

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA-LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA**



Evaluación de compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en la finca El Socorro ubicada en el Km 27 carretera el Crucero-Nicaragua en el periodo de Mayo- Junio del 2014

**Presentado por:**

Br. Miguel Santos Beltrán Zepeda  
Br. Bayardo Benneth Francis Delmon

Trabajo presentado como requisito previo para optar al título de  
**Ingeniero en Agroecología Tropical**

**Tutores:**

Ing. Luis Moreno  
MSc. David Cerda

Nicaragua, León, Junio del 2015

“A la libertad por la Universidad”

## DEDICATORIA

A Dios por darme el tiempo de vida y protección durante todo este tiempo que me he dedicado a realizar este trabajo y culminar con éxito.

A mis padres Miguel Francis Natty y Lorena Delmon Lemán por su amor incondicional, sus esfuerzos, apoyo, consejos y motivación, gracias a ellos obtengo este logro en mi vida.

A mis hermanas Neysi Francis D. Isamara Francis D. Noyra Francis D. Icelia Francis D. por apoyarme siempre y demás familiares que me apoyaron y me animaron a seguir adelante.

*Rayardo S. Francis Delmon.*

## DEDICATORIA

A Dios por brindarme perseverancia en los momentos difíciles de mi vida.

A mi madre Francisca Zepeda Betancourth y a mi padre Teodoro Beltrán Martínez, por ofrecerme su amor y comprensión. Gracias por su apoyo incondicional y valiosos consejos he podido finalizar mis estudios Universitarios.

A mi gran y buen amigo Juan Martínez de New York, Estados Unidos, quien beco mis estudios Universitarios. Gracias por tu apoyo incondicional y tu gran corazón amigo.

A mis hermanos William Antonio Beltrán Zepeda y Bayardo Enrique Beltrán Zepeda, quienes contribuyeron en la realización de este sueño.

*Miguel Santos Beltrán Zepeda*

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestros más sinceros agradecimientos a:

DIOS por darnos la oportunidad de vida, sabiduría y perseverancia para terminar este trabajo de investigación.

A nuestros padres por darnos la vida, consejos y apoyo incondicional tanto económico como moral para poder lograr nuestras metas.

A nuestros hermanos (as) que nos alentaron y motivaron para poder terminar este trabajo.

A los propietarios de la finca El Socorro por darnos la oportunidad y el apoyo para llevar a cabo este estudio.

A nuestros tutores Ing. Luis Moreno y Msc. David Cerda Granados por su apoyo brindándonos sus conocimientos y tiempo para poder culminar con este trabajo de investigación

Reconocimientos especiales a todas aquellas personas familiares, compañeros (as) que de una y otra manera contribuyeron para animarnos a seguir adelante con nuestras metas de estudio y superación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS .....	vii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	viii
RESUMEN .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS.....	5
III. HIPÓTESIS .....	6
IV. MARCO TEORICO .....	7
4.1. El cultivo de pitahaya y su importancia económica.....	7
4.2. Genotipos de pitahaya roja ( <i>H. undatus</i> ) y sus características.....	9
4.2.1. Genotipo Lisa .....	9
4.2.2. Genotipo Orejona .....	9
4.2.3. Genotipo Rosa .....	10
4.2.4. Genotipo Cebra.....	10
4.2.5. Genotipo Chocoya .....	10
4.3. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de pitahaya.....	10
4.3.1. Temperatura.....	10
4.3.2. Suelo .....	11
4.4. Manejo agronómico del cultivo de pitahaya .....	12
4.4.1. Fertilización .....	12
4.5. Mejoramiento convencional.....	13
4.6. Propagación vegetativa de pitahaya.....	14
4.7. Biología Reproductiva de la pitahaya .....	15
4.8. Polinizadores y polinización .....	16
4.9. Mecanismos de polinización cruzada .....	18
V. MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
5.1. Ubicación geográfica de la investigación .....	20
5.2. Monitoreo.....	20
5.3. Selección del material vegetal en campo .....	21

5.4.	Colecta y preservación de polen .....	22
5.5.	Análisis de datos .....	24
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
6.1.	Valores medios de tasa de formación de frutos (TFF).....	25
6.2.	Prueba de t para muestras independientes entre tipos de polinización .....	26
6.3.	ANOVA para APM.....	30
6.4.	ANOVA para PCM por genotipo .....	31
6.5.	ANOVA para PCM por cruce.....	32
VII.	CONCLUSIONES .....	33
VIII.	RECOMENDACIONES .....	34
IX.	BIBLIOGRAFÍA .....	35
X.	ANEXO.....	39

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Tasa de formación de fruto (TFF) para polinización cruzada manual (PCM) y autopolinización manual (APM) en genotipo de pitahaya roja. ....	25
<b>Cuadro 2.</b> Resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas con ANOVA de una vía. ....	31

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Valores medios de tasa de formación de frutos (TFF) por genotipo logrados con autopolinización manual. ....	27
<b>Ilustración 2.</b> Valores medios de tasa de formación de frutos (TFF) por genotipo logrados con polinización cruzada manual. ....	28
<b>Ilustración 3.</b> Valores medios de tasa de formación de frutos (TFF) por cruce logrados con polinización cruzada manual. ....	29

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en la Finca El Socorro, ubicado en la comunidad de Palo Solo, municipio de la Concepción en el departamento de Masaya-Nicaragua. El propósito del estudio fue determinar mediante un estudio “*in situ*” el porcentaje de amarre y compatibilidad sexual de la autopolinización manual y polinización cruzada manual de 5 genotipos de pitahaya roja (*Hylocereus Undatus*). La variable estudiada fue la tasa de formación de frutos (TFF). Se llevó a cabo el experimento en dos etapas. La primera se realizó con autopolinización manual en cada genotipo para ver la autocompatibilidad de la planta con su mismo polen llevándola a cabo al frotar las anteras con el estigma de las mismas flores. La segunda etapa consistió en realizar polinización cruzada manual entre los genotipos para ver la compatibilidad entre estos, se llevó a cabo una recolecta previa de polen de todos los genotipos en estudio que se usó para la polinización en cada cruce. En cada experimento se embolsaron las flores con tela de organza para mayor efectividad de las respuestas de las flores a los tratamientos. Los resultados obtenidos nos indican que la polinización cruzada manual tiene un mayor porcentaje de amarre de frutos y por tanto contribuye a una mayor producción de la planta. Los porcentajes de la autopolinización manual están por debajo del 70%; mientras que la polinización cruzada manual aumenta notablemente el porcentaje de TFF, llegando hasta 100% en algunos cruces.

## I. INTRODUCCIÓN

La pitahaya (*Hylocereus undatus*) es una planta perenne y epífita perteneciente a la familia de las *Cactáceas* que crece de forma silvestre sobre arboles vivos, troncos secos, piedras y muros (López & Guido, 2002). El mismo autor afirma que la pitahaya es originaria del continente americano y su distribución actual comprende México, Centroamérica y el Caribe, donde existe mayor número de especies. En general, hay 16 especies de pitahaya pertenecientes al género *Hylocereus*, 12 de ellas se encuentran en México y probablemente su origen se dio en este país. La excepción es la pitahaya amarilla (género *Selenicereus*), pues es originaria de Colombia, el norte de Brasil y el sur de Venezuela.

La pitahaya es una fruta esencial en la dieta humana, ya que su consumo o el de sus derivados traen muchos beneficios para la salud. Esto está ampliamente comprobado y entre sus usos podemos mencionar que se utiliza como laxante natural, tiene acción vermífuga; como tónico cardíaco y nervioso, ayuda al buen funcionamiento del estómago y los intestinos. La cáscara del fruto es usada como forraje para el ganado por su contenido proteínico. Del jugo concentrado de los tallos se puede extraer jabón, disuelta en agua caliente sirve para aliviar el cansancio de los pies. El colorante rojo de los frutos es empleado en helados, sorbetes, repostería, y también para teñir telas, en general es una fruta que tiene muchos usos y resulta muy benéfico tenerlo en nuestra dieta (López & Guido, 2002).

En Nicaragua la mayor producción actualmente se da en la región del Pacífico en los departamentos de Masaya y Carazo. En los últimos 28 años en nuestro país se ha incrementado el área de producción de pitahaya, lo que ha permitido su exportación a otros países como Europa y Estados Unidos como fruta fresca y pulpa congelada. El cultivo de la pitahaya está mayormente distribuido en el Pacífico del país, principalmente en las zonas de León, Chinandega, Masaya, Carazo, Granada, Riva, Estelí, Boaco y Chontales; estimándose un área cultivada de 1,000 manzanas (López & Guido, 2002). La pitahaya tiene grandes perspectivas de exportación a los Estados Unidos, ya que no es hospedera de

la Mosca del Mediterráneo (*Ceratitis capitata* Wied), lo que está siendo confirmado por técnicos especialistas de la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos y el Ministerio de Agricultura y Forestal (MAG-FOR) de Nicaragua (López & Guido, 2002).

Según López y Guido (2002), en Nicaragua el cultivo de pitahaya ocupa un área de siembra aproximadamente de 860ha con una producción total de 8600t y un aproximado de 860t de producto que se exporta a otros países. En el mercado internacional hay un gran interés por la pitahaya roja producida en Nicaragua y Guatemala por lo cual podemos decir que el cultivo de pitahaya se puede optar como alternativa para el desarrollo económico regional ya que las plantaciones comerciales generan empleos y proporcionan un valor agregado a los terrenos, además, el producto tiene buen precio en los mercados internos del país así como en el mercado internacional y la población muestra buena aceptación y demanda para su consumo.

La polinización controlada es una estrategia importante en programas de mejoramiento genético, no solo para la generación de híbridos sino también para la producción de semillas a escala operativa y con esto mejorar e incrementar la producción de frutos en el cultivo (Fehr, 1980). Esta estrategia es eficiente en plantas autoincompatibles es decir, plantas incapaces de autopolinizarse y llevar a cabo su fecundación con su mismo polen, aunque el polen mismo es viable (Ganders, 1975 y Lichtenzveig, Abbo, Nerd, Tel-Zur, & Mizrahi, 2000).

La polinización manual es una actividad no muy compleja y las características de la flor de pitahaya facilitan esta operación, tales como los grandes tamaños de las diferentes partes florales. La polinización manual debe llevarse a cabo desde 8:00 pm hasta las 10:00 pm. Es una labor costosa, pero los frutos obtenidos son de excelente calidad.

Actualmente en Nicaragua no se han realizado estudios en el cultivo de Pitahaya respecto al tema de investigación, pero si en países como México (Márquez, Castillo & Livera, 2005), Israel (Tel-Zur, 2010; Nerd, Sitrit, Kaushik & Mizrahi, 2002) y Taiwán (Tran & Yen, 2014), quienes han desarrollado diversas agrotécnicas y mejoramiento de pitahaya, conociendo de antemano el potencial productivo y económico de este cultivo. El problema al que se enfrentan es la autoincompatibilidad de algunos cultivares, que hace

indispensable la polinización cruzada manualmente, para asegurar la compatibilidad con el polen y la obtención de altos rendimientos. Desarrollaron técnicas de criopreservación de polen y han realizado cruces entre los genotipos introducidos para la obtención de híbridos. El desarrollo de los frutos, los periodos de madurez, el momento óptimo de cosecha en diferentes genotipos son las principales investigaciones que contribuyen a la domesticación y producción comercial de esta fruta.

Por ejemplo, según Nerd et al. (2002), el rendimiento y la calidad de los frutos se ve afectado cuando no hay polinización cruzada en *Hylocereus* spp. Esto se debe a la caída de flores después de la polinización debido a incompatibilidad sexual. Por lo cual se tiene que polinizar manualmente con polen colectado de otra especie para conseguir el amarre de fruto, como es el caso de *H. polyrhizus* y *Hylocereus undatus*. El mismo autor afirma que se atribuye un menor número de flores emitidas y la caída de las mismas, en ambientes con altas temperatura (38°C), baja humedad relativa ambiental (20%) y régimen de lluvias de 30 a 190mm anuales.

Muchos de estos problemas de incompatibilidad sexual no son casos aislados de un solo país o especie, en distintas especies de plantas se estudian las causas de la baja producción de frutos respecto al total de flores desarrolladas. En el cultivo de pitahaya la razón principal de este problema de incompatibilidad sexual se debe a que en las regiones donde se introduce este cultivo no existen los polinizadores naturales para llevar a cabo una buena polinización de la planta (Méndez Hernández, Coello Torres, & Galán Saúco, 2013). La flor de la pitahaya debido a su estructura no es adecuada para las abejas, por lo que este insecto prefiere otras flores. Aun siendo visitadas por estas no se puede llevar a cabo una polinización efectiva ya que las abejas no pueden transportar el polen suficiente para que sean polinizados los más de 7000 óvulos que presenta una flor de pitahaya (Méndez Hernández et al., 2013) y menos cuando estos insectos disponen de unas pocas horas para este proceso ya que la flor abre una sola vez por la noche, cerrando a media mañana sobre las 10 horas siguiente y el vuelo de las abejas no suele iniciarse hasta las 8 horas. Por tanto, sólo es posible ser visitadas por las abejas unas pocas horas.

