentración elemento}}{100 \text{ gr producto}} \times \frac{1}{\text{Peso equivalente del elemento en el fertilizante}} \times 10^3 \text{ meq/eq.}$$

Tomado de:

**Cadahia L., C. 1998.** Fertirrigación: Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Editorial Mundi Prensa

**Cuadro 5.1 Soluciones nutritivas para evaluar su efecto en el crecimiento de plántula de *Echinocactus platyacanthus***

Tratamientos	Fuente N:P:K	CON <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P. O. Mpa
		----- mEqL <sup>-1</sup> -----					
1	Grofol <sup>®</sup> (20-30-10)	10.80	0.00	3.05	4.09	2.07	0.072
2	Grofol <sup>®</sup> (20-30-10)	8.10	0.00	2.28	3.07	1.55	0.054
3	Grofol <sup>®</sup> (20-30-10)	5.40	0.00	1.52	2.05	1.02	0.036
4	Hakaphos <sup>®</sup> (18-18-18)	0.00	6.02	7.36	2.64	3.98	0.072
5	Hakaphos <sup>®</sup> (18-18-18)	0.00	4.51	5.52	1.98	2.99	0.054
6	Hakaphos <sup>®</sup> (18-18-18)	0.00	3.01	3.68	1.33	1.99	0.054

**Diseño experimental**

El diseño experimental fue Bloques al Azar con cinco repeticiones por tratamiento, la unidad experimental consto de cuatro plántulas para un total de ciento veinte plántulas. La duración del experimento para las soluciones nutritivas en el invernadero fue de 90 días; se analizaron las variables del crecimiento: altura de planta (AP) y diámetro de planta (DP). El análisis de varianza de las variables del crecimiento se hizo evaluando el factor principal del diseño: Presión osmótica de las soluciones nutritivas. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistical Analysis System, Versión 9.3 (SAS Institute, 1999).

## **Prueba de comparación de medias**

El propósito de todo investigador que realiza un análisis de varianza de un experimento en particular es, realizar una prueba sobre el efecto de los tratamientos en estudio; para ello hace uso de la prueba F la cual indicará si los efectos de todos los tratamientos son iguales o diferentes; en caso de aceptar la hipótesis de que todos los tratamientos no tienen el mismo efecto, entonces es necesario realizar pruebas de comparación de promedios a fin de saber entre que tratamientos hay diferencias; para ello es necesario realizar pruebas de comparación múltiple como la siguiente:

Prueba de Diferencia Honestamente Significativa (HSD) de Tukey:

La prueba HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey es una prueba de comparaciones múltiples. Permite comparar las medias de los  $t$  niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA. Es, por lo tanto, un test que trata de perfilar, trata de especificar, una Hipótesis alternativa genérica como la de cualquiera de las pruebas ANOVA.



## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de resultados

Una realizado el experimento y recabado todos los datos correspondientes del mismo, se procedió al análisis de la información obtenida; para ello se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables de crecimiento.

### Evaluación del efecto de las distintas soluciones nutritivas sobre las variables de crecimiento.

#### Diámetro de planta

Cuadro 6.1 Análisis de varianza para diámetro de planta

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fcalculada</b>	<b>F tabla</b>
Tratamiento	5	412.8119867	82.5623973	45.63**	2.259
Error	114	203.60521	1.80941347		
Total	119	616.4171967			

C.V. = 6.88%

El análisis de varianza para la variable diámetro de planta muestra que fue altamente significativo.

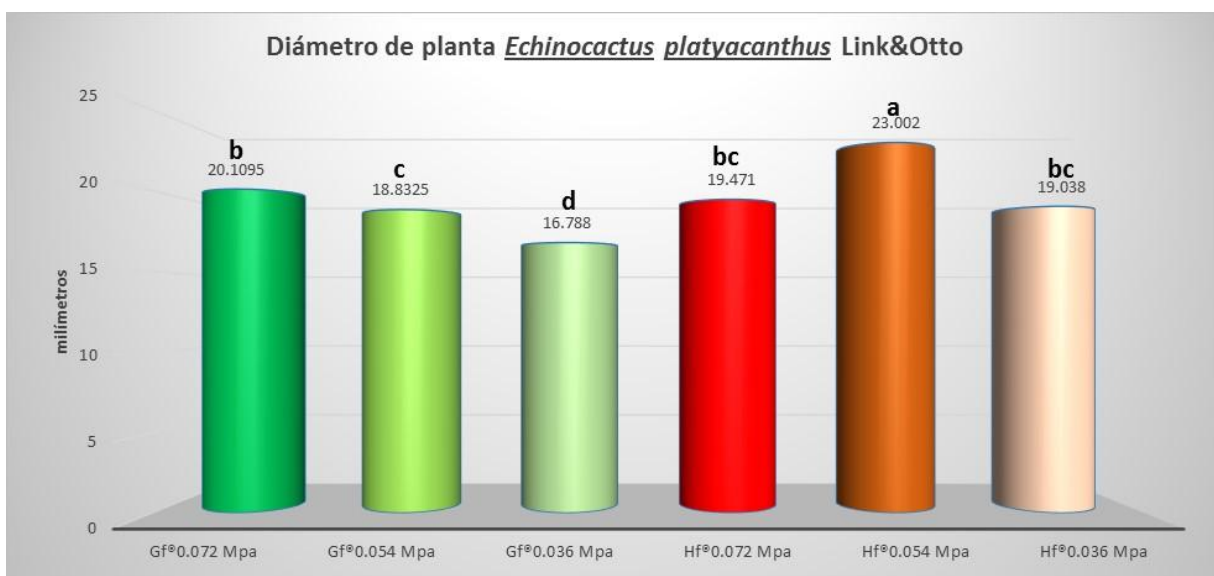
Dado que, el estadístico de prueba (F calculada) es mayor que el estadístico de comparación (F tabla) se acepta la hipótesis alternativa de que en al menos en un tratamiento el promedio de diámetro de planta es distinto con un 95% de confiabilidad

Para determinar los mejores tratamientos se realizó la prueba de comparación de medias por medio de la HSD Tukey al 0.05%.

