

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE PROPAGACIÓN POR ESQUEJE A  
DIFERENTES CORTES EN EL CULTIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus spp*) EN EL  
MUNICIPIO ENTRE RÍOS, PROVINCIA O'CONOR, TARIJA.**

**SILVIA MAGALY PACO RIOS**

**La Paz - Bolivia**

**2024**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE PROPAGACIÓN POR ESQUEJE A  
DIFERENTES CORTES EN EL CULTIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus spp*) EN EL  
MUNICIPIO ENTRE RÍOS, PROVINCIA O'CONOR, TARIJA.**

*Tesis de grado presentado como requisito  
Para optar el título de  
Ingeniero agrónomo*

**SILVIA MAGALY PACO RIOS**

**Asesor:**

Ing. M.Sc. Marcelo Tarqui Delgado

**Tribunal examinador:**

Ing. M. Sc. Carlos López Blanco

Ing. Esther Tinco Mamani

Ing. Limbert Telesforo Laura Huanca

Presidente de tribunal examinador

**LA PAZ-BOLIVIA**

**2024**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres*

*Enrique Paco Castillo y Angélica Ríos Garnica quienes con mucho esfuerzo y sacrificio supieron brindarme su apoyo incondicional en todo momento.*

*A mis hermanos:*

*Yvan, Jhaneth y Lucio.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía – Carrera Ingeniería Agronómica, por la formación profesional impartida por los docentes y auxiliares de docencia.

A mi asesor Ing. M. Sc. Marcelo Tarqui Delgado por el asesoramiento, colaboración con su experiencia profesional y la confianza brindada para que este trabajo se realice de la mejor manera posible.

A los tribunales revisores: Ing. M. Sc. Carlos López Blanco, Ing. Esther Tinco Mamani e Ing. Limbert Telesforo Laura Huanca, el tiempo dedicado a la revisión del trabajo de investigación, por las correcciones y sugerencias realizadas para que este estudio se concluya satisfactoriamente.

A mis padres Enrique Paco Castillo y Angélica Ríos Garnica por todo el esfuerzo que implica mi crianza y educación, por forjar buenos valores en mí y por impulsar todos los días mi educación hasta lograr mi profesionalización, por persistir y no desfallecer en sus objetivos de lograr un hogar estable y desear para sus hijos una vida plena hermanos.

A mi familia paterna: Mario Paco Castillo por su constante apoyo, estímulo y sabios consejos durante este proceso de investigación, gracias por estar siempre presente y por ser un modelo a seguir.

A mi familia materna: Marcelo Ríos Garnica por todo el apoyo incondicional que me brinda.

## ÍNDICE GENERAL

|                       |      |
|-----------------------|------|
| ÍNDICE DE FIGURA..... | iv   |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | v    |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | vi   |
| RESUMEN.....          | vii  |
| SUMMARY.....          | viii |

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |   |
|--|---|
| 1. INTRODUCCIÓN.....                             | 1 |
| 1.1 Planteamiento de problema.....               | 2 |
| 1.2 Justificación.....                           | 2 |
| 2. OBJETIVOS.....                                | 3 |
| 2.1. Objetivo general.....                       | 3 |
| 2.2. Objetivos específicos.....                  | 3 |
| 3. REVISION BIBLIOGRÁFICA.....                   | 4 |
| 3.1. Origen.....                                 | 4 |
| 3.2. Clasificación taxonómica.....               | 4 |
| 3.3. Clasificación morfológica general.....      | 4 |
| 3.3.1. Raíz.....                                 | 5 |
| 3.3.2. Tallos.....                               | 5 |
| 3.3.3. Flor.....                                 | 5 |
| 3.3.4. Fruto.....                                | 6 |
| 3.4. Fisiología.....                             | 6 |
| 3.4.1. Fotosíntesis.....                         | 7 |
| 3.4.2. Metabolismo de las crasuláceas (CAM)..... | 8 |
| 3.5. Crecimiento vegetativo.....                 | 9 |
| 3.6. Propagación de la pitahaya.....             | 9 |

|   |    |
|---|----|
| 3.6.1. Propagación asexual.....   | 10 |
| 3.6.2. Esqueje .....  | 10 |
| 3.7. Fisiología de enraizamiento .....  | 11 |
| 3.7.1. Bases anatómicas y fisiológicas para la formación de raíces .....      | 12 |
| 3.7.2. Formación de raíces adventicias .....                                  | 12 |
| 3.7.3. Formación de callo .....   | 13 |
| 3.7.4. Rol de las hormonas en el enraizamiento.....                           | 13 |
| 3.8. Condiciones ambientales durante el enraizamiento.....                    | 14 |
| 3.8.1. Temperatura .....  | 14 |
| 3.8.2. Luz.....   | 15 |
| 3.9. Fototropismo.....  | 15 |
| 3.10. Geotropismo .....   | 16 |
| 3.11. Fotoperiodo.....  | 16 |
| 3.12. Estrés en plantas .....   | 17 |
| 3.13. Sustratos utilizados .....  | 18 |
| 3.13.1. Sustrato.....   | 18 |
| 3.13.2. Arena.....  | 18 |
| 3.13.3. Aserrín.....  | 19 |
| 3.14. Enfermedades en el proceso de propagación .....                         | 19 |
| 3.14.1. Pudrición del tallo de la pitahaya ( <i>Fusarium oxysporum</i> )..... | 19 |
| 3.14.2. Ojo de pez ( <i>Botryosphaeria dothiorella</i> ) .....                | 20 |
| 3.14.3. Pudrición acuosa del cladodio ( <i>Pseudomonas spp</i> ) .....        | 20 |
| 3.14.4. Antracnosis ( <i>Colletotrichum spp</i> ).....                        | 20 |
| 4. LOCALIZACIÓN .....   | 21 |
| 4.1. Características generales de la zona de estudio.....                     | 22 |
| 4.1.1. Clima .....  | 22 |
| 4.1.2. Topografía.....  | 22 |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 23 |
| 5.1. Método .....   | 23 |

|  |    |
|--|----|
| 5.1.1. Metodología de investigación .....            | 23 |
| 5.1.2. Selección de sitio de estudio .....           | 23 |
| 5.1.3. Preparación y desinfección del sustrato ..... | 24 |
| 5.1.4. Recolección y selección de esquejes.....      | 24 |
| 5.1.5. Corte y cicatrización de los esquejes .....   | 25 |
| 5.2. Diseño experimental.....                        | 26 |
| 5.2.1. Modelo lineal aditivo.....                    | 26 |
| 5.2.2. Croquis experimental .....                    | 28 |
| 5.3. Variables de respuesta .....                    | 29 |
| 5.3.1. Variables agronómicas.....                    | 29 |
| 5.3.2. Porcentaje de enraizamiento .....             | 29 |
| 5.3.3. Análisis económico.....                       | 30 |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                      | 32 |
| 6.1. Número de raíces .....                          | 32 |
| 6.2. Longitud de raíz .....                          | 34 |
| 6.3. Volumen radicular.....                          | 36 |
| 6.4. Porcentaje de enraizamiento .....               | 39 |
| 6.5. Costos de producción.....                       | 40 |
| 7. CONCLUSIONES.....                                 | 44 |
| 8. RECOMENDACIONES .....                             | 46 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA.....                                 | 47 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Clasificación taxonómica de la pitahaya roja .....           | 4  |
| <b>Figura 2.</b> Ubiación geográfica del area de estudio .....                | 25 |
| <b>Figura 3.</b> Tipos de cortes en esquejes de pitahaya .....                | 28 |
| <b>Figura 4 .</b> Croquis experimental en ambiente externo con sustrato. .... | 28 |
| <b>Figura 5.</b> Croquis experimental en ambiente oscuro sin sustrato.....    | 36 |
| <b>Figura 6.</b> Longitud de la raíz. ....                                    | 38 |
| <b>Figura 7.</b> Volumen radicular (cm <sup>3</sup> ) a los 45 días .....     | 39 |
| <b>Figura 8.</b> Porcentaje de enraizamiento.....                             | 39 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Análisis de varianza para número de raíces.....                            | 34 |
| <b>Tabla 2.</b> Análisis de varianza de efecto simple para número de raíces.....           | 37 |
| <b>Tabla 3.</b> Prueba de medias para número de raíces.....                                | 34 |
| <b>Tabla 4.</b> Análisis de varianza para longitud de raíces.....                          | 34 |
| <b>Tabla 5.</b> Prueba de medias para los cortes .....                                     | 35 |
| <b>Tabla 6.</b> Prueba de medias para con / sin sustrato.....                              | 35 |
| <b>Tabla 7.</b> Análisis de varianza para el volumen radicular (en gr a los 45 días) ..... | 37 |
| <b>Tabla 8.</b> Prueba de medias para el volumen radicular del factor B .....              | 37 |

## ÍNDICE DE ANEXO

- Anexo 1.** Longitud de raíz de tratamientos sin sustrato
- Anexo 2.** Longitud de raíz a los 15 días del bloque II
- Anexo 3.** Número de raíz a los 15 días bloque I
- Anexo 4.** Número de raíz a los 15 días del bloque III
- Anexo 5.** Numero de raiz a los 30 dias en tratamiento con sustrato
- Anexo 6.** Numero de raiz a los 30 dias en tratamiento sin sustrato
- Anexo 7.** Ubicación de las bolsas con sustrato
- Anexo 8.** Instalacion de tratamientos en parcela con sustrato
- Anexo 9.** Preparacion de esquejes para parcela sin sustrato
- Anexo 10.** Ubicacion de esquejes en parcela sin sustrato
- Anexo 11.** Desinfeccion y limpieza de esquejes
- Anexo 12.** Corte de la base en los esquejes
- Anexo 13.** Costos de producción

## RESÚMEN

La propagación por esquejes es una técnica utilizada en la producción de plantas, y su aplicación en el cultivo de pitahaya ha sido objeto de estudio. Este trabajo de tesis se enfocó en evaluar la eficacia de diferentes métodos de propagación por esquejes y los diferentes cortes en cladodios de pitahaya.

Bolivia forma parte de un importante centro de diversidad de cactáceas, posee alrededor de 47 géneros y 229 especies siendo endémicas el 55%, la mayoría de los hogares en Bolivia buscan la diversificación en la agricultura empleando actividades para minimizar los riesgos propios de la producción agrícola-pecuaria, también tratando de maximizar los ingresos económicos.

Como objetivo de esta investigación fue evaluar variables agronómicas de los tratamientos propuestos, calcular el porcentaje de enraizamiento de los esquejes de pitahaya y analizar los costos de la producción en la propagación, la investigación se llevó a cabo en la provincia Bourdet Oconor provincia de Entre Ríos, Tarija.

Se desarrolló bajo un Diseño de Bloques Completo al Azar con arreglo Bifactorial en parcelas divididas (4x2); dos métodos de propagación con/sin sustrato, 3 cortes (ápice y base, solo base y solo ápice) y el testigo, por lo que se obtuvo 8 tratamientos, 3 bloques y 24 unidades experimentales, cada una con 10 esquejes (repeticiones) haciendo un total de 240 plantas. Para el análisis estadístico se evaluaron los siguientes parámetros: variables agronómicas (número de raíces, longitud de raíz, volumen radicular), porcentaje de enraizamiento y análisis económico para la producción de esquejes de pitahaya.

Llegando a las siguientes conclusiones: para las variables agronómicas se observó diferencias significativas en el número de raíces, existiendo interacción entre los diferentes cortes y el uso o no de sustrato por lo que, el T3 (corte en ápice + sustrato) a los 45 días tiene mayor representatividad con 9 raíces y el T8 (corte en ápice y base + sin sustrato) con 4 raíces. En cuanto la longitud se registró que el T1 (testigo + sustrato) 4,68 centímetros siendo el más representativo ante los demás ; para el Porcentaje de enraizamiento a los 15 días el T2 (corte en base + sustrato) y T3 (corte

en ápice + sustrato) tienen el 77,78% de enraizamiento, a los 30 días sobre sale el T7 (corte en ápice) tiene el 90,90%, finalmente a los 45 días los tratamientos T2 (corte en base + sustrato), T4 (corte en base y ápice + sustrato), T6 (corte en base), T7 (corte en ápice) con el 90,90% de enraizamiento. Para el análisis económico realizado aquellos tratamientos sin sustrato tuvo un costo de 1297 Bs. para la parte experimental y para 1 ha 16,920 Bs. considerando que los esquejes salen en 30 días, y al T7 (corte en ápice) donde se llevaría directo a campo, tenemos el Beneficio/Costo con un valor de 2,23 Bs. tomando en cuenta el precio de las plantas de pitahaya en el mercado a 35 bs. Aquellos tratamientos con sustrato para la parte experimental se tuvo un costo de 1819 Bs. Y para 1 hectárea asciende a 18,190 Bs. considerando el tiempo en vivero de 15 días por tanto se consideraría a los tratamientos T2 (corte en base y sustrato) y T3 (corte en ápice + sustrato) teniendo el Beneficio/Costo de 1,30 Bs.

## SUMARY

Pitahaya (*Hylocereus spp.*) commonly known as "Dragon Fruit" is an exotic fruit, whose reputation is spreading throughout the world. Its popularity is due to its nutritional physicochemical characteristics and its bioactive compounds, considering it as a functional food, being widely used for its excellent organoleptic characteristics and for its added commercial value.

Bolivia is part of an important center of cactaceous diversity, it has around 47 genera and 229 species, 55% of which are endemic. Most households in Bolivia seek diversification in agriculture using activities to minimize the risks of agricultural production -Livestock, also trying to maximize economic income.

The objective of this research work was to evaluate agronomic variables of the proposed treatments, calculate the rooting percentage of pitahaya cuttings and analyze the costs of production in the propagation of pitahaya cuttings. The investigation was carried out in the Bourdet Oconor province of Entre Ríos, Tarija.