Debido a esto en Israel y Sudáfrica no existe producción natural de frutos de pitahaya de los genotipos introducidos de *H. undatus* y *H. costaricensis*. La autoincompatibilidad de algunos genotipos de estas especies y la ausencia de polinizadores eficientes (es posible el cruzamiento interespecífico) son los responsables de la falta de productividad. Los polinizadores naturales son muy atraídos por las flores de pitahaya. Sin embargo, la calidad de los frutos obtenidos de la libre polinización es menor que la obtenida por polinización cruzada manual (Le Bellec, Vaillant & Imbert, 2006).

Si bien existen genotipos de pitahaya autocompatibles y autoincompatibles, en ambos casos se recomienda realizar polinización cruzada manual, ya que esto aumenta una mayor fecundidad de las flores, contribuye a una mayor producción y por lo tanto más calidad y mejores oportunidades en el mercado internacional. Debido a que hay pocos estudios y en Nicaragua hay poco conocimiento. Por lo que con la presente investigación se pretende conocer qué genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) tienen mejor porcentaje de amarre y compatibilidad al realizar autopolinización manual y polinización cruzada manual. Los genotipos bajo estudio fueron: Lisa, Rosa, Chocoya, Cebra y Orejona.

Este trabajo es importante porque servirá como guía para el productor o lector en la realización paso a paso de estas técnicas de polinización controlada; y lograra así, aumentar la producción del cultivo con una mejor calidad de frutos. Esto permitirá al productor abrirse camino a tener más oportunidades en los mercados tanto nacional como internacional. El llevar a cabo este trabajo para nosotros como estudiantes de la carrera de agroecología es una manera de contribuir a generar tecnología que sirva a los productores de pitahaya de nuestro país.

## II. OBJETIVOS

### Objetivo general

- ✓ Determinar el porcentaje de amarre y compatibilidad de la autopolinización manual y polinización cruzada manual en cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) finca el Socorro en el periodo de Mayo- Junio del 2014.

### Objetivos específicos

- ✓ Establecer el porcentaje de autopolinización manual en 5 genotipos de pitahaya en el crucero, finca el Socorro en el ciclo agrícola 2014.
- ✓ Determinar el porcentaje de polinización cruzada manual con 5 genotipos de pitahaya en el crucero, finca el Socorro en el ciclo agrícola 2014.
- ✓ Estipular genotipos compatibles e incompatibles para aumentar el porcentaje de flores fecundadas y aumentar la producción en la finca el Socorro en el ciclo agrícola 2014.

### **III. HIPÓTESIS**

**Hipótesis de Investigación:** La polinización cruzada manual será más efectiva para el amarre de frutos en los genotipos de pitahaya roja que la autopolinización manual.

**Ho:** No hay diferencias entre las medias de porcentaje de formación de frutos de autopolinización manual y polinización cruzada manual.

**Ha:** Las medias de porcentaje de formación de frutos son mayores en polinización cruzada manual que en autopolinización manual.

## IV. MARCO TEORICO

### 4.1. El cultivo de pitahaya y su importancia económica

La pitahaya es una planta perenne, originaria de América, de los bosques tropicales y subtropicales de México y Centro y Sudamérica (incluyendo el sur de México, el lado del Pacífico de Guatemala, Costa Rica, El Salvador, Venezuela, Colombia, Ecuador, Nicaragua, Panamá, Brasil y Uruguay) (Gunasena, Pushpakumara & Kariyawasam, 2007). Esta planta pertenece al orden *Caryophyllales*, a la familia de las *Cactáceas*, a la subfamilia *Cactoideae* y el género *Hylocereus*, con 16 especies identificadas, es el cactus trepador de mayor distribución a nivel mundial, con alrededor de 2000 especies exclusivas del continente americano, representadas sobre todo en las zonas desérticas y semidesérticas de México, aunque se conocen muchas especies naturalizadas desde Chile y Argentina hasta Canadá (Izco et al., 2002).

La pitahaya es una planta trepadora que posee un sistema radicular superficial, alcanzando hasta 15cm de profundidad del suelo. El crecimiento de las raíces es paralelo a la superficie del suelo. Además, desarrolla raíces adventicias a partir de los tallos, las que le permiten adherirse, trepar y mantener la planta erecta (OIRSA, 2001; Gunasena et al., 2007).

Los tallos son de 3-6cm de diametro, generalmente péndulos, verdes, de sección triangular, carnosos y suculentos, trepadores, con muchos segmentos ramificados. Presentan 3 aristas de 1,6-2,6cm de longitud. Las areólas están a 2-4cm entre sí; con 3 espinas de 2-4mm de largo. Axilares a las espinas se ubican las yemas que pueden dar origen a nuevos tallos o flores. También existen genotipos que no presentan espinas. Los tallos pueden alcanzar 6m o más dependiendo de las condiciones de cultivo. En *H. undatus*, los estomas están encriptados en la epidermis y los tejidos de los tallos contienen un volumen considerable de parénquima. Sin embargo, ellas no tienen una capa de cera, por lo que la tolerancia a la sequía es menor comparada al compararla con *H. polyrhizus* que si presenta cera (OIRSA, 2001).

Las flores de la pitahaya son largas (hasta 30cm), en forma de embudo de color blanco, amarillo o rosado. Emergen en la parte de los tallos bajo las areolas con mayor exposición a la luz solar. El ovario está ubicado en la base de un largo tubo llevando las escamas foliares hacia el exterior. Hay numerosos estambres sobre un tallo de anteras esbeltas. El estilo inusualmente largo y tubular tiene un largo de 20cm y 0,5cm de diámetro (Gunasena et al., 2007). El peso de las flores es de 138-286g. Las primeras flores aparecen con las primeras lluvias de Mayo o en Junio. La emisión floral de la pitahaya está relacionada con las condiciones climáticas de humedad, luz, temperatura y el estado nutricional de las plantas. Si estos factores están equilibrados se produce una floración abundante en todos los flujos de floración, asociado a una buena producción (Le Bellec et al., 2006).

Los frutos tienen un largo de 10-12cm, 7cm de ancho, son ovoides, rojo-púrpuras, con brácteas, pulpa jugosa roja. Antes de madurar es de color verde. Al avanzar en la madurez la cáscara y la pulpa de algunas variedades cambian a color rojo púrpura, mientras que en otros genotipos la cáscara es amarilla y la pulpa es blanca. El fruto pesa 200-350g y contiene muchas semillas (650 semillas/fruto; Le Bellec et al., 2006). Las semillas tienen un largo de 3mm y son ovoides. En la pitahaya roja, las semillas son de tamaño pequeño y su longitud varía entre 4 a 6mm. En la pitahaya amarilla la longitud de la semilla varía entre 2 a 4mm. Durante el crecimiento del fruto son de color café oscuro y cuando el fruto está completamente maduro adquieren el color negro. Las semillas se encuentran distribuidas por toda la pulpa (OIRSA, 2001).

En Nicaragua, la pitahaya (*Hylocereus undatus*) a través del tiempo ha adquirido importancia comercial. En los años 60, crecía de forma silvestre en medio de plantaciones de cultivos como el café y frutales sin ser vista como un potencial de exportación. Fue hasta los años 70 que comenzó su explotación como cultivo no tradicional, en San Juan de la Concepción, Municipio del Departamento de Masaya el cual ha ido incrementando paulatinamente y se estima que el área total sembrada en la región del pacífico sur, hasta 2013 superaba las 1300 hectáreas, otra importancia en el cultivo de pitahaya se evidencia por la gran variabilidad genética, adaptabilidad a diversas condiciones ambientales, productividad, rentabilidad, demanda en los mercados regionales e internacionales (Becerra, 1986). Colombia es el principal productor de pitahaya amarilla. Este cultivo tiene

una amplia demanda en el mercado internacional y se le considera una fruta exótica de sabor característico dulce y gran contenido de agua.

El uso principal está dirigido al consumo como fruta fresca; también se puede utilizar en cocteles, refrescos, cerveza y vino (Becerra, 1987). Las flores se consumen como legumbre y los brotes de los tallos en ensaladas (García & Mosquera, 2003). Los frutos poseen cactina (hordenina), que se utiliza como cardiotónico. En México se usa el tallo licuado para el tratamiento de cálculos renales, eliminación de amebas, para calmar el dolor de cabeza y el cansancio de los pies; también se aplica como desinfectante y en el tratamiento de llagas y tumores de la piel (García & Mosquera, 2003). Las semillas contienen un aceite de efecto laxante suave y efectivo (Becerra, 1987). Además, la cáscara quemada sirve para el tratamiento de hemorroides (Yetman, 2006).

## **4.2. Genotipos de pitahaya roja (*H. undatus*) y sus características**

### **4.2.1. Genotipo Lisa**

Este genotipo presenta la característica de tener un tallo largo y muy delgado, de color verde pálido. El fruto tiene forma ovalada, con un peso aproximado entre 400-450g. Su cáscara es de color rojo oscuro con pocas brácteas y gruesas, siendo esta una buena característica ya que resiste el transporte para su comercio. Este genotipo es poco resistente a las enfermedades. El período de producción es de Mayo a Noviembre (López & Guido, 2002).

### **4.2.2. Genotipo Orejona**

Este genotipo se caracteriza por tener los tallos delgados, alargados, color verde oscuro y miden hasta 1.5 m de largo, estas presentan cuatro aristas o caras. El fruto es ovalado (forma de huevo), cuando está completamente madura pesa 482g aproximadamente y la cáscara es rojo púrpura. El período de producción es de Mayo a Noviembre (Carrión Osorno, 2003).

#### **4.2.3. Genotipo Rosa**

El genotipo rosa tiene tallos que son de color verde claro, gruesas y alargadas. El fruto alcanza un peso aproximado de 533g. Su cáscara es rosada, con brácteas muy separadas. Además la cáscara es delgada y a veces se raja cuando el fruto está maduro. El período de producción es de Mayo a Octubre (Carrión Osorno, 2003).

#### **4.2.4. Genotipo Cebra**

Los tallos de este genotipo son gruesas y cortas, presentan rayas blancas en su superficie es por eso que se le conoce con el nombre de cebra. El fruto es ovalado, de color rojo intenso al madurar y alcanza un peso de 355g aproximadamente y la cáscara es gruesa. El período de producción es de Mayo a Noviembre (Carrión Osorno, 2003).

#### **4.2.5. Genotipo Chocoya**

De tallos alargados y delgados, son de color verde oscuro intenso entre 50 y 60cm de longitud. Se le conoce como Chocoya por su intenso color verde que se diferencia de los demás genotipos, el fruto tiene forma ovalado con un peso promedio de 300 a 400g, de cáscara de color rojo púrpura (Carrión Osorno, 2003).

### **4.3. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de pitahaya**

#### **4.3.1. Temperatura**

En las *cactáceas*, las estomas permanecen cerradas durante el día, debido al incremento de la temperatura, que reduce la actividad de vapor de agua, de esta manera, la transpiración se mantienen constantes. Nobel (1988), reportó que a medida que la temperatura aumenta, la presión de vapor disminuye de acuerdo con el siguiente patrón aproximado; 20% de 5 a 15°C, 50% de 15 a 25°C y 70% de 25 a 35°C. La temperatura óptima para la absorción nocturna de CO<sub>2</sub> en la mayoría de las plantas CAM es de 10°C a 15°C (Díaz & Medina, 1984).

La pitahaya, es una especie sensible a las bajas temperaturas y los tallos se decoloran cuando las temperaturas nocturnas están por debajo de los 5°C, sufre daños cuando la temperatura del aire se aproxima a 0°C, entonces surgen lesiones amarillas que se

desarrollan en el tallo y ese segmento se muere. Las plantas se recuperan cuando las temperaturas se incrementan, pero los rendimientos se reducen (Mizrahi & Nerd, 1999; citado por Nobel & Barrera, 2002).

En México, la principal limitante para el establecimiento de la pitahaya ha sido la presencia de heladas, según lo estudiado por Bárcenas (2002), que determinó las temperaturas cardinales en una cámara de crecimiento y obtuvo que la temperatura óptima para el crecimiento de *Hylocereus* esté alrededor de los 15°C, aunque el intervalo va de 7 a 40°C. Temperaturas menores de los 7°C detienen el crecimiento y a los 45 °C existe daño en los tejidos. Las temperaturas letales se identificaron a 4°C y a 45°C.

#### **4.3.2. Suelo**

La pitahaya tienen una alta capacidad para adaptarse a diversos tipos de suelos, tales como los calizos o Rendzinas, los Litosoles poco profundos y pedregosos, Gleysoles alcalinos y con alto contenido en materia orgánica, Luvisoles con arcillas y moderadamente ácidos, Feozem ricos en materia orgánica y en nutrientes, Regosoles suelos poco desarrollados, Vertisoles ricos en materia orgánica, oscuros pero que se agrietan en las épocas de sequía, Yermosoles y Xerosoles, que son suelos muy erosionables, con un estrato superficial de color claro, muy pobres en materia orgánica y nitrógeno, con acumulación de yeso y carbonatos de calcio en la superficie a diversas profundidades (Castillo, Calix & Rodríguez, 1996).

