

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS y PECUARIAS**

**“Dr. Martín Cárdenas”**



**TÉCNICAS DE MULTIPLICACIÓN DE PLANTINES  
DE TUNA (*Opuntia ficus indica* L.)  
A NIVEL DE VIVERO EN “LA VIOLETA”**

**TESIS DE GRADO PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**Carol Celedonia Rojas Aguilar**

Cochabamba – Bolivia  
2017

**HOJA DE APROBACIÓN**

---

**Ing. Agr. M.Sc. Hernán Campos Garvizu**  
**TRIBUNAL**

---

**Ing. Agr. M.Sc. Franz Gutiérrez Ferrufino**  
**TRIBUNAL**

---

**Ing. Agr. Ruddy Meneses Arce**  
**TRIBUNAL**

---

**V°B° Ing. Agr. Freddy Espinoza Colque**  
**DECANO FCAYP - UMSS**

## **DEDICATORIA**

*A Dios, porque “puse en él toda mi confianza  
y él se inclinó hacia mí y escucho mi clamor” Salmos 40:1*

*A mis padres, Ramiro y Ana, por su paciencia, motivación y apoyo incondicional.*

*A mis hermanos Mayra, Ronald, José, Lindsay y Abrahan  
a quienes amo y llevo siempre en mi corazón y en mi pensamiento.*

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es fruto del apoyo y confianza brindada de muchas personas razón por lo cual deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a:

- La Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias “Martín Cárdenas” (FCAyP), por la enseñanza impartida en sus aulas durante mis años de estudio.
- Al Centro de Investigación en Forrajes CIF “La Violeta” dependiente de la FCAyP-UMSS, por el apoyo financiero y facilidades brindadas para la realización de esta investigación, en particular al Proyecto *Recuperación y valorización de cactáceas, para uso forrajero, como una forma de adaptación al cambio climático para apoyar la producción animal en zonas áridas y semiáridas de Bolivia*.
- Al Ing. M.Sc. **Hernán Campos** en primer lugar por la amistad que me brindó durante todo este tiempo y a la vez por todas sus enseñanzas, por el apoyo incondicional y la confianza que depositó en mí, para la realización de esta tesis.
- Al Ing. M.Sc. **Franz Gutiérrez** por todo el apoyo brindado y experiencia puesta al servicio de ésta tesis, por su amistad y principalmente por su paciencia.
- Al Ing. **Ruddy Meneses** por sus aportes profesionales, motivación, sugerencias y correcciones, contribuyendo de manera importante en la preparación de la presente tesis.
- A la Ing. **Lorena Lazarte** quién sin egoísmo me ha brindado su conocimiento, sugerencias, constante apoyo y amistad.
- A todo el personal del Centro de Investigación de Forrajes CIF “La Violeta”, por su cooperación durante el desarrollo de la tesis.
- A **Raúl Alcocer** quien me ofreció su apoyo incondicional y amigos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias Dr. “Martín Cárdenas”, que de una u otra manera fueron participes de este proceso y me apoyaron, que Dios les bendiga por siempre.

## RESUMEN

Se trabajó con la tuna con fines forrajeros. El ensayo se estableció el 12 de enero de 2016 a nivel de vivero en el CIF “La Violeta” (valle de Cochabamba, a 2614 msnm). Se evaluó el porcentaje de prendimiento, largo de brote, ancho de brote, puntos de emisión de raíces, tamaño de raíces, materia seca de raíces y materia seca de brotes, para la tuna especie *Opuntia ficus-indica*, bajo un diseño experimental factorial en bloques al azar con arreglo de parcelas sub divididas, en cuatro repeticiones; se evaluaron tres factores: **a)** Sustratos: Tierra del lugar y mezcla (arena, tierra del lugar y tierra vegetal en una proporción 1:1:1); **b)** Tamaño de fracción de cladodio (cladodio cortado en 4, 6 y 8 trozos); y **c)** Posición de plantación horizontal y vertical. Los resultados con una mayor tasa de multiplicación fueron: sustrato mezcla presentando mejores respuestas con respecto al porcentaje de prendimiento con 55.5% y tamaño de raíces con 17.7 cm, sin embargo, en el ancho de brote y puntos de emisión de raíces, con 5.8 raíces, destaca el sustrato tierra debido a la rusticidad de esta especie. Las fracciones más grandes (cuatro, seis) plantadas en posición vertical presentaron los mejores resultados en relación a porcentaje de prendimiento con 58.8%, puntos de emisión de raíces con 7.2 raíces; materia seca de raíces con 1.5 (g/planta), materia seca de brotes con 9.1 (g/planta) y ancho de brote 7.7 cm. Se concluye que los factores sustrato mezcla, fracción cuatro y posición vertical influyeron positivamente en la tasa de multiplicación, por tanto se pudo obtener brotes vigorosos, los cuales pueden ayudar al agricultor, a fin de lograr una mayor accesibilidad al material vegetal.

**Palabras clave:** TUNA; *Opuntia ficus indica*; PROPAGACION VEGETATIVA; VIVERO

## ABSTRACT

**Techniques of multiplication of tuna (*Opuntia ficus indica* L.) seedlings in green house conditions in “La Violeta”.** We worked with the tuna for fodder purposes. The study commenced on 12 of January 2016 in the green house of the CIF “La Violeta” (Cochabamba Valley, at 2614 masl). The following variables were evaluated in tuna, species *Opuntia ficus-indica*: percentage of rooting, length of bud, width of bud, points of emission of roots, size of roots, dry matter of roots, dry matter of buds. Experimental design was factorial with randomized blocks and split plots, with four repetitions. Three factors were analyzed: a) Substrates: soil of the site and mixture (sand, soil of the site and organic soil, in proportion of 1:1:1); b) Size of fraction of cladode (cladode cut into 4, 6 and 8 pieces); and c) Position of planting: horizontal and vertical. Results with higher rate of multiplication were: substrate mixture, showing better results in percentage of rooting with 55.5% and size of roots with 17.7 cm, nevertheless, in width of bud and points of emission of roots with 5.8 roots, the substrate soil stands out due to rusticity of this species. The larger pieces ( four, six) planted in vertical position presented the best results in relation to percentage of rooting with 58.8%, points of emission of roots with 7.2 roots; dry matter of roots with 1.5 (g/plant), dry matter of buds with 9.1 (g/plant) and width of bud 7.7 cm. It can be concluded that the factors mixed substrate, four pieces, and vertical position positively influenced the rate of multiplication, therefore enabling vigorous buds that can help the farmer, with the aim to achieve a better attainability of plant material.

**Keywords:** TUNA; *Opuntia ficus indica*; VEGETATIVE PROPAGATION; NURSERY

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iii
TABLA DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. HIPÓTESIS	2
<b>II REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
2.1. Taxonomía de la tuna	3
2.2. Anatomía y morfología de la tuna	4
2.2.1. Areolas	4
2.2.2. Hojas	4
2.2.3. Espinas	5
2.2.4. Tallos	5
2.2.5. Flores	5
2.2.6. Frutos	6
2.2.7. Gloquidios	6
2.2.8. Raíces	6
2.3. Origen y distribución geográfica de <i>Opuntia</i> spp.	7
2.4. Zonas áridas de Latinoamérica	8
2.5. Requerimientos del cultivo de tuna	8
2.6. Importancia de la tuna ( <i>Opuntia</i> spp.)	9
2.7. Propagación de la tuna	10
2.7.1. Propagación por semilla	10
2.7.2. Propagación asexual	10

2.8. Usos generales de la tuna con énfasis en su utilización como forraje	12
2.9. Valor nutritivo de la tuna	14
2.10. Plagas y enfermedades de la tuna	15
2.10.1. Plagas	15
2.10.2. Enfermedades bióticas y abióticas	16
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>17</b>
3.1. Materiales	17
3.2. Metodología	18
3.2.1. Ubicación del ensayo	18
3.2.2. Selección del material vegetativo	18
3.2.3. Tratamiento del material vegetativo	18
3.2.4. Preparación del sustrato	19
3.2.5. Plantación del material vegetativo	19
3.3. Diseño experimental y tratamientos evaluados	19
3.4. Variables de respuesta	21
3.4.1. Muestreos no destructivos	21
3.4.1.1. Porcentaje de prendimiento	21
3.4.1.2. Largo de brotes	22
3.4.1.3. Ancho de brotes	23
3.4.2. Muestreos destructivos	23
3.4.2.1. Puntos de emisión de raíces	24
3.4.2.2. Tamaño de raíces	24
3.4.2.3. Materia seca de raíces	25
3.4.2.4. Materia seca de brotes	25
3.5. Modelo estadístico	26

<b>IV</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>27</b>
	4.1. Evaluación de la parte aérea para determinar efectos de diferentes factores en la multiplicación de tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) a nivel de vivero “La Violeta”	27
	4.1.1. Porcentaje de prendimiento	28
	4.1.2. Largo de brotes	30
	4.1.3. Ancho de brotes	31
	4.1.4. Materia seca de brotes	34
	4.2. Evaluación de la parte radicular para determinar efectos de diferentes factores en la multiplicación de tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) a nivel de vivero “La Violeta”	36
	4.2.1. Puntos de emisión de raíces	37
	4.2.2. Tamaño de raíces	41
	4.2.3. Materia seca de raíces	43
<b>V</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
<b>VI</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>46</b>
<b>VII</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA</b>	<b>47</b>
<b>VIII</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Esquematación de los factores de estudio en el vivero del CIF	20
<b>Figura 2</b>	Vista general del ensayo, en el vivero del CIF “La Violeta” donde se aprecia la emisión de los brotes	21
<b>Figura 3</b>	Determinación del largo de brote mediante el uso de una regla graduada y un calibrador tipo Vernier	22
<b>Figura 4</b>	Determinación del ancho del brote mediante el uso de un calibrador tipo Vernier y una regla graduada	23
<b>Figura 5</b>	Desarrollo de las raíces en los dos sistemas de plantación, izquierda: vertical; derecha: horizontal	24
<b>Figura 6</b>	Determinación de la longitud de las raíces mediante el uso de una regla graduada	24
<b>Figura 7</b>	Colocación de las muestras picadas de brotes para la determinación de materia seca de este componente	25
<b>Figura 8</b>	Porcentaje de prendimiento para la interacción <i>tamaño de fracción por posición de plantación</i> para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	29
<b>Figura 9</b>	Curvatura de la penca de tuna causada por la deshidratación	29
<b>Figura 10</b>	Ancho de brote (cm) para el factor <i>tamaño de fracción</i> para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	32
<b>Figura 11</b>	Ancho de brote (cm) para la interacción <i>sustrato por tamaño de fracción</i> para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	32
<b>Figura 12</b>	Materia seca de brotes (g/planta) para el factor tamaño de fracción para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	34
<b>Figura 13</b>	Materia seca de brotes (g/planta) para el factor posición de plantación para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	35
<b>Figura 14</b>	Puntos de emisión de raíces para el factor <i>sustrato</i> para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	37
<b>Figura 15</b>	Puntos de emisión de raíces para el factor <i>tamaño de fracción</i> para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	38
<b>Figura 16</b>	Puntos de emisión de raíces para la interacción <i>sustrato por tamaño de fracción</i> para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	39
<b>Figura 17</b>	Puntos de emisión de raíces para el factor <i>posición de plantación</i> para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	40
<b>Figura 18</b>	Puntos de emisión de raíces para la interacción <i>tamaño de fracción por posición de plantación</i> para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	41
<b>Figura 19</b>	Tamaño de raíces (cm) para el factor <i>sustrato</i> para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	42
<b>Figura 20</b>	Materia seca de raíces (g/planta) para el factor <i>tamaño de fracción</i> para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	43
<b>Figura 21</b>	Materia seca de raíces (g/planta) para el factor <i>posición de plantación</i> para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero	44

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b>	Clasificación taxonómica de la cactáceas	3
<b>Cuadro 2</b>	Usos actuales y potenciales de <i>Opuntia</i> spp.	12
<b>Cuadro 3</b>	Calidad nutricional de pencas de tuna en comparación con chala seca de maíz	14
<b>Cuadro 4</b>	Resumen del análisis de varianza para los factores <i>sustratos</i> , <i>tamaño de fracción</i> y <i>posición de plantación</i> en la multiplicación de tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) en vivero “La Violeta”	27
<b>Cuadro 5</b>	Valores medios para el factor sustrato, para la variable porcentaje de prendimiento	30
<b>Cuadro 6</b>	Valores medios para la interacción <i>sustrato * fracción</i> , para la variable largo de brote	31
<b>Cuadro 7</b>	Resumen del análisis de varianza del muestreo destructivo (parte radicular) con brotes de la multiplicación de tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) en vivero “La Violeta”	36

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la creciente demanda de alimentos está exigiendo a los agricultores a aumentar su producción, ocasionando así cambios en los suelos, dejándolos muchas veces infértiles y erosionados, reduciendo los espacios de actividades agrícolas. Por otra parte, otro causante es el cambio climático, el cual afecta muchas regiones del país, dejándolas con menor precipitación, lo cual también afecta a ganaderos de nuestro país.

En terrenos a secano, en zonas áridas y semiáridas, en la mayor parte de los años no es posible mantener explotaciones ganaderas de leche, sustentadas con la pradera natural, debido a la baja oferta de forraje y mala calidad de éste. Este tipo de vegetación aporta recursos para la sobrevivencia del ganado y en pocos casos para la producción. Con el fin de alcanzar niveles económicos expectables, se hace necesario suplementar al ganado con alimentos baratos que aporten energía y proteína en los periodos críticos de escasez de forraje y condiciones de déficit hídrico.

Una opción para enfrentar las limitaciones descritas a nivel local, nacional y porque no mundial, es el cultivo de la tuna (del género *Opuntia*), el cual es altamente eficiente en el uso del agua, soporta periodos de sequía y altas temperaturas. Este género se adapta muy bien a suelos pobres en nutrientes y con limitaciones de recursos hídricos. Por otro lado el alto potencial productivo, bajo condiciones de déficit hídrico, coloca a esta especie como una importante fuente de forraje. En zonas áridas y semiáridas, las pencas (o paletas o cladodios) son utilizadas por los ganaderos para proporcionar alimento y agua en periodos de sequía y escasez de forraje a bovinos, ovinos y caprinos.

El establecimiento de plantaciones de tuna para producción de forraje, constituye una opción para disminuir la presión sobre las poblaciones silvestres. También mediante un manejo especializado de plantaciones, se podrá mantener la producción por periodos largos y así atenuar los efectos negativos de las sequías recurrentes y prolongadas sobre las actividades pecuarias. Por otra parte las plantaciones de tuna tienen un efecto ecológico benéfico ya que las plantas protegen al suelo contra la erosión hídrica y eólica.

La tuna es una planta de fácil propagación y con buen rendimiento de forraje, capaz de prosperar en tierras marginales, con la ventaja adicional de que esta planta produce frutos y verdura para consumo humano. El desarrollo futuro de la producción de ésta especie, debe concentrarse en el establecimiento de viveros de certificación autorizados, responsables de proveer plantines vigorosos y sanos, seleccionados de huertos de productividad reconocida.