The present work was developed under a complete randomized block design with a bifactorial arrangement in divided plots (4x2); two propagation methods with/without substrate, 3 cuts (apex and base, only base and only apex) and the control, for which 8 treatments were obtained, 3 blocks in which each experimental unit had 10 cuttings making a total of 240 plants. For the statistical analysis the following parameters were evaluated: number of roots, root diameter, root length, root volume, rooting percentage.

The following conclusions were reached: for the agronomic variables, significant differences were observed in the number of roots, the interaction between the different cuts and the use or not of substrate was observed, therefore, T3 (apex cut + substrate) to 45 days is more representative with 9.09 roots and T8 (cut at apex and base + without substrate) with 3.45 roots. For the root diameter, it was observed that at 15 days T1 (control + substrate) with 1.50 mm and at 45 days T4 (apex cut + substrate) with 2.03 mm considering the treatment with the best result. Regarding the length, it was recorded that the T1 (control + substrate) 4.68cm being the most representative before the others. -Percentage of rooting at 15 days T2 (base cut + substrate) and T3 (apex cut + substrate) have 77.78% rooting, at 30 days on leaves T7 (apex cut) has

the 90.90%, finally at 45 days the treatments T2 (cut at base + substrate), T4 (cut at base and apex + substrate), T6 (cut at base), T7 (cut at apex) with 90.90 % rooting. For the economic analysis carried out, those treatments without substrate had a cost of 1895 bs for the experimental part and for 1 ha 16,920 bs considering that the cuttings come out in 30 days, and at T7 (apex cut) where it would be taken directly to the field, we have the Benefit/Cost with a value of 2.23 bs taking into account the price of pitahaya plants in the market at 35 bs. Those treatments with substrate for the experimental part had a cost of 1297 bs, for 1 hectare it amounts to 18,190 Bs. considering the time in the nursery of 15 days, therefore the treatments T2 (base and substrate cut) and T3 (cut in apex + substrate) having the Benefit/Cost of 1,30 Bs.

## 1. INTRODUCCIÓN

La pitahaya (*Hylocereus spp.*) comúnmente conocida como “Fruta del Dragón” es una fruta exótica, cuya reputación se está extendiendo en todo el mundo. Su popularidad se debe a sus características fisicoquímicas nutricionales y sus compuestos bioactivos considerándolo como un alimento funcional, siendo ampliamente utilizado por sus excelentes características organolépticas y por su valor comercial agregado (Verona *et al.*, 2020).

Se produce en regiones subtropicales y tropicales de América Latina, en estado silvestre se puede encontrar en ciertos países como México, Venezuela, Colombia, Brasil, Costa Rica y Ecuador, especialmente en la provincia de Morona Santiago cantón Palora. Además de los países antes nombrados se puede encontrar especies cultivadas de Pitahaya en Bolivia, Panamá, Curazao, Uruguay, Perú y Vietnam (Santarrosa, 2013).

Bolivia forma parte de un importante centro de diversidad de cactáceas, posee alrededor de 47 géneros y 229 especies siendo endémicas el 55% (Kiesling R, 2014), la mayoría de los hogares en Bolivia buscan la diversificación en la agricultura empleando actividades para minimizar los riesgos propios de la producción agrícola-pecuaria, también tratando de maximizar los ingresos económicos (Horacio V., 2007).

Si bien es una fruta exótica conocida a nivel internacional se muestra prominente, habiendo un desarrollo acelerado y la producción se va ampliando de forma gradual como en las ciudades de Santa cruz (Cotoca, San Julian, Ovispo Santiamén, Urubo), Cochabamba (Trópico), Beni, La paz, Sucre y Tarija (Bermejo, Villa montes, Chaco) y otros países que comparten la Amazonía con Bolivia: principalmente en Perú, Colombia y Brasil; el mercado nacional puede ser conquistado por esta fruta por ser un cultivo de tierras inundadizas le hace poca competencia a otras actividades del sector agropecuario (Macia, 2003).

La Pitahaya es un fruto de bajo valor calórico, ya que cuenta con pequeñas cantidades de hidratos de carbono (9,20 g por cada 100 g de pulpa comestible), en su composición destaca el contenido de vitamina C, vitamina que interviene en la

formación de colágeno, glóbulos rojos, huesos y dientes; además favorece en la resistencia a las infecciones, absorción del hierro de los alimentos y tiene acción antioxidante (Ruiz *et al.*, 2020).

Estas plantas tienen características del uso eficiente del agua (con eficiencias de cinco a diez veces mayores que los cultivos convencionales), lo que ocasiona que el requerimiento de agua sea bajo, esta característica se debe a la vía fotosintética de esta familia, la vía del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM). Donde los estomas se abren de noche y capturan el dióxido de carbono cuando la transpiración es baja (Nerd & Mizrahi, 1999).

### **1.1 Planteamiento de problema**

Los problemas que enfrentan los agricultores de Bolivia principalmente por el cambio climático y condiciones adversas como: lluvias tardías, variación de temperatura, plagas, por otra parte los productos agrícolas de contrabando de otros países afectan a la economía de los productores, de esta manera se propone como alternativa la producción de pitahaya, en la actualidad sus características morfo agronómicas, usos y aplicaciones presenta un grado de desconocimiento entre la población. El cual la creciente demanda por ser una fruta exótica en el mercado globalizado convierte a la pitahaya en un cultivo de importancia económica, incrementando la diversidad de los frutales cultivados, lo cual puede ser usado para los sistemas agrícolas sustentables.

### **1.2 Justificación**

La presente investigación radica la importancia de los cultivos no tradicionales como una alternativa rentable y sostenible para el sector agrícola, así mismo para atenuar algunos problemas en la agricultura, como oferta y demanda de productos en el mercado, limitado acceso a tierras, suelos escasos, riego y otros problemas que se tiene en nuestro país, por lo que a través de la presente investigación se pretende brindar información de la producción de pitahaya siendo un cultivo con gran adaptabilidad a las condiciones climáticas, edafológicas en zonas con restricciones para otros cultivos, mediante métodos de propagación.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar los métodos de propagación por esqueje a diferentes cortes en el cultivo de pitahaya (*Hylocereus spp*).

### **2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar variables agronómicas de los tratamientos propuestos en la investigación.
- Determinar el porcentaje de enraizamiento en cuanto el sustrato o corte en esquejes de pitahaya.
- Analizar los costos de producción en la propagación de esquejes de pitahaya.

### 3. REVISION BIBLIOGRAFICA

#### 3.1. Origen

A nivel mundial la familia de las cactáceas está constituida por cerca de 2000 especies las mismas que se encuentran distribuidas en el continente Americano y Asiático (Jimenez, 2011). En Asia la pitahaya se presenta en países como Vietnam, Malasia, Tailandia y Taiwán principalmente. Esta familia originaria de América Latina posee gran diversidad y endemismo, está presente en países como: México, Guatemala, Honduras, Costa Rica, Brasil, Bolivia, Colombia y Ecuador (Delgado, 2010).

#### 3.2. Clasificación taxonómica

**Figura 1.** Clasificación taxonómica de la pitahaya roja

|                        |
|------------------------|
| Reino: Plantae         |
| División: Tracheophyta |
| Clase: Magnoliopsida   |
| Orden: Caryophyllales  |
| Familia: Cactácea      |
| Género: Hylocereus     |
| Especie: spp           |

Fuente: Sistema integrado de información taxonómica-informe (ITIS, 2020).

#### 3.3. Clasificación morfológica general

La pitahaya como especie xerofítica, adaptada a ambientes secos y áridos ha desarrollado mecanismos encaminados a favorecer la captación de agua (aparatos radicales muy grandes, con gran desarrollo horizontal), evitar su pérdida por transpiración (órganos aéreos con reducidas o gruesas cutículas; bajo número de estomas por unidad de superficie, entre otras) o favorecer su acumulación gracias al desarrollo del parénquima acuífero, lo que se manifiesta prácticamente en la consistencia carnosas casi general de los órganos aéreos (Manzano, 2008).

### **3.3.1. Raíz**

Las raíces adventicias basales nacen en la parte del tallo que está dentro del suelo, son largas, delgadas y ramificadas que se distribuyen superficialmente en el suelo. Las raíces adventicias aéreas aparecen indistintamente a lo largo de los tallos, le sirven para fijarse como soporte y algunas de ellas llegan al suelo, con lo que amplían el área de absorción de humedad y nutrientes. Las pitahayas propagadas vegetativamente (por segmento de tallo) tienen los dos tipos de raíces adventicias, pero carecen de raíz principal (Castillo *et al.*, 1996; Rodríguez, 1997; citado por (Corres, 2006).

De acuerdo con Infoagro (2015), la pitahaya presenta dos tipos de raíces los cuales se describen a continuación:

- Las raíces primarias forman un sistema de raíces delgadas y superficiales con función de absorción.
- Las raíces secundarias o adventicias se desarrollan en la parte aérea con función de sostén.

### **3.3.2. Tallos**

Es de color verde y con una estructura denominada filocladio, posee tres lóbulos los cuales forman una estructura triangular del tallo que presentan areola con 3 a 4 espinas (Vásquez y Bacalla, 2018).

Los tallos son cladodios que realizan la fotosíntesis, el grosor es muy variado de 4 a 10 cm dependiendo del clima y la exposición a la luz de naturaleza. Tiene tres aristas de forma cóncava la cual hace que el agua que cae de la lluvia llegue con facilidad a sus raíces aéreas o al suelo. Está compuesta por espina llamadas areolas que viene a ser las hojas modificadas que pueden ser dos o tres, su función es de protección a la planta y evitar la deshidratación (López y Miranda, 2002).

### **3.3.3. Flor**

Las flores son hermafroditas y actinomorfas, se insertan directamente sobre los tallos, tienen forma tubular, son grandes de 20 a 40 cm de longitud y hasta 25 cm en su diámetro mayor, muy vistosas resultando atractivas para los polinizadores y

fundamentalmente murciélagos en el caso de las pitahayas rojas, abren solamente en una ocasión en la noche, aparecen en general solitarias y presentan un periantio heteroclamídeo. El verticilo sexual masculino lo integran numerosos estambres dispuestos en espiral que producen pólenes tricolpados, el gineceo es ínfero con numerosos carpelos soldados en un ovario unilocular que se prolonga en un único estilo y que contiene numerosos primordios seminales crasinucelados y bigtégmicos, con largos funículos y placentación basal o parietal, con una cámara nectarial, brácteas completamente verdes o verdes con orillas rojas y pétalos blancos, amarillos o rosado (Manzano, 2008).

#### **3.3.4. Fruto**

Es una baya con forma oval, redondeada o alargada que puede variar desde 6 a 12 cm de diámetro y su peso desde 150 gramos hasta 450 gramos. La cascara tiene brácteas escamosas, la cantidad y tamaño de las brácteas depende de la variedad, el color del fruto varia de rosa a purpura, amarillo. El rojo con pulpa roja con la cascara conteniendo brácteas de cantidad, color y tamaño variado, abundante semilla pequeñas distribuidos en toda la pulpa (López y Miranda, 2002).

#### **3.4. Fisiología**

Las cactáceas se caracterizan por su adaptación a lugares áridos-semiáridos debido a que han sufrido una modificación de su anatomía, fisiología y morfología durante su evolución (Lopez, 2002).

Según (Lorca, 2019), estas plantas han modificado algún órgano o tejido para permitir el almacenamiento de agua en cantidades mucho mayores que en el resto de las plantas, esta adaptación les permite mantener reservas de agua durante periodos prolongados y sobrevivir en entornos áridos y secos que otras plantas encuentran inhabitables. Las partes suculentas en su mayoría formadas por tejidos parenquimatoso, son un tipo de reservas que las independiza de un periodo de estrés predecible.

El tejido externo (epidermis) de los cladodios de las cactáceas está compuesto por una sola capa de células recubiertas de cutina y cumplen las siguientes funciones:

- Retención de agua dentro del cuerpo de la planta
- Protección contra insectos, enfermedades y de la luz intensa.
- Controla el intercambio gaseoso.
- La mayoría de las cactáceas utilizan el mecanismo de las crasuláceas (CAM), para la fijación del CO<sub>2</sub> atmosférico (Lopez, 2002).

### 3.4.1. Fotosíntesis

Todos los organismos con capacidad fotosintética contienen uno o más pigmentos capaces de absorber radiación que desencadenan las reacciones fotoquímicas de la fotosíntesis (Lira *et al.*, 2007), La fotosíntesis es un proceso que ocurre en 2 fases:

La primera fase es un proceso que depende de la luz, ya que se necesita energía directa para producir energía química y reductora para ser aplicadas en la segunda fase. La fase oscura o independiente de luz, se ejecuta cuando los productos de las reacciones de luz son aplicadas para formar enlaces covalentes Carbono-Carbono (C-C), de los carbohidratos mediante el ciclo de Calvin-Benson, este proceso se realiza en los cloroplastos de las células (Shimizu *et al.*, 2015).

En el caso del Agave, acumula CO<sub>2</sub> durante la noche para su uso en el día en la fotosíntesis y así conservar el agua acumulada en las hojas, durante el día se producen temperaturas muy altas que exponen a las plantas a una pérdida de agua muy alta a través de los estomas abiertos con respecto a la pérdida que se da por la noche, de esta forma la ruta metabólica CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas) es crucial para la conservación de agua de la mayoría de las agaves y cactáceas (Nobel *et al.*, 2008). En teoría las plantas CAM funcionan con esta vía fotosintética estando en condiciones de estrés y cambian a la vía metabólica (C<sub>3</sub>) si no existen tales condiciones limitantes (Pedroza *et al.*, 2006).