Los suelos deben de tener un buen drenaje, ya que en suelos con mal drenaje se presentan problemas de pudrición en la raíz y el nudo vital. El pH más adecuado va de 5.3 a 6.7, aunque se pueden usar suelos más alcalinos. La precipitación adecuada es de 700 a 1200 mm anuales. La pitahaya puede llegar a desarrollarse en alturas que van desde 400 a 600 metro sobre el nivel del mar. (Lezama, A, Tapia, A, Muñoz, G, & Zepeda, V, 2000)

## **4.4. Manejo agronómico del cultivo de pitahaya**

### **4.4.1. Fertilización**

#### **4.4.1.1. Fertilización Edáfica**

La pitahaya responde bien a las aplicaciones de fertilizantes, sobretodo de Nitrógeno, manteniéndola sana, vigorosa y productiva por mucho tiempo (hasta 25 años). El Nitrógeno favorece el desarrollo de tallos y aumenta el porcentaje de flores prendidas; el Fósforo contribuye a la floración y fructificación, y el Potasio aumenta el grosor de la corteza de las vainas (Orrico, 2013).

En Nicaragua se hacen aplicaciones al suelo con fórmulas completas altas en Nitrógeno, y aplicaciones con Urea foliar durante la época seca (Marzo-Abril). Las dosis están en dependencia de la edad de la planta (López & Guido, 2002).

La fertilización al suelo se realiza aplicando Completo + Urea 46% en forma circular alrededor de la planta. Normalmente se hacen tres aplicaciones al año en los meses de Mayo, Agosto y Octubre.

En terrenos con topografía irregular, se recomienda efectuar aplicaciones de fertilizantes en semicírculos a 30cm de la planta y en la parte superior del suelo para evitar que el agua lo arrastre hacia las partes más bajas evitando su rápida volatilización. El fertilizante debe aplicarse sólo cuando haya suficiente humedad en el suelo (López & Guido, 2002).

De acuerdo a resultados experimentales realizados durante el período de 1994 a 1996, en el Centro Experimental Campos Azules, Masatepe, Nicaragua, el cultivo de la pitahaya responde a la fertilización Nitrogenada y Fosfórica, en donde se recomienda la aplicación de 80kg de N/ha y 40kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Esta recomendación es válida para suelos con contenidos medios de Nitrógeno y Fósforo (López & Guido, 2002).

#### **4.4.1.2. Fertilización foliar**

La aplicación de fertilizante foliar ayuda al desarrollo de la planta en estado de crecimiento y también favorece la floración y fructificación de las plantas en la fase de producción. La fertilización foliar consiste en aplicar el fertilizante diluido en agua a la parte aérea de la

planta en la época seca, con el objetivo de mantener en buenas condiciones la plantación; se recomienda, a partir del segundo año en los meses de Enero, Febrero y Marzo. Para un mejor aprovechamiento, las aplicaciones deben efectuarse en horas tempranas, antes que salga el sol o al atardecer. Generalmente se efectúan entre tres y cuatro aplicaciones anualmente (López & Guido, 2002).

Existen indicaciones que este tipo de aplicación antes de las primeras lluvias y la floración disminuye la caída de las flores. Los abonos foliares que se pueden usar son: Bayfolán®, Kinfol®, Newffol®, y Urea al 46%. Los dos primeros corrigen deficiencias de elementos menores como Zn, Cu, Mg, etc., el tercero aporta aminoácidos esenciales para los procesos fisiológicos de la planta y el último aporta Nitrógeno (López & Guido, 2002).

#### **4.5. Mejoramiento convencional**

Según Méndez, et al. (2013), la polinización manual es necesaria en aquellos genotipos que no son autoincompatibles y en aquellas que se quieren obtener fruta de alta calidad. Para ello, se toman las anteras de una flor de un genotipo y se deposita polen en el estigma de otras flores usando un pincel o bien la misma flor, restregando las anteras sobre los estigmas. En Tenerife se han encontrado buenos resultados usando una flor de un cultivar y polinizando hasta 20 flores de otro. El polen es más viable cuando abren las flores (por la noche) pero la polinización manual se ha encontrado más exitosa a la mañana siguiente de abrir las flores.

El principal problema para realizar polinizaciones manuales es que debemos disponer de polen de otro genotipo para poder realizar la polinización y esto a veces no resulta tan fácil ya que no suelen coincidir las floraciones. Especialmente difícil es en las primeras oleadas de floraciones; sin embargo, en Israel se ha desarrollado una técnica que permite almacenar polen durante 9 meses sin que este pierda poder germinativo. Para ello, se recolecta el polen a primeras horas de la mañana y se seca al vacío (-50 KPa) hasta que la humedad se reduce al 5 – 10% de la inicial. A continuación se introduce en nitrógeno líquido a -196°C durante 9 meses. Por último se saca el polen y se coloca con un pincel sobre 15 flores, el

estigma de las flores es capaz de rehidratarlos, obteniéndose un fruto de igual característica que los polinizados manualmente ese mismo año.

Se recomienda realizar la polinización manual con genotipos autoincompatibles para garantizar la formación de frutos. En flores de *Hylocereus spp.*, *Hylocereus. polyrhizus* y *Hylocereus. costaricensis* se evaluó la autopolinización; con la polinización cruzada también se observó una alta producción de frutos (100%) en diferentes especies. La polinización cruzada entre genotipos de *Selenicereus. megalanthus* condujo a la formación de un gran número de frutos. Genotipos de *H. undatus* y *S. megalanthus* podrían producir frutos sin la participación de vectores de polen, aunque la producción de frutos es ligeramente inferior comparada con la polinización manual (Weiss, Nerd & Mizrahi, 1994). La fuente del polen influye en el peso de los frutos, fenómeno conocido como metaxenia (Mizrahi, Mouyal, Nerd & Sitrit, 2004).

#### **4.6. Propagación vegetativa de pitahaya**

La propagación de pitahaya se puede llevar a cabo tanto por esquejes enraizados en bolsas, como por siembras directas de vainas en el campo definitivo aunque no existen diferencias en cuanto a los rendimientos de frutos (López & Guido, 2002)

La multiplicación por esquejes consiste en cortar un brote, una rama o el extremo del tallo en segmentos de 25 a 30 cm de largo, provenientes de tallos que tengan por lo menos dos años de edad y que cumplan condiciones óptimas de adaptación, sanidad, vigor y producción, y de frutas grandes bien formadas y dulces (Becerra, 1987). Luego se desinfectan con fungicidas y se dejan en la sombra, en un sitio seco, hasta que haya cicatrizado la herida, luego de 24 horas aproximadamente. Estos esquejes deben ser sembrados, conservando la polaridad, en suelos de textura franco-arcillosa.

#### 4.7. Biología Reproductiva de la pitahaya

La pitahaya tiene un importante mecanismo de floración nocturna, lo que evolutivamente la ha relacionado a insectos, aves y murciélagos para su polinización. La flor de la pitahaya es tubular, hermafrodita, mide entre 20 y 40cm de longitud y 25cm aproximadamente en su diámetro mayor. El ovario es ínfero, cubierto por brácteas escamosas con espinas largas de consistencia cerosa; los sépalos son amarillos; los pétalos blancos, amarillos o rosados, lo cual la hace vistosa. Tienen la particularidad de abrir solo una vez en las horas de la noche, en un periodo de una hora a hora y media después de ocultarse el sol y se cierran aproximadamente seis horas después del amanecer (Weiss et al., 1994), razón por la cual se conoce como “reina de la noche”, puesto que exhala una fragancia delicada con olor a banano y vainilla que atrae muchos insectos.

La polinización natural es realizada por los murciélagos que visitan las flores en la noche y por abejas en las horas del día, son atraídos por el néctar que producen. Las flores son infundibuliformes, es decir en forma de trompeta; al comienzo están en posición erecta y cuando se abren dirigen su posición hacia la luz. Una vez polinizadas, las flores toman una posición colgante y duran pocas horas; la formación del fruto, desde la polinización hasta el estado de recolección, comprende entre 4 y 8 meses, dependiendo de la temperatura (Becerra, 1990; García, 2003). El periodo de brotación de la areola hasta flor abierta transcurre de 45 a 50 días; el de flor abierta a fruta es 100 a 120 días (Becerra, 1987)

Ortiz (1995), expresó que la pitahaya en la región de Tehuacán Puebla, tiene su etapa reproductiva entre los meses de mayo a septiembre, con cinco ciclos de floración y fructificación bien definidos. La floración está influenciada por los factores ambientales. La apertura floral comenzaba a las 18:41h, cuando la temperatura del aire fue de 20.8°C y la humedad relativa estaba en el 59.4%. El 100% de la expansión de los segmentos del perianto ocurrió a las 23:40h con una temperatura en el aire de 20.5°C y 78.6% de HR, permaneciendo la flor abierta toda la noche hasta la mañana siguiente.

En las condiciones del desierto de Negev, Israel, la fenología de la floración de tres especies *H. polyrhizus*, *H. undatus* y *H. costaricensis*, presentaron dos o tres floraciones

durante el verano y al inicio del otoño (mayo - octubre). Las fases de la antesis ocurrieron de las 16:00 a las 18:30 horas con la dehiscencia de las anteras; de las 20:00 a las 21:30h la apertura floral, de las 6:00 a las 8:00h hay visita de abejas y las flores se cierran hasta las 12:00h. Las especies *H. polyrhizuse* *H. Costaricensis* se describen como autoincompatibles, por la incapacidad de formar frutos después de la autopolinización, mientras que *H. undatus* resultó 50% autocompatible en uno de los clones estudiados (Weiss et al., 1994).

En cuanto al comportamiento de ciclos de floración y producción de pitahaya en Nicaragua podemos decir que los genotipos antes mencionados presentan un ciclo de producción que por lo general inicia Abril- Mayo y la producción de este fruto termina entre Octubre- Noviembre presentando entre 3-4 floraciones por año. (López & Guido, 2002).

#### **4.8. Polinizadores y polinización**

La polinización es el proceso de transferencia del polen desde los estambres hasta el estigma o parte receptiva de las flores donde germina y fecunda los óvulos de a flor, haciendo posible la producción de semillas y frutos (Barth, 1985). El transporte de polen lo pueden realizar diferentes agentes que son llamados vectores de polinización.

Según Meeuse y Morris (1984), algunas flores pueden ser polinizadas por muchos vectores, en cuyo caso se dice que son flores generalistas en cuanto a polinizadores; o por el contrario, sólo pueden ser polinizadas por un género o especie debido a que la morfología tanto de la flor como del polinizador se han acoplado a lo largo de la evolución, en cuyo caso se dice que las flores son especialistas. La especialización de la polinización genera un beneficio tanto para la planta como para el polinizador por lo cual ésta se vuelve muy eficiente pues el insecto volará con seguridad a otra flor de la misma especie y depositará el polen en el estigma de esta flor.

Si bien existen variedades de pitahaya autocompatibles y autoincompatibles, en ambos casos se recomienda realizar polinización cruzada manual, ya que esto promueve un mayor calibre de los frutos. El número de semillas viables por fruto determinan el tamaño de éste, siendo efectiva su polinización. En la compatibilidad sexual, influyen además algunos otros

factores, tales como los polinizadores, la viabilidad del polen, la hora de polinización y el periodo de polinización efectiva (Floración, polinización y cuaje en árboles frutales, 20 de mayo de 2015).

Los vectores de la polinización de los cactus, son animales que muestran especificidad pero no exclusividad, se hace mención de las abejas, las palomillas, los colibrís y los murciélagos. Las flores nocturnas son atractivas por el color blanco y las tonalidades amarillas, rojizas, naranjas, rosas o violetas del perianto. A pesar de la diversidad de los polinizadores, no todos son eficientes. En las abejas, intervienen varios factores para la polinización efectiva, tales como la actividad del vuelo, el tamaño de la flor, la constancia y la adherencia de los granos de polen en el cuerpo. La actividad de las abejas es más común en las mañanas, mientras que en las noches, la pitahaya tienen visitas de los murciélagos (Zappi, 1994).

Las flores abren en la noche y permanecen así hasta la próxima mañana. Otros polinizadores, están formados por grupos de escarabajos, que aunque no recogen mucho polen en su cuerpo, estimulan el movimiento de los estambres para la autopolinización, aunque en muchos casos pueden alimentarse del polen, del néctar y depositar sus huevecillos en las flores, ocasionando daño cuando las larvas emergen y perforan el ovario y el tallo (Zappi, 1994).

La floración nocturna de la pitahaya, su aroma y sus colores son principales indicadores de atracción a murciélagos (*Leptonycteris curasoae* y *Choeronycteris mexicana*) identificados en Tehuacán, Puebla, que produjeron el 76.9% de fruta, mientras que la actividad diurna de las abejas (*Apis mellífera*) solo pudo conseguir un 46.1% de fruta (Valiente, Gally, Arizmendi & Casas, 2007).