Por tanto, a fin de facilitar y apoyar al agricultor en la accesibilidad al material de plantación para la producción de tuna, el presente trabajo plantea los siguientes objetivos e hipótesis.

## 1.1. OBJETIVOS

**1.1.1. Objetivo general:** Desarrollar técnicas de mayor eficiencia que permitan una alta tasa de propagación de plantines vigorosos de tuna.

### 1.1.2. Objetivos específicos:

- Determinar el tipo de sustrato, con el cual se obtenga una mayor tasa de multiplicación y mayor vigor (en términos de acumulación de biomasa de brote) en la producción de plantines de tuna.
- Determinar el tamaño de cladodio con el cual se obtenga una mayor tasa de multiplicación y mayor vigor en la producción de plantines de tuna.
- Determinar la posición de plantación de cladodio, con el cual se obtenga una mayor tasa de multiplicación y mayor vigor en la producción de plantines de tuna.

## 1.2. HIPÓTESIS:

**Ho.** El tipo de sustrato, tamaño de cladodio y la posición de plantación, no influyen en la tasa de propagación y el vigor (en términos de biomasa de brote) de plantines de tuna, producidos en vivero.

## I. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Taxonomía de la tuna (*Opuntia* spp.)

Según Scheinvar, citado por Barbera *et al.* (1999), la taxonomía de esta especie es complicada por diferentes razones, sus fenotipos, que varían en gran medida de acuerdo a las condiciones ecológicas y la poliploidía, con un gran número de poblaciones que se reproducen vegetativa y sexualmente, así como a la existencia de numerosos híbridos inter específicos ya que casi todas las especies florecen durante el mismo periodo del año y no hay barreras biológicas que las separen.

Según Amaya y Julio (2009), el primer nombre español de la tuna fue *Higo de las Indias*, que alude a su origen, las "Nuevas Indias" y de allí su primer nombre científico: *Cactus ficus-indica* L. El nombre *ficus-indica* había sido usado en "frases diagnósticas" ya mucho antes de Linneo, para designar varias especies.

El Cuadro 1 presenta una clasificación taxonómica general para las cactáceas:

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica de las cactáceas

<b>Reino</b>	Vegetal
<b>Sub reino</b>	Embryophita
<b>División</b>	Angiospermae
<b>Clase</b>	Dicotyledonea
<b>Subclase</b>	Dialipétalas
<b>Orden</b>	Opuntiales
<b>Familia</b>	Cactaceae
<b>Subfamilia</b>	Opuntioideae
<b>Tribu</b>	Opuntiae
<b>Género</b>	<i>Opuntia</i> y <i>Nopalea</i>
<b>Especie</b>	<i>Opuntia ficus-indica</i>
<b>Nombre vulgar</b>	Tuna

**Fuente:** Barrientos citado por Abraján, M. 2008.

## **2.2. Anatomía y morfología de la planta de tuna**

La evolución del género *Opuntia* en ambientes áridos y semiáridos, donde distintas situaciones ambientales imponen limitantes a la sobrevivencia y productividad de las plantas del desierto, ha conducido a desarrollar características adaptativas en su anatomía, morfología y fisiología (Sudzuki, 1999). Ochoa *et al.* (2010), mencionan que la especie *Opuntia ficus-indica* es entre las cactáceas, la de mayor importancia agrícola, tanto por sus frutos como por sus tallos que sirven de forraje o pueden ser consumidos como verduras.

De manera general, la tuna es una especie arbustiva de hasta 5 m de altura. Las pencas son oblanceoladas, chatas pero relativamente gruesas (12-50 cm de longitud, 15 mm de espesor) con bordes redondeados; se presentan -por lo regular- de 18-22 areolas, ligeramente prominentes, las flores son de 6 a 8 cm de longitud y de 7 a 10 cm de diámetro, estas nacen de los bordes de los pencas superiores, petaloides amarillos, el ovario es de color verde, fruto de color verde amarillento, jugoso y dulce, semillas: grandes, numerosas (Ochoa *et al.* 2010).

### **2.2.1. Areolas**

Son depresiones en la epidermis de la planta, de donde nacen las espinas, pelos o cerdas y las hojas. Tienen yemas, lo cual les da la capacidad de generar ramificación y flores. Como también la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces según las condiciones ambientales (Granados y Castañeda 1996).

### **2.2.2. Hojas**

Según Quiquango (2011), las hojas son caducas, solo se observan sobre tallos tiernos, cuando se produce la renovación de pencas, en cuyas axilas se hallan las areolas de las cuales brotan las espinas, de aproximadamente 4 mm de longitud. Las hojas desaparecen cuando las pencas han alcanzado un grado de desarrollo y en cuyo lugar quedan las espinas.

### **2.2.3. Espinas**

Según Ochoa *et al.* (2010), las espinas se originan de las areolas, es decir de las yemas de tejidos interiores de la planta. Están constituidas por tejidos muertos y mineralizados generalmente duros. Sin embargo también hay delicadas, como cerdas e incluso como pelos. Algunos cactus, relativamente pocos y la mayoría epifitos, no desarrollaron espinas, las tienen latentes. Sus funciones son varias: protección contra los herbívoros, como centro de condensación (al enfriarse el aire la humedad ambiente se condensa sobre ellas), también permiten que el agua se deslice por la superficie, llegue a la base de la espina y caiga al suelo para ser absorbida por las raíces superficiales.

Hay espinas de distintas formas: cilíndricas, cónicas, aplanadas, rectas, curvas, ganchudas, el tamaño es muy variable, desde muy pequeñas hasta de 20 cm o más, como en *Opuntia quimilo*.

### **2.2.4. Tallos**

Los tallos (técnicamente denominados cladodios o pencas) son suculentos y articulados, presentan formas de raqueta ovoide o alongada, alcanzando hasta 60 a 70 cm de longitud, dependiendo del agua y de los nutrientes disponibles (Sudzuki *et al.* 1993). Cuando miden 10-12 cm son tiernos y se pueden consumir como verdura.

Los tallos se lignifican con el tiempo y pueden llegar a transformarse en verdaderos tallos leñosos, agrietados, de color ocre blancuzco a grisáceo.

### **2.2.5. Flores**

Las flores son sésiles, hermafroditas y solitarias, se desarrollan normalmente en el borde superior de las pencas. Su color es variable: rojo, amarillo, blanco, entre otros. En la mayor parte del mundo la planta florece una vez al año, sin embargo, en Chile bajo ciertas condiciones ambientales y con suministro de agua en verano, se presenta una segunda floración en marzo, que da origen a la llamada fruta “inverniza” (Sudzuki *et al.* 1993).

### **2.2.6. Frutos**

Son una falsa baya con ovario ínfero simple y carnoso, la forma y tamaño de los frutos es variable. Chessa y Nieddu (1997) y Ochoa (2003), describen en detalle los tipos de frutos, hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos con los extremos aplanados, cóncavos o convexos. Los colores son diversos: rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes, con pulpas también de los mismos colores. La epidermis de los frutos es similar a la del cladodio, incluso con areolas y abundantes gloquidios y espinas, que a diferencia del cladodio persisten aún después de la sobremadurez del fruto. La cáscara de los frutos difiere mucho en grosor, siendo también variable la cantidad de pulpa. Esta última presenta numerosas semillas que se consumen junto con la pulpa. Hay frutos que presentan semillas abortadas, lo que aumenta la proporción de pulpa comestible.

Debido a que existen preferencias en algunos mercados por frutos con pocas semillas o sin semillas, el mejoramiento genético está orientado hacia la búsqueda y multiplicación de variedades que presenten esta característica (Mondragón 2004).

### **2.2.7. Gloquidio**

Según Ochoa *et al.* (2010), la subfamilia Opuntiodiae tiene en cada areola un verdadero cepillo de espinas pequeñas, los gloquidios (en nuestro medio conocido como *quepus*) que se desprenden muy fácilmente por tener la base débil. La superficie de los gloquidios es áspera, ya que un extremo de sus células superficiales se separa, de modo que al penetrar en la carne, es difícil extraerlos ya que actúan como anzuelos.

### **2.2.8. Raíces**

Según Sudzuki (1999), el sistema radicular es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. La longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo cultural, especialmente el riego y la fertilización.

Las raíces pueden contribuir para la tolerancia a condiciones de sequía en tres formas:

- 1) Restringiendo la superficie radicular y reduciendo su permeabilidad al agua.
- 2) Absorbiendo rápidamente la pequeña cantidad de agua suplementada por lluvias ligeras vía “raíces de lluvia” o vía la reducción de la superficie radicular desde donde fluye el agua.
- 3) Reduciendo la transpiración debido a un alto potencial negativo radicular.

### **2.3. Origen y distribución geográfica de la tuna**

La tuna *Opuntia ficus-indica* pertenece a la familia Cactaceae, siendo las cactáceas especies endémicas del continente americano, que se desarrollan principalmente en las regiones áridas y semiáridas (Flores *et al.* 1995). El centro primitivo de diferenciación de las cactáceas, fue el Golfo de México y el Caribe, desde donde emigraron para constituir las dos zonas geográficas actuales: América del Norte y América del Sur.

En América del Norte se localizan 92 géneros de cactáceas, de las cuales 51 existen en México y 31 en Estados Unidos, en tanto que en América del Sur se localizan 10 géneros. Esta distribución ubica como centro de diseminación a México. Las tunas se han adaptado perfectamente a zonas áridas, caracterizadas por condiciones secas, lluvias erráticas y suelos pobres expuestos a la erosión. Algunas especies son inclusive consideradas como plantas naturalizadas en países como Sudáfrica y Australia, donde las condiciones ambientales son particularmente favorables (Reynolds y Jiménez 2003).

Actualmente la tuna para fruta, se produce en 32 países, siendo en la mayoría de ellos un producto secundario de la producción de forraje o de su uso en la conservación de suelos, o corresponden a plantaciones en superficies pequeñas, por lo que los frutos son consumidos localmente y no participan en el mercado mundial de exportación. Entre los países productores destacan México, Túnez, Argentina, Italia, Sudáfrica, Chile, Israel y EE.UU (Álvarez 2007). Cárdenas citado por Taborga (1995), indica que en Bolivia la tuna se encuentra distribuida principalmente en el altiplano, y en menor proporción en los valles y llanos; la mayor concentración de tunales se encuentra en los departamentos de La Paz, Cochabamba, Santa Cruz, Chuquisaca, Potosí y Tarija.

## **2.4. Zonas áridas de Latinoamérica**

Según Iñiguez (2013), las zonas áridas comparten características comunes y marginales para la agricultura y ganadería. La marginalidad deriva de la escasa disponibilidad de agua como consecuencia de sequías prolongadas que pueden extenderse hasta diez meses del año, a menudo presentando secuencias recursivas de episodios de sequía extrema a través de los años, además de altos índices de evapotranspiración. En tales condiciones ambientales, la producción de cultivos y forrajes debe acomodarse a la corta época de lluvias con altos riesgos, a menos de que se cuente con agua para producir en regadío. En Latinoamérica estas zonas están extendidas desde México en Norte América, hasta el extremo sur en la Patagonia, con una variedad de climas, desde aquellos con temperaturas glaciales en los andes altos, a los de temperatura elevadas en climas tropicales y subtropicales secos como de los estados del noreste de Brasil, los estados semiáridos de Venezuela o la subregión del Chaco, compartida por Argentina, Bolivia y Paraguay. Albergan además, una población con los índices más altos de pobreza rural y marginalización en la región, sin que esta condición haya cambiado en las últimas décadas debido a un desarrollo precario en comparación con el desarrollo de otras zonas en condiciones más propicias para la producción agropecuaria. Esta situación dio lugar a tasas elevadas de migración rural que crean desequilibrios sociales y económicos en los países, sin mencionar los efectos traumáticos que tal nefasto proceso impone a la familia del agricultor. Solo en años recientes, el desarrollo de estos territorios está siendo enfocado por los gobiernos de la región, en el intento de combatir la pobreza y revertir las condiciones de degradación ambiental generadas por el uso irrestricto y no controlado de los recursos naturales (Iñiguez 2013).

Según Luna y Urrutia (2008), en estas regiones prevalecen condiciones de escasa y errática precipitación pluvial, vientos fuertes y secos, suelos con baja fertilidad y una drástica oscilación diaria de la temperatura del aire.

## **2.5. Requerimientos del cultivo de tuna**

La tuna se desarrolla bien con temperaturas medias anuales entre 12-34°C, con un rango óptimo de 16-23°C. Heladas de -10°C afectan al cultivo, sobre todo en plantaciones

jóvenes. Las bajas temperaturas (promedio diario menor a 15°C) disminuyen el número de flores y alargan el periodo de maduración del fruto, pudiendo llegar hasta después del invierno. En la fructificación, cuando el promedio de temperatura diaria llega a 25°C, el periodo de maduración de los frutos es muy corto, lo que obliga a una rápida cosecha para evitar que los frutos pierdan su calidad comercial (Sudzuki *et al.* 1993; Ríos y Quintana 2004; Álvarez 2007).

La tuna se produce en zonas con precipitaciones anuales desde 116 mm hasta 1805 mm, siendo el ideal 400 - 750 mm. Al respecto se señala que precipitaciones mayores a 1000 mm o menores a 200 mm limitan el crecimiento del cultivo. Los excesos de humedad pueden provocar enfermedades fungosas y favorecer daños por insectos (Álvarez 2007; Sudzuki *et al.* 1993).

Se adapta bien a suelos con diversas texturas y composiciones, pero se desarrolla mejor en suelos arenosos, calcáreos, con al menos 30 cm de profundidad, bien drenados, pH 6,5 - 8,5 y pedregosos (Ríos y Quintana 2004).

Las condiciones ambientales para establecer una palma forrajera en el semiárido Brasileño incluye: temperaturas entre 18-38°C, humedad relativa entre 55-70% (tales condiciones son encontradas donde la altitud sobrepasa los 400 msnm), precipitación pluvial entre 400-800 mm, bien distribuidos, y topografía levemente ondulada. Estas plantas necesitan suelos bien drenados, de buena fertilidad y que no tengan problemas de salinidad (Farias *et al.* 2005).

## **2.6. Importancia de la tuna**

El interés creciente por las tunas, en particular *Opuntia ficus-indica* L. Mill, está basado en el papel importante que desempeñarían en el éxito de los sistemas agrícolas sustentables de zonas áridas y semiáridas (Barbera 1995). Ello debido principalmente a su alta eficiencia en el uso del agua, aún en áreas con lluvias anuales de 120 -150 mm y su alta tolerancia a la sequía, creciendo hasta el límite de la zona hiper-árida (Le Houérou citado por Guevara *et al.* 1997).

La importancia de obtener productos y subproductos de la tuna, crea nuevas oportunidades para las regiones semiáridas, ya que es un cultivo con muchas posibilidades de contribuir a la alimentación humana, medicina, forraje y otros de gran ayuda para personas de bajos ingresos (FAO citado por Alonso y Cruz 2007).