**Cuadro 6.2 Comparación de medias diámetro de planta**

Tratamiento	Fuente nutricional	Media	
5	Hakaphos (18-18-18) a 0.054 Mpa	23.0020	A
1	Grofol (20-30-10) a 0.072 Mpa	20.1095	B
4	Hakaphos (18-18-18) a 0.072 Mpa	19.4710	BC
6	Hakaphos (18-18-18) a 0.036 Mpa	19.0380	BC
2	Grofol (20-30-10) a 0.054 Mpa	18.8325	C
3	Grofol (20-30-10) a 0.036 Mpa	16.7880	D

Nivel de significancia = 0.05%



**Figura 6.1 Diámetro de planta**

El tratamiento 5 fue estadísticamente superior en comparación a los demás tratamientos con un promedio de diámetro de planta de 23.002 mm lo que representa una diferencia del 37% respecto al tratamiento 3 que fue el más bajo con un promedio de diámetro de planta de 16.788 mm y un 14% en comparación al tratamiento 1 con un promedio de diámetro de planta de 20.109 mm que fue el segundo mejor tratamiento con una diferencia del 19.78% respecto al más bajo que es el tratamiento 3.

## Altura de planta

**Cuadro 6.3 Análisis de varianza para altura de planta**

FV	GL	SC	CM	F	
				calculada	F tabla
Tratamiento	5	211.851894	42.3703788	7.77**	2.259
Error	114	620.980365	5.44719618		
Total	119	832.832259			

C.V.=7.83%

El análisis de varianza para la variable altura de planta muestra que fue altamente significativo.

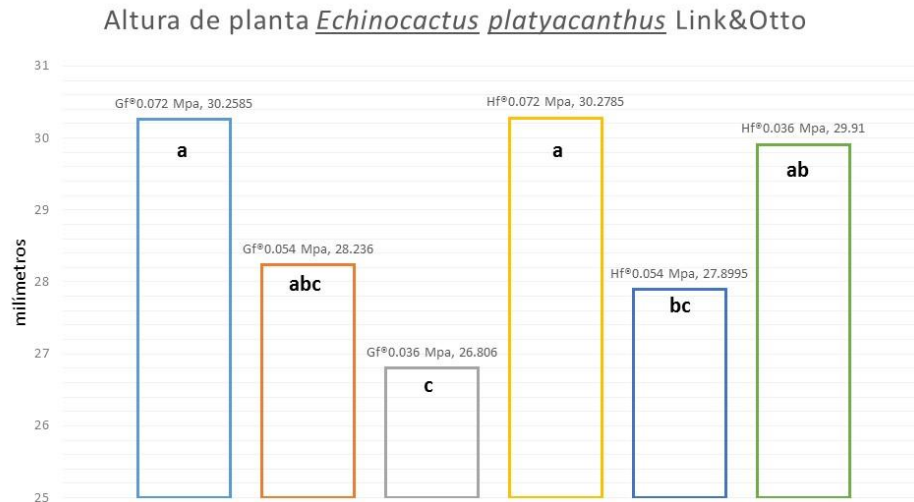
Dado que, el estadístico de prueba (F calculada) es mayor que el estadístico de comparación (F tabla) se acepta la hipótesis alternativa de que en al menos en un tratamiento el promedio de altura de planta es distinto con un 95% de confiabilidad. Para determinar los mejores tratamientos se realizó la prueba de comparación de medias por medio de la HSD Tukey al 0.05%.

Tratamiento	Fuente nutrimental	Media	
4	Hakaphos (18-18-18) a 0.072 Mpa	30.2785	A
1	Grofol (20-30-10) a 0.072 Mpa	30.2585	A
6	Hakaphos (18-18-18) a 0.036 Mpa	29.9100	AB
2	Grofol (20-30-10) a 0.054 Mpa	28.2360	ABC
5	Hakaphos (18-18-18) a 0.054 Mpa	27.8995	BC
3	Grofol (20-30-10) a 0.036 Mpa	26.8060	C

Nivel de significancia = 0.05%

El tratamiento 4 con un promedio de altura de planta de 30.25 mm solo fue estadísticamente superior en comparación al tratamiento 3 lo que representa una diferencia del 12.94% respecto a este tratamiento -el número 3- que fue el más bajo con un promedio de altura de planta de 26.80 mm; respecto a los demás

tratamientos no hubo una diferencia estadísticamente significativa; en comparación al tratamiento 6 con un promedio de altura de planta de 29.100 mm que fue el segundo mejor tratamiento con una diferencia del 11.57% respecto al más bajo que es el tratamiento 3.



**Figura 6.2** Altura de planta

## DISCUSION DE RESULTADOS.

En un experimento realizado por Cerritos *et al* en el año 2013, en donde se evaluó el efecto dosis de fertilización en el desarrollo de *Cephalocereus senilis* no se encontró efecto en el desarrollo de diámetro de planta y altura de planta quizá debido a que se utilizó una fertilización propia de cultivos como maíz y sorgo utilizando sustratos regionales de pobre contenido nutrimental y de materia orgánica partiendo de la suposición de que las cactáceas no requieren de sustratos especializados para que en combinación de la fertilización química adecuada aceleren su desarrollo; a su vez Islas en el año 2008 realizó un estudio del efecto de la fertilización química en *Echinocactus grusonii* bajo diferentes condiciones de sustratos y porcentaje de concentración de solución nutritiva Steiner encontrando que, no existían diferencias estadísticas entre los distintos

tratamientos evaluados los cuales son inferiores a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

Dado lo anterior, se puede apreciar que en los trabajos mencionados aun cuando el interés es determinar el efecto de la fertilización química en el desarrollo de cactáceas ornamentales de importancia comercial, se partió de la idea preconcebida de que las cactáceas requieren para su producción y desarrollo de sustratos pobres como en los que generalmente se les encuentra regionalmente; sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación encontramos que plántulas de *Echinocactus platyacanthus* responden de manera favorable a la fertilización química en concentraciones que fisiológicamente favorecen su crecimiento mediante un desarrollo acelerado que es promovido por el uso de sustratos con las condiciones apropiada para el desarrollo de las plantas.