#### 4.9. Mecanismos de polinización cruzada

Los cactus presentan diversas adaptaciones que favorecen el cruzamiento, pueden ser autoincompatibles, tener dicogamia, hercogamia y unisexualidad. La incompatibilidad es una barrera genética en la fase progámica que toma lugar entre el polen y el estigma o durante el desarrollo de los tubos polínicos en el estilo, esto ocurre en algunas variedades de *Hylocereus spp*, en los clones de *Hylocereus costaricensis* y *H. polyrhizus* (Weiss, Scheinvar & Mizrahi, 1995).

La dicogamia, se refiere a que en una flor hermafrodita los órganos masculinos y femeninos maduran en diferentes tiempos y pueden reducir la autofertilización, la hercogamia es la separación espacial de las anteras y el estigma. En *Hylocereus undatus*, es grande la distancia entre el estigma, las anteras y esto puede disminuir la probabilidad de autogamia, aunque la distancia puede cambiar al momento de la floración (Nobel & Barrera, 2002).

De acuerdo con Valiente et al. (2007), al estudiar la biología de la polinización en pitahaya (*Hylocereus undatus*), encontraron que las flores son hermafroditas, no producen néctar, la anthesis (producción del polen) dura unas 17 horas y los frutos son producto de la polinización libre.

La pitahaya *Hylocereus sp.* De pulpa solferina es una especie que emite un gran número de flores comparadas con otras especies; sin embargo el amarre de frutos es nulo o mínimo. *Hylocereus polyrhizus* y *Hylocereus costaricensis*, ambas de pulpa de color rojo o púrpura, se reportan autoincompatibles, mientras que *Hylocereus undatus* de pulpa blanca es autocompatible. La caída de flores después de la polinización se atribuye a la incompatibilidad entre la misma especie (Ramírez & De, 1999).

Weiss et al. (1994), estudiaron la compatibilidad de diferentes especies y genotipos de *Hylocereus* y *Selenicereus*; Ramírez y De (1999), trabajó con diversas especies y genotipos de *Hylocereus* de México, por su parte, Lichtenzweig et al. (2000), estudió aspectos similares en dos especies de *Hylocereus* y en una especie de *Selenicereus*. En los tres trabajos fue evidente que la compatibilidad difiere dependiendo de la especie, o genotipo.

Ramírez y De (1999), encontró inhibición del crecimiento de los tubos polínicos en el primer tercio del estilo en una especie conocida popularmente como pitahaya solferina (*Hylocereus sp*), mientras que Lichtenzveig et al. (2000), no detectaron ningún sitio de inhibición en el estilo en *H. polyrhizus*, e infirió que la inhibición ocurre en el ovario antes de la fertilización. El sitio de inhibición detectado por Ramírez y De (1999), y Lichtenzveig et al. (2000) es característico de especies con autoincompatibilidad gametofítica. Lichtenzveig et al. (2000) sugieren que *H. polyrhizus* podría incluirse entre las especies en las cuales la autoincompatibilidad gametofítica se manifiesta tardíamente.

Ortiz et al. (2000), al estudiar la morfología de la flor de la pitahaya solferina destacan que presenta los fenómenos de hercogamia (separación entre estigmas y estambres) y ginoheterostilia (mayor longitud del estilo que de los estambres), ambos fenómenos evitan la autopolinización

Es evidente que una polinización cruzada supone tomar el polen de una flor de un cultivar determinado y colocar el polen en el estigma de otra flor de otro o del mismo cultivar. Existen dos formas de hacerlo (Méndez, Coello & Galán. 2013).

La primera consiste en tomar la flor del polinizante, cortarla y restregar el polen por el estigma de la flor que se desee polinizar. Esta forma sólo permite poder polinizar en el caso de que las dos flores abran el mismo día, por lo que el éxito de la polinización se verá comprometido por la coincidencia en las floraciones. Nuestra experiencia nos indica que esto no se suele dar, por lo que no se aconseja. Otra forma es tomar el polen el día antes, cortándolo directamente desde la flor dejándolo caer a un vaso de cristal (Méndez et al., 2013).

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Ubicación geográfica de la investigación**

El estudio se realizó en la Finca El Socorro, ubicada en la comunidad Palo Solo del municipio de la Concepción en el departamento de Masaya a 1Km Oeste de la escuela, coordenadas 11° 57' 10.5" N, 86° 15' 07.5" O. La temperatura mínima promedio del municipio es de 21.2°C y máxima promedio de 35°C, con altitud de 470msnm y precipitación anual promedio entre los 71 y 214mm (Aleman, 2013).

Diseño experimental: El diseño que se usó para llevar a cabo esta investigación fue un diseño de bloques completamente aleatorios contando con un número de treinta individuos de cada genotipo por bloque, es decir treinta plantas por bloque. En la autopolinización manual (APM) contamos con cinco bloques para llevar a cabo el experimento y en la polinización cruzada manual (PCM) fueron veinte bloques.

### **5.2. Monitoreo**

Se realizó un monitoreo constante de la finca para identificar aquellas plantas que entrarían en producción. Se registraron las fechas cuando el botón floral se hizo visible, los días en que se desarrolla hasta la apertura, las fechas de floración de cada genotipo y la separación entre ellas. Se establecieron los tratamientos, previos a la floración, para prever la colecta del polen y su conservación de los cinco genotipos.

Con datos registrados durante el 2013 por el productor de la finca, se pudo programar el evento próximo de las floraciones, aunque cada año, se han registrado pequeñas variaciones. Algunos genotipos muestran una floración más temprana que otros, por lo que algunos años pueden adelantar o retrasar su floración.

En un ensayo durante el 2013 que llevó a cabo el productor de la finca, se identificó la principal problemática para la colecta y preservación de polen y consistió en que no se puede coleccionar suficiente polen usando pinceles o guardándolo en bolsas, pero si en frascos de vidrio. La hora de colecta fue muy importante, ya que las plantas tienen su apertura floral en la noche a partir de las 7:30pm a las 11:00pm y se mantienen abiertas hasta la mañana siguiente, sólo algunas tienen apertura por la mañana, sin embargo, la mejor hora para coleccionar fue entre 8:00pm y 10:00pm, después de esas horas el polen se pone pegajoso y grumoso por la humedad ambiental, mientras que en las mañanas, ya presenta muchas impurezas por todos los visitantes nocturnos en la flor.

Se identificaron los botones florales próximos a la apertura, se estudió el mejor momento en que las anteras liberan los granos de polen y se recolectó la mayor cantidad posible de polen de diversas flores en frascos de vidrio con tapas herméticas.

### **5.3. Selección del material vegetal en campo**

Se trabajó con los 5 genotipos de pitahaya que hay en la finca, los cuales son Rosa, Lisa, Orejona, Chocoya y Cebra. El material vegetativo tiene aproximadamente 30 años en producción, según los datos del productor. Esta investigación se llevó a cabo realizando dos experimentos, el primero fue de autopolinización manual (APM) y el segundo de polinización cruzada manual (PCM).

El primero se llevó a cabo del 8 al 9 de Mayo. Se eligieron 30 plantas por cada genotipo sumando un total de 150 plantas en investigación, de estas 150 plantas se seleccionaron 4 flores por cada planta sumando un total de 600 flores que se autopolinizaron ( $30 \text{ plantas} \times 4 \text{ flores} \times 5 \text{ genotipos} = 600 \text{ flores}$ ). El segundo experimento se realizó del 20 al 21 de Mayo. La polinización cruzada manual se hizo entre los 5 genotipos, tomándose 4 flores por planta para cruzarla con un genotipo en particular. De manera global se trabajó con un total de 600 plantas y debido a que se tomó 4 flores por cada planta para cruzarla con cada genotipo se trabajó con un total de 2400 flores ( $30 \text{ plantas} \times 4 \text{ flores} \times 5 \text{ genotipos} \times 4 \text{ cruces} = 2400$

flores). Los resultados se observaron al cabo dos semanas después de la polinización en cada experimento, ya que es el tiempo aproximado para el amarre de frutos.

#### **5.4. Colecta y preservación de polen**

El momento oportuno para la colecta de polen fue cuando ocurrió la dehiscencia de las anteras desde las 8:00pm a 10:00pm tiempo que se consideró el más apropiado tomando en cuenta ensayos anteriores realizados por el productor. Para facilitar la colecta, se utilizaron frascos pequeños de vidrio, a los que se colocaban justo al centro de la flor, atrapando solo los estambres y cortándolos para introducirlos en el frasco con un suave movimiento de la mano, el polen caía dentro del frasco. Inmediatamente el frasco se cerraba y se etiquetaba, se guardaba en una bolsa hermética, luego de terminar la colecta de polen se le retiraron las tapas a cada frasco de cristal y se depositaron en una campana de vacío donde se colocó desecante y se succionó el aire mediante una bomba hasta los 50 y 60 centibares. Inmediatamente se colocó la campana en una nevera a una temperatura menor de 12°C.

De esta forma el polen no pierde poder polinizante durante al menos cuatro días (lo aconsejable son tres) y nos permite disponer polen mientras abren la siguientes flores. Para poder hacer cálculos de cuantas flores debemos coger, hay que indicar que el polen de una flor puede polinizar correctamente hasta 15 flores, siendo 4 el número de flores por planta que hemos tomado por genotipo para la autopolinización manual y 4 flores por planta para la polinización cruzada manual ya que siempre ocurren accidentes que hace que las anteras se caigan del vaso y el número inicial se ve reducido. Fue muy importante no permitir la entrada de humedad al frasco, para que el polen no formara grumos ni contaminación por hongos. El polen colectado se preservó bajo condiciones de refrigeración a una temperatura menor de 12°C, esto por ser lo más disponible en campo.

Una vez realizada la recolección y conservación de polen se prosiguió a llevar a cabo la polinización manual cruzada en cada flor de los distintos genotipos, la cual consistió en tomar el polen con pincel o brochas de rugor y se frotó la brocha con el polen donante o el

padre en cada estigma de la flor madre, una vez polinizadas se embolsaron con tela de organza para evitar contaminación por otros vectores.

Para la autopolinización de los genotipos se frotaron las anteras con el estigma de la misma flor del genotipo y al final las flores se encerraron en bolsas hechas con tela de organza, que permite el intercambio de gases, la entrada de luz, pero evita la entrada de polinizadores naturales y permanecieron embolsados así 10 días después de la polinización, posteriormente, se descubrieron, se eliminaron los restos de la flor y se volvieron a cubrir los que estaban formando frutos. La tela tuvo doble propósito, evitar la polinización cruzada en el caso de la prueba de autopolinización y en el caso de cruces manuales para estar seguros de que la fecundación floral no fue por polinizadores naturales y mantener la flor protegido del ataque de insectos o daños por pájaros o lluvias.

Una vez completado el procedimiento se hizo un monitoreo constante de las plantas hasta terminar el conteo de las flores que se fecundaron.

**Tabla de cruces por genotipos realizados en el experimento.**

<b>CRUCES REALIZADOS EN EL EXPERIMENTO</b>					
<b>GENOTIPO</b>	Cebra <sup>♂</sup>	Chocoya <sup>♂</sup>	Orejona <sup>♂</sup>	Rosa <sup>♂</sup>	Lisa <sup>♂</sup>
<b>Cebra<sup>♀</sup></b>		x	X	x	X
<b>Chocoya<sup>♀</sup></b>	X		X	X	X
<b>Orejona<sup>♀</sup></b>	X	X		X	X
<b>Rosa<sup>♀</sup></b>	X	X	X		x
<b>Lisa<sup>♀</sup></b>	x	X	x	X	

## 5.5. Análisis de datos

Para llevar a cabo el análisis de los datos recopilados se calcularon los valores medios de la tasa de formación de fruto (TFF) para polinización cruzada manual y autopolinización manual para cada genotipo. Asimismo, se calcularon los valores medios de TFF para cada cruce resultante de la polinización cruzada manual.

Se calculó la Tasa de Formación de Frutos (TFF) siguiendo la ecuación tal como la describe Tran y Yen (2014):

$$TFF = \frac{\text{Número de frutos formados}}{\text{Número de flores polinizadas}} \times 100$$

Con los valores de TFF se hizo una prueba de t de muestras independientes para comparar los valores medios de polinización cruzada manual y autopolinización manual para cada genotipo. También se hicieron Análisis de Varianza (ANOVA) de una vía con los valores de TFF entre cruces de genotipos de pitahaya roja y TFF dentro de genotipos (autopolinización manual) y entre genotipos (polinización cruzada manual) de pitahaya roja. Luego se hizo una prueba de comparación múltiple pareada con el método de Holm-Sidak con un  $\alpha = 0.05$  entre los genotipos/cruces para cada conjunto de datos analizados en los ANOVAs.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Valores medios de tasa de formación de frutos (TFF)

En el Cuadro 1, Ilustración 1 e Ilustración 2, se observan los valores medios de TFF para auto polinización manual (APM) y polinización cruzada manual (PCM) en los 5 genotipos de pitahaya roja analizados. Se encontraron valores medios totales de TFF de 24.5 y 73.04 para APM y PCM, respectivamente (Cuadro 1). En APM, el valor más bajo se encontró en Rosa (4.2) y el más alto en Lisa (60.8) (Cuadro 1 e Ilustración 1); mientras que en PCM, la menor TFF se encontró en el genotipo Chocoya (35.6) y la más alta en el genotipo Rosa (94.4) (Cuadro 1 e Ilustración 2).