Finalmente, la explotación de varias especies de *Opuntia* sp., para forraje, bien puede responder a las necesidades económicas y ambientales de las regiones áridas y semiáridas, así como de países pobres frente a los cambios climáticos globales esperados. A pesar de las diferencias en condiciones ambientales y sociales, así como las características del ganado menor o mayor de cada localidad, la tuna está como un producto muy relevante, tanto para las necesidades nutricionales de los animales como para la cosecha y almacenamiento de agua. Así podrían ser ampliamente utilizadas por razones económicas y ecológicas, pero también podrían salvar grandes áreas de la desertificación, gracias a sus cualidades multifuncionales; es seguro que la erosión de la tierra, el sobre pastoreo y la salinización podrían ser reducidas con su diseminación (Barbera 1995).

## **2.7. Propagación de la planta de tuna**

### **2.7.1. Propagación por semilla**

Amaya y Julio (2009), mencionan que la propagación de tuna se puede hacer por semilla la cual tiene alto poder germinativo, pero su desarrollo es muy lento, con una alta variabilidad y está destinado parcialmente a mejoramiento genético. Generalmente se utiliza la reproducción asexual, mediante pencas o cladodios.

### **2.7.2. Propagación asexual**

Pimienta *et al.* citados por Mondragón y Pimienta (1999), mencionan que el nopal tunero es cultivado en forma extensiva como una especie frutal y forrajera en muchos países. El nopal también ha sido útil en la preservación de la degradación ecológica de ambientes sensibles a largo plazo. El cultivo extensivo se basa en la propagación vegetativa, la cual es preferida por su sencillez.

La reproducción asexual o vegetativa resulta más ventajosa desde el punto de vista comercial, debido a que se conservan las características fenológicas de la planta madre. Las plantas obtenidas por este método tienen una producción más rápida. Esta forma de reproducción puede realizarse mediante dos sistemas: pencas enteras o fracciones mínimas.

Desde el punto de vista botánico las areolas son tejidos meristemáticos capaces de producir nuevos brotes, flores o raíces, dependiendo de su posición así como en otros frutales perennes (Buxbaum 1950). En el nopal tunero, los cladodios, las flores, y aún los frutos en desarrollo, son capaces de diferenciación, sin embargo los cladodios son la unidad típica de propagación (Pimienta 1990).

El uso de fracciones de pencas se inicia con la división de las mismas en varias partes, dependiendo de su tamaño, en consecuencia pencas de mayor tamaño permitirán obtener un mayor número de trozos. Este método se usa cuando existe escasez de material vegetativo o cuando hay grandes distancias entre el huerto madre y el nuevo huerto, con el objetivo de evitar grandes costos en transporte (Mondragón y Pimienta 1999). En teoría, el trozo de penca debe tener al menos una areola por cada lado, aunque trozos más grandes producirán un mayor número de brotes y de mayor peso. Por este motivo no se recomienda usar esta técnica cuando las pencas son pequeñas, debiendo optar por plantarlas como pencas individuales.

Para el caso de multiplicación por fracciones de cladodios, éstos se seleccionan de plantas sanas, sin plagas ni deformaciones, preferiblemente de seis meses a un año de edad, que deben obtenerse mediante un corte limpio por la zona de unión entre pencas (De la Rosa y Santana 1998; Melgarejo 2000).

Empleando fracciones de pencas, éstas deben tratarse con caldo bordelés, se deshidratan y se plantan, enterrándose la mitad de ellas en un almacigo (de 1.20 metros de ancho por 5 o hasta 100 metros de largo, según la cantidad de planta que se quiera), esta forma de plantar nopal es muy laboriosa, solo se recomienda hacerlo cuando se tiene pocas pencas y se desea obtener en forma rápida el número de unidades de plantación requerido; el procedimiento para obtener plantas enraizadas listas para trasplantarse al lugar definitivo, dura hasta 6 meses (Pimienta *et al.* citados por Mondragón y Pimienta 1999).

## 2.8. Usos generales de la tuna con énfasis en su utilización como forraje

Las opuntias y sus productos son útiles para varios propósitos y es difícil encontrar plantas más difundidas y mejor explotadas, particularmente en las zonas áridas y semiáridas. De esta manera se han convertido en una fuente amplia de productos y funciones (Cuadro 2), inicialmente como planta silvestre y más tarde como cultivo, tanto para la agricultura de subsistencia como para la orientada al mercado (Barbera 1995).

**Cuadro 2.** Usos actuales y potenciales de *Opuntia* sp.

Rubro	Usos
Alimentación humana	Frutos: frescos, jugo, puré, mermelada, yogurt, miel, queso (torta formada por presión de frutos secos), mucílagos, bebidas (fermentadas o no). Semillas: aceites, fragancias. Cladodios: nopalitos, mucílagos.
Energía	Frutos y cladodios: alcohol, biogás, leña.
Alimentación animal	Cladodios (pastoreo directo o cosecha y suministro en corral), frutos.
Medicina y cosmetología	Flores: diurético; aceite esencial para perfumería. Cladodios: descongestionante, antidiabético, antidiarreico; mucílagos para uso farmacéutico y cosmético. Raíces: diurético.
Agronomía, protección y ornamentación del ambiente	Fijación de suelos; cercos; cortinas rompe vientos; control de escorrentía y erosión; manejo de cuencas; mejoramiento de suelos; rehabilitación de áreas degradadas; alimentación y refugio de fauna silvestre.
Colorantes	Frutos: betaninas. Ácido carmínico (tintura de cochinilla roja) para industrias cosmetológicas, farmacéuticas, textiles, alimentarias y para actividades artesanales y artísticas.
Otros	Cladodios: material plástico elástico y flexible (con características similares al caucho).

**Fuente:** Sáenz y Sepúlveda (1993); Barbera (1995); Inglese *et al.* (1995); Le Houérou (1996); Mohamed *et al.* (1996); Ueckert (1997).

Según Luna y Urrutia (2008), la ganadería es una de las actividades rurales más comunes entre los habitantes de las regiones semiáridas. En los agostaderos la disponibilidad de forraje determina el sistema de manejo del ganado, ya que constituye la principal fuente de alimento para satisfacer la demanda nutricional del ganado en sus distintas etapas productivas. Por ejemplo en México, el periodo de Diciembre a Junio, se caracteriza por

una elevada escasez de alimento y falta de agua, lo cual no solo afectan a la producción de forraje, sino también a la pérdida de peso del ganado y en casos extremos la muerte.

Beale citado por Daga y Antezana (2014), indica que la penca de tuna *Opuntia* spp. es un alimento succulento (gran cantidad de agua) y de bajo tenor proteico y materia seca total, pero es rico en carbohidratos de alta y mediana digestibilidad, tratándose de un valioso recurso forrajero en zonas áridas y semiáridas, principalmente en la época crítica de déficit forrajero.

Su utilización se incrementó a principios del siglo XVII, con la introducción del ganado en áreas semiáridas y la subsiguiente disminución de los pastizales. La situación obligó a los ganaderos a cortar los cladodios de *Opuntia*, después de quemar las espinas, y usarlos para alimentar al ganado, especialmente durante las sequías (Anaya 2003).

Los índices de reproducción y los niveles de producción de vacas, ovejas y cabras, son superiores cuando los rancheros complementan la dieta normal del ganado con el nopal, durante la estación seca (Flores 1997).

Algunas de las ventajas concretas del cultivo de la tuna para forraje son:

- ⇒ Alta producción de biomasa
- ⇒ Alta palatabilidad
- ⇒ Variado valor nutritivo
- ⇒ Resistencia a la sequía
- ⇒ Adaptación a diferente tipo de suelo.
- ⇒ Tolerancia a la salinidad

No obstante, su mayor atractivo es la eficiencia de convertir agua en materia seca y por tanto en energía digestible (Nobel citado por Florio y Florio 2008).

En la alimentación animal, la tuna para forraje puede utilizarse mediante consumo directo o mediante el corte de pencas, transporte en fresco a comederos, secado y molido de éstas, para suministrarlas a los animales en la ración alimenticia en forma de harina o ensilaje (Murria 1997).

## 2.9. Valor nutritivo de la tuna

Según Luna y Urrutia (2008), la falta del agua limita el éxito de las actividades agropecuarias de temporal en la región, ocasionando frecuentes pérdidas. Sin embargo el nopal es una planta capaz de prosperar donde los cultivos tradicionales tienen serias limitaciones por esta causa.

El nopal se caracteriza por ser un forraje succulento, bien aceptado por el ganado, con un elevado contenido de agua (83% a 92%) y un valor nutricional muy variado. Felker (1999), menciona que en general las tunas son consideradas altas en contenido de humedad (cerca de 85%), altas en digestibilidad *in vitro* (cerca del 75%), pero bajas en proteínas. De manera general se puede referir al Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Calidad nutricional de pencas de tuna en comparación con chala seca de maíz

Componente (en %)	Tuna	Chala seca
Materia seca	10.00	85.00
Proteína bruta	3.46	3.81
Fibra cruda	8.88	35.68
Grasa	2.77	0.88
Ceniza	60.60	7.92
Carbohidratos	68.36	48.20

**Fuente:** Laboratorio de Nutrición Animal (FCAYP - UMSS)

Según Vázquez y Urrutia (2008), el nopal usado como complemento en la dieta del ganado mejora el aprovechamiento de otras fuentes de alimento, en especial de aquellos con alto contenido en fibra como los rastrojos de sorgo y maíz, que son de uso común en la región árida y semiárida del norte de México. El consumo del nopal suele tener un efecto laxante en los animales, en especial cuando se consumen grandes cantidades o cuando las pencas consumidas son jóvenes, lo cual se debe posiblemente al elevado contenido de sales. Su sabor agradable y la elevada digestibilidad de materia seca (50% al 70%) originan consumos elevados de nopal. El rápido paso por el sistema digestivo combinado con el bajo contenido de fibra y desequilibrio entre los niveles de Calcio y Fósforo, probablemente son la causa de la diarrea del ganado. Las pencas más jóvenes son más laxantes por lo que es conveniente utilizar pencas de dos o tres años.

Por otra parte, el suministrar pajas o rastrojos antes del consumo del nopal, retarda la velocidad de paso y disminuye el efecto laxante. Una ventaja adicional del nopal para la alimentación del ganado es la fuente de forraje verde todo el tiempo, y a menudo constituye la única fuente de precursores de vitamina A, durante la estación seca.

## **2.10. Plagas y enfermedades de la tuna**

### **2.10.1. Plagas**

Según Longo y Rapisarda (1999), todas las áreas productoras del nopal son dañadas por muchas plagas interfiriendo en la producción de fruta; dentro de estos organismos los insectos tienen un papel importante debido al número de especies involucradas y el daño que pueden causar.

**Cochinilla** (*Dactylopius coccus*).- A través de sus mordiscos alimenticios y la inyección de saliva tóxica, los insectos de cochinillas causan un amarillamiento severo de cladodios y frutos; el daño se localiza principalmente en la base de las espinas donde los insectos forman escamas algodonosas. Los cladodios pueden cortarse y los frutos caer prematuramente. Una opción para enfrentar este problema es el control biológico mediante insectos como la mariquita nativa *Exochomus flaviventris* Mader, *Empusa lecanii* Zimm; que es un patógeno fungoso que torna negra a la cochinilla atacada.

**Moscas** (*Ceratitis capitata*) (Wiedemann).- La *Ceratitis capitata* es una especie altamente polífaga y sus larvas pueden alimentarse en frutos de más de cien plantas silvestres y cultivadas (White y Elson citados por Longo y Rapisarda 1999). Los frutos de tuna también pueden pudrirse y caer de cualquier forma, de tal modo que no son adecuados para el mercado. Para el control de esta plaga, el monitoreo de vuelo de los adultos, se puede realizar por varios tipos de trampa: trampas de color amarillo con un pegamento (15\*21cm), o trampas quimo-atrayentes que dieron mejor resultado, las cuales contienen una solución de 3% de fosfato diamónico. Si se detectan 2-3 frutos infestados se recomienda un tratamiento preventivo con atrayentes proteicos tóxicos; deben prepararse justo antes del tratamiento, utilizando proteína hidrolizada como Buminal, Lisatex u otro, el cual debe mezclarse con compuestos organofosforados como Dimetoato o Fention.

### 2.10.2. Enfermedades bióticas y abióticas

Según Granata (1999), las enfermedades en plantas pueden clasificarse como:

*Infectivas (bióticas)*: son causadas por varios agentes vivos como bacterias, micoplasmas, hongos, nematodos, virus.

*No infectivas (abióticas)*: son causadas por condiciones adversas climáticas o nutricionales, anormalidades genéticas, errores en el sistema de producción y aplicaciones equivocadas de pesticidas.

Otro grupo de enfermedades importantes en *Opuntia*, son las causadas por bacterias y levaduras, entre ellas se tiene:

**Pudrición blanda** (*Candida boidimi*).- En los cladodios aparecen áreas oscuras provocadas por el tejido interno infectado; en una etapa más tardía el tejido interno se pudre y finalmente se torna una masa amorfa suave. Toda la superficie se ennegrece pero el tejido externo no se pudre lo que resulta en que el cladodio parece una bolsa irregular que contiene un líquido de olor desagradable. Para el control se recomienda la eliminación y destrucción de cladodios infectados, así como tratar con una mezcla de caldo bordelés a una concentración de 1% después de la cosecha de fruto o después de cualquier evento que cause daño a los cladodios.

**Necrosis en cladodios** (*Cercospora* sp.).- La superficie afectada de los cladodios reduce la actividad de fotosíntesis así como la superficie de cladodio en donde pueda colonizar la cochinilla *Dactylopius coccus* Costa, lo que resulta en menor producción del colorante carmín.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el periodo Enero a Julio de 2016, en predios del Centro de Investigación en Forrajes CIF "La Violeta". La plantación se realizó el 12 de Enero y la evaluación final en la última semana del mes de Julio del año 2016, momento en el que concluyó el trabajo en su fase de campo, teniendo plantines aptos para su trasplante a campo definitivo. La presente tesis solo considera la fase de vivero.

#### 3.1. MATERIALES

Los materiales empleados fueron los que normalmente se emplean en trabajos de vivero, vale decir sustratos, malla semi sombra (50%), carretilla, herramientas menores (picota, pala, guantes, regadera), bolsas de polietileno a manera de macetas (90 micras de espesor, 40 cm de alto \* 25 cm de ancho), desinfectante (lavandina).

Para las mediciones de las diferentes variables de respuesta, se utilizaron reglas graduadas, un calibrador (tipo Vernier), balanza electrónica, además de un horno de circulación de aire caliente, para determinar materia seca.

En gabinete, se utilizó una computadora para tabulación y análisis de datos, además de material de escritorio.