En época de lluvias y con temperaturas bajas, la mayoría de las plantas CAM toman el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a través de los estomas abiertos durante el día, el CO<sub>2</sub> adquirido durante el día lo fija la rubisco al igual que se fija el CO<sub>2</sub> que toman las plantas C<sub>3</sub> durante el día (Nobel *et al.*, 2008).

### 3.4.2. Metabolismo de las crasuláceas (CAM)

Las plantas CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas) además de inhibir la fotorespiración, sus adaptaciones evolucionaron para tolerar el estrés hídrico severo, ya que se caracterizan por la succulencia de tejidos o succulencia celular, disminución drástica de órganos fotosintéticos, cierre estomático diurno que evita la pérdida de agua presencia de sistemas radicales extensivos, etc. Aproximadamente el 7% de las plantas vasculares tienen la ruta metabólica CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas), donde destacan plantas que habitan en zonas cálidas y secas como los desiertos, seguido de especies de zonas tropicales y subtropicales, así como plantas acuáticas (Intagri, 2018).

- Por la noche: se forma en las células fotosintéticas el receptor primario de CO<sub>2</sub>, fosfoenol-piruvato (PEP). Después las plantas abren sus estomas para que el CO<sub>2</sub> del ambiente sea fijado por la enzima PEP carboxilasa (PEPC) en el citosol y se da lugar a la síntesis del ácido málico. Posteriormente el ácido málico (como ion malato) es almacenado en la vacuola central de las células fotosintéticas.
- Durante el día: las plantas CAM no abren sus estomas, pero al interior de las células se da la liberación del malato de la vacuola hacia el citosol, inmediatamente se da paso a la descomposición (descarboxilación) del malato en el citosol para liberar el CO<sub>2</sub> y permitir la formación de compuestos de tres carbonos (piruvato o PEP) y finalmente el CO<sub>2</sub> entra al ciclo de Calvin (Intagri, 2018).

Los estomas de las CAM permanecen abiertos durante la noche y cerrados en el día para evitar pérdidas de agua por transpiración y reducir la fotorespiración manteniendo el nivel de CO<sub>2</sub> en el interior de la planta; son adaptaciones principalmente a condiciones ambiente desérticas por lo cual son alrededor de 5 veces más eficientes en el uso de agua. Sin embargo, las plantas CAM se comportan como plantas C<sub>3</sub> si el suministro de agua y las condiciones ambientales son adecuados (Intagri, 2018).

### **3.5. Crecimiento vegetativo**

Bajo condiciones de crecimiento natural, el desarrollo de los tallos está muy relacionado con las lluvias, tanto en los lugares donde las estaciones de sequía y precipitación son muy marcadas como en donde están menos definidas, la brotación vegetativa abundante ocurren cuando las lluvias son más intensas y prolongadas. No obstante, hay brotación menos abundantes prácticamente a lo largo de todo el año, también como respuesta principalmente a las lluvias. El crecimiento vegetativo está afectado por varios factores; la falta de humedad y las bajas temperaturas tienen una influencia muy importante, de tal manera que en los periodos en que estos factores ambientales disminuyen a lo largo del año, también el crecimiento de los tallos es menor o se detiene. El periodo en que el crecimiento vegetativo es más afectado es de octubre a abril, pero marzo y abril son los meses más desfavorables. El crecimiento vegetativo se favorece por cierta cantidad de sombra, pero un sombreado excesivo produce tallos delgados con una coloración verde oscura (Castillo *et al.*, 2016).

### **3.6. Propagación de la pitahaya**

La especie de pitahaya se puede propagar de 3 formas a través de semillas (sexual), estacas (asexual) y la micro propagación en laboratorios, pero la propagación por estacas es la más recomendada por qué se puede alcanzar mayor cantidad de raíces, como también la propagación *in vitro* es otra alternativa para alcanzar más plantas (Montesinos *et al.*, 2015).

La propagación a través de los tallos, esquejes o cladodios de manera natural cada tallo es separado para ser una nueva planta a través del trasplante directo en el terreno definitivo o también son colocados en bolsas con sustrato hasta que se formen raíces para poder ser llevados al campo. La reproducción por medio de semillas, diseminadas por aves y otros animales; fundamentalmente murciélagos en el caso de las pitahayas rojas; no obstante, para fines de cultivo, la propagación sexual no es recomendable, ya que las plantas requieren demasiados cuidados en tanto se trasplantan y tardan de cuatro a seis años en llegar a su etapa reproductiva, pero sí es muy utilizada en la investigación científica (Montesinos *et al.*, 2015).

### **3.6.1. Propagación asexual**

La propagación asexual es el más fácil para propagar cactáceas y consiste en fragmentar un tallo en varios trozos, que deben dejarse cicatrizar en un lugar seco y ventilado (Trevizan et al., 2018).

Es el método más utilizado por los productores, el cual mediante corte de los tallos, sencillo y rápido los manejos para la formación de plantas. Este método de propagación tiene la ventaja de una producción precoz, uniformidad de cultivo, manteniendo su valor agronómico. Facilidad de propagación y fácil de realizar sus manejos culturales los cuales tiene excelente desempeño reproductivo (Galvão *et al.*, 2016).

La propagación vegetativa o asexual se utiliza para producir una planta que posea el mismo genotipo que la planta madre (planta donadora) y esto es posible porque todas las células de una planta poseen la información necesaria y/o suficiente para reproducir la planta entera. En la multiplicación por estacas solo es necesario que un nuevo sistema de raíces adventicias se desarrolle, ya que la estaca posee yemas con aptitud potencial para desarrollar nuevos vástagos (Hartmann y kester, 1998).

### **3.6.2. Esqueje**

Los esquejes son un método de reproducción que resulta muy útil para las plantas que producen pocas semillas y para aquellas que son difíciles de cultivar a partir de semilla. Las plantas obtenidas a partir de esquejes conservan todas las características de su progenitor, además con este método se puede obtener gran cantidad de plantas a partir de un único ejemplar (Irizarry, 2015).

Son fragmentos de plantas separadas con una finalidad reproductiva, estas pueden ser tallos, hojas y raíces que regeneraran una nueva planta. Pueden cortarse fragmentos de tallos e introducirlos en la tierra para producir raíces, las plantas enraizadas de esta manera serán idénticas a sus progenitores, es decir formaran con ellas un clon. Un clon es de plantas que contienen igual material genético que la planta madre (Irizarry, 2015).



### **3.7. Fisiología de enraizamiento**

Para explicar el proceso de inducción de raíces, normalmente se recurre a la teoría de la rizocalina de Bouillene. Esta teoría postulada en 1955, establece que un compuesto fenólico específico (posiblemente dihidroxifenol) actúa como cofactor del enraizamiento. Este cofactor es producido en las hojas y yemas de la estaca y posteriormente traslocado a la región de enraizamiento, donde en presencia de un factor no específico es traslocado, encontrándose en condiciones bajas en los tejidos (la auxina), y de una enzima específica localizada en las células de ciertos tejidos (polifenol-oxidasa), completan un complejo (la rizocalina), que actúa como estimulante de la rizogénesis (Bonga, 1982; citado por Gutiérrez, 2012).

Los factores que componen este complejo junto a otros determinantes de naturaleza endógena y ambiental, harían posible el enraizamiento mientras que la ausencia de alguno de ellos lo impediría. Los polímeros de dihidroxifenol actuarían como un protector de la auxina (la cual se puede oxidar en presencia de luz de baja intensidad), teniendo como función mantener los tejidos en un estado de reducción. Esto significa que ellos actúan como antioxidantes, pudiendo mantener bajo el potencial redox (óxido- reducción), lo que es una condición asociada y propia de las etapas juveniles, la que a su vez es la condición más favorable para el enraizamiento. Posteriormente se obtuvo evidencia de que la auxina al formar un complejo con un determinado factor móvil desconocido, podría inducir la formación de raíces, lo que coincidía con lo propuesto por Bouillene, afirmándose que la auxina misma produce la desdiferenciación celular y determina el sitio de formación de las raíces. Normalmente se ha señalado a la auxina como el factor cuya acción inductora desencadena la secuencia de etapas que culminan con la rizogénesis. Efectivamente en especies fáciles de enraizar se ha observado que la aplicación exógena de una auxina sintética, incrementa sustancialmente el movimiento de carbohidratos, compuestos nitrogenados y otros desde el ápice hacia la base de la estaca favoreciendo el fenómeno de rizogénesis (Celestino, 1985; Puri y Khara, 1992; Gutierrez, 2012). Por otra parte, se reconoce que el efecto regulador de crecimiento depende tanto de la especie como del grado de madurez del árbol o del órgano desde donde se extrae la estaca.

### **3.7.1. Bases anatómicas y fisiológicas para la formación de raíces**

En la propagación por estacas leñosas y por estacas con yema foliar es necesario que se forme un nuevo sistema de raíces adventicias, ya que existe un sistema caulinar en potencia (Hartmann, 1998; Corres, 2006).

### **3.7.2. Formación de raíces adventicias**

Las raíces adventicias son de dos tipos: las raíces preformadas y las raíces de lesiones. Las primeras se desarrollan naturalmente en los tallos o ramas cuando todavía están adheridas a la planta madre pero que no emergen sino hasta después que se corta la porción del tallo. Las raíces de lesiones se desarrollan sólo después que se ha hecho la estaca, una respuesta al efecto de lesión al preparar la misma. Cuando se hace una estaca las células vivientes que están en las superficies cortadas son lesionadas, quedando expuestas las células muertas y conductoras del xilema, el proceso subsecuente de cicatrización y regeneración ocurre en tres pasos:

En primer lugar, al morir las células externas lesionadas, se forma una placa necrótica que sella la herida con un material suberoso (suberina) y tapa el xilema con goma. Esta placa protege las superficies cortadas de la desecación, a continuación las células que están detrás de esa placa empiezan a dividirse y se puede formar una capa de células de parénquima (callo). Posteriormente a esto ciertas células próximas al cambium vascular y al floema se empiezan a iniciar raíces adventicias (Hartmann; Kester, 1998). Los cambios anatómicos que pueden observarse en el tallo durante la iniciación de las raíces pueden dividirse en cuatro etapas:

- Desdiferenciación de células maduras específicas.
- Formación de células iniciales de raíz en ciertas células cercanas a los haces vasculares, las cuales se han vuelto meristemáticas por desdiferenciación.
- Desarrollo subsecuente de estas células iniciales de raíces en primordios de raíces organizados.
- Desarrollo y emergencia de los primordios radicales hacia afuera a través del tejido de tallo, más la formación de conexiones vasculares entre los primordios radicales y los tejidos conductores de la propia estaca.

En plantas leñosas perennes las cuales hay una o más capas de xilema y floema secundarios, en las estacas de tallo normalmente se originan de células de parénquima vivientes primordialmente en el xilema secundario joven, pero a veces lo hacen de otros tejidos como los radios vasculares, el cambium, el floema, las lenticelas o la médula, por lo general el origen y desarrollo de las raíces adventicias se efectúa fuera del núcleo central del tejido vascular, al salir del tallo las raíces adventicias han formado una cofia y los tejidos usuales de la raíz, usualmente se originan dentro del tallo (endógicamente) cerca del cilindro vascular fuera del cambium ( Hartmann, 1998; citado por Corres, 2006).

### **3.7.3. Formación de callo**

Cuando una estaca se coloca en condiciones ambientales favorables para el enraizamiento, se desarrolla cierta cantidad de callo en su extremo basal. El callo es una masa irregular de células meristemáticas en varios estados de lignificación y prolifera de células jóvenes que se encuentran en la base de la estaca en la región del cambium vascular, aunque también pueden contribuir células de la corteza y de la médula. Con frecuencia las primeras raíces aparecen a través del callo, conduciendo a la creencia de que la formación de callo es esencial para el enraizamiento, en la mayoría de las plantas la formación del callo y de las raíces son procesos independientes entre sí y cuando ocurren simultáneamente es debido a su dependencia de condiciones internas y ambientales similares. Sin embargo en algunas especies la formación del callo es precursora de la formación de raíces adventicias hay pruebas de que el pH del medio de enraizamiento puede influir en el tipo de callo producido, lo cual a su vez afecta la emergencia de las raíces adventicias de nueva formación (Hartmann, 1998; Corres, 2006).

### **3.7.4. Rol de las hormonas en el enraizamiento**

Para la iniciación de las raíces adventicias algunas concentraciones de materiales que ocurren naturalmente tienen una acción hormonal más favorable que otra, dentro del grupo de reguladores del crecimiento las auxinas son las que ejercen mayor efecto en la formación de raíces adventicias en estacas, posteriormente se demostró que el ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenacético (NAA) aunque no

sean de ocurrencia natural, eran aún más efectivos para éste propósito que el ácido indolacético de ocurrencia natural. Se ha confirmado muchas veces que la auxina natural o aplicada artificialmente es un requerimiento para la iniciación de raíces adventicias en presencia de auxina, ya sea exógena o endógena (Hartmann, 1998).

Las auxinas son esenciales en el proceso de enraizamiento posiblemente porque estimulan la síntesis de etileno el cual a su vez favorece la emisión de raíces. Los niveles de ácido indolacético (AIA) en la planta son variables conforme a la velocidad de las reacciones de síntesis destrucción e inactivación que a su vez es afectada por algunos factores, tales como:

- La edad fisiológica del órgano y de la planta.
- Condiciones ambientales, en plantas perennes de clima templado, los mayores niveles de auxina son encontrados en primavera y en verano.
- Parte de la planta, las concentraciones de ácido indolacético (AIA) son mayores en las zonas de síntesis (regiones de crecimiento activo) y son muy bajas en tejidos ya diferenciados (Fachinello y Nachtigal, 1992 citado por Corres, 2006).