Las diferencias mostradas entre los dos fertilizantes evaluados a distintas presiones osmóticas pueden deberse principalmente a la forma química en que aportan un elemento tan importante como lo es el nitrógeno ya que mientras Hakaphos<sup>®</sup> (18-18-18) lo aporta bajo la forma química de NO<sub>3</sub> que es la forma en que las plantas asimilan más eficientemente este elemento, Grofol<sup>®</sup>(20-30-10) lo aporta en las formas químicas CON<sub>2</sub> y NH<sub>4</sub> lo que supone primero que nada un retraso en la transformación a la forma más asimilable de este elemento.

Es por ello que encontramos buen desarrollo con diferencias estadísticas con los tratamientos Hakaphos<sup>®</sup> (18-18-18) a una presión osmótica de 0.054 Mpa y con Grofol<sup>®</sup>(20-30-10) a una presión osmótica de 0.072 Mpa siendo el tratamiento con Hakaphos<sup>®</sup> (18-18-18) a una presión osmótica de 0.054 Mpa el que presenta una relación más proporcional en el desarrollo de diámetro y altura de planta.

## VII. CONCLUSIONES

Una vez realizado el presente trabajo de investigación y en base a los resultados obtenidos se concluye que la solución nutritiva con el fertilizante de alta solubilidad Hakaphos® (18-18-18) a una presión osmótica de 0.054 Mpa es la más adecuada para el desarrollo de plántulas de *Echinocactus platyacanthus* para la producción acelerada de esta especie de plantas con alto potencial como planta ornamental con fines de comercialización.

Es necesario continuar con más estudios liderados por el Departamento de Producción Agrícola de la UAAAN para generar mayor conocimiento que coadyuve a liberar un paquete tecnológico para la producción de cactáceas con potencial ornamental de nuestras regiones áridas y semi áridas.

Desarrollo del diámetro de planta *Echinocactus platyacanthus* durante la evaluación de las soluciones nutritivas

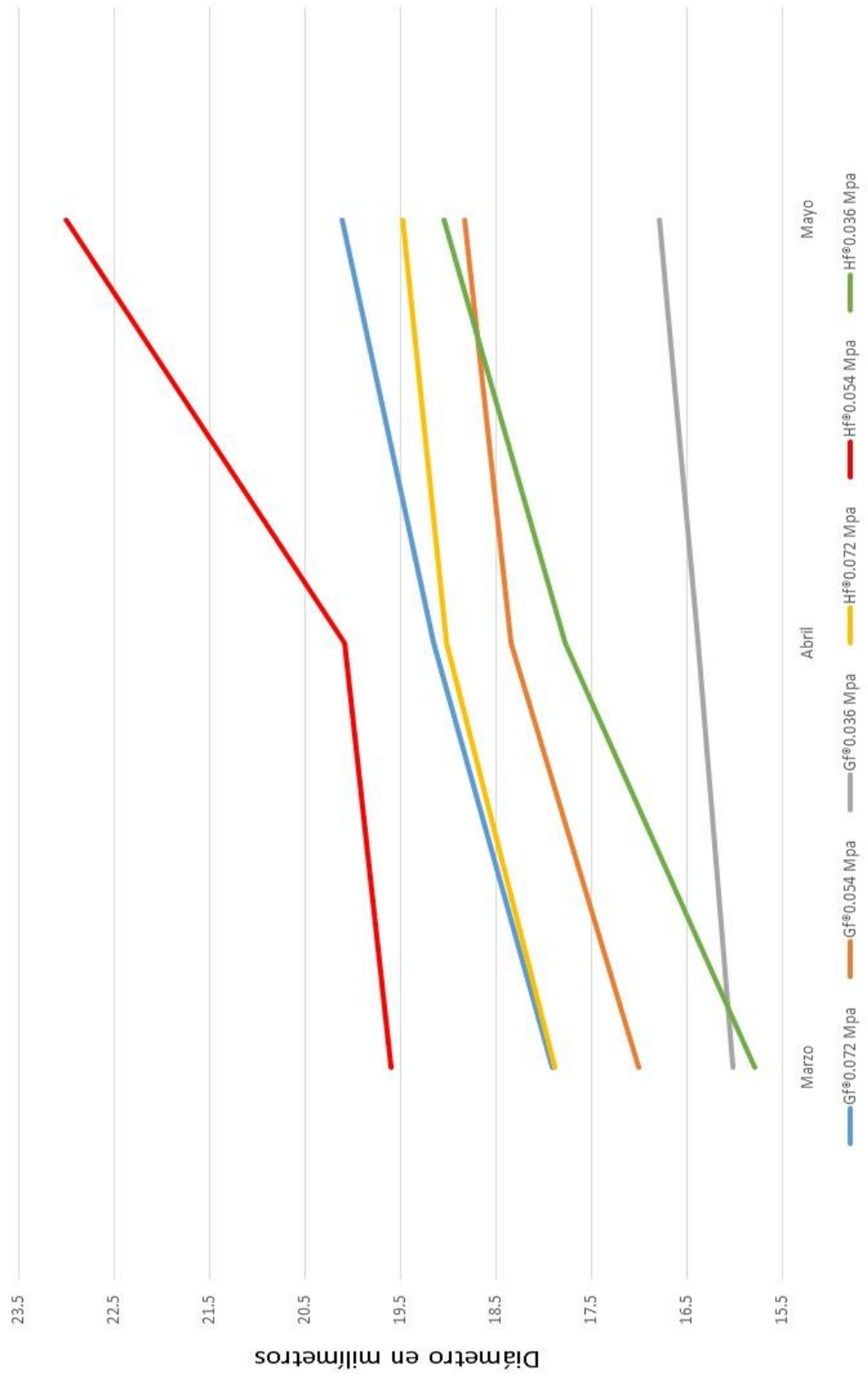


Figura 7.1 Desarrollo del diámetro de planta

Desarrollo de altura de planta de *Echinocactus platyacanthus* durante  
 le evaluación de las soluciones nutritivas