El *material biológico* utilizado fueron pencas de la especie *Opuntia ficus-indica* (L.) que presenta características adecuadas para su utilización como forraje, en especial por su escasa presencia de espinas y tamaño de pencas, además de su carácter succulento. Se recolectó material sano, en especial libre de la mancha negra y de cochinilla. Este material se adquirió de una propiedad privada ubicada en el municipio de Tarata, primera sección municipal de la provincia Esteban Arze, a 38 km al sur de la ciudad de Cochabamba, geográficamente ubicada a 17°37'28.3" de latitud Sur y 66°01'57.8" de longitud Oeste, a una altura de 3070 msnm, tiene una temperatura promedio de 16.9°C y una precipitación anual de 418 mm. Su topografía es variada con serranías y valles.

## **3.2. METODOLOGÍA**

### **3.2.1. Ubicación del ensayo**

El trabajo se realizó en el vivero del Centro de Investigación en Forrajes CIF “La Violeta”, ubicado en la localidad de Tiquipaya (provincia Quillacollo), a 11 km de la ciudad capital, a 2614 msnm. Geográficamente se encuentra a 17°20’50” de latitud Sur y 66°13’54” de longitud Oeste. Reporta una temperatura media de 16.3°C y precipitación promedio anual de 540 mm (CIF “La Violeta” 2010).

### **3.2.2. Selección del material vegetativo**

Los criterios que se tomaron en cuenta para la selección de material vegetal fueron los siguientes:

- Buen vigor
- Libre de plagas y enfermedades
- Libre de espinas
- Plantas de buen grosor y succulencia
- Plantas de 1 a 2 años de edad

### **3.2.3. Tratamiento del material vegetativo**

Una vez cortado el material vegetativo seleccionado, se procedió a la desinfección de las heridas con lavandina y agua, con la preparación de una parte de lavandina por nueve partes de agua.

Esta preparación se utilizó para esterilizar el material vegetal y el cuchillo con el cual se procedió al fraccionamiento de las pencas. Las fracciones de pencas se colocaron a media sombra durante un periodo de 15 a 20 días para la cicatrización. Los tamaños de fracciones fueron de cuatro, seis y ocho por penca, dependiendo del tamaño original de la penca cortada.

### **3.2.4. Preparación del sustrato**

De acuerdo con el tratamiento que se manejó en el ensayo se procedió a la preparación de dos sustratos:

Sustrato 1): solo suelo del lugar

Sustrato 2): mezcla de tierra vegetal, suelo del lugar y arena  
en una proporción de 1:1:1 v/v (volumen/volumen).

Posteriormente se procedió con el embolsado de ambos sustratos en bolsas de 40\*20 cm hasta una altura de 20 cm.

### **3.2.5. Plantación del material vegetativo**

Con las fracciones cicatrizadas se procedió a la implementación de la parcela de investigación (12 de enero 2016), de acuerdo al croquis, de esta manera dentro de los sustratos se colocó las fracciones correspondientes plantándolas en posición horizontal o vertical.

## **3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS EVALUADOS**

El ensayo fue establecido bajo un diseño experimental factorial, en bloques, bajo un arreglo de parcelas sub divididas, con cuatro repeticiones y 10 plantas por tratamiento, las que se constituyeron en una unidad experimental.

Los datos del ensayo fueron sometidos a un Análisis de Varianza mediante la Prueba de Fisher y las medias de aquellos factores que tuvieron diferencias estadísticas significativas, fueron comparadas mediante la Prueba de Rango Múltiple de Duncan, en el caso de más de dos medias comparadas. Para el caso de dos promedios se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa.

La Figura 1 detalla esquemáticamente la implementación del ensayo, por cada una de las cuatro repeticiones (el croquis a detalle se presenta en el Anexo 1).

		Factor A A1		Factor A A2	
Factor B:	B3	10 macetas	10 macetas	10 macetas	10 macetas
	B2	10 macetas	10 macetas	10 macetas	10 macetas
	B1	10 macetas	10 macetas	10 macetas	10 macetas
		Factor C C1	Factor C C2	Factor C C1	Factor C C2

**Figura 1.** Esquema de los factores de estudio en el vivero del CIF

Los factores y sus niveles correspondientes en estudio, fueron los siguientes:

***Factor A: Tipo de sustrato con 2 niveles:***

Niveles:     ***A1:***    *Tierra del lugar*  
                   ***A2:***    *Tierra del lugar + Tierra vegetal + Arena (1:1:1)*

***Factor B: Tamaño de fracción de cladodio con 3 niveles:***

Niveles: A partir de una penca estándar en tamaño y edad, se la dividió en:

***B1:***    *4 trozos (tamaño grande)*  
***B2:***    *6 trozos (tamaño mediano)*  
***B3:***    *8 trozos (tamaño pequeño)*

***Factor C: Posición de plantación con 2 niveles:***

Niveles:     ***C1:***    *Horizontal*  
                   ***C2:***    *Vertical*

### 3.4. VARIABLES DE RESPUESTA

#### 3.4.1. Muestreos no destructivos

Teniendo 10 plantas como unidad experimental, del 25 de Abril al 22 de Julio de 2016, se realizó evaluaciones no destructivas a lo largo del desarrollo del cultivo, iniciándose cuando los rebrotes tenían de 4 a 5 cm de largo, las variables evaluadas fueron las que se describen a continuación.

**3.4.1.1. Porcentaje de prendimiento.-** Las lecturas del porcentaje de prendimiento fueron tomadas en su mejor momento (cuando el ensayo presentó un mayor número de brotes, antes de ser atacadas por insectos, los cuales provocaron la caída de los brotes). Se consideró como prendimiento cuando la penca evidentemente presentaba brotes, registrándose los mismos desde los 5 cm de tamaño. Se llevó un registro permanente, contando el total de brotes en cada unidad experimental (Figura 2).



**Figura 2.** Vista general del ensayo, en el vivero del CIF “La Violeta” donde se aprecia la emisión de los brotes a los seis meses de la plantación, momento determinado para la evaluación final del ensayo

**3.4.1.2. Largo de brotes.-** Las mediciones se realizaron desde el nivel de inserción del brote de la fracción hasta el ápice del mismo, todo expresado en centímetros, las lecturas se realizaron con un intervalo de 10 a 15 días. La medición del largo del brote de la muestra fue de seis plantas al azar, los resultados se expresaron en promedio, las lecturas se iniciaron a los cien días de la plantación. Para el análisis estadístico, se tomó la última lectura, a mediados del mes de Julio de 2016 (Figura 3).



**Figura 3.** Determinación del largo del brote mediante el uso de una regla graduada y un calibrador tipo Vernier

**3.4.1.3. Ancho de brotes.-** Las mediciones se realizaron de la parte media del brote con ayuda de un calibrador tipo vernier y una regla graduada, las lecturas se realizaron en centímetros en seis plantas al azar, sacando un promedio de éstas (Figura 4).



**Figura 4.** Determinación del ancho del brote mediante el uso de una regla graduada y un calibrador tipo Vernier

### 3.4.2. Muestreos destructivos

Al final del ensayo (23-29 de Julio de 2016), se realizaron muestreos destructivos de macetas por unidad experimental, determinando parámetros relacionados con la parte radicular de las plantas en evaluación.

Se consideraron dos tipos de plantas, aquellas que mostraban brotes y las que no tenían brotes, estas últimas no fueron consideradas porque no presentaban un desarrollo apto y existía mucha variación entre ellas.

**3.4.2.1. Puntos de emisión de raíces.-** Se contabilizó los puntos de emisión de raíces de cada fracción y se promedió para obtener un solo valor de las muestras (Figura 5).



**Figura 5.** Desarrollo de las raíces en los dos sistemas de plantación; izquierda: vertical; derecha: horizontal

**3.4.2.2. Tamaño de raíces.-** Con la ayuda de una regla graduada se evaluó la longitud de la raíz, desde el punto de emisión de las raíces hasta el extremo más distante de las mismas. Se midió el tamaño de raíces emitidas por la areola y se promedió para así obtener un solo dato de las muestras (Figura 6).



**Figura 6.** Determinación de la longitud de las raíces mediante el uso de una regla graduada

**3.4.2.3. Materia seca de raíces.-** Para determinar la materia seca de raíces, se tomó el total de las raíces de la fracción de cladodio en verde, posteriormente esta muestra se secó en un horno de circulación de aire caliente a 105°C durante 48 horas, hasta obtener un peso constante. Al horno ingresaron un total de 96 muestras, los resultados se expresaron en promedios.

**3.4.2.4. Materia seca de brotes.-** Los brotes de las fracciones de pencas, se cortaron en trozos pequeños y se colocaron en bandejas para llevarlas a un horno de circulación de aire caliente, a 105°C, para determinar la materia seca de brotes, los resultados se expresaron en gramos de materia seca por planta (Figura 7).



**Figura 7.** Colocación de las muestras picadas de brotes de tuna, para la determinación de materia seca

### 3.5. MODELO ESTADÍSTICO

Los datos de cada una de las variables de respuesta fueron evaluados, previa verificación de los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, bajo el siguiente modelo estadístico:

$$y_{ijkl} = \mu + \beta_i + \alpha_j + \varepsilon_{j(i)} + \eta_k + \varepsilon_{k(i)} + \varphi_l + \lambda_{jk} + \zeta_{jl} + \rho_{kl} + \psi_{jkl} + \xi_{jkl(i)}$$

donde:

$i = 1, 2, \dots, a$  (hasta “a” niveles del **Factor A: Sustrato de maceta**)

$j = 1, 2, 3, \dots, b$  (hasta “b” niveles del **Factor B: Tamaño de porción de cladodio**)

$k = 1, 2, \dots, c$  (hasta “c” niveles del **Factor C: Posición de plantación**)

$l = 1, 2, 3, 4, \dots, r$  (repeticiones)

$Y_{ijkl}$  = Valor de una variable de respuesta observado en una sub parcela donde se aplicó la k-ésima posición de plantación dentro la j-ésima fracción de cladodio y estos dentro el i-ésimo sustrato de la l-ésima repetición.

$\mu$  = Media general

$\beta_i$  = Efecto fijo del i-ésimo sustrato.

$\alpha_j$  = Efecto fijo de la j-ésima fracción de cladodio.

$\varepsilon_{j(i)}$  = Efecto fijo de la interacción entre el i-ésimo sustrato y la j-ésima fracción de cladodio

$\eta_k$  = Efecto fijo de la k-ésima posición de plantación.

$\varepsilon_{k(i)}$  = Efecto fijo de la interacción entre el i-ésimo sustrato y la k-ésima posición de plantación.

$\varphi_l$  = Efecto aleatorio de la l-ésima repetición.

$\lambda_{jk}$  = Efecto fijo de la interacción entre la j-ésima fracción de cladodio y la k-ésima posición de plantación.

$\zeta_{jl}$  = Efecto aleatorio de la interacción entre la j-ésima fracción de cladodio y la l-ésima repetición.

$\rho_{kl}$  = Efecto aleatorio de la interacción entre la k-ésima posición de plantación y la l-ésima repetición.

$\psi_{jkl}$  = Efecto aleatorio de la interacción entre la j-ésima fracción de cladodio con la k-ésima posición de plantación y la l-ésima repetición.

$\xi_{jkl(i)}$  = Efecto aleatorio del residual  $\sim$  NIID  $(0, \sigma^2_e)$ .

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Evaluación de la parte aérea para determinar efectos de diferentes factores en la multiplicación de tuna (*Opuntia ficus indica*) a nivel de vivero “La Violeta”

En el Cuadro 4, se presenta el resumen del análisis de varianza (ANVA), con los tres factores estudiados y para todas las variables de respuestas consideradas, mediante muestreos de la parte aérea de las plantas en evaluación.

**Cuadro 4.** Resumen del análisis de varianza para los factores: *sustratos, tamaños de fracción y posición de plantación*, en la multiplicación de tuna (*Opuntia ficus indica*) en vivero La Violeta, en cuatro variables de respuesta de la parte aérea

Factores	GL	Variables de respuesta			
		PP (%)	LB (cm)	AB (cm)	MS B (g/planta)
Sustrato (S)	1	ns	ns	ns	ns
Fracción (F)	2	ns	ns	*	**
Posición (P)	1	ns	ns	ns	*
S*F	2	ns	ns	*	ns
S*P	1	ns	ns	ns	ns
F*P	2	*	ns	ns	ns
S*F*P	2	ns	ns	ns	ns
Residual	30				
CV (%)		33.77	12.31	8.82	21.45

ns = no significativo; \* = significativo ( $p = 0.05$ ); \*\* = altamente significativo ( $p = 0.01$ ); PP = porcentaje de prendimiento; LB = largo de brote; AB = ancho de brote; MS B = materia seca de brotes. CV = coeficiente de variación

En la mayor parte de las respuestas no se ve diferencias estadísticas significativas, el ANVA tan solo muestra diferencias significativas (al 5%) para el factor *tamaño de fracción*, la interacción *sustrato \* tamaño de fracción* en la variable ancho de brote y para la interacción *fracción \* posición*, se evidencia diferencias significativas en la variable porcentaje de prendimiento. Para materia seca de brotes, se tiene diferencias altamente significativas para el factor *tamaño de fracción*, y diferencias significativas para el factor *posición de plantación*.

Sobre los coeficientes de variación encontrados (entre 9% a 34%) según Calzada y Steel y Torrie citados por Campos (2004), muestran que están dentro el rango aceptable para condiciones de campo, ya que el límite aceptable es de 30% a 35%.

Una vez realizado el análisis de varianza, las medias fueron discriminadas mediante la prueba de Duncan al 5 % de probabilidad estadística.

Los cuadros del ANVA para todas las variables de respuesta en las diferentes evaluaciones del ensayo se detallan en el Anexo 4.

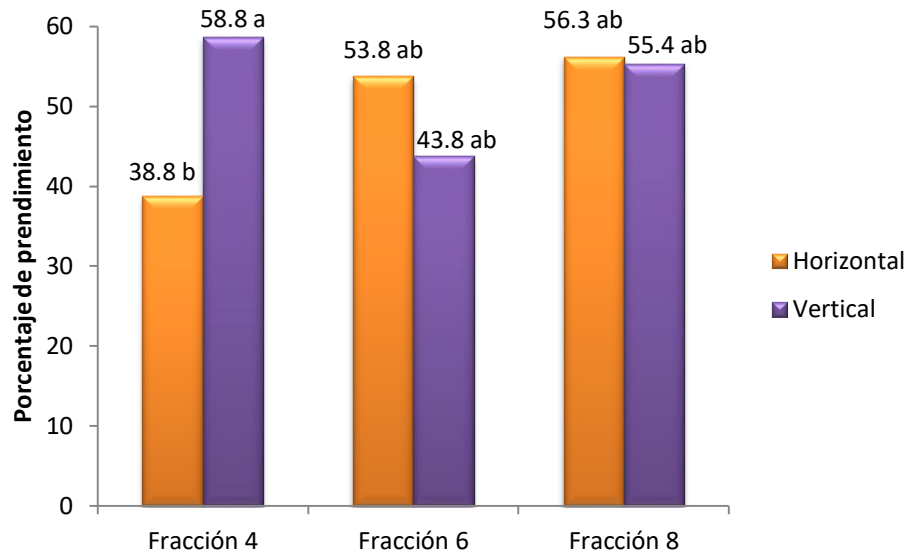
#### **4.1.1. Porcentaje de prendimiento**

Esta variable indica el total de plantas que presentaban brotes vigorosos al momento final de la evaluación del ensayo, que fue a los seis meses de la plantación. Se tomó este parámetro en el entendido que al evidenciar brotes notorios, las plantas estaban listas para ser trasplantadas a condiciones de campo.

