

## INTRODUCCIÓN

Las plantas suculentas se desarrollan principalmente en zonas áridas y semiáridas, por lo que presentan diversas adaptaciones morfológicas, fisiológicas y reproductivas, como la presencia de tallos suculentos y fotosintéticos, espinas, raíces contráctiles y superficiales, flores que abren en las horas menos calientes, frutos atractivos para organismos polinizadores, entre muchas otras más (Nobel, 1998; Hernández, 2007); citado por (Carrillo et al, 2014). Además están cubiertos por una gruesa cutícula impermeable que los protege y evita que pierdan agua por otra vía que no sean los estomas, estos abren predominantemente en la noche, por lo tanto se reduce la transpiración. Si la planta carece de reservas suficientes de agua para mantenerse transpirando, los estomas pueden cerrarse indefinidamente hasta que los tejidos vuelven a recargarse de agua (Pimienta-Barrios, 2003; Hernández, 2007); citado por (Carrillo et al, 2014).

Hernández et al. (2007), observó en *M. geometrizzans* estomas paralelocíticos que se caracterizan por presentar un complejo de tres o más células subsidiarias paralelas al eje longitudinal de las células oclusivas; es decir, las células subsidiarias presentan un incremento gradual en tamaño del centro hacia el extremo para cubrir parcialmente los extremos de las células oclusivas este mismo autor indica que en todos los individuos se observó que los estomas se encuentran al mismo nivel que las células epidérmicas y se distribuyen al azar en la superficie de las ramas y tallos jóvenes.

En Tarija las cactáceas están distribuidas en diferentes zonas como ser las zonas de Curquis y Cieneguillas, estas guardan en su territorio la segunda reserva de cactus mas importante de Sudamerica, en el Valle Central de Tarija en la localidad de Santa Ana y también se encuentran en la provincia Gran Chaco el Carapari “Neoraimondia herzogiana Buxb”, *Cereus validus* y y una cactacea que tiene hoja verdadera que es la *Pereskia sacharosa*

**Justificación**

No existe información de estudios relacionados al tejido epidérmico, en especies de la familia de las cactáceas en lo referente, a especies nativas del Valle Central de Tarija, además servirá como resultados para apoyar a las descripciones anatómicas del tejido epidérmico.

**Hipótesis**

La densidad y el índice estomático de todas las especies estudiadas, son diferentes, aunque pertenecen a la misma familia.

**Objetivos****Objetivo General**

Evaluar la Densidad y el Índice Estomático de especies de Catáceas obtenidas en la comunidad de Santa Ana del Valle Central de Tarija.

**Objetivos Específicos**

- Determinar la densidad estomática de seis especies de la familia Cactaceae.
- Determinar el índice estomático de las especies en estudio.
- Comparar los índices estomáticos por el tipo de tallos que tienen cada especie.

## CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

### 1.1 Origen de las Cactáceas

Las cactáceas son un grupo natural que ha evolucionado en los últimos 80 millones de años, a partir de plantas no suculentas, siendo los géneros *Pereskia* y *Pereskiaopsis* los más primitivos. Algunas hipótesis indican que este tipo de plantas se originaron en la zona tropical seca de Sudamérica, otras indican que México es el centro de origen (Flores, 2009).

Sin embargo, el centro de origen primario de las cactáceas es el continente americano, siendo las regiones áridas y semiáridas las de mayor número de especies. En América existen algunas regiones relativamente ricas en cactáceas. (Flores, 2009).

### 1.2 Distribución de las Cactáceas

La familia *Cactaceae* (cactáceas) es originaria de continente americano y comprende unos 200 géneros y aproximadamente unas 2500 especies, que se extienden desde Canadá hasta la Patagonia, en Chile y Argentina. Son plantas típicas de regiones cálidas y áridas, aunque también poseen representantes en las selvas tropicales y subtropicales con un alto índice de pluviosidad, hasta en zonas semidesérticas con lluvias muy localizadas o casi ausentes. También la diversidad se ajusta a diversas altitudes, ya que se han registrado cactáceas hasta más de 5000 m. s. n. m. (Anderson, 2001).

### 1.3 Etimología

La palabra *cactus* deriva del griego *Κάκτος káktos*, utilizado por primera vez por el filósofo Teofrasto para nombrar una especie de cardo espinoso que crecía en la isla de Sicilia, posiblemente el cardo *Cynara cardunculus*.

Curiosamente, existen también dos referencias poéticas de la Antigüedad sobre esta planta. Así, el poeta Teócrito de Siracusa escribió en sus *Idilios*: «A ti te dejen como una oveja del rebaño, cuya pata se haya picado por un cactus». Asimismo, Filetas, poeta

proveniente de la isla de Cos, escribió sobre ella: «Debe lamentarse quien haya perdido el afecto de una mula, por el temor a las heridas del cactus espinoso».

La palabra pasó al latín como *cactus* a través de Plinio el Viejo, quien en su *Naturalis Historia* retomó aquello que Teofrasto escribió sobre esta planta que crecía en Sicilia. De *cactus* derivó la palabra latina *carduus*, que finalmente dio lugar a la española *cardo*.

Durante la Edad Media la palabra *cactus* era el nombre usual para la alcachofa comestible. Más tarde, *Cactus* fue usado como nombre genérico por Carlos Linneo en 1753, dentro del cual agrupaba 22 plantas que hoy se consideran dentro de géneros diversos de la familia *Cactaceae* (Vázquez, 2019).