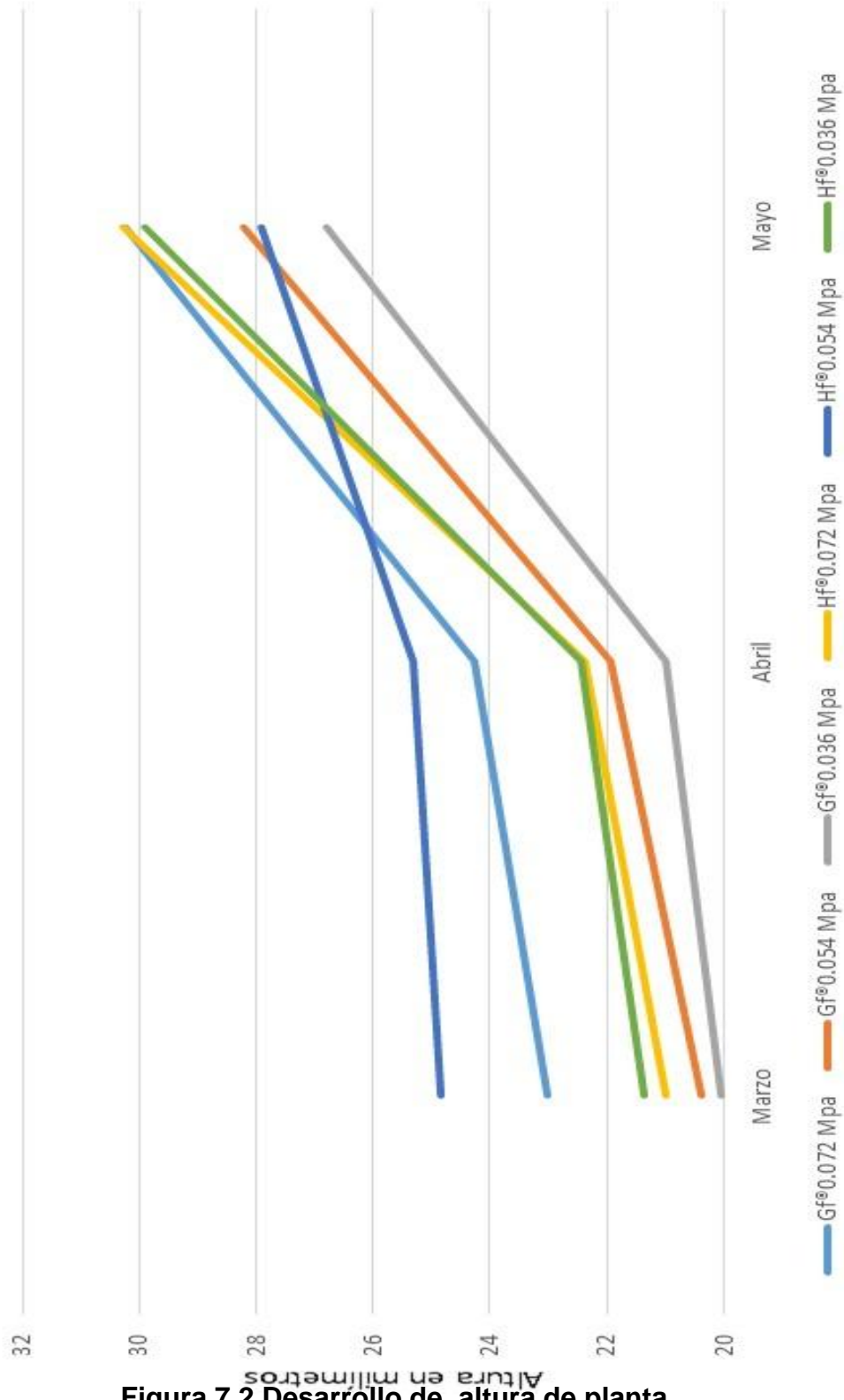
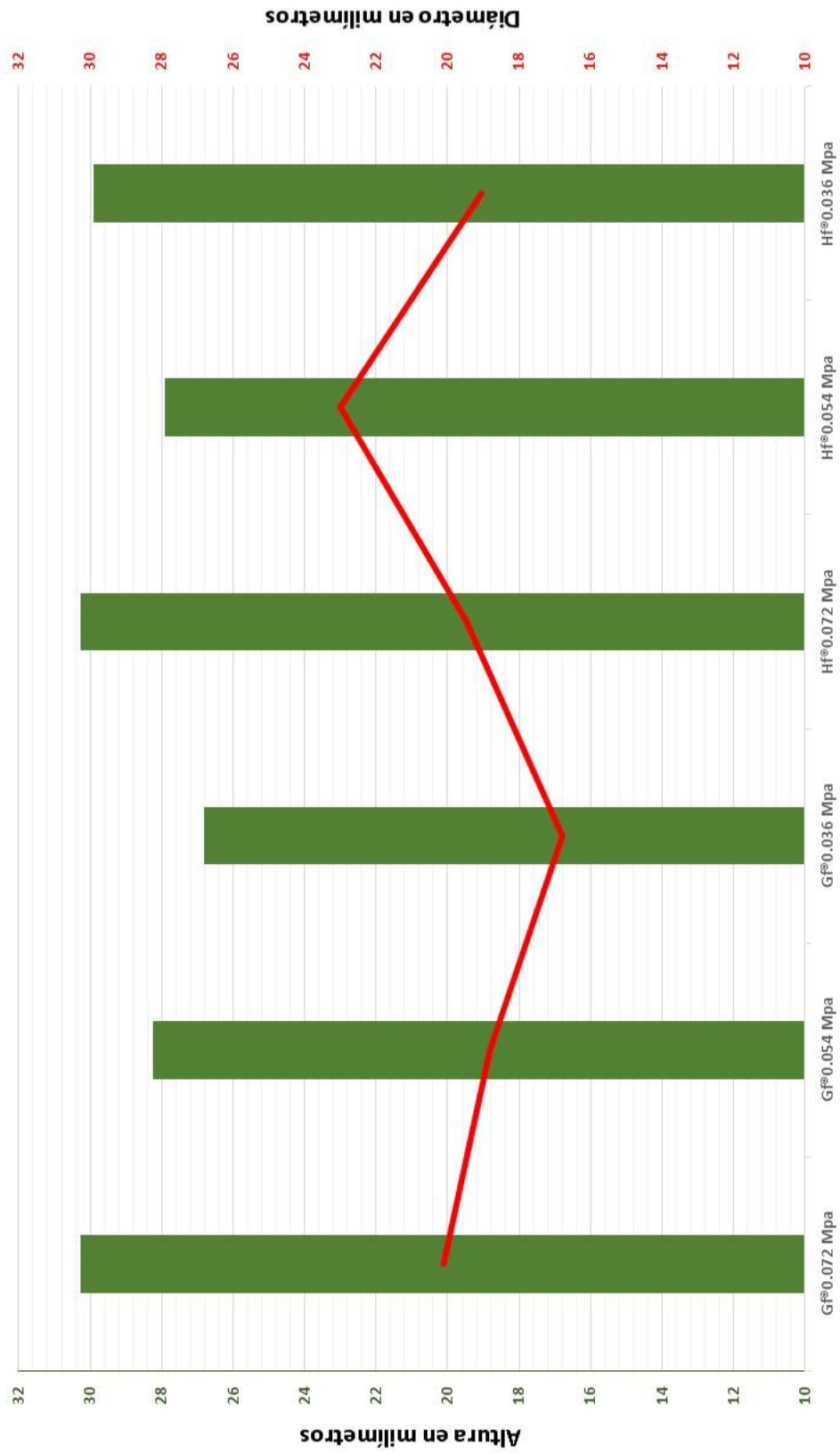