Para esta variable, los resultados del ANVA, muestran que existen diferencias significativas al 5% solo para la interacción *tamaño de fracción \* posición de plantación*, tal como se observa en el Cuadro 4 y en los cuadros completos del ANVA en el Anexo 4.

Se debe hacer notar que para el factor *sustrato*, se tiene diferencias a una probabilidad de 8%, valor que muestra la consistencia de respuesta a favor del sustrato preparado con una mezcla habitual para trabajos de vivero.

La Figura 8 muestra los resultados para la interacción antes mencionada, en la variable más importante del ensayo, que es el porcentaje de prendimiento.



Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5%.

**Figura 8.** Porcentaje de prendimiento para la interacción *tamaño de fracción \* posición de plantación* para la multiplicación de plántulas de tuna a nivel de vivero

En la Figura 8, se observa que hay diferencias significativas entre la interacción fracción cuatro por las posiciones de plantación vertical, con un promedio de 58.8 %, y la posición horizontal con 38.8 % de prendimiento, presentando esta última el menor resultado en comparación a las demás interacciones.



**Figura 9.** Curvatura de la penca de tuna causada por la deshidratación de la misma

Este resultado, puede ser atribuido al proceso de deshidratación sufrida por la fracción cuatro, que derivó en la deformación de los trozos que a su vez se manifestó en una curvatura de las mismas (Figura 9), esta deformación provocó que no haya un contacto eficiente entre la fracción y el suelo provocando de esta forma el bajo porcentaje de prendimiento de plantas.

En este caso para el factor *sustrato* no se encontró diferencias estadísticamente significativas pero se cree que este también tuvo que afectar al porcentaje de prendimiento, por tal motivo se realizó una comparación numérica siendo el mejor el sustrato mezcla (tierra del lugar, arena, materia orgánica) con un valor de 55.5 % de prendimiento, en comparación con el sustrato tierra con un valor de 46.7 % de prendimiento; estos resultados se pueden atribuir al suelo suelto que posibilitó un mayor desarrollo de raíces, esto ayuda a que la planta llegue a nutrirse bien y por ende producir más cantidad de brotes de cladodio (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Valores medios para el factor sustrato, para la variable porcentaje de prendimiento

Factor	Sustratos	
	Tierra del lugar	Mezcla
Promedio	46.7	55.5

#### 4.1.2. Largo de brotes

Entre los parámetros de importancia para la producción de plantines vigorosos está el largo del brote, que es un indicador del prendimiento de los trozos de cladodio.

Según el resultado del ANVA, presentando en el Cuadro 4, no existen diferencias significativas entre los factores evaluados para esta variable, lo que aseguraría estadísticamente que todos los factores tienen efectos similares, por tanto se puede inferir que la variable largo de brote no fue afectada por los factores en estudio.

A manera de tendencias numéricas, el Cuadro 6 muestra los resultados para el ancho de brote para la interacción *sustrato \* tamaño de fracción*, donde se observó que la mezcla dio mejores resultados con un promedio de 17.1 cm, y en el caso del tamaño de fracción, los mejores resultados se presentaron en las fracciones cuatro y seis con valores de 17.4 cm.

**Cuadro 6.** Valores medios para la interacción sustrato \* fracción, para la variable largo de brote

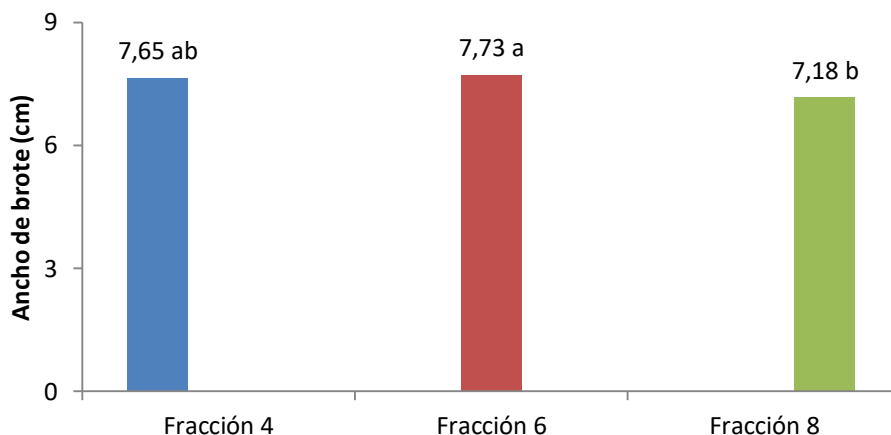
Factores	Sustrato		Promedio	
	Tierra del lugar	Mezcla		
Fracción	4 trozos	16.5	18.3	17.4
	6 trozos	18.2	16.6	17.4
	8 trozos	15.9	16.4	16.2
Promedio		16.4	17.1	

En cuanto a esta variable se evidencia que el tamaño de fracción cuatro presenta mejores resultados cuando se encuentra en sustrato mezcla, en cambio el tamaño de fracción seis da mejores resultados en sustrato suelo del lugar.

#### 4.1.3. Ancho de brotes

Para esta variable, los resultados del ANVA, muestran que existen diferencias significativas al 5% para el factor *tamaño de fracción* y la interacción *sustrato \* tamaño de fracción*, tal como se observa en el Cuadro 4 y en los cuadros completos del ANVA en el Anexo 4.

La Figura 10 muestra los resultados para el factor *tamaño de fracción*.

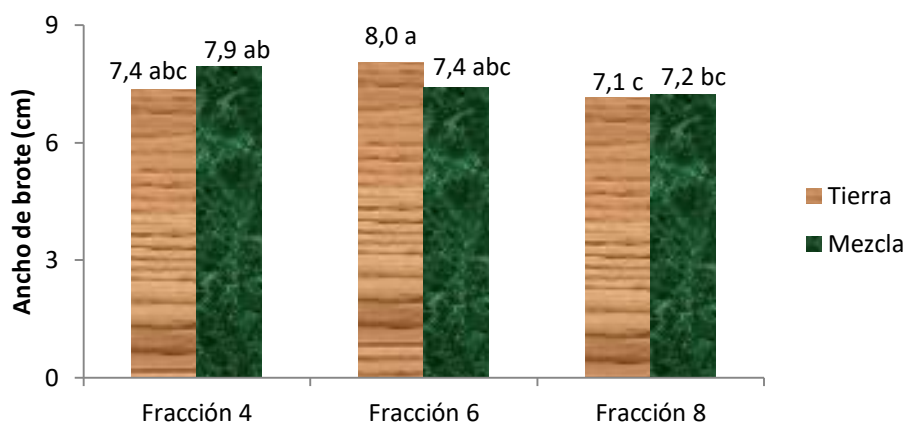


Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5%.

**Figura 10.** Ancho de brote (cm) para el factor *tamaño de fracción* para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero

En la Figura 10, se observa diferencias estadísticas significativas entre las fracciones seis con valor de 7.73 cm y la fracción ocho con un valor de 7.2 cm de ancho de brote, esta última presentando el menor valor. Los resultados obtenidos pueden ser atribuidos al tamaño de fracción utilizada, ya que mientras más pequeña sea la fracción este reduce sus características fisiológicas dando menor tamaño y ancho de brote, por ende más débil y menos vigoroso.

La Figura 11 muestra los resultados para la interacción *sustrato \* tamaño de fracción*.



Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5%

**Figura 11.** Ancho de brote (cm) para la interacción *sustrato \* tamaño de fracción* para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero

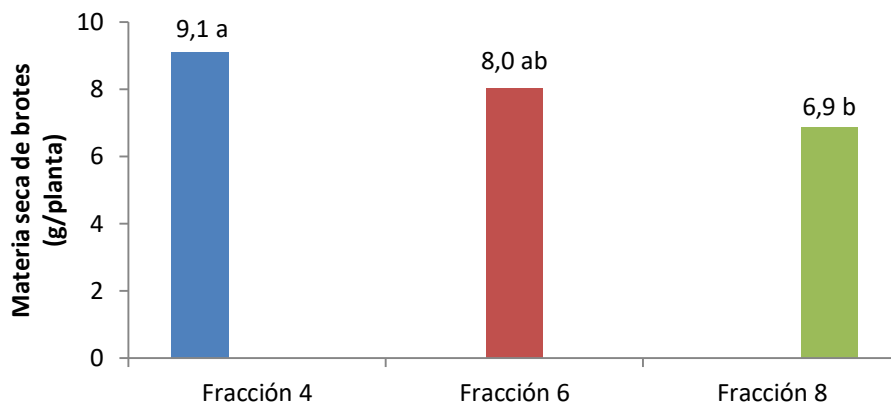
En la Figura 11, se observa que el *sustrato tierra* con la *fracción seis* presentó mayor ancho de brote con un valor de 8.0 cm, de igual manera el *sustrato mezcla* con la *fracción cuatro* presentó buen resultado con un valor de 7.9 cm de ancho del brote, en relación al sustrato tierra con fracción ocho que presentó el menor resultado con solo 7.1 cm. Esta diferencia se puede atribuir al área fotosintética activa, ya que a mayor área foliar, mayor producción de biomasa como también a la rusticidad que presenta la planta en su adaptación a todo tipo de suelos.

La producción de biomasa puede atribuirse también a los sustratos, ya que el sustrato mezcla presenta mayor contenido de materia orgánica, lo cual ayuda a retener mayor humedad, la arena presenta mayor porosidad y el suelo del lugar tiene nutrientes en cantidades menores. En cambio el sustrato tierra presenta suelos de textura franco limoso e infiltración lenta, lo que representaría mayor probabilidad de encharcamiento, menor porosidad y eso afecta al desarrollo de la planta (información personal, Ing. Sáenz, 2016).

Al respecto García *et al.* citados por Jarquín y Lagos (2012), en una investigación sobre tuna, mencionan que el ancho de brotes determina el área fotosintética activa, así una mayor área foliar contribuye a un aumento de los rendimientos, al incrementar los niveles fotosintéticos, por lo cual también aumenta la biomasa producida; la aplicación de diferentes dosis de compost en el ensayo reportado, no generó significancia estadística en ninguno de los tratamientos aplicados al momento de la siembra.

#### 4.1.4. Materia seca de brotes

El ANVA solo presentó diferencias significativas para los factores *tamaño de fracción* y *posición de plantación*. La Figura 12 muestra los resultados para el factor *tamaño de fracción*.



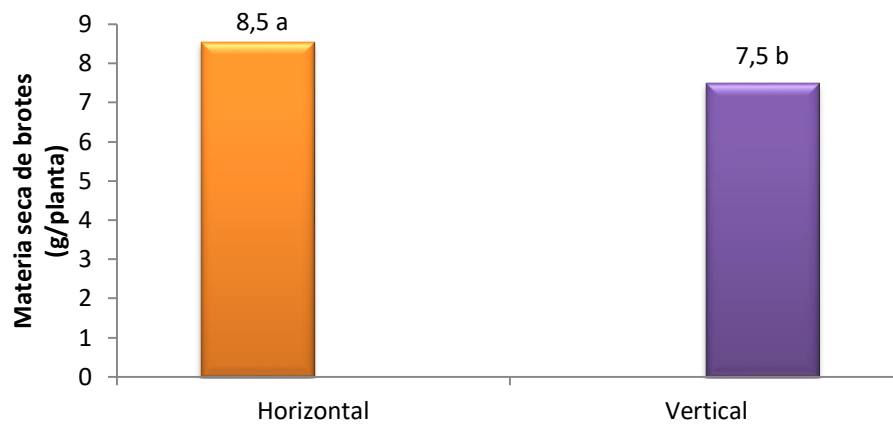
Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5%.

**Figura 12.** Materia seca de brotes (g/planta) para el factor *tamaño de fracción* para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero

En la Figura 12, se observa que el tamaño de fracción cuatro, con 9.1 g/planta, presentó la mayor producción de materia seca de brotes, en comparación a la fracción ocho que presentó menor contenido de materia seca de brotes, con un promedio de 6.9 g/planta. Los resultados pueden atribuirse al efecto positivo de un mayor tamaño de fracción ya que tendrá más reservas de nutrientes y mayor área foliar, lo cual influye positivamente en la producción de brotes.

Al respecto, en un trabajo de investigación en el cultivo de yuca (*Manihot esculenta*), Arismendi (2001) demostró que el mayor rendimiento de brotes, se alcanzó con la utilización de estacas más grandes, a partir de lo cual, los resultados obtenidos fueron atribuidos al tamaño de las estacas, ya que un mayor tamaño logra un desarrollo vegetativo vigoroso, dando origen a una mayor área foliar.

La Figura 13 muestra los resultados para el factor *posición de plantación*.



Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Diferencia Mínima Significativa al 5%.

**Figura 13.** Materia seca de brotes (g/planta) para el factor *posición de plantación* para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero

En la Figura 13 se muestran las diferencias significativas al 5% para este factor en estudio. El análisis de medias muestra un mayor peso de materia seca de brotes para la posición horizontal, con un valor de 8.5 g/planta, en comparación a la posición vertical la cual presentó menor peso de materia seca de brotes, con un valor de 7.5 g/planta de materia seca de brotes. La diferencia se puede atribuir a que la posición horizontal, al evitar mayor evapotranspiración, estimula al desarrollo de la parte aérea de la planta y por ende motiva un mayor peso de brotes, en comparación con la posición vertical.

#### 4.2. Evaluación de la parte radicular para determinar efectos de diferentes factores en la multiplicación de tuna (*Opuntia ficus indica*) a nivel de vivero “La Violeta”

Para las evaluaciones de raíces, se separó aquellas plantas que presentaban brotes de las que no tenían este desarrollo, ello debido a una evidente diferencia del estado fisiológico de las mismas; claro está que ambos grupos mostraban evidencia de prendimiento.

En el Cuadro 7, se presenta el resumen del análisis de varianza (ANVA) con los tres factores estudiados, para las variables puntos de emisión de raíces, tamaño de raíces y materia seca de raíces.

**Cuadro 7.** Resumen del análisis de varianza del muestreo destructivo (parte radicular) con brotes de la multiplicación de tuna (*Opuntia* sp.) en vivero “La Violeta”

Factores	GL	Variables de respuestas		
		PER	TR (cm)	MS de raíces (g/planta)
Sustrato (S)	1	*	*	ns
Fracción (F)	2	**	ns	**
Posición (P)	1	**	ns	**
S*F	2	*	ns	ns
S*P	1	ns	ns	ns
F*P	2	*	ns	ns
S*F*P	2	ns	ns	ns
Residual	30			
CV (%)		24.27	20.17	32.67

ns= no significativo; \*= significativo (p= 0.05); \*\*= altamente significativo (p= 0.01); PER= puntos de emisión de raíces; TR= tamaño de raíces, MS= materia seca; CV = coeficiente de variación.