#### **1.4 Importancia de las Cactáceas**

En la familia *Cactácea* existen alrededor de 35 especies que tienen potencial como cultivo para la obtención de frutos, vegetales o forraje. Algunas especies son utilizadas como elementos de construcción y para combustible como plantas medicinales y ornamentales. Los haces vasculares de este tipo de *cactus* son verdaderamente rígidos por los que son útiles en las zonas rurales indígenas. Así mismo se ha aprovechado el fruto, la semilla y el tallo de siete géneros de *cactáceas* columnares (Flores, 2009).

#### **1.5 Habidad de las Cactáceas**

Las *cactáceas* han desarrollado características anatómicas y fisiológicas particulares, que les han permitido colonizar los ambientes áridos (Jiménez, 2011). Estas plantas presentan diversos mecanismos para adaptarse al medio en el que se desarrollan, entre ellos, la presencia de tejidos suculentos por lo que se les denomina plantas suculentas o crasas, esta expresión no se utiliza en la clasificación taxonómica, solo se emplea para designar a aquellas plantas que tienen tejidos carnosos, especializados en acumular gran cantidad de agua en sus tejidos (tallos, hojas, sistema radicular), lo cual les permite sobrevivir en ambientes relativamente secos y áridos. Estas adaptaciones en relación con la aridez pueden deberse a cambios metabólicos o estructurales. (Jiménez, 2011).

Las cactáceas son plantas suculentas que se localizan en ambientes desérticos y ecosistemas áridos, así mismo habitan de forma epífita en selvas tropicales. Naturales de las regiones tropicales, subtropicales y templadas del continente americano, desde Canadá hasta la Patagonia, y desde las Galápagos hasta la isla Fernando de Noronha.

Se localizan dispersos en diversos ecosistemas, predominantemente ambientes áridos, serranías y montañas, desde el nivel del mar hasta los 4.500 msnm en los Andes. La mayoría son especies semidesérticas adaptadas a las condiciones cálidas americanas, asilvestradas en regiones como Madagascar, Ceilán y Sri Lanka.

El hábitat ideal de la mayoría de las cactáceas está regido por lluvias ocasionales con períodos intermedios de sequía prolongada. No obstante, se requiere abundante rocío matinal al momento de disminuir los valores promedio de temperatura diurna y nocturna. (Vázquez, 2019).

### **1.6 Riesgos de las Cactáceas**

Según la primera evaluación global de cactáceas, son el quinto grupo de especies más amenazadas en el mundo, los expertos encontraron que el robo y el comercio ilegal para la industria hortícola y las colecciones privadas son los principales motores de la extinción, que afecta al 47 por ciento de las especies de cactáceas amenazadas (Dasgupta, 2016).

Una de las razones por las cuales muchas especies de cactáceas se encuentran en riesgo, se debe al gran endemismo de sus poblaciones. El endemismo se refiere a que sus poblaciones sólo se encuentran en una determinada área geográfica. La extensión geográfica ocupada por una especie endémica es muy variable (Jiménez, 2011). El alto endemismo presente en las especies de cactáceas y la alta especificidad ambiental de sus poblaciones, es todavía un misterio para los científicos, pero sin duda es la causa de que muchas poblaciones y especies se encuentren en alguna categoría de riesgo en extinción. Además, el lento crecimiento de estos organismos, que es el costo que deben pagar por su metabolismo CAM, el cual les permite vivir exitosamente en ambientes con escasez de agua, hace que sus poblaciones se recuperen muy lentamente de los

disturbios poblacionales, ocasionados de manera natural o como consecuencia de la actividad humana (Jiménez, 2011).

Las actividades antropogénicas descontroladas son una problemática en los ecosistemas ocasionando la pérdida de la biodiversidad acentuándose con el incremento de la población humana (Darwin, 2017). En primer lugar, el cambio de usos del suelo provoca que los ambientes naturales sean completamente transformados, ya sea en áreas agrícolas, ganaderas o utilizados con fines urbanos. Estas transformaciones provocan la pérdida indirecta de muchas poblaciones de especies silvestres (Darwin, 2017).

### **1.7 Cactáceas en Bolivia**

En Bolivia, las cactáceas, plantas conocidas comúnmente como cactus, tienen una amplia distribución biogeográfica y se las puede encontrar en el altiplano como en regiones tropicales, pasando por los llamados valles interandinos, con la única excepción del norte de su territorio, principalmente los departamentos de Pando y Beni, de acuerdo al “Catálogo ecológico preliminar de las cactáceas de Bolivia”, elaborado bajo la dirección del biólogo, Gonzalo Navarro, en 1996.

Los paisajes del altiplano tienen entre sus mudos testigos a los cactus que parecen –a momentos– vigilar el territorio y, en otros, adornarlo con sus brillantes colores verdes de sus tallos o las tonalidades de sus flores. En esta vasta meseta se pueden encontrar cactus como la tuna, la pasakana, el airampu, conocidas por sus propiedades alimenticias como medicinales.

Tupiza alberga muchos cardones columnares gigantes que miden más de seis metros y florecen al inicio de la época de lluvias. Cuando mueren y se caen las enormes espinas que los protegen, se los aprovecha para la fabricación de muebles y artesanía.