El desarrollo de raíces se efectúa en dos períodos básicos:

- Período de iniciación, donde se forman los meristemas
- Período de elongación y crecimiento de la raíz, donde la punta de la raíz crece hacia afuera a través de la corteza (Quispe ,2013).

Las auxinas existen en forma natural en las plantas, son productos elaborados en el metabolismo vegetal. Los principales centros de síntesis de las auxinas son los tejidos apicales meristemáticos de los órganos aéreos tales como los brotes en eclosión, hojas jóvenes, pedúnculos en crecimiento, flores e inflorescencias.

### **3.8. Condiciones ambientales durante el enraizamiento**

#### **3.8.1. Temperatura**

Según Hartmann y Kester (1998); Corres (2006) expresan que temperaturas diurnas del aire entre 21 y 27 °C y temperaturas nocturnas de cerca de 15 °C resultan satisfactorias para el enraizamiento de la mayoría de las especies, lo cual coincide con

(Mainardi, 1980; Corres, 2006), señala que para promover el enraizamiento de brotes o estacas, las temperaturas deben oscilar entre 20 y 26 °C. Esta precisión en las temperaturas la explican afirmando que a menudo las variaciones de baja intensidad implican un cambio significativo en la tasa de crecimiento.

### **3.8.2. Luz**

Heede y Lecourt (1981); Guaman (2013), señalan que para el proceso de enraizamiento de estacas o brotes se debe proporcionar sombra por unos cuantos días evitando la luz directa del sol, ya que, aunque conviene mantener una cierta actividad vegetativa hay que reducir al mínimo la evapotranspiración y utilizar lo mejor posible las auxinas naturales. La luz es de importancia primaria en el enraizamiento de estacas, ya que los productos de la fotosíntesis son importantes para la iniciación y el crecimiento de las raíces. Además, informan que la intensidad y duración de la luz deben ser lo suficientemente grandes para que se acumulen más carbohidratos de los que se emplean en la respiración.

### **3.9. Fototropismo**

El fototropismo es una respuesta de la planta hacia el estímulo luminoso, los tallos crecen hacia la luz (fototropismo positivo). La raíz no necesita luz (fototropismo negativo) (Porto, 2018).

Un tropismo es una respuesta de crecimiento que implica la curvatura de una parte de la planta hacia o en sentido contrario de un estímulo externo que determina la acción del movimiento. El fototropismo es la respuesta de crecimiento de las plantas a la luz. Si es hacia la misma se denomina fototropismo positivo (las ramas) y si es en contra se denomina fototropismo negativo (raíces). Una de las respuestas más obvias y útiles de las plantas es su fototropismo positivo es decir, su curvatura hacia la luz esta respuesta de «ir hacia la luz» tiene un alto valor para la supervivencia de las plantas jóvenes. Pero el estímulo externo no es suficiente debe generar unos cambios en el interior de la planta que la hagan reaccionar de esta manera: las hormonas producen una sustancia química en el tejido y es transportada a otro, en el que ejerce uno o más efectos altamente específicos, en las plantas encontramos las siguientes relacionadas con el fototropismo:

- Auxinas: Hace que las células de la región de crecimiento caulinar (rizomas y tallos) se alarguen.
- Citocininas: Estimula la división celular.
- Etileno: Responsable de la maduración de los frutos.
- Ácido abscísico: Inhibe el crecimiento.
- Gibelinas: Controlan, junto con las auxinas, el alargamiento de los árboles y arbustos maduros.
- Oligosacarinas: Estimulan la producción de antibióticos ante infecciones externas.

(Curtis & Barnes, 2018).

### **3.10. Geotropismo**

El geotropismo es una respuesta de la planta ante la gravedad, las raíces crecen hacia el interior de la tierra (geotropismo positivo), mientras que el tallo (geotropismo negativo) (Porto, 2018 ).

### **3.11. Fotoperiodo**

El cambio de las estaciones afectan a las plantas, a medida que sean capaces de detectar cambios en la intensidad y en la composición de la luz, así como en la cantidad de horas de iluminación se verán favorecidas (Curtis *et al.*, 2009).

Sobre todo aquellas capaces de detectar el fotoperiodo, en otras palabras el número de horas de luz en cada ciclo de 24 horas. A esto se le denomina foto periodicidad. Existe una estrecha relación entre la floración y la foto periodicidad, de acuerdo a esta relación las plantas pueden agruparse en tres categorías: plantas de días cortos, largos y neutros. Las plantas de días cortos florecen a principios de primavera o en el otoño, como por ejemplo el arándano, la ambrosía y la fresa. Las plantas de días largos florecen solo sí los períodos de luz son más largos que el período crítico, principalmente en verano. Por ejemplo, la lechuga, la espinaca, las papas y los agaves, en promedio 14 horas al día (Curtis *et al.*, 2009).

### 3.12. Estrés en plantas

Se ha definido el estrés como una desviación significativa de las condiciones óptimas para la vida, como respuesta a dicha desviación se inducen cambios en todos los niveles funcionales del organismo, pudiendo ser dichos cambios reversibles o permanentes. Aun si la condición de estrés es temporal, es normal que la vitalidad de la planta se vea disminuida entre tanto se realizan los ajustes requeridos para la nueva situación, si el estrés es demasiado intenso o si el periodo de acción es demasiado largo entonces los daños latentes se transforman en daño irreversible que puede afectar a la planta entera o partes de la misma (Larcher. 1995; Ortega. 2007).

Las plantas han desarrollado muchas estrategias para tolerar el déficit hídrico. Pugnaire *et.al.* (1994); Romo *et al.* (2013) hacen un resumen de las mismas como sigue:

- Respuestas fisiológicas o de modulación, que se caracteriza por manifestarse como una modificación rápidamente reversible y con acción en el corto plazo, como el cierre estomático.
- Respuesta de aclimatación, que involucran cambios no rápidamente reversible o incluso irreversible y con acción en el mediano plazo como ajuste osmóticos derivados de la acumulación de solutos, cambios de la elasticidad de la pared celular y algunos cambios morfológicos.
- Adaptaciones esto es estrategias a largo plazo que incluyen patrones fijos genéticamente dependientes de reparto de biomasa, modificaciones anatómicas que se heredan entre generaciones, mecanismos fisiológicos complejos como el metabolismo CAM crecimiento reducido para optimizar el uso del agua y la captura de energía.

Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, las plantas pueden presentar respuestas de aclimatación que tienen efectos sobre el crecimiento, como la disminución de la expansión foliar y el aumento del crecimiento radicular (Potters *et al.*, 2007).

### **3.13. Sustratos utilizados**

#### **3.13.1. Sustrato**

Bajo la denominación de sustratos se incluye a todas las mezclas de diferentes productos que podemos realizar para hacer crecer nuestras plantas, existen diferentes combinaciones para realizarlos lo que hace muy difícil poder hablar de un sustrato ideal; la decisión de qué materiales utilizar está en función de la disponibilidad en cada zona y de su costo, del tipo de especie a trabajar y de la forma de multiplicación. Por ejemplo, los sustratos para enraizamiento de plantas deben tener buena aireación y retención de agua, en cambio para la germinación además de estas dos cualidades es importante que tenga buena disponibilidad de nutrientes. También se debe considerar que el sustrato contenga una carga de microorganismos, a través del aporte de algún abono orgánico como compost o lombricomposta, para aumentar la carga antagonistas a los hongos patógenos del suelo. En relación a este punto, otra aliada al momento de formular nuestro sustrato es la tierra de monte, ésta será el inóculo para establecer a las micorrizas, simbiosis altamente ventajosa entre las raíces de las plantas y hongos benéficos orgánicos (González *et al.*, 2013).

Las características de un sustrato ideal:

- Una elevada capacidad de retención para el agua y los elementos minerales.
- Bajo contenido de sales.
- Buen drenaje.
- Óptimo pH para el desarrollo de diversas especies.
- Estabilidad biológica y química después de la esterilización.
- Facilidad de adquisición

(Bartollini y Petruccelli, 1992; Ortiz. 2020).

#### **3.13.2. Arena**

Las arenas pueden ser reutilizadas muchas veces por su fácil desinfección y buena estabilidad, este sustrato actúa como simple soporte y asegura buen drenaje para que no permanezca el agua a nivel de las raíces (Reinald y Pereira, 2003).



El tamaño de las partículas de arena determina sus propiedades, ejemplo las arenas finas tienen buena capacidad de retención de humedad, pero no permiten una buena aireación, en el caso de arenas de tamaño de partículas mayores o arenas gruesas tiene buena aireación, pero deficiente retención de agua (Ecoagricultor, 2008).

Es de origen silícica ( $\text{SiO}_2 > 50 \%$ ) es decir de roca silicatada y la composición puede ser muy variable, porque también puede originarse de granito 12 basalto, etc, o de ríos y ramblas (depósitos de formación aluvial), la arena de río es la más utilizada en los viveros porque permite una mejor aireación de las raíces y eliminar excesos de agua (Reyes *et al.*, 2017).

### **3.13.3. Aserrín**

El aserrín, que proviene de la industria maderera es un material que tiene un potencial como sustrato, las propiedades físicas dependen del tamaño de sus partículas y se recomienda que del 20-40% sean inferiores a 0.8 mm. Es un sustrato ligero, con una densidad aparente 0.1 a 0.45 g·cm<sup>-3</sup>. La porosidad total es superior al 80 %, la capacidad de retención de agua es baja media, pero su capacidad de aireación suele ser adecuada la ventaja principal del aserrín es su bajo costo pero al ser un material orgánico entra en descomposición, lo que reduce su vida útil como sustrato, los cambios en sus propiedades físicas sean más lentos proporcionando un sustrato más durable sin incrementar costos (Maher *et al.*, 2008; Pineda *et al.*, 2012).

## **3.14. Enfermedades en el proceso de propagación**

### **3.14.1. Pudrición del tallo de la pitahaya (*Fusarium oxysporum*)**

Se trata de la enfermedad más perjudicial para la pitahaya, los síntomas se manifiestan con manchas cloróticas, pudiendo llegar a cubrir toda la vaina, hasta originar una pudrición acuosa (Infoagro, 2020).

Para los tallos de pitahaya, en forma natural es común localizar pudrición, amarillamiento, hongos y presencias de hormigas, son pocos los organismos sanos. La condición sanitaria se agrava al estar la planta ubicada a la luz directa de sol y no

recibir manejo. Las plantas ubicadas a media sombra, tienen buen desarrollo y las enfermedades son menos severas (Manzanero *et al.*, 2014).

#### **3.14.2. Ojo de pez (*Botryosphaeria dothiorella*)**

Los síntomas de esta enfermedad se manifiestan en las vainas por la presencia de pequeñas manchas circulares de color pardo con puntos anaranjados en el centro. Para controlar se recomienda llevar a cabo una serie de medidas preventivas como: plantación de material sano, eliminación del material vegetal afectado mantenimiento de follaje seco, evitar heridas en las plantas, desinfección de herramientas de poda (Infoagro, 2020)

#### **3.14.3. Pudrición acuosa del cladodio (*Pseudomonas spp*)**

La pudrición acuosa del cladodio está producida por la bacteria *Pseudomonas spp.*, aunque en otras latitudes también se ha identificado con *Erwinia carotovora*. Para que la bacteria puede afectar al cladodio, debe haber una herida en el mismo. A este respecto, se ha observado que aquellas especies variedades de pitahaya cuyos cladodios se suelen rajarse de forma natural. Una vez ha entrado, el cladodio comienza a ponerse amarillo licuándose y dando un poco de mal olor. Suele observarse a sus inicios en el periodo de lluvia, desarrollándose con posterioridad. Cuando se realiza cualquier operación de corte en un cladodio afectado se puede propagar la misma hacia plantas sanas u otras especies variedades que se estén recolectando (Méndez y Coeyo, 2016)

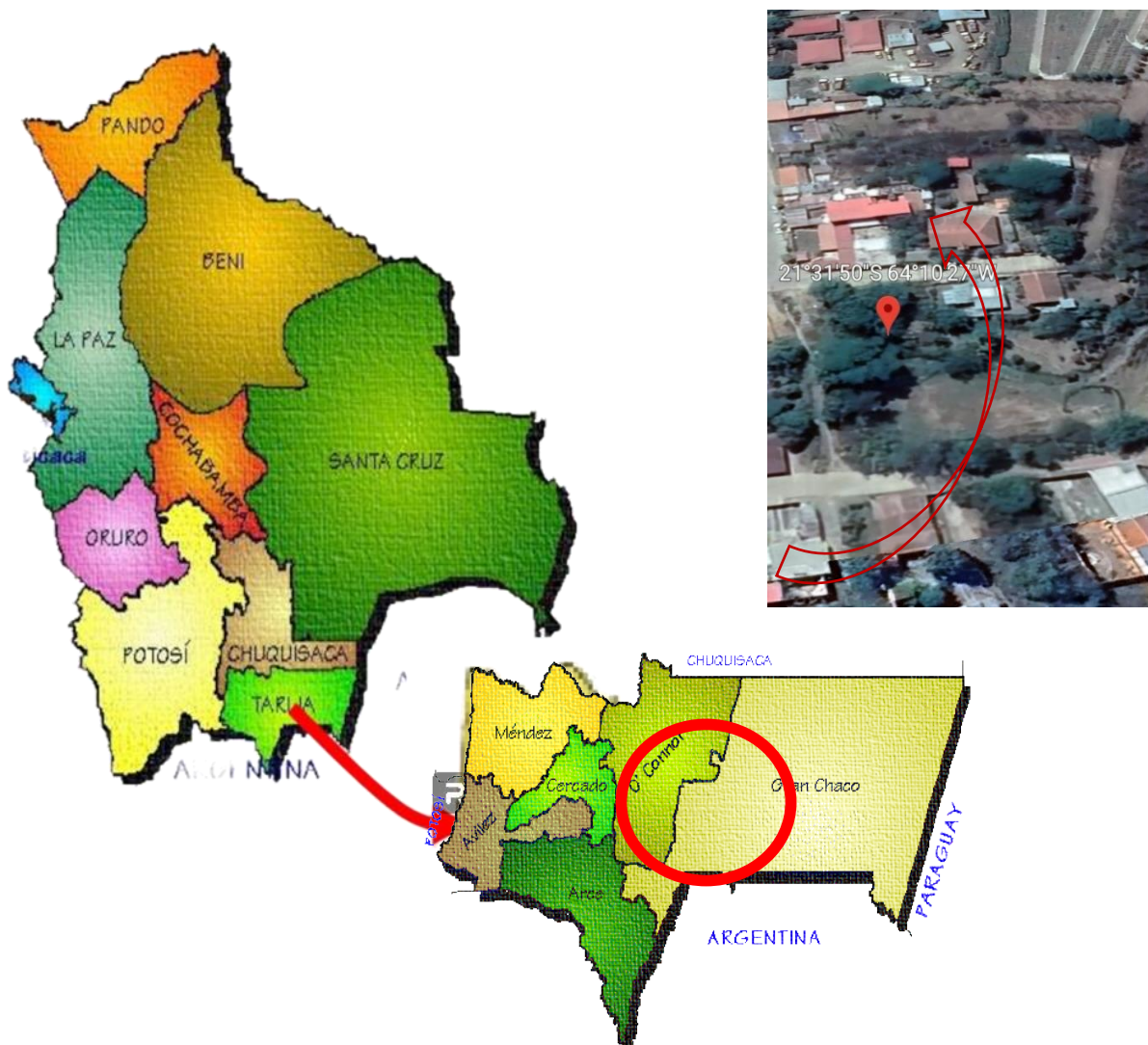
#### **3.14.4. Antracnosis (*Colletotrichum spp*)**