Figura 7.2 Desarrollo de altura de planta



**Relación Diámetro de planta: altura de planta para *Echinocactus platyacanthus* por efecto de la presión osmótica de las distintas soluciones nutritivas**



**Figura 7.3 Relación entre diámetro y altura de planta obtenidos con las distintas soluciones nutritivas**

## VIII. LITERATURA CITADA.

- Abbes, C; Parent, L.E, Karma A. and Isfan, D. 1995. Efecto of  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  ratios on growth and nitrogen uptake by onions. *Plant and Soil*. 12(2): 289-296.
- Acevedo, R. S., A. Mellado V., Y. Velázquez L., y P. Bárcenas A. 1996. Respuesta de la Pitahaya (*Hylocereus* spp.) a la fertilización química. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. México.
- Acosta M., A. 2005. La técnica del injerto en plantas hortícola. *Revista extra*. Pág. 62-65. Alcántar, G. G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal.
- Álvarez A., y C. Montaña. 1997. Germinación y supervivencia de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacan: implicaciones para su conservación. *Acta de Botánica Mexicana* 40:35-58.
- Álvarez T., J. Villalpando y N. Sánchez-Casas. 1998. Aspectos biológicos de *Leptonycteris yerbabuena* en México. *In: Evolution, Ecology and Conservation of Columnar Cacti and their Mutualist*. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Anderson M. 1997. Grafting succulents. *Cactus and Succulent Journal (U.S.)*. 69(1):17- 25.
- Aponte Ch., M. H. y E. Guerrero T. 1990. Efecto de la fertilización foliar con N,P,K, Zn, B y Mn en la producción de pitahaya (*Selenicereus megalantus Schuman* ex F. Vaupel).
- Arévalo G., M. 2000. Análisis entre la relación patrón-injerto entre cactáceas. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo Estado de México.
- Arias M., S. 1997. Distribución general de las cactáceas. *In: Mexicanas: Cactáceas*. Rodríguez, P.L. (ed.) Suculentas México, D.F.
- Arnaud, V. R., Santiago G. y P.B. Bautista 1997. Agroindustrias de algunos frutos. En: Rodríguez, P.L. (ed). *Suculentas Mexicanas, Cactáceas*. México D.F.

- Arreola, N.H. J. 1997. Formas de vida y características morfológicas. *In: Suculentas Mexicanas: Cactáceas*. Rodríguez, P.L. (ed) México, D.F.
- Arruda E., P. Melo de Pina G., y M. Alves. 2005. Anatomia dos órgãos vegetativos de *Cactaceae* da caatinga pernambucana. *Revista Brasil. Bot.* 23(3): 589-601.
- Audidier, L. 1962. Fumure de la vigne al des verges, p. 415 <<Potassium Symposium 1962>>, institut International de la potasse, Berne.
- Baca C., A. 1990. Deficiencias nutrimentales inducidas en nopal provenientes de cultivo invitro. *In: El nopal memorias de la tercera reunión y la primera internacional*. Lopez G. J. y M. J. Ayala (ed.). Universidad Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila México.
- Baldini, E. 1992. Arboricultura general. Traducción al español de J. de la Iglesia G. Madrid, España.
- Báraza E.; Ángeles S.; García A. y Valiente-Banuet A. 2008. Nuevos recursos naturales como complemento de la dieta de caprinos durante la época seca, en el valle de Tehuacán, México.
- Barcenas, A. P. 2006. Determinación de Zonas Potenciales para el Establecimiento de Plantaciones de Pitahaya. Tesis de Postgrado. Montecillo, Texcoco Estado de México.
- Barcenas, A., P., T. Olivera L., L. Tijerina C. y S. Larque A. 2002. Características agronómicas de la pitahaya (*Hylocereus undatus* H.). Colegio de Postgraduados- Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Bastida, T. A. 1999. El medio de cultivo de las plantas "Sustratos para hidroponía y producción de plantas ornamentales". Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Becherer, F. 1996. Cactus, así serán más hermosas. Ed. Everest, Madrid España.
- Benítez, H. y P. Dávila. 2002. Las cactáceas mexicanas en el contexto de la CITES. [En línea]. Disponible en <http://www.semarnat.gob.mx> (Revisado el 14 de Enero de 2007).