El Jardín de las Cactáceas de Bolivia se encuentra en la ecoregión de los Valles Secos interandinos y Chaco al oeste del Municipio de Comarapa entre los 1.450 a 2.000 metros sobre el nivel del mar. En una superficie de más de 22 hectáreas, se pueden apreciar bosques naturales de cactus arbóreos y pequeños de gran abundancia. En este

santuario de cactáceas hay especies como caraparí, candelilla, kijkaluro, achuma (cactus columnares), ñañancos (cactus globo)

En La Paz, es conocido por muchos el famoso Valle de la Luna, al sur de la ciudad, donde también los cactus forman parte del paisaje.

En Tarija, el Parque Natural y Área de Manejo Integrado “El Cardón” se encuentra la segunda reserva más grande de cactus de Sudamérica (Luego de México), alberga 12 especies de cactus que cubren los cerros. (Los Tiempos, 2016).

### **1.8 Cactáceas en Tarija**

El municipio de El Puente, provincia Méndez del departamento de Tarija, guarda en su territorio la segunda reserva de cactus más importante de Sudamérica; lugar que está ubicado en la comunidad de Curqui, fue declarado Parque Natural y Área de Manejo Integrado mediante Ley N° 2465 el 2 de mayo de 2003 y la zona abarca la comunidad de Huarmachi, Condor Huasy, Curqui y Copayito.

En el lugar, se observan 12 variedades de cactus que en ningún otro lugar de la zona existen, entre ellos está el Cardón Verde, Cardón Amarillo, El Lorocho, Poko, El cola y Zorro, entre otros. Éstos florecen en colores variados, como el amarillo, rojo y el blanco. Su tamaño es variado, los hay desde los dos metros y pueden llegar hasta los cinco metros de alto (Fernández, 2013)

### **1.9 Familia Cactácea**

Cactaceae es una de las familias más singulares entre las plantas con flores, la cual se puede reconocer por una combinación de caracteres morfológicos propios que incluyen la presencia de tallos suculentos, generalmente verdes, una tendencia a no presentar hojas, y tallos armados con espinas de diversas formas, tamaños y colores. Sin embargo, hay tres caracteres estructurales únicos para esta familia: presencia de aréolas, el meristemo apical de la rama está organizado en cuatro zonas distintivas y un ovario sumido en el receptáculo. El carácter más evidente es la aréola, es decir pequeños braquiblastos donde los nudos están completamente reducidos, cubiertos por

una capa de tricomas multicelulares. Las aréolas, por lo tanto, son grupos de meristemos que dan origen a flores y nuevos brotes (Arias, 2009).

### 1.10 Subfamilias

La clasificación de cactáceas desarrollada por el grupo de Sistemática Internacional de Cactáceas reconoce cuatro subfamilias (Anderson, 2001).

- a) **Pereskioideae**, cuyo único género es *pereskia* y posee las características más ancestrales de esta familia. Son plantas en forma de árbol, arbusto o trepadoras. El tallo es suculento y leñoso y con púas dispuestas. Presenta hojas y espinas, flores solitarias o en inflorescencias diurnas y fruto indehiscente en forma de baya carnosa. Semillas de 1.7 a 7.5 mm color marrón oscuro brillante. Presenta metabolismo tipo CAM en los tallos y C3 en las hojas; se distribuye desde el sur de México a través de América Central y el Caribe, hasta el este de Sudamérica.
- b) **Maihuenioideae**, es un arbusto cespitoso cuyo género es *Maihuenia*. El tallo es suculento y cilíndrico. Las hojas son pequeñas y persistentes, presentan tres espinas por areola; las flores son terminales y solitarias, los frutos son un tanto carnosos con pequeñas escamas. Las semillas miden de 3 a 4 mm de diámetro y son brillantes. Solo presenta metabolismo C3. Se localiza únicamente en Argentina y Chile.
- c) **Opuntioideae**, engloba plantas de crecimiento arbóreo, arbustivo o cespitoso. 15 géneros pertenecen a esta subfamilia. El tallo es normalmente segmentado, cada segmento recibe el nombre de cladodio. Presenta hojas efímeras y pequeñas, además de gloquidios (pelos Barbados delgados) y espinas presentes. Las flores son casi siempre laterales, sésiles, solitarias y diurnas. Los frutos son en forma de baya indehiscente y algunas veces se deseca en la madurez, las semillas son ovales de 3 a 12 mm. Se distribuyen por todo el continente americano. El género *Opuntia* presenta un genoma diploide con 22 cromosomas, sin embargo es posible encontrar híbridos diploides, tetraploides o hasta octaploides propagados vegetativamente

d) **Cactoideae**, comprende plantas que pueden ser arbóreas, arbustivas, cespitosas, trepadoras o epífitas, sus raíces pueden ser fibrosas o tuberosas. Los tallos usualmente son globosos a columnares, acanalados o tuberculados. Las hojas son verticales o ausentes. Carece de gloquidios, las flores son sésiles y pueden ser diurnas o nocturnas, el fruto puede ser dehiscente o indehiscente, carnoso o seco y varía en tamaño y en forma; las semillas también varían en diámetro y algunas veces presentan apéndices; la testa tiene una arquitectura variable se distribuye por todo el hemisferio oeste, con una especie *Rhipsalis baccifera* también distribuida en África, Madagascar y Sri Lanka e islas del Océano Índico. Esta subfamilia contiene cerca de 100 géneros. (Anderson, 2001).