El hongo causante de esta enfermedad se ve favorecido por la presencia de alta humedad relativa y temperatura (20-30°C). Los síntomas se manifiestan en vainas y frutos con la presencia de manchas circulares de color negro y hundido. El síntoma más característico de esta enfermedad es la marchitez y el colapso de las plantas. En los tallos y estolones se observan manchas circulares de color pardo-negrucos, mientras que en el fruto se producen manchas hundidas de coloración parda y cubiertas de esporas rosadas o anaranjadas (Infoagro, 2020).

#### 4. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Municipio de Entre Ríos, en la provincia Burdet O'conor del departamento de Tarija ubicado a 57 km de la ciudad de Tarija, geográficamente se encuentra entre las coordenadas 21°31'40" Latitud Sur, y 64°10'28" Latitud Oeste, a una altitud promedio de 1230 msnm en la confluencia del río Tambo y el río Pajonal (Plan de Desarrollo Municipal de Tarija. , 2014).

**Figura 2.** Ubicación geográfica del área de estudio, elaboración propia en base a google eart.



## **4.1. Características generales de la zona de estudio**

### **4.1.1. Clima**

La temperatura media anual de Entre Ríos es de 20,9°C, en verano 22,5°C y en invierno de 14,7°C, con máximas que superan los 40,9°C y mínimas extremas que bajan hasta -7,2°C, las precipitaciones anuales rondan los 1300 mm, concentrándose fundamentalmente en verano, de enero a marzo.

De manera general el municipio de entre ríos presenta un clima templado calido-humedo en primavera y verano en tanto que en otoño e invierno es templado-seco (Plan de Desarrollo Municipal de Tarija, 2014).

### **4.1.2. Topografía**

El municipio cuenta con colinas, que en sus depresiones van formando valles, estas colinas medias limitan en muchos casos la accesibilidad a las comunidades, el 55% del territorio municipal tiene pendiente mayores al 45 % de la superficie total del municipio tan solo el 19,2% presenta pendiente menor al 15 %, el cual permite realizar labores agrícolas sin afectar mucho el medio ambiente. No obstante el 68,8 % de superficie municipal presenta pendiente superior al 30% que compromete seriamente las labores agrícolas (PDM, 2007).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

- **Material vegetal**

Los esquejes se extrajeron de plantas madre ya instadas del lugar

- *Hylocereus spp*

- **Material de campo**

Se utilizaron los siguientes materiales: postes de madera, malla semisombra 50%, alambre galvanizado, pala, bolsas 20 x 35, sustrato arena y aserrín, hipoclorito de sodio (lavandina), regadera, alcohol, probeta, tablas de madera, alcohol, tijera de podar, cuerdas.

- **Material de gabinete**

Con respecto al material de gabinete: Hojas bond, regla, lápiz, bolígrafo, marcadores, cinta adhesiva, cintas de tela, marcadores, tijera, jeringas.

### 5.1. Método

#### 5.1.1. Metodología de investigación

Según Hernández *et al.* (2014) la metodología de investigación a la que corresponde el tema es cuantitativo, ya que se tomara variables cuantificables. La duración del experimento fue de 134 días desde la recepción de los esquejes hasta la obtención de raíces, para la evaluación no se consideró el trasplante al lugar definitivo de la planta, dicha evaluación de este experimento solo es el enraizamiento de los esquejes.

#### 5.1.2. Selección de sitio de estudio

Para el inicio de la investigación se realizó la inspección de los lugares que se ocuparon, de acuerdo con el diseño experimental se utilizó diferentes áreas de trabajo para minimizar el error experimental, una vez identificado el lugar de trabajo se realizó la limpieza y construcción del ambiente protegido con la malla raschel de 50 % con un área de 6 x 4 metros, y la segunda área de trabajo siendo el ambiente oscuro y sin sustrato se puso tablas de 2 x 0,5 metros una sobre otra con una altura de 0,5 metros para los respectivos tratamientos.

### **5.1.3. Preparación y desinfección del sustrato**

Se preparó un sustrato en base de arena y aserrín con una relación (1:1) respectivamente, tomando en cuenta que dicho cultivo necesita un sustrato con buen drenaje para mantener la humedad óptima que necesita para el desarrollo radicular. El sustrato se mezcló y desinfecto con hipoclorito de sodio 5 ml/20 litros de agua, una vez seco y desinfectado el sustrato se procedió a llenar las bolsas de 20 x 35, para luego llevar al ambiente protegido y ubicar según los tratamientos correspondientes.

### **5.1.4. Recolección y selección de esquejes**

El material vegetal se adquirió del vivero ubicado en Ancón Lima Perú, con características adecuadas como el tiempo que tienen las plantas madre siendo de 2 años en adelante, lo suficientemente maduros tanto en grosor y longitud (20 a 40 cm) para realizar la investigación se consideró dichos parámetros.

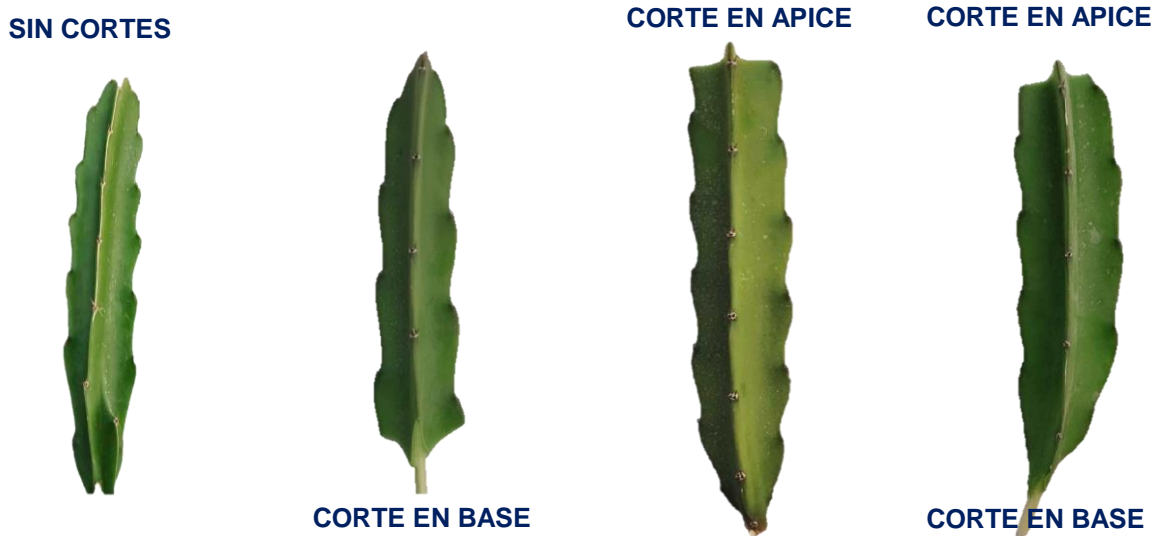
- Selección de plantas madre: Es importante tener presente que, al establecer la plantación, su potencial de producción va a depender en gran medida de la planta madre que se seleccione para extraer sus esquejes y propagar las plantas.
- Madurez de la planta madre: Se deben utilizar plantas madre adulta, es decir, que ya hayan concluido su periodo juvenil y hayan formado flores y frutos. Esto es importante porque el material tomado de plantas adultas podrá iniciar con la floración, por lo tanto producirá frutos mucho antes que las plantas que provengan de plantas madre que todavía se encuentren en una etapa juvenil.
- Material genético conocido: Es sumamente importante saber de qué variedad se trata, con el fin de tener conocimiento del comportamiento agronómico y de las características del fruto. El sembrar o propagar material de origen desconocido con fines de producción puede tener consecuencias graves en la plantación las cuales serán evidentes hasta que se obtenga la primera cosecha lo que puede tomar entre 2 – 3 años. Sin embargo, si no hay trazabilidad de la variedad y no se sabe con certeza de qué material genético se trata, se recomienda que las plantas madre hayan pasado los ciclos productivos necesarios para conocer sus características agronómicas como su rendimiento, adaptabilidad al sitio del cultivo y calidad del fruto.

- Estado fitosanitario: La planta madre debe estar sana, no debe presentar síntomas de afectaciones por insectos ni enfermedades. Esto para evitar la dispersión de estos problemas en la futura plantación (*Manual de siembra pitahaya, s. f.*)

### 5.1.5. Corte y cicatrización de los esquejes

Se dividieron los esquejes en 4 grupos de 60 unidades, por lo que; al primer grupo no se realizó ningún corte, el segundo grupo se cortó la parte basal, para el tercer grupo se cortó el ápice y para el último grupo se cortó la base y ápice del esqueje, posteriormente se dejó cicatrizar durante una semana para evitar proliferación de enfermedades o pudrición de los mismos.

**Figura 3.** Tipos de cortes en esquejes de pitahaya



Nota: Se observa los diferentes cortes realizados en los esquejes de pitahaya para la propagación.

## 5.2. Diseño experimental

El presente trabajo se desarrolló bajo un Diseño de Bloques Completo al Azar con arreglo bifactorial en parcelas divididas (4x2); dos métodos de propagación con/sin sustrato, 3 cortes (ápice y base, solo base y solo ápice) y el testigo, por lo que se obtuvo 8 tratamientos, 3 bloques, 24 unidades experimentales y cada una con 10 esquejes, haciendo un total de 240 plantas.

### 5.2.1. Modelo lineal aditivo

El modelo lineal aditivo para el análisis de Diseño de Bloques Completo al Azar con arreglo bifactorial en parcelas divididas según Ochoa (2007) es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \epsilon_{ik} + \lambda_j + (\alpha\lambda)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Observación cualquiera.

$\mu$  = Media general.

$\beta_k$  = Efecto de la k-esimo del bloque

$\alpha_i$  = Efecto fijo del i- esimo Factor A con/sin corte al esqueje

$\epsilon_{ik}$  = Error de parcela principal

$\lambda_j$  = Efecto fijo del j-esimo factor B con/sin sustrato

$(\alpha\lambda)_{ij}$  = Efecto de interacción del i- esimo corte del factor A con el j-esimo factor B

$\epsilon_{ijk}$  = error de sub-parcela, error experimental



## Factores de estudio

### Factor A (corte)

a1: Sin cortes (testigo)

a2: Corte en la base del esqueje

a3: Corte del ápice del esqueje

a4: Corte en la base y ápice del esqueje

### Factor B (sustrato)

b1: Con sustrato (campo)

b2: Sin sustrato (oscuridad)