El resumen de análisis de varianza (ANVA) muestra diferencias altamente significativas al 1% para los factores; *fracción* y *posición* en las variables: puntos de emisión de raíces y materia seca de raíces. Se observó también diferencias significativas al 5% para el factor *sustrato* en las variables: puntos de emisión de raíces y tamaño de raíces, para las interacciones *sustrato* \* *tamaño de fracción* y *tamaño de fracción* \* *posición de plantación*, en la variable puntos de emisión de raíces.

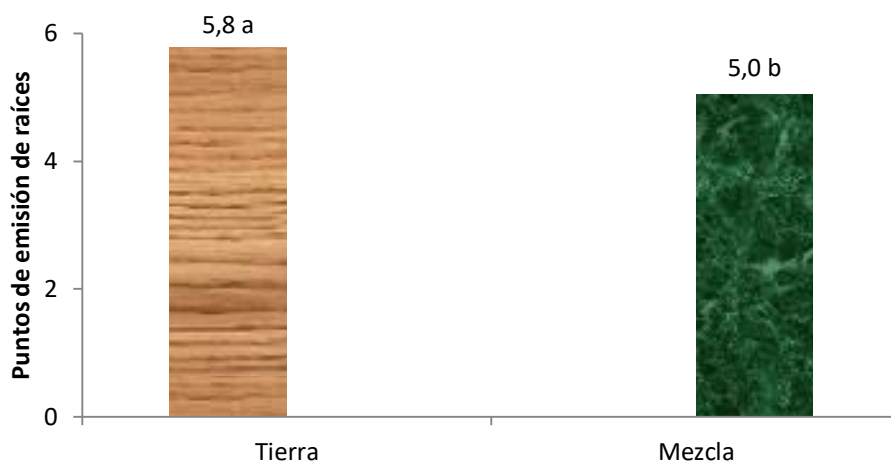
Sobre los coeficientes de variación encontrados (entre 20% a 33%) según Calzada 1970; Steel y Torrie citados por Campos (2004), muestran que están dentro el rango aceptable para condiciones de campo ya que el límite aceptable es de 30% a 35 %.

Una vez realizado el análisis de varianza, las medias fueron discriminadas mediante la prueba de Duncan, al 5 % de probabilidad estadística. Los cuadros completos del ANVA para dichas variables de respuesta, se detallan en el Anexo 4.

#### 4.2.1. Puntos de emisión de raíces

Para esta variable, los resultados del ANVA, muestran que existen diferencias altamente significativas al 1% para los factores *tamaño de fracción* y *posición de plantación*, también diferencias significativas al 5% para el factor *sustrato*, las interacciones *sustrato \* tamaño de fracción* y *tamaño de fracción \* posición de plantación*, tal como se observa en el Cuadro 7 y en los cuadros completos del ANVA en el Anexo 4.

La Figura 14, muestra los resultados para el factor *sustrato*.

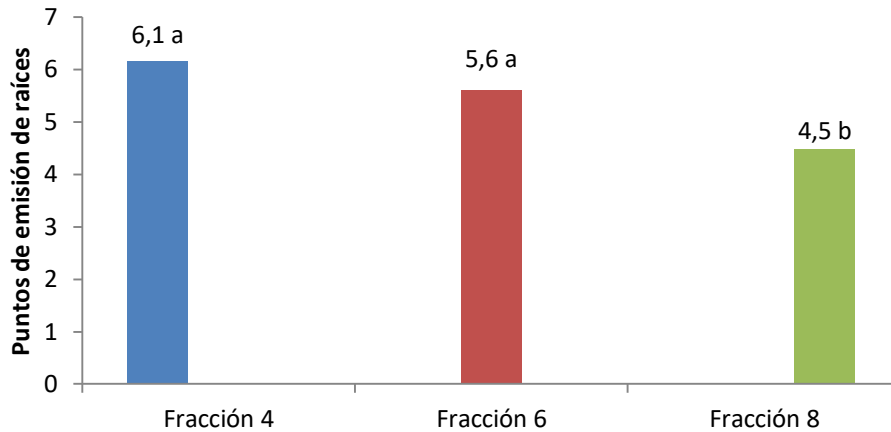


Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Diferencia Mínima Significativa al 5%.

**Figura 14 .** Puntos de emisión de raíces para el factor *sustrato* para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero

Se encontró diferencias significativas al 5% para el factor *sustrato*. Presentando un mayor número de puntos de emisión de raíces para el sustrato tierra del lugar con 5.8 raíces, frente a 5.0 raíces para el sustrato mezcla. Esto puede atribuirse a la rusticidad que presenta la planta en su adaptación a todo tipo de suelo.

La Figura 15 muestra los resultados para el factor *tamaño de fracción*.



Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5%.

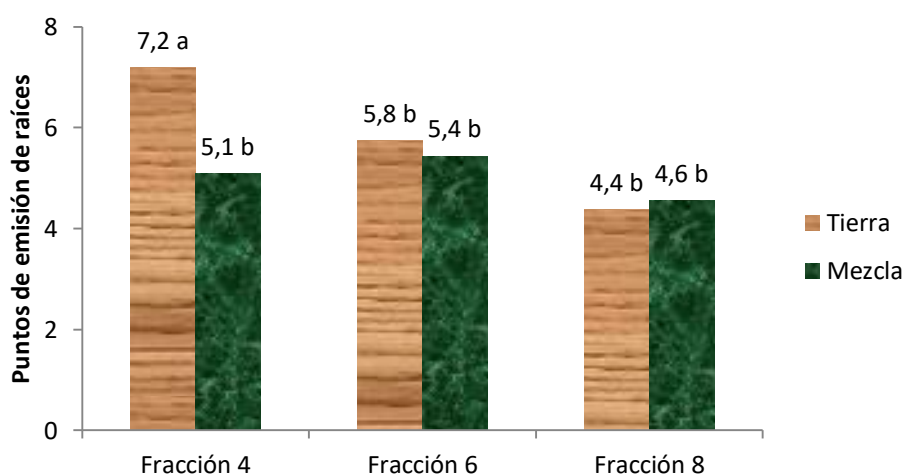
**Figura 15.** Puntos de emisión de raíces para el factor *tamaño de fracción* para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero

En la Figura 15, se detalla las diferencias altamente significativas al 1% para el factor tamaño de fracción, el cual muestra mayor puntos de emisión de raíces para la fracción cuatro y seis con (6.1 y 5.6 raíces), entre tanto la fracción ocho presentó menor número de puntos de emisión de raíces (4.5 raíces).

Esto se puede atribuir directamente al tamaño de la fracción, así cuanto más grande sea la fracción, mayor será la cantidad de areolas en contacto con el suelo, por tanto habrá mayor emisión de raíces, ya que las areolas son el punto de emisión de las raíces y brotes de la parte aérea. En resumen se puede afirmar que un mayor sistema radicular dará opción a una mayor absorción de agua y nutrientes del suelo.

Al respecto Álvarez *et al.* (2007), en un trabajo de investigación donde prueban el tamaño de esqueje para la propagación de plantas de *Rosmarinus officinalis* (romero), éstas presentaron mejor respuesta a mayor tamaño de esqueje, con diferencias sobre otros dos tamaños. Similar resultado obtuvo Aloni (1987), quién indica que el tamaño de esqueje tiene una influencia directa en la respuesta de la fitomasa, ya que el esqueje al ser una porción de un tallo, a medida que incrementa su tamaño garantiza una mayor acumulación y transporte de solutos en la planta. Este, al presentar más nudos o yemas, hace que se produzcan más brotes radicales, lo que garantiza mayor absorción de nutrientes para la planta.

La Figura 16 muestra los resultados para la interacción *sustrato \* tamaño de fracción*.

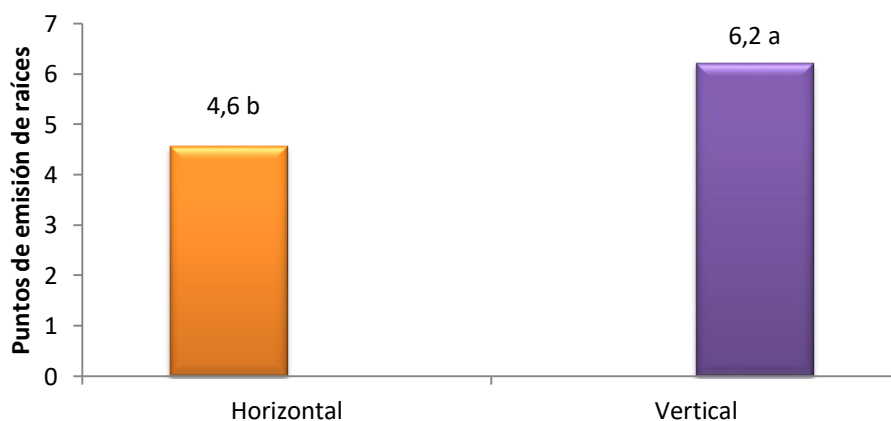


Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5%.

**Figura 16.** Puntos de emisión de raíces para la interacción *sustrato por tamaño de fracción* para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero

En la Figura 16, se observa que el *sustrato tierra con la fracción cuatro* presentó mayor puntos de emisión de raíces con un valor de 7.2 raíces, el resto de las interacciones presentan valores similares excepto la interacción tierra con la fracción ocho, con un valor de 4.4 raíces. Esta diferencia se puede atribuir al área fotosintética activa, es decir que a mayor área foliar mayor producción de biomasa, como también a la rusticidad de la tuna en su adaptación a todo tipo de suelo.

La Figura 17 muestra los resultados para el factor *posición de plantación*.



Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Diferencia Mínima Significativa al 5%.

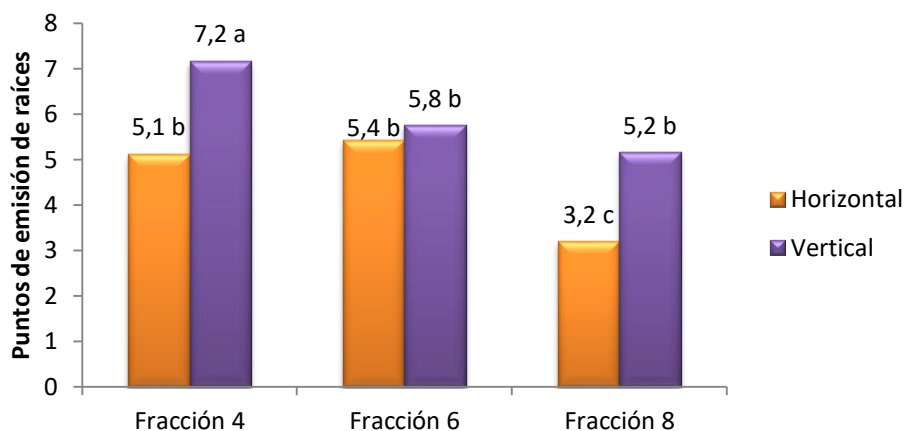
**Figura 17.** Puntos de emisión de raíces para el factor *posición de plantación* para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero.

En la Figura 17, se observa que para el factor posición de plantación, las diferencias estadísticas son altamente significativas, donde la posición vertical presenta mayor punto de emisión de raíces con un valor de 6.2 raíces, en comparación a la posición horizontal que presentó el menor valor con 4.6 raíces. Esto puede atribuirse a que las fracciones de penca, cuando se hallan en posición vertical, presentan mayor estabilidad en el suelo y por ende un buen desarrollo de raíces.

Al respecto en un trabajo realizado por Rosas *et al.* (2007), donde estudiaron el efecto de la posición de plantación en la especie *Manihot esculenta* (yuca), observaron que hay diferencias en el rendimiento total (número total de raíces, número de raíces comerciales y peso total), los resultados mostraron que al colocar las estacas de manera inclinada, se supera a la posición horizontal en términos de producción total por unidad de superficie.

En otro trabajo realizado con la misma especie, Cock y Howeler (1978) estudiaron la posición en que se planta la estaca, sin encontrar efecto significativo en el rendimiento. Indican que la posición vertical es la más utilizada y se recomienda por favorecer el crecimiento inicial ya que reduce el vuelco de las plantas; sin embargo, cuando la operación es mecanizada se recomienda plantarlas en posición horizontal, ya que las raíces se separan y facilitan la cosecha.

La Figura 18 muestra los resultados para la interacción *tamaño de fracción* \* *posición de plantación*.



Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5%.

**Figura 18.** Puntos de emisión de raíces para la interacción *tamaño de fracción* por *posición de plantación* para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero

En la Figura 18, se observa también que los puntos de emisión de raíces en la interacción fracción cuatro con la posición vertical, reportan el valor más alto -por encima de la media general- con 7.2 raíces, por otra parte se puede mencionar que la interacción fracción ocho por la posición horizontal, tuvo menor número de puntos de emisión de raíces, por debajo de la media general, con 3.2 raíces. Como se mencionó anteriormente, esto puede atribuirse a que los tamaños de fracción más grandes que presentan un mayor número de areolas y se hallan plantadas en posición vertical, presentan en consecuencia, un mejor desarrollo de raíces, porque en este sentido éstas tienen mayor estabilidad en el suelo y las areolas entran en contacto con el suelo en el haz y el envés de la fracción.

#### 4.2.2. Tamaño de raíces

Para esta variable, los resultados del ANVA muestran que existen diferencias significativas al 5% solo para el factor *sustrato*, tal como se observa en el Cuadro 7 y en los cuadros completos del ANVA en el Anexo 4.

La Figura 19 muestra los resultados para el factor *sustrato*.



Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Diferencia Mínima Significativa al 5%.

**Figura 19.** Tamaño de raíces (cm) para el factor *sustrato* para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero

En la Figura 19, se observa en forma comparativa el efecto de los dos tipos de sustrato utilizados, donde se puede apreciar que el sustrato mezcla fue la mejor opción ya que las raíces alcanzaron un tamaño promedio de 17.7 cm, frente a 14.4 cm de longitud de raíz que se alcanzó con el sustrato tierra del lugar. Estos resultados podrían ser atribuidos al efecto positivo que logra el sustrato mezcla en las raíces de las plantas, ya que la arena mejora sustancialmente la condición granulométrica, en tanto la materia orgánica aporta una mayor cantidad de nutrientes que influirían directamente en el tamaño de las raíces.