### 1.11 Taxonomía de las Especies en Estudio

**Reino:** Vegetal.

**Phylum:** Tracheophytae.

**División:** Tracheophytae.

**Subdivisión:** Anthophyta.

**Clase:** Angiospermae.

**Subclase:** Dicotyledoneae

**Grado Evolutivo:** Archichlamydeae

**Grupo de Órdenes:** Corolinos

**Orden:** Opunciales

**Familia:** Cactaceae

**Nombre científico:** *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.

**Nombre común:** Uturungo

**Reino:** Vegetal.

**Phylum:** Tracheophytae.

**División:** Tracheophytae.

**Subdivisión:** Anthophyta.

**Clase:** Angiospermae.

**Subclase:** Dicotyledoneae

**Grado Evolutivo:** Archichlamydeae

**Grupo de Ordenes:** Corolinos

**Orden:** Opunciales

**Familia:** Cactaceae

**Nombre científico:** *Echinopsis mamillosa* Guerke

**Nombre común:** Asiento de suegra

**Reino:** Vegetal.

**Phylum:** Telemophytae.

**División:** Tracheophytae.

**Subdivisión:** Anthophyta.

**Clase:** Angiospermae.

**Subclase:** Dicotyledoneae

**Grado Evolutivo:** Archichlamydeae

**Grupo de Órdenes:** Corolinos

**Orden:** Opunciales

**Familia:** Cactaceae

**Nombre científico:** *Opuntia* sp.

**Nombre común:** Penca

**Reino:** Vegetal.

**Phylum:** Telemophytae.

**División:** Tracheophytae.

**Subdivisión:** Anthophyta.

**Clase:** Angiospermae.

**Subclase:** Dicotyledoneae

**Grado Evolutivo:** Archichlamydeae

**Grupo de Órdenes:** Corolinos

**Orden:** Opunciales

**Familia:** Cactaceae

**Nombre científico:** *Cereus hankeanus* Weber & Schumann.

**Nombre común:** Ulala

**Reino:** Vegetal.

**Phylum:** Telemophytae.

**División:** Tracheophytae.

**Subdivisión:** Anthophyta.

**Clase:** Angiospermae.

**Subclase:** Dicotyledoneae

**Grado Evolutivo:** Archichlamydeae

**Grupo de Órdenes:** Corolinos

**Orden:** Opunciales

**Familia:** Cactaceae

**Nombre científico:** *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose

**Nombre común:** cardón

**Reino:** Vegetal.

**Phylum:** Telemophytae.

**División:** Tracheophytae.

**Subdivisión:** Anthophyta.

**Clase:** Angiospermae.

**Subclase:** Dicotyledoneae

**Grado Evolutivo:** Archichlamydeae

**Grupo de Órdenes:** Corolinos

**Orden:** Opunciales

**Familia:** Cactaceae

**Nombre científico:** *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill.

**Nombre común:** Penca – de tuna

Fuente: (Herbario Universitario (T.B.), 2018).

## **1.12 Morfología de las Cactáceas**

Los cactus son aquellas plantas suculentas con espinas que pertenecen a la Familia Cactaceae, cuya característica de las plantas es ser perennes, se han adaptado morfológicamente de manera que pueden economizar y concentrar esta en el tronco y la raíz. Mediante estos mecanismos de adaptación pueden hacer frente a las condiciones extremas de aridez en las que la gran mayoría se desarrolla. Las cactáceas se diferencian de otras suculentas especialmente por la presencia de areolas en sus ramas, estructuras en las que se sitúan las espinas, las flores y los frutos. (Flores, 2009).

### **1.12.1 Raíz**

Las raíces de las cactáceas poseen algunas particularidades por las cuales se consideran del tipo xerofítico, se han tenido que adaptar a las condiciones adversas del medio que son; falta periódica de humedad, la filtración rápida de agua, intensa insolación subsuelos calizos, arenosos, de lava, etc. (Flores, 2009).

De acuerdo con (Gibson y Novel 1986) por su patrón de distribución las cactáceas presentan tres tipos de raíces, la primera se caracteriza por presentar una principal que constituye el sistema de fijación, las siguientes son raíces secundarias que intervienen en la absorción de agua y las sustancias nutritivas disueltas en ellas y por último las raíces temporales que son las que aparecen durante las épocas de lluvia.

Las raíces de las cactáceas en general son muy ramificadas crecen más rápidamente en la presencia de humedad frecuentemente se extienden por debajo del suelo y así aprovechan el agua. Algunos géneros tienen raíces engrosadas lo que permite almacenamiento de agua y almidones, dicho almacenamiento les permite a estas cactáceas soportar diversos climas adversos (Flores, 2009).

### **1.12.2 Tallo**

En las cactáceas conforma básicamente el cuerpo de la planta, engrosado por el desarrollo de parénquima tejido de almacenamiento interviene en la conducción de nutrientes, asume la función de las hojas, convirtiéndose en un almacenador y regulador de agua, y su color verde se debe a que son fotosintéticos.

Tres tipos principales de tallo:

- **Cladodio:** Tallo aplanado en forma de raqueta (como en los nopales).
- **Columnar:** Tallo en forma cilíndrica (con o sin ramificación). La planta se denomina basítona si se divide desde la base del tallo, mesótona si se divide a la mitad del tallo o acrótona si se divide en la punta del tallo. En las columnares algunas veces el tallo está comprimido lateralmente y aplanado, en cuyo caso se le llama filocladio (como en los saguaros).
- **Globoso:** Tallo casi esférico, con porte de barril, como en las biznagas (Farre, 2001).