## Tratamientos

**T1** (a1b1) Sin cortes \* Con sustrato

**T2** (a2b1) Corte en la base del esqueje\* Con sustrato

**T3** (a3b1) Corte del ápice del esqueje\* Con sustrato

**T4** (a4b1) Corte en la base y ápice del esqueje\* Con sustrato

**T5** (a1b2) Sin cortes\* Sin sustrato

**T6** (a2b2) Corte en la base del esqueje\* Sin sustrato

**T7** (a3b2) Corte del ápice del esqueje\* Sin sustrato

**T8** (a4b2) Corte en la base y ápice del esqueje \* Sin sustrato

### 5.2.2. Croquis experimental

Figura 4. Croquis experimental en ambiente externo con sustrato

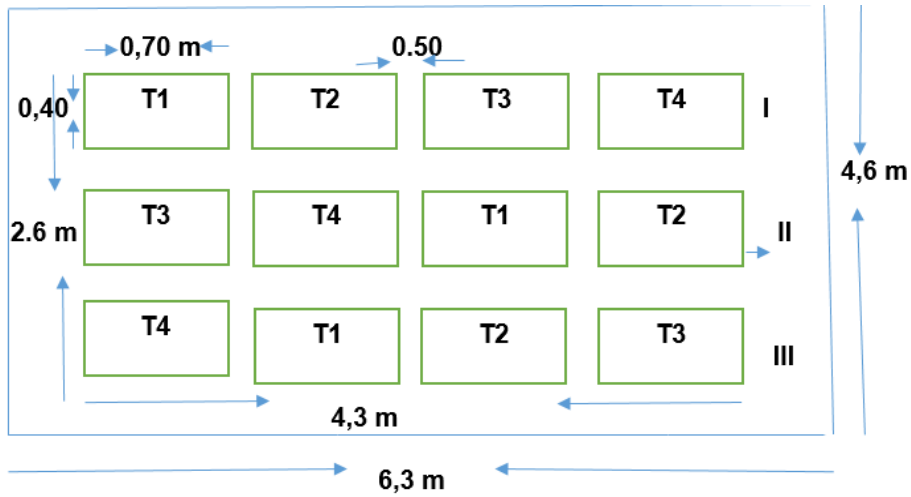
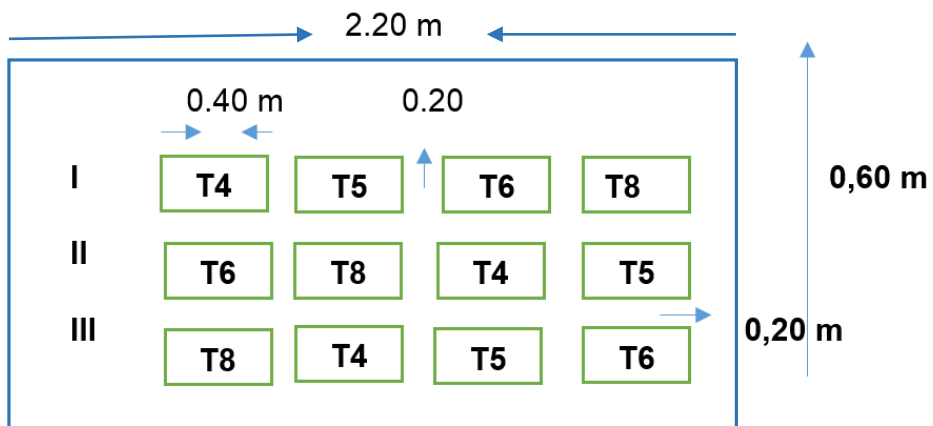


Figura 5. Croquis experimental en ambiente oscuro sin sustrato.



### **5.3. Variables de respuesta**

#### **5.3.1. Variables agronómicas**

##### **Número de raíces**

Al poseer raíces adventicias largas y fibrosas se contabilizó de forma manual, por lo que aquellas que no estaban en sustrato facilitaba el conteo, sin embargo en el caso de los tratamientos con sustrato se debía extraer el esqueje, dejar que seque para eliminar el sustrato adherido en la raíz y posteriormente lavar y contabilizar

##### **Longitud de raíces**

La longitud de las raíces se registró con ayuda de un vernier cada 15 días, apoyando en un tablero y con mucho cuidado alongar para la respectiva toma de dato.

##### **Volumen radicular**

Esta variable se evaluó en la etapa final del trabajo de investigación a los 45 días, llenando con agua a una probeta donde se realizó la medición del volumen, para esto se extraen las raíces de los esquejes, viendo el desplazamiento de agua en la probeta como dato de acuerdo al principio de Arquímedes.

#### **5.3.2. Porcentaje de enraizamiento**

Se tomó a los 75 días luego de llevar a campo los esquejes que estaban en el ambiente oscuro sin sustrato y los que están en sustrato, para poder evaluar y contar aquellos esquejes que prendieron en un lapso de 15 días, en donde se contó el número de esquejes que ya prendieron sobre el total y multiplicando por cien obtenemos el porcentaje de enraizamiento.

$$\% \text{ de enraizamiento} = \frac{\text{Número de plantas prendidas}}{\text{Número total de plantas}} \times 100$$

### 5.3.3. Análisis económico

El presupuesto parcial es un método que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener costos y beneficios de los tratamientos alternativos, de manera tal que ayude a tomar una decisión en el manejo considerando que en esta investigación solo es para la producción de esquejes, no así hasta el ciclo completo de la planta, esto se consigue estimando los recursos físicos necesarios para la ejecución del plan y analizando la significación que tendrán los costos-beneficios de las distintas alternativas, cuando se aplica precios de insumos y de productos vigentes en el mercado.

Se consideró lo siguiente:

✓ **Ingreso bruto**

$$IB = R * P$$

Donde:

IB=Ingreso bruto

R= Rendimiento

P= Precio

✓ **Ingreso neto**

$$IN = IB - C$$

Donde:

IN = Ingreso neto

IB = Ingreso bruto

C = Costo de producción

✓ **Relación beneficio / costo**

$$\mathbf{RBC = B / C}$$

Donde:

B = Beneficio

C = Costo

Si la relación B/C es menor a la unidad, indica que no existe beneficio económico, por tanto la producción de esquejes no es rentable, cuando la relación B/C es igual a la unidad muestra que los ingresos logran cubrir solo los costos de producción pero tampoco es rentable, si la relación B/C es mayor a la unidad indica que los ingresos económicos son mayores a los gastos de producción por lo tanto es rentable la propagación de esquejes de pitahaya.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Número de raíces

**Tabla 1.** Análisis de varianza para número de raíces

| <b>FV</b>        | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>p-Valor</b>   |
|------------------|-----------|-----------|----------|------------------|
| Corte            | 0,25      | 0,08      | 0,40     | 0,7562 <b>NS</b> |
| sustrato         | 1,03      | 1,03      | 12,03    | 0.0085 <b>**</b> |
| Corte X sustrato | 2,11      | 1,03      | 8,25     | 0,0079 <b>**</b> |
| CV               | 13,14 %   |           |          |                  |

Realizado el Análisis de Varianza (tabla 1) para la variable número de raíces no existe diferencia significativas en los diferentes cortes que se realizaron, sin embargo para el sustrato al 1% existe diferencia altamente significativa siendo que el uso de este influye en el número de raíces finalmente para la interacción de los factores se observa resultados altamente significativos, por tal razón que se realizó un Análisis de Varianza de efecto simple, como se ve en la (tabla 2) tal que los factores no son independientes.

**Tabla 2.** Análisis de varianza de efecto simple para número de raíces.

| <b>FV</b> | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>Fcal</b>    |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| A b1      | 3         | 4,77      | 1,59      | 17,67**        |
| Ab2       | 3         | 4,62      | 1,54      | 17,17**        |
| B a1      | 1         | 2,70      | 2,70      | 30 <b>**</b>   |
| B a2      | 1         | 2,37      | 2,37      | 26,33**        |
| B a3      | 1         | 0,78      | 0,78      | 8,67 <b>**</b> |
| B a4      | 1         | 2,049     | 2,049     | 22,76**        |
| ERROR     | 8         | 0,68      | 0,09      |                |

Para el número de raíces se observa en la (tabla 3) un incremento de forma gradual donde, a los 45 días el T3 (corte en ápice\* con sustrato) cuenta con 9 raíces siendo el más representativo, seguidamente el T1 (sin corte \* sustrato) 5 raíces, T4 (corte en base y ápice \* sustrato) 4 raíces, con respecto a la dominancia apical, se sabe que la remoción del ápice en las especies de la clase magnoliopsida, genera una reducción o eliminación de esta dominancia permitiendo el desarrollo de los meristemas (López *et al.*, 2000; Salisbury & Ross, 2000). También el T8 (corte en ápice y base \* sin sustrato) 4 raíces, esto se debe a la reserva de agua y carbohidratos que presentan las *cactáceas* en los cladodios, les permite mantenerse vivas para soportar las condiciones adversas previas a la brotación epígea y al desarrollo radicular. De ahí la importancia del estado nutricional de la planta donante y de la estaca al momento de la colecta (Puri y Verma 1996; Segura *et al.*, 1991; Montoya, 1994; Nkethia *et al.*, 1998) citado por Corres, (2006). Mientras se alcanza el desarrollo radicular, es común en las especies de la familia *cactáceas* la formación de raíces adventicias, las cuales se producen en las zonas activas e hidratadas de los individuos por los microclimas que las rodean (Llanes *et al.*, 2009); finalmente tenemos al T2 (corte en base \* sustrato) 4 raíces y al T5 (sin corte \* sin sustrato) 2 raíces, siendo el tratamiento con menor número de raíces. No obstante, a menudo se encuentran correlaciones negativas entre la aireación y la capacidad de tomar agua del medio, por tanto, un balance entre estos permite garantizar un óptimo enraizamiento, lo cual depende de si la especie es xeromórfica o hidromórfica, de ahí la importancia de la fracción orgánica en el medio de enraizamiento para la retención de agua (Offori *et al.*, 1996).

**Tabla 3.** Prueba de medias para número de raíces

| <b>Corte x sustrato</b>              | <b>Media<br/>(N° raíces)</b> | <b>Duncan<br/>0.05 %</b> |
|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Sustrato + corte en ápice            | 9,095                        | A                        |
| Sustrato + testigo                   | 4,49                         | B                        |
| Sustrato + corte en ápice y base     | 3,56                         | C                        |
| Sin sustrato + corte en base y ápice | 3,45                         | C                        |
| Sustrato +corte en base              | 3,41                         | C                        |
| Sin sustrato + corte en ápice        | 3,34                         | C                        |
| Sin sustrato + corte en base         | 2,86                         | D                        |
| Sin sustrato + testigo               | 2,41                         | D                        |

## 6.2. Longitud de raíz

Para el análisis de varianza (tabla 4) al 1% de confiabilidad existe diferencia altamente significativa respecto al tipo de corte (factor A), como también (factor B) al tener o no un sustrato siendo que los diferentes cortes y sustrato influye en la longitud de raíz de forma independiente, para la interacción entre los factores de estudio existe diferencia significativa.

**Tabla 4.** Análisis de varianza para la longitud de raíz.

| <b>FV</b>        | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>p-Valor</b> |
|------------------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Corte            | 32,78     | 10,93     | 18,12    | 0,0021 **      |
| sustrato         | 11,84     | 11,84     | 18,95    | 0.0024 **      |
| Corte X sustrato | 13,02     | 4,34      | 6,95     | 0,0129 *       |
| Error            | 5         |           |          |                |
| CV               | 22,44     |           |          |                |

En cuanto al CV= 22,44% nos indica que las unidades experimentales tuvieron un manejo adecuado y los resultados son razonables para la variable longitud de raíz debido a que se encuentra dentro del rango aceptable.



**Tabla 5.** Prueba de medias para los cortes realizados

| <b>CORTES</b>         | <b>MEDIA</b> | <b>DUNCAN</b> |
|-----------------------|--------------|---------------|
|                       | <b>(cm)</b>  | <b>0.05 %</b> |
| Corte en base         | 4,68         | A             |
| Corte en ápice        | 4,64         | A             |
| Testigo               | 2,76         | B             |
| Corte en ápice y base | 2,01         | B             |

La prueba Duncan para la longitud de raíz (tabla 5) se agrupan mostrando diferencias en los cortes que se realizaron, aquellos que tienen corte en base del esqueje siendo el más representativo con una longitud de raíz 4,68 centímetros, también para el factor B (tabla 6) se tiene mayor longitud de raíz en aquellos que se usan sustrato obteniendo una media de 4,23 centímetros.

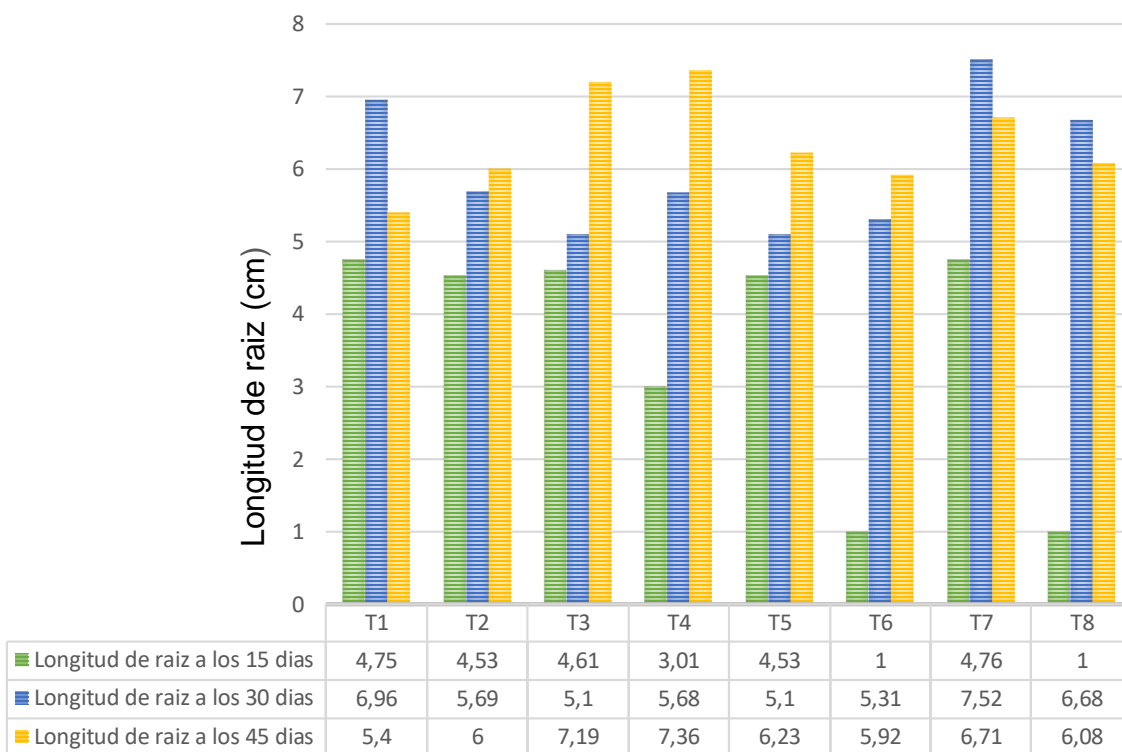
**Tabla 6.** Prueba de medias para con/ sin sustrato

| <b>SUSTRATO</b> | <b>MEDIAS</b> | <b>DUNCAN</b> |
|-----------------|---------------|---------------|
|                 | <b>(cm)</b>   | <b>0.05 %</b> |
| Con sustrato    | 4,23          | A             |
| Sin sustrato    | 2,82          | B             |

Se puede observar aquellos tratamientos con sustrato y los diferentes cortes que se realizaron en la (figura 6) como el T4 (corte en base y ápice\* con sustrato) 7,36 cm y T3 (corte en ápice \* con sustrato) 7,19 cm tienen mayor longitud de raíz, Al igual que en este ensayo, donde se evidenció una interacción estadísticamente significativa entre la longitud de la estaca y la ausencia del ápice sobre un mayor desarrollo

radicular, López-Gómez *et al.*, 2000 reportan una respuesta semejante para tres especies de pitahaya roja. Seguimiento de T2 (corte en base \* con sustrato) 6 cm y T1 (sin cortes \* sustrato) 5,4 cm. Sin estar muy alejado aquellos tratamientos sin sustratos mostraron los siguientes resultados como T7 (corte en ápice \* sin sustrato) 6,71 cm, siendo el tratamiento con mayor longitud donde no se usó sustrato y se tiene el efecto de corte, T5 (sin cortes \* sin sustrato) 6,23 cm.; T8 (corte en ápice y base \* sin sustrato) 6,08 cm., finalmente T6 (corte en base \* sin sustrato) 5,92 cm.