**Cuadro 1.** Tasa de formación de fruto (TFF) para polinización cruzada manual (PCM) y autopolinización manual (APM) en cinco genotipos de *Hylocereus undatus* en la finca El Socorro, Masaya-Nicaragua, Mayo 2014.

Genotipos	APM	PCM	Sig
Rosa	4.2	94.4	**
Orejona	40.0	91.7	**
Cebra	6.7	72.0	**
Lisa	60.8	71.5	ns
Chocoya	10.8	35.6	**
Media	24.5	73.04	

ns P<0.05

\*\* P<0.001

Valores con diferentes letras presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de polinización según la prueba de t de muestras independientes.

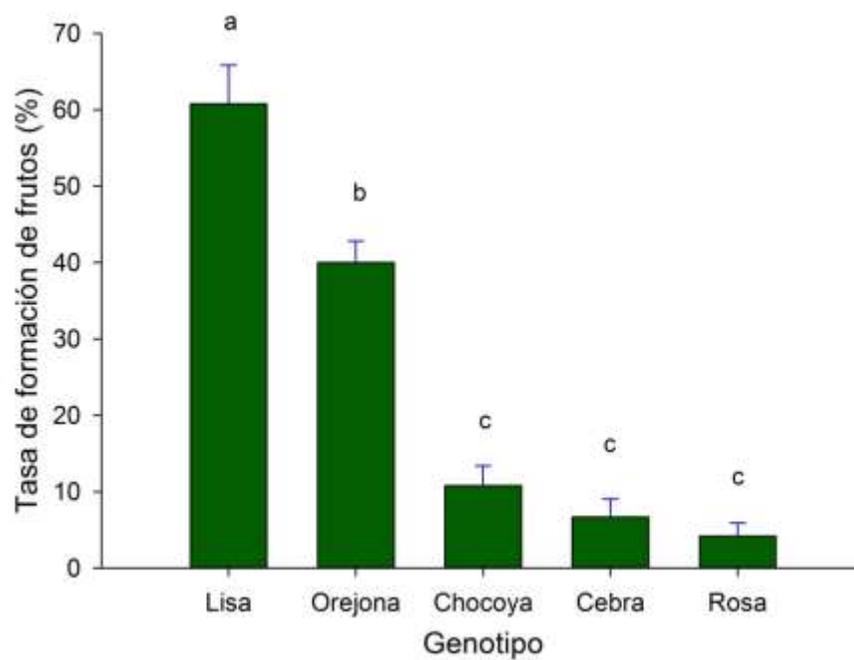
Esta variabilidad en los resultados de autopolinización manual y cruces manuales de pitahaya roja se ha encontrado en otros estudios; como los realizados por Márquez et al (2005), y Dinh Ha y Yen (2014). El genotipo Orejona en nuestro estudio resulta ser parcialmente autoincompatible con un 40% de TFF, mientras que en el estudio realizado por Dinh Ha el mismo genotipo es totalmente autoincompatible con 0.0% de TFF. Para PCM del genotipo Orejona en el caso del estudio de Dinh Ha, obtuvieron un resultado de 88.4% mientras que en nuestra investigación obtuvimos un 91.7% de TFF, demostrando así la similitud de nuestros resultados con investigaciones anteriores.

En el cuadro 3, se puede observar los valores medios de TFF para cada cruce en PCM. Los valores de TFF mas altos las obtuvieron los cruces entre Cebra × Orejona y Cebra × Rosa con un 100% para ambos cruces y los de menor porcentaje para Lisa × Rosa 5.0% y Cebra × Chocoya con un 0.0% (Ver Anexo, Cuadro 3).

## **6.2. Prueba de t para muestras independientes entre tipos de polinización**

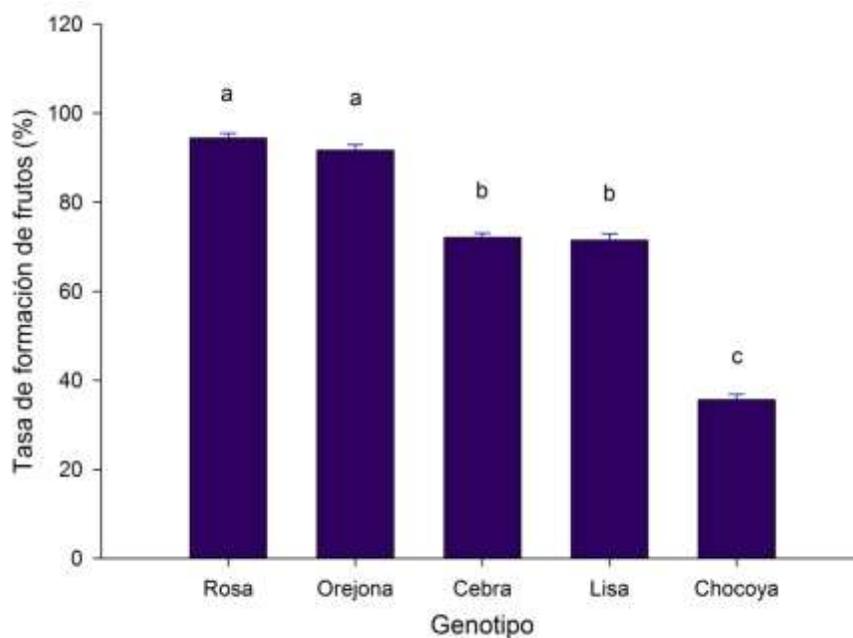
Se realizó una prueba de t de muestras independientes para comparar los tipos de polinización (APM vs PCM) para cada genotipo (Cuadro 1). Se puede observar que hay diferencias significativas para todos los casos. Por lo tanto la PCM tiene mayor porcentaje de amarre de frutos que APM por lo que consideramos que poner en práctica PCM da mejores resultado en la producción de pitahaya. Estos resultados están acorde con lo encontrado por Márquez et al. (2005) y Juárez, Ramírez, & Cruz (2007), la polinización cruzada da mejores y mayores porcentaje de amarre de frutos para la mayoría de los genotipos que en autopolinización.

**Ilustración 1.** Valores medios de tasa de formación de frutos (TFF) por genotipo de *Hylocereus undatus* logrados con autopolinización manual en la finca El Socorro, Masaya-Nicaragua, Mayo 2014.



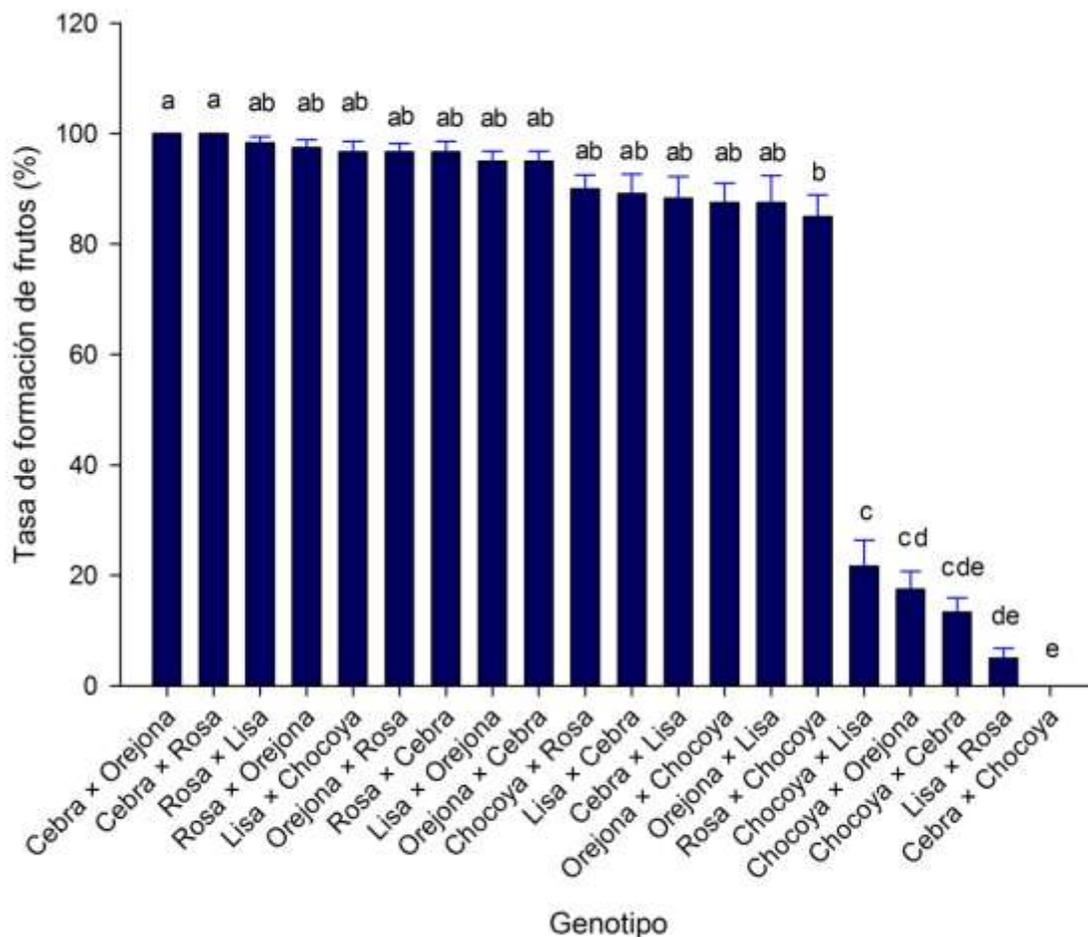
Valores con diferentes letras presentan diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.001$ ,  $\alpha = 0.05$ ) según la prueba de comparación múltiple pareada de Holm-Sidak.

**Ilustración 2.** Valores medios de tasa de formación de frutos (TFF) por genotipo de *Hylocereus undatus* logrados con polinización cruzada manual en la finca El Socorro, Masaya-Nicaragua, Mayo 2014.



Valores con diferentes letras presentan diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.001$ ,  $\alpha = 0.05$ ) según la prueba de comparación múltiple pareada de Holm-Sidak.

**Ilustración 3.** Valores medios de tasa de formación de frutos (TFF) por cruce de *Hylocereus undatus* logrados con polinización cruzada manual en la finca El Socorro, Masaya-Nicaragua, Mayo 2014.



Valores con diferentes letras presentan diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.001$ ,  $\alpha = 0.05$ ) según la prueba de comparación múltiple pareada de Holm-Sidak

Los resultados obtenidos en nuestra investigación reflejan que predomina la autoincompatibilidad sexual; ya que estas no llegan a formar un porcentaje aceptable de frutos con su mismo polen. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Márquez et al. (2005) en los que encontraron incompatibilidad sexual en 3 de 5 genotipos de *H. undatus* estudiados, resultados similares fueron obtenidos en estudios realizados en *H. costaricensis*, *Hylocereus* spp. (Weiss et al., 1994) e *H. polyrhizus* (Weiss et al., 1994; Lichtenzveig et al., 2000).

La formación de frutos de los 5 genotipos de pitahaya fue influenciada diferentemente por los tipos de polinización (PCM y APM) como se puede ver en los datos del Cuadro 1 y en las Ilustraciones 1 y 2. El genotipo Rosa, Cebra y Chocoya fueron mayormente autoincompatibles (4.2, 6.7 y 10.8%, respectivamente); mientras que Orejona y Lisa resultaron parcialmente autocompatibles con TFFs de 40 y 60.8% respectivamente. En cuanto a la PCM, los genotipos Rosa y Orejona mostraron alta compatibilidad sexual cruzada (94.1% y 91.7%, respectivamente), Cebra y Lisa compatibilidad cruzada media (TFF de 72 y 71.5%); mientras que el genotipo Chocoya, tuvo la TFF más baja con 35.6%. Vemos que Chocoya como madre da rendimientos bajos en ambos tipos de polinización; sin embargo al usarlo como padre (como fuente de polen) da buenos resultados a como se puede inferir de la Ilustración 3.

### **6.3. ANOVA para APM**

En el Cuadro 2, se observa los resultados del ANOVA para APM. Se puede observar que la variación entre genotipos es significativa ( $P < 0.001$ ). En la Ilustración 1, se puede observar los resultados de la prueba de comparación múltiple de Holm-Sidak (HSK). Esta Ilustración nos muestra que los genotipos Rosa, Chocoya y Cebra tuvieron una TFF menor del 11% y no presentaron diferencias significativas entre ellas. El genotipo Orejona obtuvo una TFF de 40% difiriendo significativamente con los 3 genotipos anteriormente mencionados. El genotipo con mayor TFF fue Lisa (60.8%). Este último fue estadísticamente diferente a los demás genotipos.

**Cuadro 2.** Resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas con ANOVA de una vía en *Hylocereus undatus* en la finca El Socorro, Masaya-Nicaragua, Mayo 2014.