### 1.12.3 Areolas

Entre los órganos más característicos de los cactus en la superficie de los tallos, se encuentran las areolas, que son elementos semejantes a yemas existentes en los tallos de las demás dicotiledóneas. Son estructuras afelpadas, exclusivas de los cactus, donde van a aparecer las espinas, los pelos, las hojas, las flores, ramas y los frutos (Ceroni, 2013).

### 1.12.4 Espinas

Las espinas son órganos que varían en forma, tamaño, color, consistencia, número, etc. Por su origen se dice que son hojas modificadas y cumplen varias funciones; protegen contra la depredación de los animales, en el campo producen sombra y protección al tallo, reflejando los rayos solares, condensan la humedad ambiental y la dirigen hacia las raíces, donde es absorbida y facilita la propagación vegetativa cuando se adhieren a la piel de algún animal que dispersa los tallos (Flores, 2009).

Las espinas son órganos muy característicos de las cactáceas que se forman de los tejidos meristemáticos de las areolas en la base, pasando por un proceso de endurecimiento por lignificación. Se han clasificado tres clases: gruesas, defensivas y glandulares. Las espinas gruesas más comunes son setosas, aciculares, subuladas, cónicas, cilíndricas, aplanadas, rectas curvas, retorcidas, ganchudas y plumosas de color blanco hasta negro; las defensivas están comprendidas por las gloquidias o “aguates” propias de la familia Opuntioideae, son muy delgadas, pequeñas y rígidas,

poseen en el exterior células fusiformes que dejan una porción libre retrobarbada que permite su fácil acceso a la piel pero son difíciles de extraer, las suaves incluyen a las cerdas largas y rígidas y pelos largos o los tricomas que están formados por hileras de células cuyo conjunto forma la lana o fieltro que existe en todas las areolas. Las espinas glandulares de las cuales los productos de secreción son azucarados y atraen insectos como hormigas. La función que se le adjudica a las espinas están la de defender la planta de daños causados por animales, protección contra el sol debido a la sombra que proyectan sobre el tallo para impedir la excesiva transpiración y facilitar la condensación de agua atmosférica a la par de los pelos lanosos (Herrera, 2015).

#### **1.12.5 Flores**

Las flores de las cactáceas son hermafroditas o, más rara vez, unisexuales. Si bien existen flores con especies zigomorfas, la mayoría tienen flores actinomorfas. El perianto está compuesto, generalmente por numerosos tépalos externos, tienen aspecto sepaloide. Se unen basalmente para formar un hipanto tubo periantico. El androceo está formado por numerosos estambres, con secuencia centrífuga. El polen es trinucleado, desde tricolpado a 6- 15 colpado o porado. El nectario está constituido por un anillo en la superficie interna del tubo periantico. El gineceo se compone de 3 o más carpelos, y el ovario es ínfero. (Anderson, 2001).

Tienen formas, tamaños y coloraciones muy diversas. En general, se han hecho famosas por su hermosura, aparecen generalmente en primavera y durante esa estación transforman las zonas áridas en jardines llenos de esplendor. Las formas de las flores es comúnmente campanulada, y sus colores variados y combinados. Las flores pueden ser diurnas o nocturnas y su producción se restringe a una por areola (Flores, 2009).

#### **1.12.6 Polen**

Los granos de polen de cactáceas presentan gran diversidad de formas y tamaños pero a nivel de especies se mantienen constantes, los hay desde monocolpados (una sola cara) hasta “cubo-dodecaedro” seis caras cuadradas y doce hexagonales (Herrera, 2015).

### **1.12.7 Frutos**

Los frutos de las cactáceas son bayas, los cuales pueden ser carnosos, jugosos o secos, en época de fructificación atraen a las aves y mamíferos que se alimentan de ellos. Los hay dehiscentes e indehiscentes, los frutos constan de una cámara en cuyo interior se encuentran las semillas, unidas por una estructura llamada funículo el cual determina su carnosidad o succulencia. La forma de los frutos es variable, desde globoso hasta alargados, son lanosos, escamosos espinosos y su coloración puede ser blanca, verde, amarilla, púrpura, azul o casi negra (Flores, 2009).

### **1.12.8 Semillas**

Las semillas de las cactáceas son generalmente pequeñas, de uno a dos milímetros de longitud algunos pueden medir hasta medio centímetro, tienen formas diversas; discoide, reniforme, ovoides y son de colores que varían del negro al crema pasando por tonalidades pardas, castañas o con tintes rojizos. La envoltura exterior es amarillenta, café o negra, casi siempre muy dura, brillantes, lisas o provistas de pequeñas puntuaciones o tubérculos (Flores, 2009).

### **1.13 Fisiología**

Los cactus poseen una serie de características interesantes en su metabolismo, una de estas características es la succulencia; algunos cactus, cuando están completamente hidratados, consisten de casi 95% de agua. Notablemente, ellos pueden secarse y sobrevivir al punto al cual el contenido de agua llega hasta 20% (Anderson, 2001).

La gran mayoría de los cactus llevan el proceso fotosintético llamado Metabolismo Acido Crasuláceo (CAM, por sus siglas en inglés), este fenómeno también encontrado en la familia crassulaceae y en otras plantas que tienen que hacerle frente a una limitada fuente de agua, incluyendo agaves, yucas, bromelias y muchas orquídeas (Anderson, 2001).