**Figura6.** Longitud durante el enraizamiento



### 6.3. Volumen radicular

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de varianza para volumen radicular a los 45 días (tabla 7), se observó que las fuentes de variabilidad tipos de corte (factor A) al 5% de confiabilidad no existe diferencia significativa estadísticamente, lo que indica para esta variable que los diferentes cortes aplicado

no tendrá efecto en el volumen radicular como respuesta, sin embargo para el (factor B) uso o no de sustrato con 5% de confianza existe diferencia significativa, así mismo la interacción de ambos factores no hay diferencias significativas, por tanto no tuvo inferencia estadística. Los resultados se muestran inferiores a los reportados por Aguilar (2015), quien menciona que obtuvo pesos promedios de raíces de pitahaya, a los 120 días después de la siembra, donde los valores mayores se obtuvieron en varetas de 50cm y los menores en los de 30cm, con 13,02 y 8,8g, respectivamente. En cambio, Mok (2001), indica que la Citoquininas tiene respuesta diversos eventos de crecimiento y desarrollo de las plantas, incluyendo, la ramificación de raíces y brotes.

**Tabla 7.** Análisis de varianza para el volumen radicular en gramos a los 45 días.

| <b>FV</b>        | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>p-Valor</b>   |
|------------------|-----------|-----------|----------|------------------|
| Corte            | 0.22      | 0,07      | 0,32     | 0,8112 <b>NS</b> |
| sustrato         | 2,85      | 2.85      | 13,08    | 0.0068 *         |
| Corte X sustrato | 0,27      | 0,09      | 0,42     | 0,7435 <b>NS</b> |
| CV               | 16,98 %   |           |          |                  |

Por lo tanto en la prueba de medias (tabla 8) nos indica que el mayor volumen radicular se obtuvo en aquellos tratamientos que se usó sustrato con 1,73 gramos.

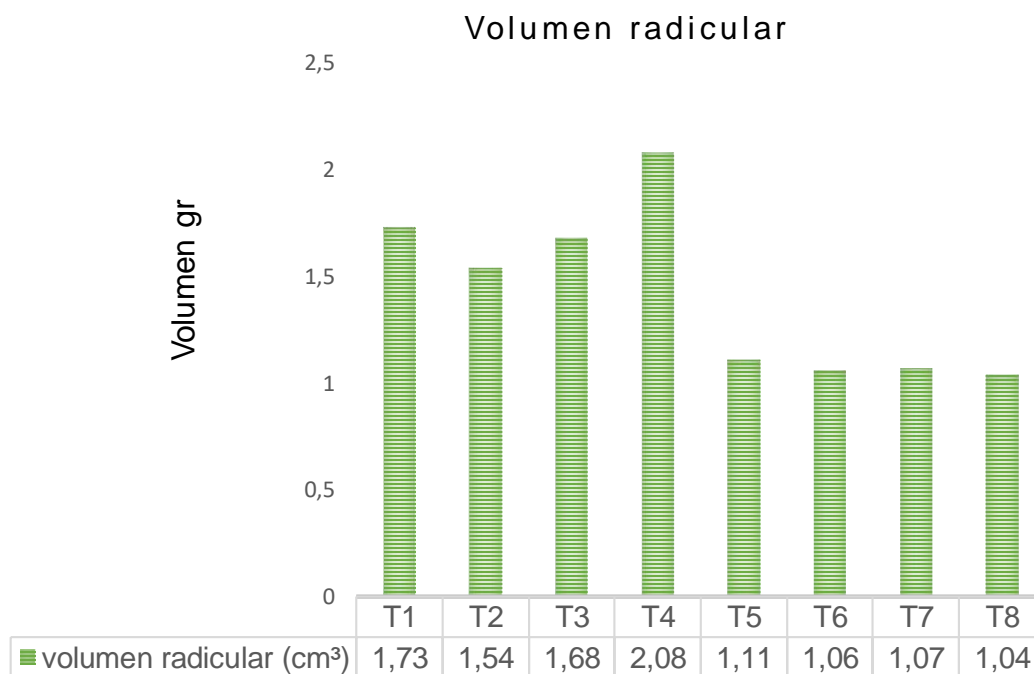
**Tabla 8.** Prueba de medias para el volumen radicular del factor B.

| <b>SUSTRATO</b> | <b>MEDIAS</b> |
|-----------------|---------------|
| con sustrato    | 1,73 A        |
| sin sustrato    | 1,07 B        |

En la (figura 7) se observa de forma detallada el volumen radicular en aquellos tratamientos en los que se usó sustrato, como el T4 (corte en ápice y base \* sustrato)

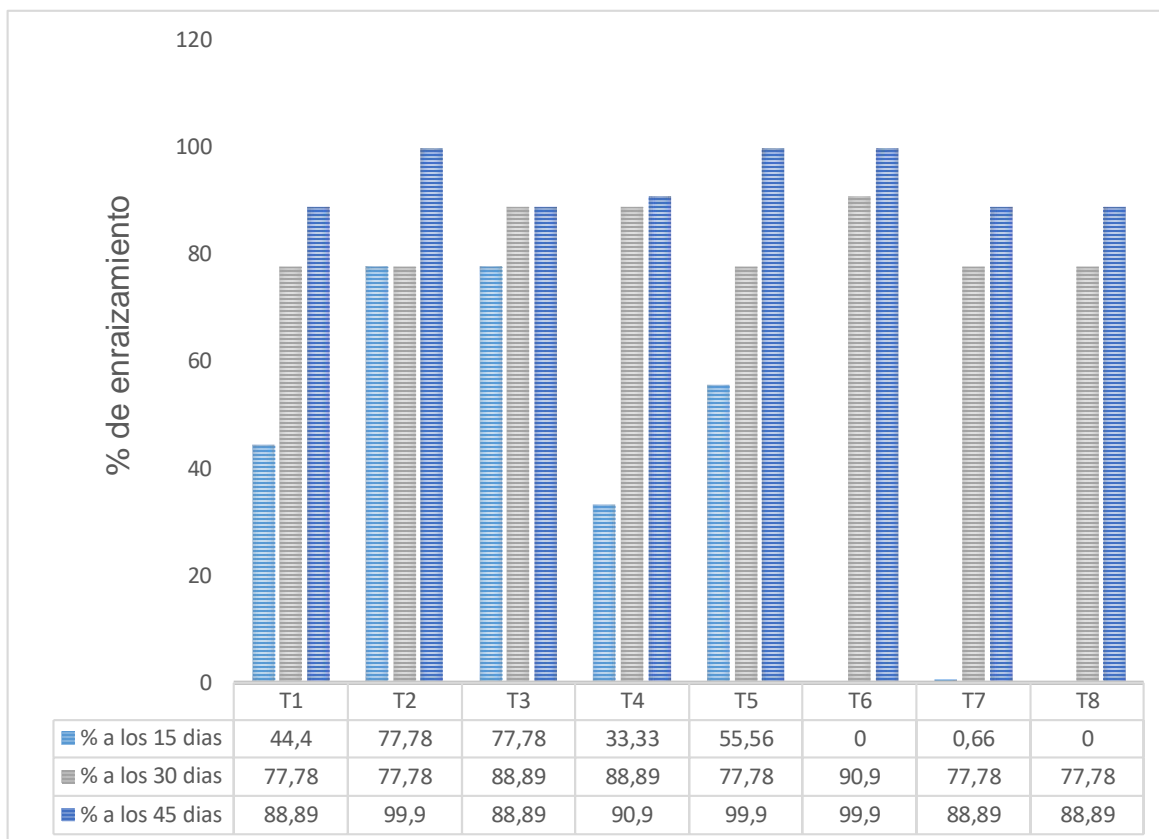
con 2,08cm<sup>3</sup> seguido de T1 (sin cortes \* sustrato), T3(corte en base \* sustrato) y T2 (corte en base \* sustrato) según (Rundel Y Nobel 1992) con resultados que obtuvieron en otra investigación relación al peso de raíz producidas en cada tratamiento donde, el mayor peso de raíz de la interacción tamaño de cladodio con tipo de sustrato alcanzo el tratamiento T6 con un peso de 6.343 gr, valores que muestran estadísticamente diferencia al resto de los tratamientos. En segundo lugar el grupo de tratamientos (T1, T8, T4, T5, T7, T2) obtuvieron un peso de 5.760, 5.067, 3.960, 3.763, 3.250 gr. respectivamente y por último el menor peso de raíz alcanzo el tratamiento T3 con un peso de raíz de 2.423 gr.; sin embargo se tiene los valores más bajos en aquellos tratamientos sin sustrato por la escasa cantidad de raíz.

**Figura 7.** Volumen radicular (cm<sup>3</sup>) a los 45 días.



#### 6.4. Porcentaje de enraizamiento

Figura 8. Porcentaje de enraizamiento



En la (figura 8), se muestra el porcentaje de enraizamiento obtenido por los tratamientos, donde a los 15 días el T2 (Corte en la base del esqueje\* Con sustrato) y T3 (Corte del ápice del esqueje\* Con sustrato) con un valor de 77,78% de enraizamiento, así mismo se ve que el T6 (Corte en la base del esqueje\* Sin sustrato) y T8 (Corte en la base y ápice del esqueje \* Sin sustrato) presentaron 0% de enraizamiento por lo que no existe inferencia de los tratamientos aplicados.

Se observó que a los 30 días el T7 (Corte del ápice del esqueje\* Sin sustrato) con el 90,90% de enraizamiento siendo el más representativo y el T6 (Corte en la base del esqueje\* Sin sustrato) con el mínimo de 55,56% de enraizamiento

Por ultimo a los 45 días los tratamientos T2 (Corte en la base del esqueje\* Con sustrato), T4 (Corte en la base y ápice del esqueje\* Con sustrato), T5 (Sin cortes\* Sin

sustrato), T6 (Corte en la base del esqueje\* Sin sustrato), T7 (Corte del ápice del esqueje\* Sin sustrato) son los que presentaron mayor porcentaje con el 99,90% de enraizamiento seguido de T1 (Sin cortes \* Con sustrato), T3 (Corte del ápice del esqueje\* Con sustrato) y T8(Corte en la base y ápice del esqueje \* Sin sustrato) con el 88,89%, considerando buenos resultados en base a los tratamientos aplicados y como respuesta que dieron, se interpreta que las auxinas son un tipo de fitohormonas especializadas en diferentes procesos a nivel vegetal. Los principales puntos de acción se encuentran células no diferenciadas producidas por el exceso de auxinas en el ambiente vegetal en presencia de citoquininas y tener la capacidad de inducir la producción de diferentes raíces adventicias sobre los tejidos de hojas y tallos recién cortados. Dadas las funciones que posee esta hormona es considerada como un tipo de morfógeno capaz de inducir la diferenciación celular de órganos como raíces, tallos y hojas, y así mismo, dar origen a ellos (Alcantara *et al.*, 2019).

En otra investigación se reportaron los siguientes resultados se detalla que el T1 (vareta de 0,80m + Citokyn), T3 (vareta de 0,80m + Sin enraizante), y T6 (vareta 0,50m + Sin enraizante) presentaron el mayor porcentaje de enraizamiento con 17% en pitahaya roja y el menor se evidencio en los T2 (vareta 0,80m + Trichotic). T4 (vareta 0,50m + Citokyn), y T5 (vareta 0,50m + Trichotic) con 13%. En cuanto a la pitahaya amarilla el mayor porcentaje de enraizamiento se denoto en el T2 (vareta 0,80m + Trichotic) y el menor en el T3 (vareta de 0,80m + Sin enraizante) con 4%. Según (Cajamarca, 2016).

## **6.5. Costos de producción**

El análisis económico para la producción de esquejes se realizó de forma separada en base al (factor B) uso de sustrato y sin sustrato, donde se observa el uso de sustrato tuvo un costo de 1819 Bs. en la parte experimental del presente trabajo de investigación, considerando un costo de 35 Bs la unidad en el mercado local, por lo que se tiene Beneficio/Costo de 1,30 Bs, en cuanto a los tratamientos sin sustrato los costos son de 1297 Bs. teniendo así el Beneficio/Costo de 2,23 Bs. Siendo económica viable ambos, pero podemos considerar mejor en aquellas plantas sin sustrato en base a todas las variables de respuesta que se tuvo anteriormente como el manejo, tiempo

y mano de obra que se da en aquellos que poseen sustrato siendo mayor, más aun si se tiene producción de esquejes por hectárea.