<b>Prueba</b>	<b>Fuente de variación</b>	<b>Gl</b>	<b>Suma de los cuadrados</b>	<b>Media de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Autopolinización manual de los genotipos</b>	Entre grupos	4	74236.800	18559.200	63.351	<0.001
	Residual	145	42479.167	292.960		
	Total	149	116715.967			
<b>Polinización cruzada manual (a nivel de cruce)</b>	Entre grupos	19	777803.125	40937.007	182.421	<0.001
	Residual	580	130157.738	224.410		
	Total	599	907960.863			
<b>Polinización cruzada manual (a nivel de genotipos)</b>	Entre grupos	4	66163.021	16540.755	368.764	<0.001
	Residual	145	6503.906	44.855		
	Total	149	72666.927			

#### **6.4. ANOVA para PCM por genotipo**

En el Cuadro 2, se puede observar los resultados obtenidos del ANOVA para PCM a nivel de cada genotipo. La variación entre los genotipos fue significativa ( $P < 0.001$ ). La comparación de TFF entre genotipos usando la prueba de HSK se refleja en la Ilustración 2. Se puede observar que los genotipos Rosa y Orejona que tienen 94 y 91% de amarre de frutos no tiene diferencia significativa entre ellos, pero si con los genotipos Cebra y Lisa con 72 y 71%. Estos dos últimos genotipos no fueron estadísticamente diferentes. El genotipo Chocoya (35%) resultó ser significativamente diferente al resto de los genotipos.

## **6.5. ANOVA para PCM por cruce**

En el Cuadro 2, se puede observar los resultados del ANOVA a nivel de cruce. Se puede observar de que las diferencias en los valores medios entre los grupos fueron significativas ( $P < 0.001$ ). En la Ilustración 3, se muestra los resultados de los valores medios de TFF obtenidos al llevar a cabo cada cruce entre genotipo. Se puede observar que en general todos los cruces tienen buenos porcentajes de amarre de fruto; sin embargo el genotipo Chocoya como madre es la que presenta menos aceptación del polen de los demás genotipos. Los cruces Cebra × Chocoya, Lisa × Rosa, Choya × Cebra, Chocoya × Orejona y Chocoya × Lisa no presentaron diferencia significativa entre ellos pero si con los demás cruces. Los cruces con TFF mayores al 85% no presentaron diferencia significativa entre ellos.

## VII. CONCLUSIONES

- ✓ La TFF para la autopolinización manual en los 5 genotipos de pitahaya roja fue por debajo del 60.8%. De estos, los genotipos Rosa, Cebra, Chocoya presentaron un alto grado de autoincompatibilidad (4.2, 6.7, 10.8 %).
- ✓ La TFF para la polinización cruzada manual por genotipo de pitahaya fue de 35.7% para el genotipo Chocoya y mayor del 70% para el resto de los genotipos.
- ✓ La TFF fue menor de 22% en los cruces Cebra × Chocoya, Lisa × Rosa, Choya × Cebra, Chocoya × Orejona y Choya × Lisa; mientras que para el resto de los cruces el TFF fue mayor a 85%.

## VIII. RECOMENDACIONES

- ✓ No se recomienda utilizar el genotipo Chocoya como madre en los cruces debido a que los resultados obtenidos al realizar los cruces no son satisfactorios para obtener una buena producción.
- ✓ Usar equipos adecuados para recolectar el polen de la planta para evitar contaminación del mismo.
- ✓ Sería muy importante en proyectos posteriores, determinar la temperatura adecuada para conservar el polen el mayor tiempo posible y conocer su porcentaje de germinación.
- ✓ Usar tela de orgnza para proteger las flores una vez ya polinizadas manualmente para evitar los polinizadores naturales tengan contacto con las mismas y estar más seguros de que el resultado fue por polinización manual.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Alemán Saballos., L. (2013). IV Censo Nacional Agropecuario, Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) y Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR). Departamento de Masaya y sus municipios uso de la tierra y el agua en el sector agropecuario. (Nydia Icaza Espinoza ed., Vol. 1, p. 71). Masaya.
- ✓ Bárcenas, A. P. (2002). Determinación de Zonas Potenciales para el Establecimiento de plantaciones de pitahaya (*Hylocereus* sp.). Tesis de Doctorado. Programa de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- ✓ Barth, F. G. (1985). Insects and flowers. The biology of a partnership. George Allen & Unwin. Princeton University Press; First Edition edition.
- ✓ Becerra Ochoa, L. A. (1990). El cultivo de la pitaya. Fed. Nac. café. Coloma., 6th ed., Manizales, Colombia.
- ✓ Becerra, L. (1986). El cultivo de la pitaya. 7ª. ed. Bogotá: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- ✓ Becerra, L. (1987). La pitaya: cultivo con futuro. *Horticultura Moderna*, (5):7-10.
- ✓ Castillo, M. R., Calix, H., & Rodríguez, C. A. (1996). Guía Técnica para el Cultivo de la pitahaya. Universidad de Quintana Roo, INIFAP y Universidad Autónoma Chapingo. Chetumal, México. 158.
- ✓ Carrión Osorno, M. (2003). Fluctuación poblacional de picudo negro (*metamasius fareishtratoforiatus*) y chinche patón (*Leptoglossus zonatus*) en el cultivo de la pitahaya (*Hylocereus undatus Britton and Rose*) en los departamentos de Masaya y Carazo (Tesis inédita de Ingeniería). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- ✓ Diaz, M., & Medina, E. (1984). Actividad CAM de cactaceas en condiciones naturales. *Eco-Fisiología de Plantas CAM*. Centro Internacional de Ecología Tropical, Caracas, Venezuela. 98-113.
- ✓ Fehr, W. R. (1980). Artificial hybridization and self-pollination. *Hybridization of crop plants, (hybridizationof)*, 105-131.

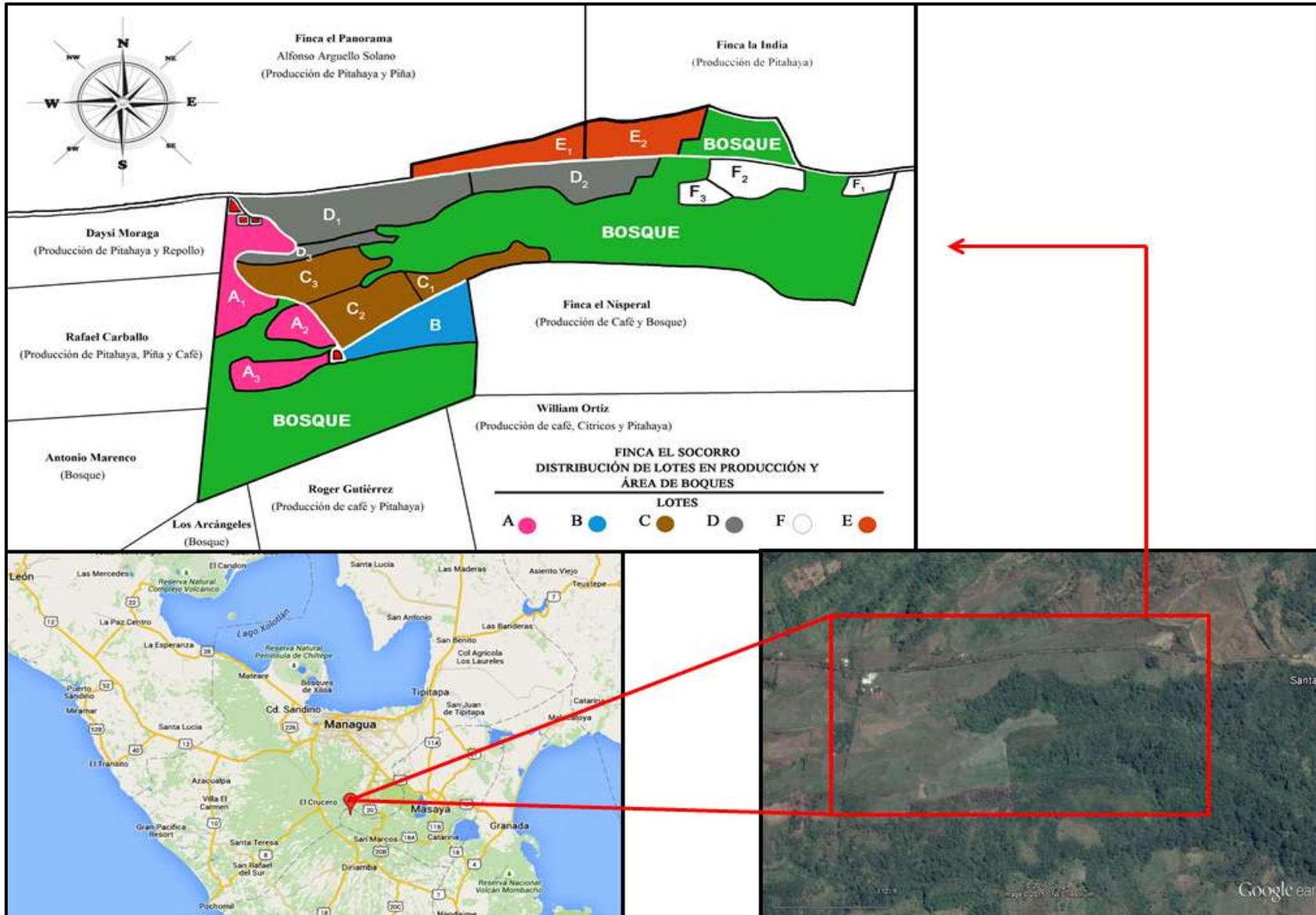
- ✓ Floración, polinización y cuaje en árboles frutales. (2015, 20 de mayo). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 06:15, julio 1, 2015 desde [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Floraci%C3%B3n,\\_polinizaci%C3%B3n\\_y\\_cuaje\\_en\\_%C3%A1rboles\\_frutales&oldid=82589529](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Floraci%C3%B3n,_polinizaci%C3%B3n_y_cuaje_en_%C3%A1rboles_frutales&oldid=82589529).
- ✓ Ganders, F. R. (1975). Self-incompatibility in the Cactaceae. *Incompat. Newsl*, (6), 5-9.
- ✓ García, M. C., & Mosquera, T. (2003). Pitaya: cosecha y postcosecha. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), [http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_si2/Cultivo%20de%20pitaya.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Cultivo%20de%20pitaya.pdf).
- ✓ Gunasena, H. P. M., Pushpakumara, D. K. N. G., & Kariyawasam, M. (2007). Dragon Fruit *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose. Underutilized fruit trees in Sri Lanka. New Delhi, World Agroforestry Centre, 110-142.
- ✓ Izco, J.; Barreno, E.; Brugués, M.; Costa, M.; Devesa, J.; Fernández, F.; Gallardo, T.; Llimona, X.; Salvo, E.; Talavera, S. y Valdés, B. (2002). *Botánica*. España: Mcgraw Hill. Tercera Edición. 440 P.
- ✓ Lezama, A., Tapia, A. E., Muñoz, G., & Zepeda, V. J. (2000). El Cultivo de la Pitaya. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. (Revisado en la web: [www.sagarpa.gob.com.co](http://www.sagarpa.gob.com.co)).
- ✓ Le Bellec, F., Vaillant, F., & Imbert, E. (2006). pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits*, 61(04), 237-250.
- ✓ Lichtenzveig, J., Abbo, S., Nerd, A., Tel-Zur, N., & Mizrahi, Y. (2000). Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. *American Journal of Botany*, 87(7), 1058-1065.
- ✓ López Díaz, H., & Guido, M. (2002) Título: Guía tecnológica 6. Cultivo de la pitahaya, P. imprenta: Managua (Nicaragua). 38 p.
- ✓ Márquez-Guzmán, G. J., Castillo-Martínez, R., & Livera-Muñoz, M. (2005). Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agrociencia*, 39(2), 183-194.
- ✓ Meeuse, B., & Morris, S. (1984). Sex life of flowers. *Facts on File*.

- ✓ Méndez, C., Coello, A., & Saúco, V. G. (2013) Polinización de la pitahaya roja (*Hylocereus* spp.) Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA). Isla de Tenerife México. 8.
- ✓ Mizrahi, Y., & Nerd, A. (1999). Climbing and columnar cacti: new arid land fruit crops. *Horticulture*, Alexandria, Virginia, USA. 358 - 366.
- ✓ Mizrahi, Y., Mouyal, J., Nerd, A., & Sitrit, Y. (2004). Metaxenia in the Vine Cacti *Hylocereus polyrhizus* and *Selenicereus* spp. *Annals of botany*, 93(4), 469-472.
- ✓ Nerd, A., Sitrit, Y., Kaushik, R. A., & Mizrahi, Y. (2002). High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (*Hylocereus* spp.). *Scientia Horticulturae*, 96(1), 343-350.
- ✓ Nobel, P. S. (1988). *Environmental biology of agaves and cacti*. Cambridge Univ. Press: Cambridge, etc, 270, 37-42.
- ✓ Nobel, P. S., & Barrera, E. (2002). High Temperatures and Net CO<sub>2</sub> Uptake, Growth, and Stem Damage for the Hemiepiphytic Cactus *Hylocereus undatus* L. *Biotropica*, 34(2), 225-231.
- ✓ OIRSA. (2001). Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). Nicaragua. Disponible en: <http://www.oirsa.org>. Leído en noviembre de 2009.
- ✓ Orrico Zalazar, G. (2013). Respuesta de la pitahaya amarilla (*Cereus triangularis* L.) a la aplicación complementaria de dos fertilizantes en tres dosis. Puerto Quito, Pichincha.
- ✓ Ortiz H. (1995). Avances en el conocimiento ecofisiológico de la pitahaya (*H. undatus*). Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- ✓ Ortiz, H. Y. D. (2000). Hacia el conocimiento y conservación de la pitahaya (*Hylocereus* sp.). Oaxaca, México. IPN-CONACYT-SIBEJFMCN. 124p.
- ✓ Ramírez, M., & De J, F. (1999). Caracterización y compatibilidad en pitahaya *Hylocereus* sp (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma, Chapingo, México).
- ✓ Tel-Zur, N. (2010). pitahayas: introduction, Agrotechniques, and breeding. In VII International Congress on Cactus Pear and Cochineal (1995) 109-115.