En la fotosíntesis CAM, los estomas se abren solamente de noche, conservando el agua, debido a que la pérdida de vapor de agua es menor durante las horas frías de la noche. Durante la noche el dióxido de carbono entra a las células llenas de clorofila del tallo

y es convertido en ácidos orgánicos que son almacenados en las vacuolas. Al mismo tiempo, el oxígeno es suelto a la atmósfera, y solo una pequeña cantidad de vapor de agua es perdida a la mañana. El estoma se cierra y las células empiezan a fotosintetizar tan pronto el sol sale. El dióxido de carbono es removido de los ácidos orgánicos y usado para hacer azúcares. Este proceso eficiente de fotosíntesis puede ocurrir durante las horas del día con las estomas cerrados. Las plantas que no son CAM, donde se incluyen la mayoría de las plantas florecientes, conducen el intercambio de gases durante el día. El metabolismo de la gran mayoría de ellos esta descrito como C3, debido a que el dióxido de carbono es capturado como ácidos de 3 carbonos (Anderson, 2001).

#### **1.14 Anatomía de las Cactáceas.**

Sin duda alguna, de las plantas más desarrolladas y sofisticadas que existen en el mundo, son las cactáceas, donde su morfología y fisiología están encaminadas a el aprovechamiento eficiente del agua, es decir mejores canales de captación y almacenamiento. Para ello, estas plantas has desarrollados cualidades morfológicas y fisiológicas que les permiten perder el mínimo de agua de sus tallos (Arredondo 2016).

Para el estudio de la anatomía de las cactáceas se puede utilizar la de cualquier especie, ya que todas presentan la misma organización general, aunque la forma de la planta y por lo tanto las dimensiones del tejido pueden variar (Arredondo 2016). Los tejidos de almacenamiento (parénquima) están muy desarrollados lo que les permite conservar agua y nutrientes durante prolongados periodos de sequía. En cactáceas a nivel general, el estudio de los tejidos que integran los tallos son:

##### **1.14.1 Epidermis e Hipodermis**

La epidermis está formada por una gruesa cutícula impermeable de células cuya estructura varía con el tiempo, pues son distintas las que existen en las zonas de crecimientos de las que cubren la parte media del tallo o de las que se encuentran en las proximidades de la raíz. La pared exterior de la epidermis está cubierta por una capa

de secreciones cerosas, la cual recibe el nombre de cutina y tiene como función proteger el tejido verde fotosintético y reducir la pérdida de agua (Arredondo, 2016).

Las principales funciones de la epidermis son:

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

La hipodermis está compuesto de un tipo de células llamados colénquima, que son usadas por la planta como soporte mecánico, esta zona está formada por un número variable de hileras de células que presentan contornos irregulares que se caracterizan por que sus partes comúnmente están engrosadas y contienen altas concentraciones de pectina y hemicelulosa, pero no de lignina; la pectina retiene el agua con la cual llena las paredes y lo hacen duro pero flexible, con lo cual los tallos pueden extenderse y contraerse al perder agua sin sufrir daños ( Arredondo, 2016 ).

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

Debajo de la hipodermis se distingue una capa de células de color verde intenso que constituye este tejido, es aquí donde se transforma el agua y el CO<sub>2</sub> en azúcares en presencia de luz, mediante el proceso conocido como fotosíntesis, la luz atraviesa la epidermis y llega al clorénquima, donde es absorbida por la clorofila y carotenos presentes en los cloroplastos (Arredondo, 2016).

#### **1.14.3 Xilema y Floema**

El xilema (elementos vasculares) se localiza entre la médula y el tejido parenquimatoso siendo su función abastecer a los tejidos con agua y minerales del suelo vía las raíces y transportar los azúcares del clorénquima hasta el resto de la planta. En las cactáceas columnares de gran tamaño los haces vasculares dan a la planta adulta resistencia estructural para soportar su peso, resistir la flexión y el pandeo producido por los vientos sobre sus grandes tallos suculentos (Arredondo, 2016).

El tejido de almacenamiento parenquimatoso (floema) está muy desarrollado lo que les permite a las cactáceas conservar el agua y nutrientes durante prolongados periodos de sequía. Debe su color al reducido número de cloroplastos y a la presencia de vacuolas grandes, los cuales ocupan el 95% del volumen celular del nopal, técnicamente a este tejido se le conoce como parénquima medular (Arredondo, 2016).

### **1.15 Estomas**

Los estomas son una estructura que está formada por dos células que se encuentran en la epidermis de los tejidos verdes de los vegetales, especialmente en la superficie de las hojas, tanto en el haz como en el envés. Las plantas adaptadas a sequías y a fuertes insolaciones suelen presentar un menor número de estomas en general y éstos están situados con mucha mayor frecuencia el envés (la parte de debajo de la hoja) para disminuir la pérdida de agua por transpiración. De esta manera los estomas están protegidos del sol y permite controlar mejor la transpiración (la pérdida de agua), así los estomas pueden intercambiar gases sin peligro de deshidratación. (Contreras, 2013).

Las raíces nunca tienen estomas. Las plantas parásitas que no tienen clorofila no presentan estomas y las partes aéreas de las plantas, que no tengan clorofila tendrán estomas no funcionales, como por ejemplo en los pétalos de las flores. Las plantas acuáticas tampoco tienen estomas puesto que no los necesitan para intercambiar gases disueltos en agua con su entorno, las plantas flotantes y las que presentan una parte del cuerpo sumergida solo los presentan en aquellas zonas que están en contacto con el aire. (Contreras, 2013).