- Blanco, M. F., A. Lara H, Valdez C. 2006. Interacciones nutrimentales y la técnica de nutrimento compuesto en nopal (*Opuntia ficus-indica* Millar.), Revista Chapingo. Serie horticultura, Julio-Diciembre 2(12) 165-175.
- Boyle, T.H. and E.F. Anderson. 2002. Biodiversity and conservation. In: Cacto. Biology and uses. Charter 8. Nobel, P.L. (ed.). University of California. U.S.A.
- Bravo, H. E. 1978. Las cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México D.F.
- Bravo, H. E. 1994. Las cactáceas de México, Vol. III, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México D.F.
- Bravo, H. y Sheinvar, L. 1995. El interesante mundo de las cactáceas. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Fondo de Cultura Económica, México. Burleigh M., 1997. Grafting with Peresquiopsis. *Cac. and Suc. J.* 69(1):34-39.
- Depardon, L. and P. Buron. 1956. Pulverisations de solution d'engrais sur le feuillage. *Annales agronomiques.* 6 :964.
- Esquivel, P. 2004. Los frutos de las Cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana* 15(2):215-219.
- Fernandez, V., y T. Eichert. 2009. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences.* 28:36-68.
- Gallegos V.C., E.S. Olivares, R. A. Vazquez y F.G. Zavaleta. 2000. Absorción de Nitrato y Amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra.* 18(2):133-139.
- Glass, E. 1998. Guía para la identificación de las cactáceas amenazadas de México. Fideicomiso Fondo para la Biodiversidad. Vol. 1. México, D. F.
- Guzmán B., R. 1994. Fertilización de la pitahaya. En: Memorias del primer encuentro del cultivo de la pitahaya. San Marcos Nicaragua.
- Guzmán L. D. y Chávez J. 2007. Estudio bromatológico del cladodios del nopal (*opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Rev. Soc. Quím.* 73(1):41-45.

- Lips. S.H. Ben-Zioni, A. and Vaadia 1970, Y. recirculation in plants and its importance for adequate nitrate nutrition. Proceedings of the 6th int. Collq. on plant analysis and fert. 1970. Tel-Aviv.
- López R., G. 2006. Pitaya (*Stenocereus griseus* H.) y nopal (*Opuntia sp.*) como portainjertos de cactáceas. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. México.
- López, M., J.L. 1988. Contenidos nutrimentales en tallos y raíces de nopal tunero (*Opuntia amyclaea* Tenore.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo,
- Nerd A., and Mizrahi. 1997. Reproductive biology of fruit cacti. Hort. Rev. 18:322-346.
- Nessmann, J.D. 1994. Guía para el cuidado de los cactus y plantas. Ediciones SUSAETA, Madrid España.
- Nobel P., S. and E. De la Barrera. 2004. CO<sub>2</sub> uptake by the hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. Ann. Appl. Biol. 144(1):1-8.
- Nobel P., S. and T. L. Hartsock. 1983. Relationships between photosynthetically active radiation, nocturnal, acid accumulation, and CO<sub>2</sub> uptake for a Crassulacean acid metabolism plant, *Opuntia ficus indica* and metabolism plant, *Opuntia ficus indica*. Plant physyolo. 71:71-75.
- Nobel P.S., E. Russell C., P. Felker, J. Medina G. and E. Acuña. 1987. Nutrient relations and productivity of prickly pear cacto. Agronomy Journal 79:550-555.
- Nobel, P. S. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Ed. Trillas. México
- D. F. Nobel, P.S. 1988. Environmental biology of agave and cacto. Cambridge Univ. Press. New
- Pecheco, M. 1997. Cactáceas, suculentas mexicanas. CONABIO México.
- Pimienta, E. 1997. El nopal en México y el mundo. *In*: Suculentas Mexicanas, Cactáceas.
- Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. A. C. Chapingo México.

- Reyes, J. S. 1997. Cultivo y propagación de cactus como plantas de ornato In: *Suculentas Mexicanas, Cactáceas*. Rodríguez, P.L. (ed.). México D.F.
- Rubluo, A., Reyes, J., Rodriguez G, B., Pimienta, B, E. y Brunner, I. 1996. Métodos de propagación biotecnológicos y convencionales en cactáceas para zonas áridas. En: *Técnicas convencionales y Biotecnológicos para la propagación de plantas de zonas áridas*.
- Ruíz., J. L. Hernández, J.C. M. Ledesma y F.J. R. Macias. 2003. Fertilización química del nopal, pp. 117-136. *In: El nopal, Alternativa para la agricultura de zonas Áridas en el siglo XXI*. Murillo A. B; Troya, D.E. García J.L H (eds). Centro de investigaciones Biológicas del Noreste, S. C. La Paz, B. C. S. México.
- Salinas R., N., y M. Alvarez E. 2006. Anatomía y Morfología de *Corryocactus erectus* (Backerberg) Ritter (CACTACEAE). *Zonas Áridas 10*: 502-516.
- Salinas R., N., y M. Alvarez E. 2006. Anatomía y Morfología de *Corryocactus erectus* (Backerberg) Ritter (CACTACEAE). *Zonas Áridas 10*: 502-516.
- Sánchez P. A.M. 2008. Relaciones entre radiación solar, desarrollo y calidad de cactáceas ornamentales. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Texcoco Estado de México.
- Sánchez, G. P., Molinos da Silva, C., Alcantar, G. G. y Sandoval V. M. 2007. Diagnostico nutrimental en plantas En: Alcantar G.G.y L. Trejo T. (eds) *Nutrición de cultivos*.
- Schönherr, J. and M.J. Bukovac. 1972. Penetration of stomata by liquids: dependence on surface tension, wettability and stomatal morphology, *Plant Physiol.* 49:813-819
- Soberon, J. 1998. Prologue. In: "Threatened cacti; of Mexico. Identification Guide to Treateded cacti of Mexico ". CANTE By Charles E. Glass. Fideicomiso. Fondo para la Biodiversidad, México. D.F.
- Urrestarazu G.M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Universidad de Almeria. Barcelona, España 914p.