- ✓ Tran, D., & Yen, C. (2014). Morphological Characteristics and Pollination Requirement in Red Pitaya (*Hylocereus* spp.). *International Journal of Biological, Veterinary, Agricultural and Food Engineering*, 8(3), 256 - 260.
- ✓ Valiente-Banuet, A., Gally, R. S., Arizmendi, M. C., & Casas, A. (2007). Pollination biology of the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus* in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of arid environments*, 68(1), 1-8.
- ✓ Weiss, J., Nerd, A., & Mizrahi, Y. (1994). Flowering behavior and pollination requirements in climbing cacti with fruit crop potential. *HortScience*, 29(12), 1487-1492.
- ✓ Weiss, J., Scheinvar, L., & Mizrahi, Y. (1995). *Selenicereus megalanthus* (the yellow pitaya), a climbing cactus from Colombia and Peru. *Cact. Succ. J.(USA)*, 67(5), 280-283.
- ✓ Yetman, D. (2006). *The organ pipe cactus*. University of Arizona Press. 53(2).
- ✓ Zappi, D. C. (1994). *Pilosocereus* (Cactaceae): the genus in Brazil. *Succulent plant research*, 3, 1988-1992.
- ✓ Zappi, D. C. (1994). *Pilosocereus* (Cactaceae): the genus in Brazil. *Succulent plant research*, 3, 1988-1992.

## **X. ANEXO**

# Anexo 1. Mapa del área de estudio.



**Anexo 2.** Prueba de t de muestras independientes.

GET

GET FILE="C:\...\pruebat-pitahaya.sav".

T-TEST

T-TEST /VARIABLES= Lisa Rosa Chocoya Cebra, Orejona /GROUPS=Polinizacion (1,2) /MISSING=ANALYSIS /CRITERIA=CIN(0.95).

**Group Statistics**

	<b>Polinizacion</b>	<b>N</b>	<b>Mean</b>	<b>Std. Deviation</b>	<b>S.E. Mean</b>
Lisa	PCM	30	71.46	7.99	1.46
	APM	30	60.83	27.61	5.04
Rosa	PCM	30	94.38	6.22	1.14
	APM	30	4.17	9.48	1.73
Chocoya	PCM	30	35.63	6.80	1.24
	APM	30	10.83	14.21	2.59
Cebra	PCM	30	72.08	5.38	.98
	APM	30	6.67	13.02	2.38
Orejona	PCM	30	91.67	6.83	1.25
	APM	30	40.00	15.54	2.84

## Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Lisa	Equal variances assumed	35.96	.000	2.02	58.00	.047	10.62	5.25	.12	21.13
	Equal variances not assumed			2.02	33.82	.051	10.62	5.25	-.04	21.29
Rosa	Equal variances assumed	2.38	.128	43.59	58.00	.000	90.21	2.07	86.07	94.35
	Equal variances not assumed			43.59	50.07	.000	90.21	2.07	86.05	94.36
Chocoya	Equal variances assumed	40.22	.000	8.62	58.00	.000	24.79	2.88	19.04	30.55
	Equal variances not assumed			8.62	41.61	.000	24.79	2.88	18.99	30.60
Cebra	Equal variances assumed	16.11	.000	25.43	58.00	.000	65.42	2.57	60.27	70.57
	Equal variances not assumed			25.43	38.61	.000	65.42	2.57	60.21	70.62
Orejona	Equal variances assumed	40.39	.000	16.67	58.00	.000	51.67	3.10	45.46	57.87
	Equal variances not assumed			16.67	39.82	.000	51.67	3.10	45.40	57.93

**Anexo 3.** Tabla de ANOVA para TFF en polinización cruzada entre genotipos.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	4	66163.021	16540.755	368.764	<0.001
Residual	145	6503.906	44.855		
Total	149	72666.927			

**Anexo 4.** Tabla de ANOVA Pol Auto.

**One Way Analysis of Variance**

Monday, November 17, 2014, 11:55:15 AM

Data source: Data 1 in PolAuto

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
Row 1	30	0	60.800	27.608	5.041
Row 2	30	0	40.000	15.536	2.837
Row 3	30	0	10.800	14.208	2.594
Row 4	30	0	6.700	13.021	2.377
Row 5	30	0	4.200	9.476	1.730

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	4	74236.800	18559.200	63.351	<0.001
Residual	145	42479.167	292.960		
Total	149	116715.967			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001).

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0.05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050	
Row 1 vs. Row 5	56.600	12.807	<0.001	Yes	
Row 1 vs. Row 4	54.100	12.242	<0.001	Yes	
Row 1 vs. Row 3	50.000	11.314	<0.001	Yes	
Row 2 vs. Row 5	35.800	8.101	<0.001	Yes	
Row 2 vs. Row 4	33.300	7.535	<0.001	Yes	
Row 2 vs. Row 3	29.200	6.607	<0.001	Yes	
Row 1 vs. Row 2	20.800	4.707	<0.001	Yes	
Row 3 vs. Row 5	6.600	1.493	0.358	No	
Row 3 vs. Row 4	4.100	0.928	0.584	No	
Row 4 vs. Row 5		2.500	0.566	0.572	No

## Anexo 5. Tabla de ANOVA PolCruz.

### One Way Analysis of Variance

Monday, November 17, 2014, 12:17:39 PM

Data source: Data 1 in PolCruz

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
Row 1	30	0	100.000	0.000	0.000
Row 2	30	0	100.000	0.000	0.000
Row 3	30	0	98.333	6.343	1.158
Row 4	30	0	97.500	7.628	1.393
Row 5	30	0	96.667	10.854	1.982
Row 6	30	0	96.667	8.644	1.578
Row 7	30	0	96.667	10.854	1.982
Row 8	30	0	95.000	10.171	1.857
Row 9	30	0	95.000	10.171	1.857
Row 10	30	0	90.000	14.081	2.571
Row 11	30	0	89.167	19.020	3.473
Row 12	30	0	88.333	21.509	3.927
Row 13	30	0	87.500	19.420	3.546
Row 14	30	0	87.500	26.870	4.906
Row 15	30	0	85.000	21.375	3.903
Row 16	30	0	21.667	26.042	4.755
Row 17	30	0	17.500	17.555	3.205
Row 18	30	0	13.333	14.284	2.608
Row 19	30	0	5.000	10.171	1.857
Row 20	30	0	0.000	0.000	0.000

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	19	777803.125	40937.007	182.421	<0.001
Residual	580	130157.738	224.410		
Total	599	907960.863			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ( $P = <0.001$ ).

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0.05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
Row 2 vs. Row 20	100.000	25.854	<0.001	Yes
Row 1 vs. Row 20	100.000	25.854	<0.001	Yes
Row 3 vs. Row 20	98.333	25.423	<0.001	Yes
Row 4 vs. Row 20	97.500	25.207	<0.001	Yes
Row 6 vs. Row 20	96.667	24.992	<0.001	Yes
Row 5 vs. Row 20	96.667	24.992	<0.001	Yes
Row 7 vs. Row 20	96.667	24.992	<0.001	Yes
Row 8 vs. Row 20	95.000	24.561	<0.001	Yes
Row 1 vs. Row 19	95.000	24.561	<0.001	Yes
Row 9 vs. Row 20	95.000	24.561	<0.001	Yes

Row 2 vs. Row 19	95.000	24.561	<0.001	Yes
Row 3 vs. Row 19	93.333	24.130	<0.001	Yes
Row 4 vs. Row 19	92.500	23.915	<0.001	Yes
Row 6 vs. Row 19	91.667	23.699	<0.001	Yes
Row 5 vs. Row 19	91.667	23.699	<0.001	Yes
Row 7 vs. Row 19	91.667	23.699	<0.001	Yes
Row 9 vs. Row 19	90.000	23.268	<0.001	Yes
Row 8 vs. Row 19	90.000	23.268	<0.001	Yes
Row 10 vs. Row 20	90.000	23.268	<0.001	Yes
Row 11 vs. Row 20	89.167	23.053	<0.001	Yes
Row 12 vs. Row 20	88.333	22.838	<0.001	Yes
Row 14 vs. Row 20	87.500	22.622	<0.001	Yes
Row 13 vs. Row 20	87.500	22.622	<0.001	Yes
Row 1 vs. Row 18	86.667	22.407	<0.001	Yes
Row 2 vs. Row 18	86.667	22.407	<0.001	Yes
Row 15 vs. Row 20	85.000	21.976	<0.001	Yes
Row 10 vs. Row 19	85.000	21.976	<0.001	Yes
Row 3 vs. Row 18	85.000	21.976	<0.001	Yes
Row 4 vs. Row 18	84.167	21.760	<0.001	Yes
Row 11 vs. Row 19	84.167	21.760	<0.001	Yes
Row 5 vs. Row 18	83.333	21.545	<0.001	Yes
Row 7 vs. Row 18	83.333	21.545	<0.001	Yes
Row 6 vs. Row 18	83.333	21.545	<0.001	Yes
Row 12 vs. Row 19	83.333	21.545	<0.001	Yes
Row 14 vs. Row 19	82.500	21.329	<0.001	Yes
Row 2 vs. Row 17	82.500	21.329	<0.001	Yes
Row 1 vs. Row 17	82.500	21.329	<0.001	Yes
Row 13 vs. Row 19	82.500	21.329	<0.001	Yes
Row 9 vs. Row 18	81.667	21.114	<0.001	Yes
Row 8 vs. Row 18	81.667	21.114	<0.001	Yes
Row 3 vs. Row 17	80.833	20.899	<0.001	Yes
Row 15 vs. Row 19	80.000	20.683	<0.001	Yes
Row 4 vs. Row 17	80.000	20.683	<0.001	Yes
Row 7 vs. Row 17	79.167	20.468	<0.001	Yes
Row 5 vs. Row 17	79.167	20.468	<0.001	Yes
Row 6 vs. Row 17	79.167	20.468	<0.001	Yes
Row 1 vs. Row 16	78.333	20.252	<0.001	Yes
Row 2 vs. Row 16	78.333	20.252	<0.001	Yes
Row 9 vs. Row 17	77.500	20.037	<0.001	Yes
Row 8 vs. Row 17	77.500	20.037	<0.001	Yes
Row 10 vs. Row 18	76.667	19.821	<0.001	Yes
Row 3 vs. Row 16	76.667	19.821	<0.001	Yes
Row 11 vs. Row 18	75.833	19.606	<0.001	Yes
Row 4 vs. Row 16	75.833	19.606	<0.001	Yes
Row 7 vs. Row 16	75.000	19.390	<0.001	Yes
Row 6 vs. Row 16	75.000	19.390	<0.001	Yes
Row 12 vs. Row 18	75.000	19.390	<0.001	Yes
Row 5 vs. Row 16	75.000	19.390	<0.001	Yes
Row 13 vs. Row 18	74.167	19.175	<0.001	Yes
Row 14 vs. Row 18	74.167	19.175	<0.001	Yes
Row 8 vs. Row 16	73.333	18.959	<0.001	Yes
Row 9 vs. Row 16	73.333	18.959	<0.001	Yes
Row 10 vs. Row 17	72.500	18.744	<0.001	Yes
Row 15 vs. Row 18	71.667	18.529	<0.001	Yes
Row 11 vs. Row 17	71.667	18.529	<0.001	Yes
Row 12 vs. Row 17	70.833	18.313	<0.001	Yes