#### **1.15.1 Características de los Estomas**

**Características:** Los estomas están formados por dos células que presentan forma arriñonada, que se denominan oclusivas o de cierre, a las que rodean otras células llamadas acompañantes. El poro que forman cuando se abren se denomina ostiolo (Contreras, 2013).

### **1.15.2 Importancia de los Estomas**

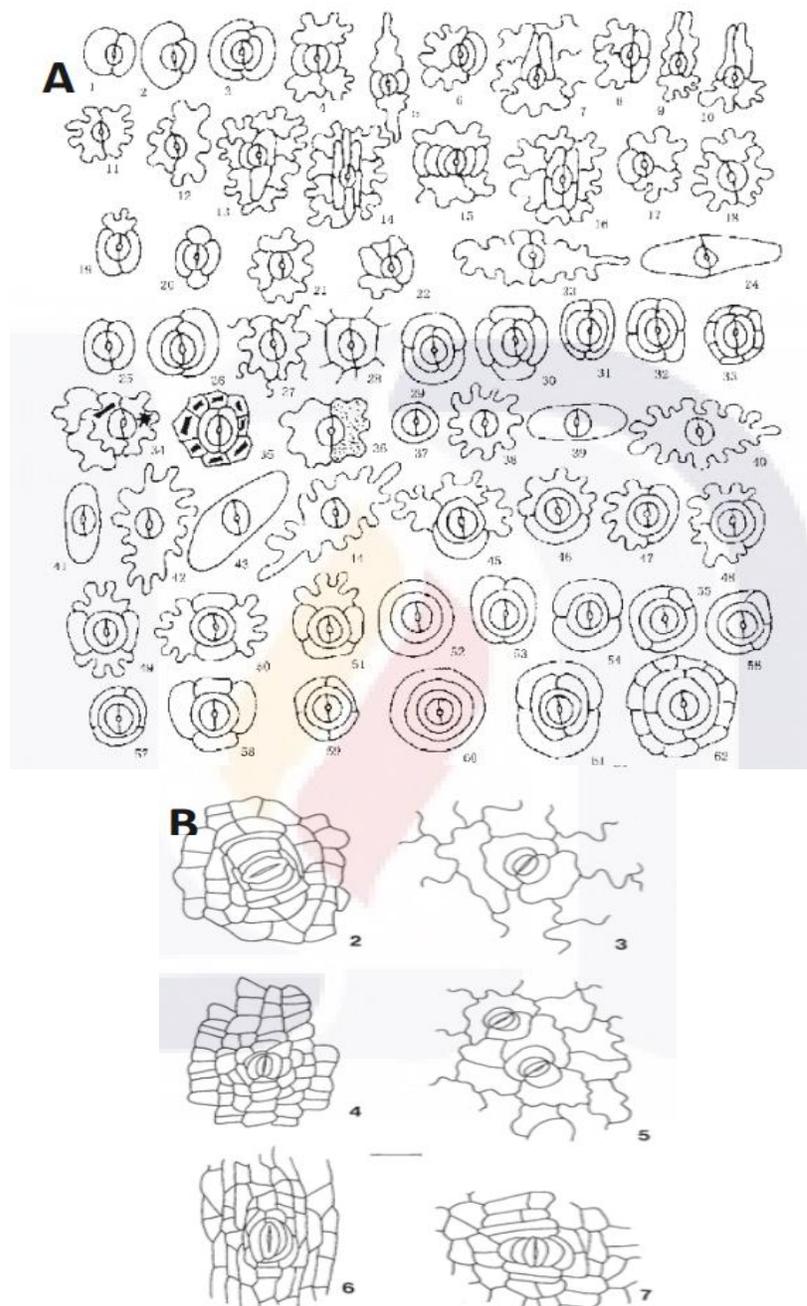
La importancia de los estomas, los poros que promueven el crecimiento vegetal. Por tanto, ¿qué son los estomas? Son poros en la superficie de las plantas, encontrándose mayoritariamente en las hojas y en menor medida en los tallos y otros órganos. Estos poros se rodean por células parenquimáticas especializadas, denominadas células guardia. Los estomas tienen dos funciones principales, en primer lugar permiten el intercambio gaseoso, dando entrada al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y liberando el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) que respiramos. La segunda función importante, es la regulación del movimiento del agua a través de la transpiración. Al igual que en el caso de los animales, las plantas también respiran, y en su caso, lo hacen a través de los estomas. El intercambio gaseoso responsable de facilitar la fotosíntesis, se da gracias a la entrada del  $\text{CO}_2$ . El dióxido de carbono se utiliza como combustible para llevar a cabo el proceso fotosintético, donde se genera oxígeno como un subproducto, el cual, es liberado a la atmósfera. Ahora bien, ¿cómo pueden los estomas facilitar la fotosíntesis? Lo hacen jugando un papel importante en la transpiración, la cual se define como la absorción de agua y su traslocación en la planta, hasta su salida por evaporación desde la parte aérea. La transpiración por los estomas crea un potencial hídrico en la planta, que a su vez, promueve la absorción pasiva del agua por las raíces y la posterior traslocación al resto de los órganos a través del xilema. Para llevar a cabo la fotosíntesis, la planta necesita seis moléculas de agua y seis moléculas de  $\text{CO}_2$  para generar glucosa y  $\text{O}_2$ . Por tanto, y tal como se ha comentado, los estomas juegan un papel de vital importancia en la entrada de agua y  $\text{CO}_2$  en la planta, facilitando así el proceso fotosintético. Los estomas regulan la transpiración y la entrada de  $\text{CO}_2$  mediante la modificación de su tamaño, influido por los factores ambientales. Las células guardia son las responsables de este proceso, expandiéndose o contrayéndose, resultando en la apertura o cierre de los estomas. En condiciones óptimas, los estomas se encuentran abiertos, permitiendo el intercambio gaseoso con la atmósfera. Para la apertura de los mismos, se da la entrada del agua mediante la ósmosis, la cual depende de la concentración de potasio en las células. El potasio se transporta al interior o exterior de la célula mediante el transporte activo con gasto energético, dependiendo