- Vázquez E., A. Valiente., A. Briones., C. Bolongrado., E. Ezcurra., M. Rosas., H. Nuñez. And G. Barnard. 1995. Spatial relations hips between cacti and nurse Subs. IN a semiarid environment IN central México. *Journal of Vegetation Science* 2:15-20.
- Viguera, G.A. L. y L. Portillo. 1997. Cultivo de la grana cochinilla del nopal. *In: Suculentas Mexicanas, Cactáceas*. Rodríguez, P.L. (ed.). México D.F.
- Villavicencio, G. E. 2002. Técnicas de multiplicación para cactáceas ornamentales amenazadas o en peligro de extinción. Comisión Nacional Forestal. Gerencia de Investigación y Desarrollo Tecnológico Forestal, Nicaragua.
- Wittwer, S.A. et al. 1963. Advances in foliar feeding of plant nutrients. *Fertilizer technology and usage*. Soil Sci. Soc. Am.

## **IX. ANEXOS**



## CONCENTRACIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS SAS

The SAS System

OBS	OPSOL	BLO	DIAMETRO
1	gf0.072M	1	20.45
2	gf0.072M	2	20.75
3	gf0.072M	3	19.74
4	gf0.072M	4	21.44
5	gf0.072M	5	18.74
6	gf0.072M	6	20.66
7	gf0.072M	7	19.25
8	gf0.072M	8	22.06
9	gf0.072M	9	20.76
10	gf0.072M	10	20.67
11	gf0.072M	11	18.30
12	gf0.072M	12	21.32
13	gf0.072M	13	21.65
14	gf0.072M	14	18.37
15	gf0.072M	15	17.97
16	gf0.072M	16	19.58
17	gf0.072M	17	19.90
18	gf0.072M	18	20.05
19	gf0.072M	19	18.55
20	gf0.072M	20	21.98
21	gf0.054M	1	16.74
22	gf0.054M	2	18.54
23	gf0.054M	3	18.57
24	gf0.054M	4	18.47
25	gf0.054M	5	17.26
26	gf0.054M	6	19.19
27	gf0.054M	7	19.60
28	gf0.054M	8	17.42
29	gf0.054M	9	19.35
30	gf0.054M	10	18.66
31	gf0.054M	11	18.42
32	gf0.054M	12	19.56
33	gf0.054M	13	20.59
34	gf0.054M	14	20.11
35	gf0.054M	15	18.57
36	gf0.054M	16	18.81
37	gf0.054M	17	18.52
38	gf0.054M	18	21.05

39	gf0.054M	19	18.17
40	gf0.054M	20	19.05
41	gf0.036M	1	17.52
42	gf0.036M	2	17.32
43	gf0.036M	3	14.24
44	gf0.036M	4	13.94
45	gf0.036M	5	13.80
46	gf0.036M	6	16.48
47	gf0.036M	7	16.59
48	gf0.036M	8	15.39
49	gf0.036M	9	15.91
50	gf0.036M	10	19.13
51	gf0.036M	11	17.42
52	gf0.036M	12	16.93
53	gf0.036M	13	17.35
54	gf0.036M	14	15.81
55	gf0.036M	15	18.44
56	gf0.036M	16	18.40
57	gf0.036M	17	17.61
58	gf0.036M	18	17.45
59	gf0.036M	19	18.38
60	gf0.036M	20	17.65
61	hf0.072M	1	20.19
62	hf0.072M	2	19.38
63	hf0.072M	3	20.31
64	hf0.072M	4	19.85
65	hf0.072M	5	17.84
66	hf0.072M	6	17.91
67	hf0.072M	7	19.12
68	hf0.072M	8	19.78
69	hf0.072M	9	19.87
70	hf0.072M	10	21.64
71	hf0.072M	11	19.80
72	hf0.072M	12	21.16
73	hf0.072M	13	18.02
74	hf0.072M	14	18.90
75	hf0.072M	15	20.85
76	hf0.072M	16	19.88
77	hf0.072M	17	19.42
78	hf0.072M	18	18.16
79	hf0.072M	19	18.96

80	hf0.072M	20	18.38
81	hf0.054M	1	23.83
82	hf0.054M	2	21.71
83	hf0.054M	3	25.20
84	hf0.054M	4	22.50
85	hf0.054M	5	21.70
86	hf0.054M	6	25.20
87	hf0.054M	7	24.70
88	hf0.054M	8	25.40
89	hf0.054M	9	22.00
90	hf0.054M	10	19.00
91	hf0.054M	11	21.30
92	hf0.054M	12	23.00
93	hf0.054M	13	24.03
94	hf0.054M	14	23.20
95	hf0.054M	15	22.25
96	hf0.054M	16	22.70
97	hf0.054M	17	23.12
98	hf0.054M	18	23.90
99	hf0.054M	19	22.60
100	hf0.054M	20	22.70
101	hf0.036M	1	19.87
102	hf0.036M	2	19.87
103	hf0.036M	3	19.20
104	hf0.036M	4	18.04
105	hf0.036M	5	18.02
106	hf0.036M	6	20.25
107	hf0.036M	7	16.74
108	hf0.036M	8	16.84
109	hf0.036M	9	18.63
110	hf0.036M	10	19.40
111	hf0.036M	11	19.61
112	hf0.036M	12	15.80
113	hf0.036M	13	20.55
114	hf0.036M	14	18.83
115	hf0.036M	15	17.48
116	hf0.036M	16	19.89
117	hf0.036M	17	20.00
118	hf0.036M	18	20.84
119	hf0.036M	19	20.14
120	hf0.036M	20	20.76

Analysis of Variance Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
OPSOL	6	gf0.036M gf0.054M gf0.072M hf0.036M hf0.054M hf0.072M
BLO	20	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

Number of observations in data set = 120

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: DIAMETRO

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	24	444.52291667	18.52178819	10.24	0.0001
Error	95	171.89428000	1.80941347		
Corrected					
Total	119	616.41719667			

R-Square	C.V.	Root MSE	DIAM Mean
0.721140	6.883997	1.34514441	19.54016667

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
OPSOL	5	412.81198667	82.56239733	45.63	0.0001
BLO	19	31.71093000	1.66899632	0.92	0.5575

The SAS System  
 Analysis of Variance Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: DIAMETRO

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 95 MSE= 1.809413  
 Critical Value of Studentized Range= 4.114  
 Minimum Significant Difference= 1.2373