Row 13 vs. Row 17	70.000	18.098	<0.001	Yes
Row 14 vs. Row 17	70.000	18.098	<0.001	Yes
Row 10 vs. Row 16	68.333	17.667	<0.001	Yes
Row 15 vs. Row 17	67.500	17.451	<0.001	Yes
Row 11 vs. Row 16	67.500	17.451	<0.001	Yes
Row 12 vs. Row 16	66.667	17.236	<0.001	Yes
Row 13 vs. Row 16	65.833	17.020	<0.001	Yes
Row 14 vs. Row 16	65.833	17.020	<0.001	Yes
Row 15 vs. Row 16	63.333	16.374	<0.001	Yes
Row 16 vs. Row 20	21.667	5.602	<0.001	Yes
Row 17 vs. Row 20	17.500	4.524	<0.001	Yes
Row 16 vs. Row 19	16.667	4.309	0.002	Yes
Row 1 vs. Row 15	15.000	3.878	0.013	Yes
Row 2 vs. Row 15	15.000	3.878	0.013	Yes
Row 3 vs. Row 15	13.333	3.447	0.065	No
Row 18 vs. Row 20	13.333	3.447	0.064	No
Row 2 vs. Row 14	12.500	3.232	0.131	No
Row 1 vs. Row 13	12.500	3.232	0.130	No
Row 4 vs. Row 15	12.500	3.232	0.129	No
Row 2 vs. Row 13	12.500	3.232	0.128	No
Row 1 vs. Row 14	12.500	3.232	0.127	No
Row 17 vs. Row 19	12.500	3.232	0.125	No
Row 2 vs. Row 12	11.667	3.016	0.239	No
Row 5 vs. Row 15	11.667	3.016	0.237	No
Row 1 vs. Row 12	11.667	3.016	0.235	No
Row 7 vs. Row 15	11.667	3.016	0.233	No
Row 6 vs. Row 15	11.667	3.016	0.231	No
Row 1 vs. Row 11	10.833	2.801	0.401	No
Row 2 vs. Row 11	10.833	2.801	0.398	No
Row 3 vs. Row 14	10.833	2.801	0.394	No
Row 3 vs. Row 13	10.833	2.801	0.391	No
Row 8 vs. Row 15	10.000	2.585	0.606	No
Row 9 vs. Row 15	10.000	2.585	0.602	No
Row 4 vs. Row 14	10.000	2.585	0.598	No
Row 1 vs. Row 10	10.000	2.585	0.594	No
Row 2 vs. Row 10	10.000	2.585	0.590	No
Row 4 vs. Row 13	10.000	2.585	0.586	No
Row 3 vs. Row 12	10.000	2.585	0.582	No
Row 4 vs. Row 12	9.167	2.370	0.792	No
Row 7 vs. Row 14	9.167	2.370	0.789	No
Row 7 vs. Row 13	9.167	2.370	0.785	No
Row 3 vs. Row 11	9.167	2.370	0.781	No
Row 5 vs. Row 13	9.167	2.370	0.777	No
Row 5 vs. Row 14	9.167	2.370	0.773	No
Row 6 vs. Row 13	9.167	2.370	0.768	No
Row 6 vs. Row 14	9.167	2.370	0.764	No
Row 18 vs. Row 19	8.333	2.154	0.918	No
Row 6 vs. Row 12	8.333	2.154	0.916	No
Row 7 vs. Row 12	8.333	2.154	0.913	No
Row 5 vs. Row 12	8.333	2.154	0.910	No
Row 16 vs. Row 18	8.333	2.154	0.907	No
Row 4 vs. Row 11	8.333	2.154	0.904	No
Row 3 vs. Row 10	8.333	2.154	0.901	No
Row 9 vs. Row 13	7.500	1.939	0.979	No
Row 9 vs. Row 14	7.500	1.939	0.978	No
Row 5 vs. Row 11	7.500	1.939	0.977	No

Row 4 vs. Row 10	7.500	1.939	0.975	No
Row 8 vs. Row 14	7.500	1.939	0.974	No
Row 8 vs. Row 13	7.500	1.939	0.972	No
Row 6 vs. Row 11	7.500	1.939	0.971	No
Row 7 vs. Row 11	7.500	1.939	0.969	No
Row 5 vs. Row 10	6.667	1.724	0.996	No
Row 9 vs. Row 12	6.667	1.724	0.996	No
Row 7 vs. Row 10	6.667	1.724	0.996	No
Row 6 vs. Row 10	6.667	1.724	0.995	No
Row 8 vs. Row 12	6.667	1.724	0.995	No
Row 9 vs. Row 11	5.833	1.508	1.000	No
Row 8 vs. Row 11	5.833	1.508	1.000	No
Row 8 vs. Row 10	5.000	1.293	1.000	No
Row 2 vs. Row 8	5.000	1.293	1.000	No
Row 10 vs. Row 15	5.000	1.293	1.000	No
Row 2 vs. Row 9	5.000	1.293	1.000	No
Row 1 vs. Row 9	5.000	1.293	1.000	No
Row 1 vs. Row 8	5.000	1.293	1.000	No
Row 19 vs. Row 20	5.000	1.293	1.000	No
Row 9 vs. Row 10	5.000	1.293	1.000	No
Row 17 vs. Row 18	4.167	1.077	1.000	No
Row 16 vs. Row 17	4.167	1.077	1.000	No
Row 11 vs. Row 15	4.167	1.077	1.000	No
Row 1 vs. Row 6	3.333	0.862	1.000	No
Row 2 vs. Row 7	3.333	0.862	1.000	No
Row 1 vs. Row 5	3.333	0.862	1.000	No
Row 12 vs. Row 15	3.333	0.862	1.000	No
Row 3 vs. Row 9	3.333	0.862	1.000	No
Row 3 vs. Row 8	3.333	0.862	1.000	No
Row 2 vs. Row 6	3.333	0.862	1.000	No
Row 1 vs. Row 7	3.333	0.862	1.000	No
Row 2 vs. Row 5	3.333	0.862	1.000	No
Row 2 vs. Row 4	2.500	0.646	1.000	No
Row 13 vs. Row 15	2.500	0.646	1.000	No
Row 10 vs. Row 14	2.500	0.646	1.000	No
Row 14 vs. Row 15	2.500	0.646	1.000	No
Row 1 vs. Row 4	2.500	0.646	1.000	No
Row 4 vs. Row 9	2.500	0.646	1.000	No
Row 4 vs. Row 8	2.500	0.646	1.000	No
Row 10 vs. Row 13	2.500	0.646	1.000	No
Row 5 vs. Row 9	1.667	0.431	1.000	No
Row 1 vs. Row 3	1.667	0.431	1.000	No
Row 10 vs. Row 12	1.667	0.431	1.000	No
Row 7 vs. Row 8	1.667	0.431	1.000	No
Row 7 vs. Row 9	1.667	0.431	1.000	No
Row 11 vs. Row 13	1.667	0.431	1.000	No
Row 6 vs. Row 9	1.667	0.431	1.000	No
Row 11 vs. Row 14	1.667	0.431	1.000	No
Row 2 vs. Row 3	1.667	0.431	1.000	No
Row 5 vs. Row 8	1.667	0.431	1.000	No
Row 6 vs. Row 8	1.667	0.431	1.000	No
Row 3 vs. Row 5	1.667	0.431	1.000	No
Row 3 vs. Row 6	1.667	0.431	1.000	No
Row 3 vs. Row 7	1.667	0.431	1.000	No
Row 12 vs. Row 14	0.833	0.215	1.000	No
Row 10 vs. Row 11	0.833	0.215	1.000	No

Row 11 vs. Row 12	0.833	0.215	1.000	No
Row 4 vs. Row 7	0.833	0.215	1.000	No
Row 4 vs. Row 6	0.833	0.215	1.000	No
Row 4 vs. Row 5	0.833	0.215	1.000	No
Row 12 vs. Row 13	0.833	0.215	1.000	No
Row 3 vs. Row 4	0.833	0.215	1.000	No
Row 2 vs. Row 1	0.000	0.000	1.000	No
Row 13 vs. Row 14	0.000	0.000	1.000	No
Row 7 vs. Row 6	0.000	0.000	1.000	No
Row 5 vs. Row 6	0.000	0.000	1.000	No
Row 8 vs. Row 9	0.000	0.000	1.000	No
Row 7 vs. Row 5	0.000	0.000	1.000	No

**Nota:**

**Row 1=** Cebra × Orejona, **Row 2=** Cebra × Rosa, **Row 3=** Rosa × Lisa, **Row 4=** Rosa × Orejona, **Row 5=** Lisa × Chocoya, **Row 6=** Orejona × Rosa, **Row 7=** Rosa × Cebra, **Row 8=** Lisa × Orejona, **Row 9=** Orejona × Cebra, **Row 10=** Chocoya × Rosa, **Row 11=** Lisa × Cebra, **Row 12=** Cebra × Lisa, **Row 13=** Orejona × Chocoya, **Row 14=** Orejona × Lisa, **Row 15=** Rosa × Chocoya, **Row 16=** Chocoya × Lisa, **Row 17=** Chocoya × Orejona, **Row 18=** Chocoya × Cebra, **Row 19=** Lisa × Rosa, **Row 20=** Cebra × Chocoya

**Anexo 6.** Tabla de ANOVA PolCruzgenotipoAna.

**One Way Analysis of Variance**

Friday, December 05, 2014, 2:22:14 PM

**Data source:** Data 1 in PolCruzgenotipoAna

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
Row 1	30	0	94.375	6.218	1.135
Row 2	30	0	91.667	6.833	1.248
Row 3	30	0	72.083	5.377	0.982
Row 4	30	0	71.458	7.988	1.458
Row 5	30	0	35.625	6.797	1.241

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	4	66163.021	16540.755	368.764	<0.001
Residual	145	6503.906	44.855		
Total	149	72666.927			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001).

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0.05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
Row 1 vs. Row 5	58.750	33.974	<0.001	Yes

Row 2 vs. Row 5	56.042	32.408	<0.001	Yes
Row 3 vs. Row 5	36.458	21.083	<0.001	Yes
Row 4 vs. Row 5	35.833	20.722	<0.001	Yes
Row 1 vs. Row 4	22.917	13.252	<0.001	Yes
Row 1 vs. Row 3	22.292	12.891	<0.001	Yes
Row 2 vs. Row 4	20.208	11.686	<0.001	Yes
Row 2 vs. Row 3	19.583	11.325	<0.001	Yes
Row 1 vs. Row 2	2.708	1.566	0.225	No
Row 3 vs. Row 4	0.625	0.361	0.718	No

**Nota:**

**Row 1= Rosa, Row 2= Orejona, Row 3= Cebra, Row 4= Lisa, Row 5= Chocoya**

**Anexo 7.** Tasa de formación de fruto (TFF) para polinización cruzada manual entre clones de pitahaya roja.

<b>Cruce</b>	<b>TFF (%)</b>
<b>Cebra × Orejona</b>	100.0
<b>Cebra × Rosa</b>	100.0
<b>Rosa × Lisa</b>	98.3
<b>Rosa × Orejona</b>	97.5
<b>Lisa × Chocoya</b>	96.7
<b>Orejona × Rosa</b>	96.7
<b>Rosa × Cebra</b>	96.7
<b>Lisa × Orejona</b>	95.0
<b>Orejona × Cebra</b>	95.0
<b>Chocoya × Rosa</b>	90.0
<b>Lisa × Cebra</b>	89.2
<b>Cebra × Lisa</b>	88.3
<b>Orejona × Chocoya</b>	87.5
<b>Orejona × Lisa</b>	87.5
<b>Rosa × Chocoya</b>	85.0
<b>Chocoya × Lisa</b>	21.7
<b>Chocoya × Orejona</b>	17.5
<b>Chocoya × Cebra</b>	13.3
<b>Lisa × Rosa</b>	5.0
<b>Cebra × Chocoya</b>	0.0

**Anexo 8.** Hoja de muestreo para la polinización manual cruzada en los 5 genotipos de pitahaya.

HOJA DE MUESTREO (POLINIZACIÓN MANUAL CRUZADA EN 5 GENOTIPOS DE PITAHAYA) TRANSIMPORT S.A					Finca: _____ Propietario: _____ Fecha: _____				Ciclo agrícola: _____ Código: _____							
N° de Plantas	Flores polinizadas por planta Receptor de Polen(Madre)/Donante de Polen (Padre)				Flores polinizadas por planta Receptor de Polen(Madre)/Donante de Polen (Padre)				Flores polinizadas por planta Receptor de Polen(Madre)/Donante de Polen (Padre)				Flores polinizadas por planta Receptor de Polen(Madre)/Donante de Polen (Padre)			
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																

**Anexo 9.** Hoja de muestreo para la autopolinización manual en 5 genotipos de pitahaya.

HOJA DE MUESTREO (AUTOPOLINIZACIÓN MANUAL EN 5 GENOTIPOS DE PITAHAYA) TRANSIMPORT S.A					Finca: _____ Propietario: _____ Fecha: _____				Ciclo agrícola: _____ Código: _____							
N° de Plantas	Flores polinizadas con polen de la misma variedad Receptor de Polen(Madre)/Donante de Polen (Padre)				Flores polinizadas con polen de la misma variedad Receptor de Polen(Madre)/Donante de Polen (Padre)				Flores polinizadas con polen de la misma variedad Receptor de Polen(Madre)/Donante de Polen (Padre)				Flores polinizadas con polen de la misma variedad Receptor de Polen(Madre)/Donante de Polen (Padre)			
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																

**Anexo 10.** Cultivo de pitahaya en la Finca el Socorro.



**Anexo 11.** Floración del cultivo de pitahaya en la finca el Socorro.



**Anexo 12.** Colecta y almacenamiento de polen



a) Colecta de Polen



b) Polen almacenado



c) Campana de vacío y Bomba de succión

**Anexo 13.** Embolsado de flores luego de la polinización y etiquetado.



**Anexo 14.** Amare de frutos.