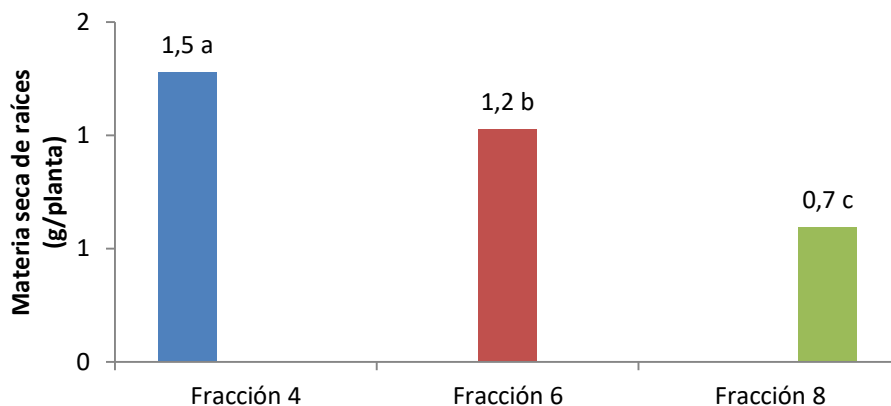
Similar resultado obtuvo Oliveiro (2014), en la propagación de la especie forestal *Tabebuia donnell-smithii* (palo blanco), donde observó que los sustratos con componentes de lombri-compuestos, son los que presentan mejores condiciones para el desarrollo del palo blanco; atribuye aquello a que este sustrato preparado tiene una mayor porosidad y contenido de nitrógeno, en comparación con un sustrato de arena + gallinaza + suelo (2:1:1) que presentó el menor promedio en el crecimiento de la raíz principal, incluso inferior al suelo.

#### 4.2.3. Materia seca de raíces

La importancia de determinar la materia seca de raíz radica en que está relacionada con la cantidad de raíces que cuenta un plantín al momento de su trasplante para su establecimiento definitivo en campo.

Para esta variable los resultados del ANVA muestran que existen diferencias altamente significativas al 1% para los factores *tamaño de fracción* y *posición de plantación*, tal como se observa en el Cuadro 7 y en los cuadros completos del ANVA en el Anexo 4.

La Figura 20 muestra los resultados para el factor *tamaño de fracción*.



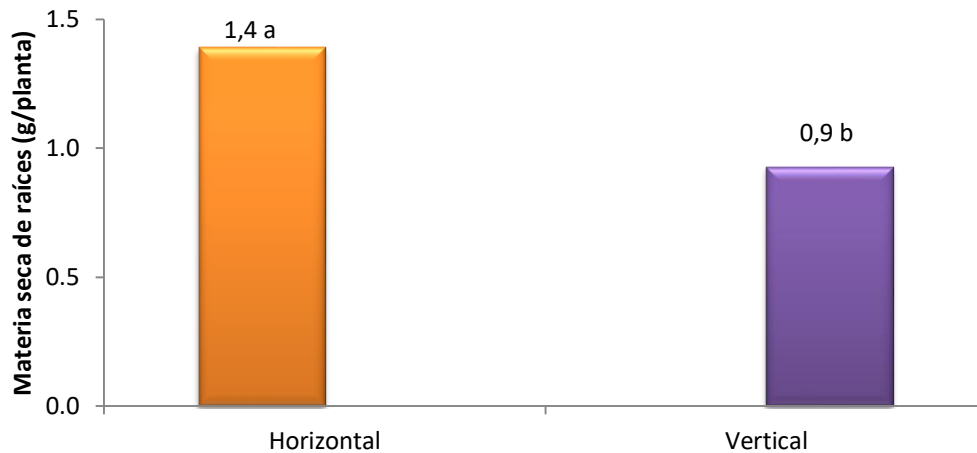
Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5%.

**Figura 20.** Materia seca de raíces (g/planta) para el factor *tamaño de fracción* para la multiplicación de plantines de tuna a nivel de vivero

En la Figura 20, se observa diferencias altamente significativas entre las tres fracciones propuestas en el ensayo. El tamaño de fracción cuatro presentó 1.5 g/planta, el cual obtuvo mayor cantidad de materia seca de raíz, seguida del tamaño de fracción seis con 1.2 g/planta, en comparación con el tamaño de fracción ocho que presentó menor cantidad de materia seca de raíz, con solo 0.7 g/planta. Probablemente esto se debe a un mayor tamaño de fracción, por tanto mayor contenido de sustancias de reserva, las cuales a su vez ayudan en el desarrollo tanto radicular como aéreo de la fracción.

Al respecto en un trabajo realizado por Mendoza (2013), en la propagación de naranjilla (*Solanum quitoense*), para la variable peso de raíces, se presentaron diferencias significativas con respecto a los diferentes tamaños de estacas utilizados durante el trabajo, concluyendo que estacas de mayor tamaño presentaron un mayor peso de seco de raíces, en comparación con estacas de la mitad de tamaño, las cuales presentaron un menor peso raíz.

La Figura 21 muestra los resultados para el factor *posición de plantación*.



Promedios seguidos de letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la Prueba de Diferencia Mínima Significativa al 5%.

**Figura 21.** Materia seca de raíces (g/planta) para el factor *posición de plantación* para la multiplicación de plántines de tuna a nivel de vivero

En la Figura 21, se observa en forma comparativa que las posiciones de plantación afectaron a la materia seca de raíces, presentando un mejor resultado la posición de plantación horizontal con 1.4 g/planta, seguida de la posición de plantación vertical con 0.9 g/planta, de materia seca de raíces. Esto puede atribuirse a la posición de plantación, ya que cuando esta es horizontal, el sustrato presenta una menor pérdida de humedad, lo cual ayudó a un mejor desarrollo de raíces, por ende mayor peso radicular en comparación con la posición vertical. Sin embargo, en términos de prendimiento, se encontró la mayor respuesta positiva para la posición vertical con la fracción 4.

## V. CONCLUSIONES

Bajo un enfoque de generar técnicas que garanticen plantines sanos de tuna y con las mejores condiciones para su establecimiento en campo, a la vez de minimizar gastos de transporte e inversión, se establecen las siguientes conclusiones:

- Los factores estudiados para la propagación de plantines de tuna (*tipo de sustrato, tamaño de cladodio y posición de plantación*), en mayor o menor grado, influyen en la tasa de propagación, por tanto se rechaza la hipótesis nula.
- En cuanto al sustrato, si bien no se detectaron diferencias significativas, es evidente una mayor tasa de multiplicación en el sustrato preparado. Esta tendencia también se ve reflejada en el parámetro tamaño de raíces. Sin embargo, en otros parámetros (ancho de brote y puntos de emisión de raíces), destaca el sustrato base, es decir tierra del lugar, poniendo en evidencia la rusticidad de la tuna.
- La mayor tasa de multiplicación, se logró con la interacción *tamaño de fracción \* posición de plantación*, siendo la fracción cuatro (trozos grandes) y la posición vertical, la forma óptima para lograr un mayor grado de prendimiento, bajo las condiciones en las que se realizó el ensayo. Esta respuesta positiva también se dió a nivel de la variable puntos de emisión de raíces, con la misma tendencia para la interacción. Para materia seca de brotes y ancho de brote, los trozos más grandes (fracciones 4y 6) presentaron mayores respuestas frente a la fracción 8 (trozos pequeños).
- La materia seca de raíces es uno de los parámetros más importante desde un punto de vista de producción de plantines en vivero; en este sentido, se encontró una relación directa con el prendimiento, favoreciendo la fracción 4 (trozos grandes) que mostró mayor cantidad de raíces.
- El parámetro largo de brote no mostró diferencias significativas para ningún factor simple y menos para las interacciones, indicando que es una variable poco eficiente para evaluar la tasa de multiplicación en tuna.

## VI. RECOMENDACIONES

En base a los resultados del presente estudio, se propone algunas recomendaciones para futuros trabajos de establecimiento de viveros, para la multiplicación de plantines de tuna:

- Dadas las condiciones de los productores de las zonas áridas y semiáridas donde la tuna prospera, se recomienda realizar el ensayo en condiciones de campo, para ver si con las técnicas empleadas en vivero, con la consecuente inversión que esto significa, se tienen resultados similares en cuanto a la tasa de prendimiento y establecimiento de nuevas plantaciones de tuna.
- Si bien se ha encontrado respuestas significativas y tendencias consistentes para los diferentes factores evaluados a nivel de vivero, el comportamiento de los plantines ya en campo definitivo, será el cabal parámetro para confirmar los beneficios de las técnicas evaluadas en el presente ensayo.
- Se debe realizar ensayos de micro propagación para la obtención de plantas sanas de tuna y la multiplicación de nuevas variedades; esta técnica es aconsejable ya que muchas veces se tiene limitaciones de material vegetativo; además con la micro propagación se puede preservar de mejor manera, la sanidad e identidad genética de la planta producida.
- Se debe sensibilizar a los productores sobre la importancia de contar con material vegetativo sano, vigoroso y de origen genético conocido o certificado. Además se debe difundir nuevos métodos de propagación y las ventajas de su aplicación en el cultivo de tuna.
- Si bien la forma tradicional de multiplicar tuna mediante pencas enteras, es la forma más directa de establecer nuevas parcelas, los resultados del presente trabajo deben ser considerados no solo desde un punto de vista técnico sino desde un punto de vista económico, por el ahorro de material y costos de transporte que esto implica.

## VII. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Abraján, M. 2008. Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Valencia. Departamento de tecnología de alimentos. Valencia. pp. 5.
- Alonso, B; Cruz, O. 2007 Evaluación de 4 densidades de siembra de nopal (*Opuntia ficus indica* L. Miller), en la Comunidad de Buena Vista del Sur, Diriamba, Nicaragua. Tesis de grado. Menciona FAO, 2003. pp. 2.
- Álvarez, B. 2007. Análisis de factibilidad del cultivo de la tuna en la localidad de Icaño, Departamento de La Paz. Gobierno de la Provincia de Catamarca. Argentina. **En:** tuna (*Opuntia ficus-indica*). pp. 1.
- Álvarez, J; Rodríguez, S; Chacón, E. 2007. Efecto de diferentes tamaños de esqueje y sustratos en la propagación de Romero (*Rosmarinus officinalis* L.). Tesis de grado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. s.p.
- Anaya, P. 2003. Historia del uso de *Opuntia* como forraje en México. **En:** Mondragón – Jacobo y Pérez - Gonzales (eds.): El nopal (*Opuntia* sp.) como forraje. Estudios FAO Producción y Protección Vegetal 169. s.p.
- Amaya, R; Julio, E. 2009. “El cultivo de tuna” *Opuntia ficus indica*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú. pp.12.
- Arismendi, L. 2001. Investigación sobre el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) en el Oriente de Venezuela. Revista. pp. 3.

- Barbera, G. 1995. History economic and agro-ecological importance. **In:** Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear, Barbera, G., Inglese, P. y Pimienta – Barrios, Rome, Italy: FAO. pp. 1-11.
- Barbera, G; Inglese, P; Pimienta, E. 1999. Taxonomía. **En:** Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y protección vegetal, 132. Roma. pp. 21.
- Buxbaum, F. 1950. Propagación. **En:** Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y protección vegetal, 132. Roma. pp. 71.
- Campos, H. 2004. Riego y fertilización fosforada en la producción de forraje de cultivares de alfalfa en el Valle Central de Cochabamba y Altiplano Central de Oruro. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Bolivia. pp. 32.
- Chessa, I; Nieddu, G. 1997. Descriptors for cactus pear (*Opuntia* sp.).**En:** Utilización agroindustrial del nopal. Estudio FAO producción y protección vegetal, 162. Roma. pp. 8.
- Cock, J; Howeler, R. 1978. La capacidad de la yuca para crecer en suelos pobres. Programa de yuca en el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Cali Colombia. s.p.
- Daga, J; Antezana, A. 2014. Microorganismos potenciales fermentadores de tuna (*Opuntia ficus indica*) en ensilado de diferentes mezclas: penca, Maíz-penca, penca-alfa alfa, penca-alfa alfa-maíz. s.p.
- De La Rosa, J; Santana, D. 1998. El Nopal: Usos, manejo agronómico y costos de producción en México. Comisión Nacional de las Zonas Áridas. Coahuila, México. pp. 181-182.

- Farias, I; Santos, D; Dubeux J. 2005. Establecimiento e manejo da palma forrageira. **In:** A palma no Nordeste do Brasil: Conhecimento Atual e Novas Perspectivas de Uso (R.S.C. Menezes, D.A. Simões e E.V.S.B. Sampaio, org). Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil. pp. 81-104.
- Florio, S; Florio, J. 2008. Potencial de la tuna española (*Opuntia ficus-indica*) para la alimentación de bovinos Doble Propósito en zonas áridas y semiáridas de Venezuela. pp. 402.
- Felker, P.1999. Produccion y utilización de forraje y pastura. **En:** Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y protección vegetal, 132. Roma. pp. 155-156.
- Flores, C; de Luna J; Ramírez, P. 1995. El mercado mundial de la tuna. Informe final. Programa Nopal del CIESTAAM de la Universidad de Chapingo, México. Autónoma Chapingo. **En:** tuna (*Opuntia ficus-indica*). pp 1.
- Flores, C. 1997. La producción de tuna en San Cono, Sicilia, Italia. **En:** Memorias del VII Congreso Nacional y V Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal, Monterrey Nuevo León, México. s.p.
- Granados, D; Castañeda, A. 1996. El nopal. 2º Reimpresión, Ed. Trillas, México. **En:** Utilización agroindustrial del nopal. Estudio FAO producción y protección vegetal, 162. Roma. pp. 7.
- Granata, G. 1999. Enfermedades bióticas y abióticas. **En:** Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y protección vegetal, 132. Roma. pp. 106-114.

- Iñiguez, L. 2013. La Problemática de la Producción de Rumiantes Menores en las Zonas Áridas de Latinoamérica y Limitaciones para el Cambio Tecnológico. **En:** La producción de rumiantes menores en las zonas Áridas de Latinoamérica. Brasilia, DF: Embrapa. pp. 14.
- Jarquín, Y; Lagos, O. 2012. Efecto de diferentes dosis de compost sobre el crecimiento, rendimiento y rentabilidad en el cultivo de nopal (*Opuntia ficus-indica* L.), Las Esquinas, Carazo, 2010. Trabajo de Graduación. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. Managua, Nicaragua. pp. 8-9.
- Le Houérou, H. 1994. Drought-tolerant and water-efficient fodder shrubs, their role as a “drought insurance” in the agricultural development of arid and semi-arid zones in Southern Africa. **En:** Reclamación de áreas degradadas del piedemonte de Mendoza, Argentina, Mediante la plantación de *Opuntia ficus indica* f. *Inermis*. pp. 3.
- Longo, S; Rapisarda, C. 1999. Plagas del nopal. **En:** Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y protección vegetal, 132. Roma. pp. 106-114.
- Luna, J; Urrutia, J. 2008. Nopal para forraje en el Altiplano Potosino. INIFAP-CIRNE, campo experimental San Luis, México. pp. 1.
- Mendoza, B. 2013. Evaluación de la eficacia de cuatro enraizadores y dos tamaños de estaca en la propagación de naranjilla (*Solanum quitoense*) híbrido puyo, en vivero en el cantón San Miguel de los Bancos, provincia de Pichincha. Tesis de grado. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Riobamba-Ecuador. pp. 63.
- Melgarejo, P. 2000. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Volumen I. El medio ecológico, la higuera, el alcaparro y el Nopal. Madrid Vicente Ediciones y Mundi-Prensa. Madrid, España. s.p.