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	OPSOL
A	23.0020	20	hf0.054M
B	20.1095	20	gf0.072M
B			
C	19.4710	20	hf0.072M
C			
C	19.0380	20	hf0.036M
C			
C	18.8325	20	gf0.054M
D	16.7880	20	gf0.036M

The SAS System

OBS	OPSOL	BLO	ALTURA
1	gf0.072M	1	32.30
2	gf0.072M	2	30.41
3	gf0.072M	3	31.20
4	gf0.072M	4	31.00
5	gf0.072M	5	27.88
6	gf0.072M	6	30.55
7	gf0.072M	7	28.49
8	gf0.072M	8	34.10
9	gf0.072M	9	27.42
10	gf0.072M	10	30.47
11	gf0.072M	11	28.70
12	gf0.072M	12	30.01
13	gf0.072M	13	33.34
14	gf0.072M	14	29.97
15	gf0.072M	15	28.47
16	gf0.072M	16	31.06
17	gf0.072M	17	29.10
18	gf0.072M	18	30.55
19	gf0.072M	19	26.01
20	gf0.072M	20	34.14
21	gf0.054M	1	29.74
22	gf0.054M	2	28.85
23	gf0.054M	3	28.26
24	gf0.054M	4	28.37
25	gf0.054M	5	24.07
26	gf0.054M	6	27.72
27	gf0.054M	7	29.18
28	gf0.054M	8	25.06
29	gf0.054M	9	29.83
30	gf0.054M	10	29.50
31	gf0.054M	11	29.40
32	gf0.054M	12	27.88
33	gf0.054M	13	30.67
34	gf0.054M	14	30.29
35	gf0.054M	15	28.30
36	gf0.054M	16	25.03
37	gf0.054M	17	24.32
38	gf0.054M	18	28.67
39	gf0.054M	19	30.74

40	gf0.054M	20	28.84
41	gf0.036M	1	25.98
42	gf0.036M	2	31.90
43	gf0.036M	3	23.29
44	gf0.036M	4	22.43
45	gf0.036M	5	21.12
46	gf0.036M	6	24.30
47	gf0.036M	7	27.36
48	gf0.036M	8	27.11
49	gf0.036M	9	24.60
50	gf0.036M	10	31.45
51	gf0.036M	11	29.91
52	gf0.036M	12	28.09
53	gf0.036M	13	26.08
54	gf0.036M	14	31.73
55	gf0.036M	15	27.75
56	gf0.036M	16	27.16
57	gf0.036M	17	26.60
58	gf0.036M	18	26.58
59	gf0.036M	19	26.94
60	gf0.036M	20	25.74
61	hf0.072M	1	29.21
62	hf0.072M	2	31.44
63	hf0.072M	3	31.83
64	hf0.072M	4	31.11
65	hf0.072M	5	27.56
66	hf0.072M	6	26.41
67	hf0.072M	7	30.65
68	hf0.072M	8	30.97
69	hf0.072M	9	30.14
70	hf0.072M	10	32.20
71	hf0.072M	11	30.67
72	hf0.072M	12	30.82
73	hf0.072M	13	26.61
74	hf0.072M	14	29.32
75	hf0.072M	15	31.17
76	hf0.072M	16	29.71
77	hf0.072M	17	32.35
78	hf0.072M	18	31.13
79	hf0.072M	19	30.05
80	hf0.072M	20	32.22

81	hf0.054M	1	25.38
82	hf0.054M	2	28.25
83	hf0.054M	3	25.83
84	hf0.054M	4	21.13
85	hf0.054M	5	27.08
86	hf0.054M	6	26.21
87	hf0.054M	7	31.37
88	hf0.054M	8	29.83
89	hf0.054M	9	28.57
90	hf0.054M	10	25.17
91	hf0.054M	11	31.44
92	hf0.054M	12	27.25
93	hf0.054M	13	28.96
94	hf0.054M	14	25.10
95	hf0.054M	15	30.96
96	hf0.054M	16	30.35
97	hf0.054M	17	27.83
98	hf0.054M	18	30.65
99	hf0.054M	19	28.69
100	hf0.054M	20	27.94
101	hf0.036M	1	31.44
102	hf0.036M	2	30.81
103	hf0.036M	3	29.35
104	hf0.036M	4	32.36
105	hf0.036M	5	27.39
106	hf0.036M	6	32.46
107	hf0.036M	7	31.04
108	hf0.036M	8	28.69
109	hf0.036M	9	28.05
110	hf0.036M	10	26.16
111	hf0.036M	11	34.02
112	hf0.036M	12	25.34
113	hf0.036M	13	29.00
114	hf0.036M	14	33.88
115	hf0.036M	15	27.98
116	hf0.036M	16	28.25
117	hf0.036M	17	29.90
118	hf0.036M	18	30.55
119	hf0.036M	19	31.05
120	hf0.036M	20	30.48



The SAS System  
 Analysis of Variance Procedure  
 Class Level Information

Class	Levels	Values
OPSOL	6	gf0.036M gf0.054M gf0.072M hf0.036M hf0.054M hf0.072M
BLO	20	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

Number of observations in data set = 120

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: ALTURA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	24	346.17500333	14.42395847	2.82	0.0002
Error	95	486.65725583	5.12270796		
Corrected					
Total	119	832.83225917			

R-Square	C.V.	Root MSE	ALT Mean
0.415660	7.832146	2.26334000	28.89808333

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
OPSOL	5	211.85189417	42.37037883	8.27	0.0001
BLO	19	134.32310917	7.06963732	1.38	0.1557

The SAS System  
 Analysis of Variance Procedure  
 Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: ALTURA

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 95 MSE= 5.122708  
 Critical Value of Studentized Range= 4.114  
 Minimum Significant Difference= 2.0819

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping		Mean	N	OPSOL
	A	30.2785	20	hf0.072M
	A			
	A	30.2585	20	gf0.072M
	A			
B	A	29.9100	20	hf0.036M
B	A			
B	A C	28.2360	20	gf0.054M
B	C			
B	C	27.8995	20	hf0.054M
	C			
	C	26.8060	20	gf0.036M