Según Sistema de gestión total para el Agro (2011), los costos de producción, son costos utilizados o consumidos durante el proceso de producción, para la fabricación de un producto o prestación de servicios y que quedan incorporados en el producto final. Además, menciona que en las empresas agrícolas de campo se denomina costos de producción a la utilización de recursos como insumos, mano de obra y entre otros, con la finalidad de tener productos finales para la venta.

### 6.5.1. Ingreso neto

$$IB = R * P$$

|                     | <b>INGRESO NETO (Bs)</b> | <b>INGRESO BRUTO (Bs)</b> | <b>COSTO DE PRODUCCION (Bs)</b> |
|---------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| <b>CON SUSTRATO</b> | 2381                     | 4200                      | 1819                            |
| <b>SIN SUSTRATO</b> | 2903                     | 4200                      | 1297                            |

Como se observa, el ingreso neto es igual al ingreso bruto menos el costo de producción, para lo cual se calculó inicialmente el costo de producción en base a los materiales en general usados en el experimento, lo que hace un total de Bs.1819 teniendo como un ingreso bruto de Bs. 4200, que se obtiene de la producción esquejes de pitahaya.

### 6.5.2. Ingreso bruto

$$IN = IB - C$$

|              | INGRESO BRUTO (Bs) | RENDIMIENTO (unidad) | PRECIO (Bs) |
|--------------|--------------------|----------------------|-------------|
| CON SUSTRATO | 4200               | 1200                 | 35          |
| SIN SUSTRATO | 4200               | 1220                 | 35          |

El ingreso bruto se calculó en base a la fórmula que se presenta, sabiendo que esta resulta del rendimiento, en nuestro caso se obtuvo 120 esquejes de pitahaya (*Hylocereus spp*), y de acuerdo al mercado cada planta tiene un costo de Bs.35, por lo que se obtiene un ingreso bruto de Bs.4200, como se observa.

### 6.5.3. Relación Beneficio / Costo

$$RBC = B / C$$

|              | RELACION BENEFICIO / COSTO | BENEFICIO (Bs) | COSTO (Bs) |
|--------------|----------------------------|----------------|------------|
| CON SUSTRATO | 1,30                       | 2381           | 1819       |
| SIN SUSTRATO | 2,23                       | 2903           | 1297       |



La relación B/C es igual a la unidad muestra que los ingresos logran cubrir solo los costos de producción, pero tampoco es rentable, si la relación B/C es mayor a la unidad indica que los ingresos económicos son mayores a los gastos de producción. Por lo que nuestra relación de beneficio/costo es mayor a la unidad lo que indica que los ingresos económicos son mayores a los gastos de producción, por lo tanto es rentable la propagación asexual de pitahaya con un B/C 1.3 aquellos que usan sustrato y 2,23 aquellos sin sustrato.

## 7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos y las variables estudiadas, para los métodos de propagación por esquejes a diferentes cortes en el cultivo de pitahaya, se llegó a las siguientes conclusiones:

-Para las variables agronómicas se observó diferencias significativas en el número de raíces, se observa la interacción entre los diferentes cortes y el uso o no de sustrato por lo que, el T3 (corte en ápice + sustrato) a los 45 días tiene mayor representatividad con 9 raíces y el T8 (corte en ápice y base + sin sustrato) con 4 raíces.

En cuanto la longitud se registró que el T1 (testigo + sustrato) 4,68 cm siendo el más representativo ante los demás. Y para el volumen radicular se tuvo mayor volumen en aquellos tratamientos con sustrato (1,73 gr), las variaciones de estos resultados pudieron estar influenciados por los errores en los pesos de cada muestra, ya que se trabaja con índices muy bajos.

-se recomienda el mejor tratamiento en cuanto a sustrato o tipo de corte para realizar el enraizamiento de esquejes de pitahaya mediante el porcentaje de enraizamiento, a los 15 días el T2 (corte en base + sustrato) y T3 (corte en ápice + sustrato) tienen el 77,78% de enraizamiento, a los 30 días sobresale el T7 (corte en ápice) tiene el 90,90%, finalmente a los 45 días los tratamientos T2 (corte en base + sustrato), T4 (corte en base y ápice + sustrato), T6 (corte en base), T7 (corte en ápice) con el 90,90% de enraizamiento.

- El análisis económico realizado en esta investigación, fue a través de las comparaciones de los costos para la producción de esquejes en base a los tratamientos establecidos, así poder determinar cuál de estos es económicamente viable y favorable, por lo que aquellos tratamientos sin sustrato tuvo un costo de 1,297 Bs para la parte experimental y para 1 hectárea 16,920 Bs. considerando que los esquejes tendrían desarrollo radicular en 30 días, siendo el T7(corte en ápice) donde se llevaría directo a campo de tal forma se reducen costos, teniendo el Beneficio/Costo con un valor de 2,23 Bs. tomando en cuenta el precio de las plantas de pitahaya en el mercado a 35 Bs. Aquellos tratamientos con sustrato para la parte experimental se

tuvo un costo de 1,819 bs, para 1 hectárea asciende a 18,190 Bs considerando el tiempo en vivero de 15 días por tanto se consideraría a los tratamientos T2 (corte en base y sustrato) y T3 (corte en ápice + sustrato) teniendo el Beneficio/Costo de 1,30 Bs.

## **8. RECOMENDACIONES**

En función a las conclusiones y resultados obtenidos se recomienda:

Promover el cultivo de pitahaya roja, como rubro y potencial para la comercialización de plantas y fruto a nivel nacional siendo económicamente viable.

Se recomienda para la propagación asexual en pitahaya roja utilizar esquejes de 0.40 metros y probar otros enraizantes comerciales con el fin de conocer cuál de ellos permite un mejor desarrollo vegetativo de las especies de pitahaya.

Investigar otros métodos de propagación de pitahaya y comparar su eficacia en enraizamiento, incluyendo técnicas de propagación como esquejes, injertos, y cultivo de tejido. Así como la evaluación de diferente sustrato o medio para el desarrollo de estos.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Alcantara-Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J. D., Sánchez Mora, R. M., Alcantara-Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J. D., & Sánchez Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1794-24702019000200109&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-24702019000200109&lng=en&nrm=iso&tlng=es).
- Castillo, R., Ebel, R., Cálix de Dios, H., Ferral-Piña, J., & Padilla, R. (2016). *Handbook for the Sustainable Production of Pitahaya in the Yucatan Peninsula, Mexico*.
- Celestino, C. (1985). *Aspectos fisiológicos del enraizamiento: Su control hormonal. En propagación vegetativa de especies leñosas de interés forestal*. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10031/1/TESIS%20GABY%20AGUILAR.pdf>.
- Curtis, & Barnes. (2018, julio 25). *Luz y plantas*. <https://cobcm.net/blogcobcm/2018/07/25/luz-y-plantas-una-relacion-de-amor/>
- Daniel Corres. (2006). *Efecto del fertirriego en la propagación sexual y asexual de la pitahaya (hilocereus undatus) bajo cultivo sin suelo*. instituto politecnico nacional.
- Ecoagricultor. (2008). *Sustrato para plantas en macetas*. <https://www.ecoagricultor.com/sustrato-plantas-mace>
- Galvão, E. C., Ramos, J. D., Salles Pio, L. A., Laredo, R. R., Reis Silva, F. O. dos, & de Soa Miranda, J. M. (2016). *Sustratos y ácido indol-3-butírico en la producción de plántulas de pitaia rojo con pulpa blanca*. 63(6).
- Gonzáles, C., De Luca, L., & Manzoni, M. (2013). *Apuntes técnicos para el vivero familiar. Mar del Plata-Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)*.
- Hartmann. (1998). *Evaluación del efecto de sustratos y enraizadores en la propagación vegetativa de la pitahaya; jacaltenango, huehuetenango*. 85.
- Horacio Valencia. (2007). *Diversidad agrícola-economica en Bolivia*.

- Infoagro. (2020). *El cultivo de la pitahayai*. : [https://www.infoagro.com/documentos/el-cultivo\\_pitahaya.asp](https://www.infoagro.com/documentos/el-cultivo_pitahaya.asp)
- Irizarry, J. (2015). *Introduccion a la produccion de cultivos -modulo esquejes*.
- Kiesling R. (2014). *Catálogo de las Plantas Vasculares de Bolivia*.
- Lorca, P. por M. P. (2019). *¿Por qué hay plantas suculentas donde sobra el agua?*  
<http://www.sobreestoyaquello.com/2019/12/por-que-hay-plantas-suculentas-donde.html>
- Macia. (2003). *Estudio Cadenas Productivas Frutas Exóticas*.  
[https://www.del.org.bo/info/archivos/frutas\\_exoticas/capitulo%20I.pdf](https://www.del.org.bo/info/archivos/frutas_exoticas/capitulo%20I.pdf)
- Manual-de-siembra-pitahaya.pdf*. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://www.procomer.com/wp-content/uploads/Manual-de-siembra-pitahaya.pdf>
- Manzanero, L., Isaac, R., Zamora, P., Rodríguez, L., & Ortega, J. (2014). Conservación de la pitahaya [ *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose] en el Estado de Campeche, México. *Recursos Genéticos Forestales*.
- Méndez, C., & Coeyo, O. (2016). *El cultivo de la pitahaya*.  
[http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt\\_624\\_pitaya.pdf](http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt_624_pitaya.pdf)
- Montesinos, J., Larramend, L. R., Pérez, R. O., Fonseca, M. de los Á., Ruíz, G., & Guevara-Hernández, F. (2015). UN RECURSO FITOGENÉTICO CON HISTORIA Y FUTURO PARA EL TRÓPICO SECO MEXICANO. *cultivos tropicales*, 36(especial), 11.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193243640007>
- Nerd, A., & Mizrahi, Y. (1999). The effect of ripening stage on fruit quality after storage of yellow pitaya. *Postharvest Biology and Technology*, 15(2), 99-105.  
[https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00080-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00080-5)
- Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palme, K. J., & Jansen, M. A. K. (2007). Stress-induced morphogenic responses: Growing out of trouble? *Trends in Plant Science*, 12(3), 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.01.004>
- Reinald, P., & Pereira, A. (2003). *Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara*.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85715107>

- Reyes, J., Murillo, B., Nieto, A., Hernandez, L., & Rueda, E. (2017). Uso de vermicompost y compost de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el crecimiento de col morada (*Brassica oleracea*). *Interciencia*, 42(núm. 9), 610-615 pág.
- Santarrosa Quiguirí, V. P. (2013). *Evaluación nutricional comparativa de pitahaya (Hylocereus triangularis) deshidratada en deshidratador de bandejas con la liofilizada*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3087>
- Trevizan Rispoli, J., Baltierra Chipana, H., Trevizan Rispoli, J., & Baltierra Chipana, H. (2018). Evaluation of asexual propagation by two cacti species: *Corryocactus brevistylus* K. Schum., and *Oreocereus leucotrichus* (Philippi) Wagenknecht, native species in the foothills of region XV, Arica and Parinacota, Chile. *Idesia (Arica)*, 36(4), 109-120. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005002803>
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., Paucar-Menacho, L. M., Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020a). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439-453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., Paucar-Menacho, L. M., Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020b). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439-453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>

**ANEXOS**





Anexo 1. Longitud de raíz de tratamientos sin sustrato



Anexo 2. Longitud de raíz a los 15 días del bloque II





Anexo 3. Número de raíz a los 15 días bloque I



Anexo 4. Número de raíz a los 15 días del bloque III





**Anexo 5.** Numero de raiz a los 30 dias en tratamiento con sustrato



**Anexo 6.** Numero de raiz a los 30 dias en tratamiento sin sustrato



**Anexo 7.** Ubicación de las bolsas con sustrato



**Anexo 8.** Instalacion de tratamientos en parcela con sustrato





**Anexo 9.** Preparacion de esquejes para parcela sin sustrato



**Anexo 10.** Ubicacion de esquejes en parcela sin sustrato



**Anexo 11.** Desinfeccion y limpieza de esquejes



**Anexo 12.** Corte de la base en los esquejes

### Anexo 13. Costos de producción

| Detalle          | unidad          | cantidad     | Costo unitario | Total c/sustrato | Total s/sustrato | Cantidad por Ha, | Total por Ha c/sustrato | Total por Ha s/sustrato |
|------------------|-----------------|--------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|
| Esques           | Unidad          | 120          | 10             | 1200             | 1200             | 1670             | 16700                   | 16700                   |
| Arena            | Cubo carretilla | 2 caretillas | 5              | 10               | 0                | 1 cubo           | 100                     | 0                       |
| Aserrín          | Bolsa           | 4            | 2              | 8                | 0                | 15               | 30                      | 0                       |
| Lavandina        | Litro           | 1            | 7              | 7                | 7                | 5                | 35                      | 35                      |
| Alcohol          | Litro           | 2            | 5              | 10               | 10               | 5                | 25                      | 25                      |
| Bolsas           | Kilo 16x18      | 2            | 20             | 40               | 0                | 10               | 200                     | 0                       |
| Malla rashell    | Metro           | 28           | 7.5            | 210              | 0                | 56               | 420                     | 0                       |
| Alambre          | Kilo            | 2            | 12             | 24               | 0                | 5                | 60                      | 0                       |
| Postes de madera | Unidad          | 6            | 25             | 150              | 0                | 12               | 300                     | 0                       |
| Mano de obra     | Jornal          | 2            | 80             | 160              | 80               | 4                | 320                     | 160                     |
| <b>TOTAL</b>     |                 |              |                | 1819             | 1297             |                  | 18190                   | 16920                   |