- Mondragón, C; Pimienta, E. 1999. Propagation. **In:** Agro-ecology cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper 132, Rome. pp. 68-69.
- Mondragón, C. 2004. Mejoramiento genético del nopal. **En:** Utilización agroindustrial del nopal. Estudio FAO producción y protección vegetal, 162. Roma. pp. 8.
- Murria, G. 1997. El poder curativo del nopal. Selector SA de CV. México DF. 160. s.p.
- Navia, R; Delgadillo, J; Meneses, R. 2010. Ubicación, datos climáticos y edáficos del Centro de Investigación en Forrajes CIF “La Violeta”. **En:** Forrajes y semillas forrajeras. Revista volumen 12. pp. 85.
- Ochoa, J. 2003. Principales características de las distintas variedades de tuna (*Opuntia* sp.) de la República Argentina. **En:** Utilización agroindustrial del nopal. Estudio FAO producción y protección vegetal, 162. Roma. pp. 8.
- Ochoa, J; Corvalan, D; Nazareno, M. 2010. Organografía, **En:** cactáceas de Santiago del Estero. pp. 17-19.
- Ochoa, J; Corvalan, D; Nazareno, M. 2010. Familia Cactaceae; subfamilia Opuntideae (*Opuntia ficus-indica*). **En:** cactáceas de Santiago del Estero. pp. 38.
- Oliveiro, M. 2014. Evaluación de cinco sustratos para la producción en vivero de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose); Santa Catalina la Tinta, Alta Verapaz. Tesis de grado. Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. San Juan Chamelco, Alta Verapaz, Guatemala. pp. 48-49.
- Pimienta; E. 1990. El nopal tunero. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara. s.p.
- Quiguango, W. 2011. “Utilización de la penca de nopal (*Opuntia ficus indica*), para la elaboración de jugos”. Ibarra-Ecuador. pp. 7.

- Reynolds, S; Jiménez, E. 2003. El nopal (*Opuntia* sp.) como forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal 169, México. pp. 6.
- Ríos, J; Quintana, V. 2004. Manejo general del cultivo del nopal. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. México. s.p.
- Rosas, X; Meneses, I; Becerra, E; Vásquez, A. 2007. Efecto de la posición de estacas sobre el rendimiento de raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Veracruz. Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan. pp. 305.
- Scheinvar, L. 1999. Taxonomía de las opuntias utilizadas. **En:** Agroecología, cultivo y usos del nopal. Barbera 1999. Estudio FAO Producción y protección vegetal, 132. Roma. México. pp. 21.
- Sudzuki, F. 1999. Anatomía y morfología, **En:** Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y protección vegetal, 132. Roma. pp. 29.
- Sudzuki, F; Muños, C; Berger, H. 1993. El cultivo de la tuna (Cactus pear). Departamento de reproducción agrícola. Universidad de Chile. **En:** Utilización agroindustrial del nopal. Estudio FAO producción y protección vegetal, 162. Roma. pp. 7.
- Taborga, R. 1995. Evaluación de cladodios de tuna (*Opuntia ficus indica*) en la complementación alimenticia de cabrillas en desarrollo. 22 p.
- Vázquez, L; Urrutia, J. 2008. Nopal para forraje en el altiplano potosino. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. Folleto para productores N° 49. San Luis Potosí, S. L. P. México. pp. 5-7.

# VIII. ANEXOS



**Anexo 2.** Base de datos de la parte aérea y de la tasa de prendimiento

Repetición	Sustrato	Fracción	Posición	Largo brote (cm)	Ancho brote (cm)	MS de brotes (g/planta)	Porcentaje de prendimiento
1	1	1	1	20,0	9,1	10,8	60
1	1	1	2	18,4	7,2	7,9	40
1	1	2	1	18,8	8,7	7,9	30
1	1	2	2	16,9	7,7	6,1	30
1	1	3	1	15,8	7,0	6,0	50
1	1	3	2	16,5	7,3	7,1	60
1	2	1	1	19,7	8,3	9,2	50
1	2	1	2	19,2	8,7	11,3	30
1	2	2	1	16,5	7,1	5,9	40
1	2	2	2	17,2	7,4	8,6	50
1	2	3	1	17,1	7,7	6,8	70
1	2	3	2	15,4	6,7	6,2	63
2	1	1	1	16,8	8,0	9,8	30
2	1	1	2	17,8	8,1	9,4	60
2	1	2	1	18,7	8,4	9,7	70
2	1	2	2	19,3	8,8	11,0	50
2	1	3	1	16,0	7,5	7,8	50
2	1	3	2	16,7	7,3	7,4	40
2	2	1	1	12,7	6,7	7,7	30
2	2	1	2	18,9	7,9	10,4	90
2	2	2	1	17,7	8,0	9,3	50
2	2	2	2	15,9	6,8	6,7	30
2	2	3	1	15,9	7,4	6,9	40
2	2	3	2	18,4	7,2	8,6	70
3	1	1	1	10,2	5,0	6,2	20
3	1	1	2	17,2	7,4	8,4	50
3	1	2	1	18,8	8,1	8,8	80
3	1	2	2	16,5	7,5	6,6	70
3	1	3	1	16,6	7,6	7,9	50
3	1	3	2	16,1	7,1	4,9	50
3	2	1	1	22,7	8,2	10,2	40
3	2	1	2	19,1	8,5	12,3	60
3	2	2	1	17,3	7,5	10,6	60
3	2	2	2	17,8	7,9	7,7	70
3	2	3	1	19,2	7,8	9,9	80
3	2	3	2	13,9	6,9	3,2	60
4	1	1	1	16,4	7,3	7,4	30

4	1	1	2	15,1	6,8	5,9	70
4	1	2	1	17,4	8,0	8,7	30
4	1	2	2	18,8	7,1	4,3	10
4	1	3	1	16,3	7,1	7,4	50
4	1	3	2	13,2	6,2	5,3	40
4	2	1	1	19,1	8,3	11,9	50
4	2	1	2	14,7	6,9	7,0	70
4	2	2	1	15,0	7,6	10,0	70
4	2	2	2	15,4	7,0	6,7	40
4	2	3	1	17,5	7,8	8,0	60
4	2	3	2	14,0	6,2	6,9	60

**Referencias:**

**Sustratos:**

- 1: Tierra del lugar.
- 2: Mezcla: Tierra del lugar + Tierra vegetal + Arena (1:1:1)

**Fracción:**

- 1: 4 trozos
- 2: 6 trozos
- 3: 8 trozos

**Posición:**

- 1: Horizontal
- 2: Vertical

**Anexo 3.** Base de datos destructivos de la parte radicular

Repetición	Sustrato	Fracción	Posición	Tamaño de raíz (cm)	Número de raíz (cm)	MS de raíz (g/planta)
1	1	1	1	15,6	4,5	2,2
1	1	1	2	10,7	8,5	0,8
1	1	2	1	17,6	7,0	2,5
1	1	2	2	14,1	6,5	1,3
1	1	3	1	13,6	3,0	0,8
1	1	3	2	13,9	7,5	1,0
1	2	1	1	25,0	3,0	1,3
1	2	1	2	19,2	7,5	1,8
1	2	2	1	17,2	8,0	1,9
1	2	2	2	13,7	8,0	1,6
1	2	3	1	19,1	4,0	1,1
1	2	3	2	16,0	5,5	0,5
2	1	1	1	14,1	9,0	2,8
2	1	1	2	10,9	10,0	1,1
2	1	2	1	16,3	5,5	1,3
2	1	2	2	16,4	5,5	1,3
2	1	3	1	14,5	2,5	1,0
2	1	3	2	14,3	5,5	1,1
2	2	1	1	15,4	6,0	2,6
2	2	1	2	17,0	6,3	1,4
2	2	2	1	17,6	5,5	1,3
2	2	2	2	14,2	5,5	0,6
2	2	3	1	14,8	4,5	1,1
2	2	3	2	12,9	5,5	0,6
3	1	1	1	20,0	6,0	1,8
3	1	1	2	13,0	7,0	1,4
3	1	2	1	17,4	5,0	1,6
3	1	2	2	14,6	6,5	1,2
3	1	3	1	16,0	4,0	0,7
3	1	3	2	9,4	5,0	0,3
3	2	1	1	24,7	3,5	1,3
3	2	1	2	16,5	5,5	1,5
3	2	2	1	17,5	4,0	1,1
3	2	2	2	21,5	6,5	0,9
3	2	3	1	18,6	3,0	1,1
3	2	3	2	23,7	4,0	0,5
4	1	1	1	11,1	6,0	1,1
4	1	1	2	22,6	6,5	1,0

4	1	2	1	13,9	5,0	1,0
4	1	2	2	11,3	5,0	0,7
4	1	3	1	14,0	1,0	0,2
4	1	3	2	9,4	6,5	0,4
4	2	1	1	17,6	3,0	1,6
4	2	1	2	15,3	6,0	0,9
4	2	2	1	17,1	3,5	1,3
4	2	2	2	20,7	2,5	0,1
4	2	3	1	16,1	3,5	0,7
4	2	3	2	12,8	6,5	0,3

**Referencias:**

**Sustratos:**

- 1: Tierra del lugar.
- 2: Mezcla: Tierra del lugar + Tierra vegetal + Arena (1:1:1)

**Fracción:**

- 1: 4 trozos
- 2: 6 trozos
- 3: 8 trozos

**Posición:**

- 1: Horizontal
- 2: Vertical

**Anexo 4.** Análisis de varianza para las variables de respuesta evaluadas en el ensayo en el fundo universitario “La Violeta”.

**Porcentaje de prendimiento**

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Probabilidad
Sustrato (S)	1	945,188	945,188	4,4267	0,08
Error	6	1281,125	213,521		
Fracción (F)	2	532,042	266,021	0,8931	
S*F	2	177,875	88,938	0,2986	
Posición (P)	1	111,021	111,021	0,3727	
S*P	1	22,688	22,688	0,0762	
F*P	2	1892,042	946,021	3,1761	<b>0,0561</b>
S*F*P	2	12,875	6,438	0,0216	
Error	30	8935,625	297,854		
Total	47	13910,479			

Coefficiente de variación: 33.77%

**Largo de brote**

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Probabilidad
Sustrato (S)	1	0,750	0,750	0,1276	
Error	6	35,276	5,879		
Fracción (F)	2	15,682	7,841	1,7956	0,1834
S*F	2	22,565	11,283	2,5838	<b>0,0922</b>
Posición (P)	1	2,001	2,001	0,4582	
S*P	1	2,613	2,613	0,5985	
F*P	2	5,352	2,676	0,6128	
S*F*P	2	3,162	1,581	0,362	
Error	30	130,999	4,367		
Total	47	218,399			

Coefficiente de variación: 12.31%

### Ancho de brote

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Probabilidad
Sustrato (S)	1	0,001	0,001	0,001	
Error	6	5,259	0,877		
Fracción (F)	2	2,847	1,423	3,2408	<b>0,0532</b>
S*F	2	2,907	1,453	3,3091	<b>0,0503</b>
Posición (P)	1	1,203	1,203	2,7399	0,1083
S*P	1	0,021	0,021	0,0474	
F*P	2	1,022	0,511	1,1631	0,3262
S*F*P	2	0,412	0,206	0,4687	
Error	30	13,176	0,439		
Total	47	26,847			

Coefficiente de variación:8.82%

### Materia seca de brotes

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Probabilidad
Sustrato (S)	1	7,760	7,760	1,7429	0,2349
Error	6	26,715	4,452		
Fracción (F)	2	39,395	19,698	6,6664	<b>0,004</b>
S*F	2	5,658	2,829	0,9574	
Posición (P)	1	12,917	12,917	4,3715	<b>0,0451</b>
S*P	1	0,227	0,227	0,0768	
F*P	2	5,696	2,848	0,9639	
S*F*P	2	1,489	0,744	0,2519	
Error	30	88,643	2,955		
Total	47	188,500			

Coefficiente de variación: 21.45 %

### Número de raíces

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Probabilidad
Sustrato (S)	1	6,527	6,527	12,5199	<b>0,0384</b>
Error	3	1,564	0,521		
Fracción (F)	2	23,327	11,663	6,7868	<b>0,0037</b>
S*F	2	11,435	5,717	3,3269	<b>0,0495</b>
Posición (P)	1	32,177	32,177	18,7234	<b>0,0002</b>
S*P	1	0,285	0,285	0,166	
F*P	2	11,085	5,543	2,2251	<b>0,0539</b>
S*F*P	2	3,927	1,963	1,1424	0,3325
Error	30	51,556	1,719		
Total	47	160,930			

Coefficiente de variación: 24.27%

### Tamaño de raíces

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Probabilidad
Sustrato (S)	1	131,672	131,672	12,1891	<b>0,0397</b>
Error	3	32,407	10,802		
Fracción (F)	2	29,540	14,770	1,4153	0,2586
S*F	2	7,385	3,692	0,3538	
Posición (P)	1	34,510	34,510	3,3069	0,079
S*P	1	0,827	0,827	0,0792	
F*P	2	3,302	1,651	0,1582	
S*F*P	2	16,415	8,207	0,7865	
Error	30	313,076	10,436		
Total	47	630,573			

Coefficiente de variación: 20.17 %

**Materia seca de raíces**

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Probabilidad
Sustrato (S)	1	0,047	0,047	1,3975	0,3223
Error	3	0,101	0,034		
Fracción (F)	2	5,565	2,783	19,3636	<b>0,0000</b>
S*F	2	0,241	0,121	0,8394	
Posición (P)	1	2,567	2,567	17,8617	<b>0,0002</b>
S*P	1	0,002	0,002	0,0130	
F*P	2	0,279	0,139	0,9698	
S*F*P	2	0,676	0,338	2,3529	0,1124
Error	30	4,311	0,144		
Total	47	16,715			

Coefficiente de variación: 32.67 %

**Anexo 5.** Imágenes referenciales del ensayo



Material vegetal recolectado de Tarata para el ensayo, en diciembre de 2015



Preparación con agua y lavandina (9:1 v/v) para la desinfección del material vegetal, previa a la plantación en La Violeta



Fraccionamiento del material vegetal.



Embolsado de macetas con los dos tipos de sustratos utilizados en el ensayo



Plantación del ensayo, de acuerdo al croquis se distribuyó los tamaños de fracciones en los dos tipos de sustratos y en las dos posiciones consideradas (vertical y horizontal)



Toma de datos en el ensayo: medición de largo de brote con ayuda de un flexómetro



Pudrición de las fracciones de penca. Izquierda: Daño mecánico. Derecha: Ataque de insectos.



Vista general del ensayo y el prendimiento de las fracciones de tuna



Sustrato: Mezcla; fracción: 4; posición: horizontal



Sustrato: Tierra; fracción: 6; posición: horizontal



Sustrato: Mezcla; fracción: 8; posición: horizontal



Sustrato: Mezcla; fracción: 4; posición: vertical



Sustrato: Mezcla; fracción: 6; posición: vertical



Sustrato: Mezcla; fracción: 8; posición: vertical



a) vertical



b) horizontal

Ensayo de propagación por fracciones de tuna en condiciones de campo en Katana (Sucre)