de los factores ambientales. Los factores de mayor influencia sobre este proceso estomático son: el intercambio iónico, la temperatura, la luz, concentración de CO<sub>2</sub>, etc, los cuales desembocan en señales hormonales que dirigen este tipo de procesos fisiológicos en la planta. En el caso de la apertura estomática, el potasio se transporta activamente a las vacuolas, lo que incrementa su concentración en las células, y acaba forzando la entrada de agua por osmosis, aumentando así la turgencia y tamaño de las células, dejando los poros abiertos. En el caso del cierre estomático, ocurre lo contrario, el potasio se transporta fuera de las células que resulta en la salida del agua al exterior, modificando la turgencia celular y, por tanto, encogiéndose sobre el poro y cerrándolo. El estrés es el principal responsable del cierre estomático, ya que ante esta situación, la planta sintetiza el ácido abscísico (ABA), una fitohormona conocida por su acción en la regulación de procesos clave del desarrollo vegetal y su adaptación al estrés biótico y abiótico. En el caso del estrés hídrico, bien por sequía o salinidad, las plantas hacen frente al estrés mediante el cierre estomático, evitando pérdidas innecesarias de agua. A nivel fisiológico, el ácido abscísico (ABA) generado, señala el cierre estomático al unirse con receptores proteicos en la superficie de las membranas plasmáticas de las células guardia, activando mensajeros secundarios tal como los ROS, óxido nítrico, Ca<sup>2+</sup>, lo que estimula los canales iónicos que finalmente inducen a la salida del agua de las células. Este hecho es el que provoca que las células finalmente pierdan turgencia y cierren los estomas. De este modo, la planta es capaz de mantener su hidratación, evitando la pérdida de agua, hasta que la señal de estrés disminuye. En este momento, la señal del ABA y su efecto sobre el cierre estomático cesan. De manera similar, se ha observado que la planta puede generar ABA como respuesta al ataque de patógenos como la *Pseudomonas syringae*, una bacteria capaz de infiltrar la planta a través de los estomas. Por ello, la planta genera ABA, induciendo el cierre estomático y evitando cualquier invasión adicional de patógenos. El cierre estomático producido en situaciones de estrés afecta negativamente al desarrollo de la planta, alterando la fotosíntesis así como el transporte de agua y hormonal dentro de la planta. Este hecho desemboca en un desequilibrio hormonal, conllevando una parada del crecimiento. A pie de campo, se constata que el estrés conlleva una importante pérdida de producción

y calidad de frutos. Por tanto, controlar el estrés a nivel fisiológico es importante para evitar el cierre estomático y la consecuente pérdida de producción. Con anomalías climáticas, cada vez más presentes, junto a la escasez de recursos, productos especializados en reducir el estrés vegetal se convierten en herramientas imprescindibles para hacer frente a las adversidades a las que se somete la planta. A modo de resumen, los estomas juegan un papel vital en el desarrollo de las plantas, al regular el intercambio gaseoso con la atmósfera y controlar la transpiración. Diferentes factores pueden alterar su forma y tamaño, regulando así la entrada de agua, su transporte y la traslocación de los nutrientes y hormonas en los órganos vegetales, controlando, por tanto, el crecimiento. En definitiva, mantener la planta libre de estrés es imprescindible para evitar pérdidas de producción. (Caballero, 2014).

Anatómicamente se reconocen dos tipos de células oclusivas: las de tipo gramináceo que son alargadas con extremos bulbosos, de paredes delgadas que pueden contener mitocondrias o cloroplastos y están flanqueadas por dos prominentes células subsidiarias. Las de tipo arriñonado presentan una apertura elíptica con un reborde cuticular externo, este reborde evita la entrada de agua del exterior hacia el espacio de aire del estoma (Hopkins, 1999).

En 2004 Prabhakar publicó un compendio de la estructura y clasificación de los estomas en angiospermas, en el cual se enlistan los de tipo pericítico, desmocítico, diacítico, anisotricítico, tetracítico, staurocítico, amonocítico, paracítico (fig. 3A) y un gran número de variantes de cada tipo. Se hace hincapié en todos los de tipo paracítico debido a que desde las primeras publicaciones, el tipo de estomas reportado en cactáceas ha sido el paracítico o también llamado paralelocítico debido a que tiene más de dos células subsidiarias paralelas a las células guarda (Eggli, 1984; Loza-Cornejo y Terrazas 2003; Terrazas y Arias 2003) (Fig. 3B). Otro tipo es el opuntiode que asemeja arreglos tetra o hexacíticos. (Herrera, 2015).



**(Figura 1)** (3A) Variantes de estomas paracíticos. Tomado de Prabhakar (2004). 3B) Estomas opuntiodes (2, 4, 6, 7,) y paralelocíticos (3, 5). Tomado de Eggli (1984).

### **1.16 Densidad e Índice Estomático**

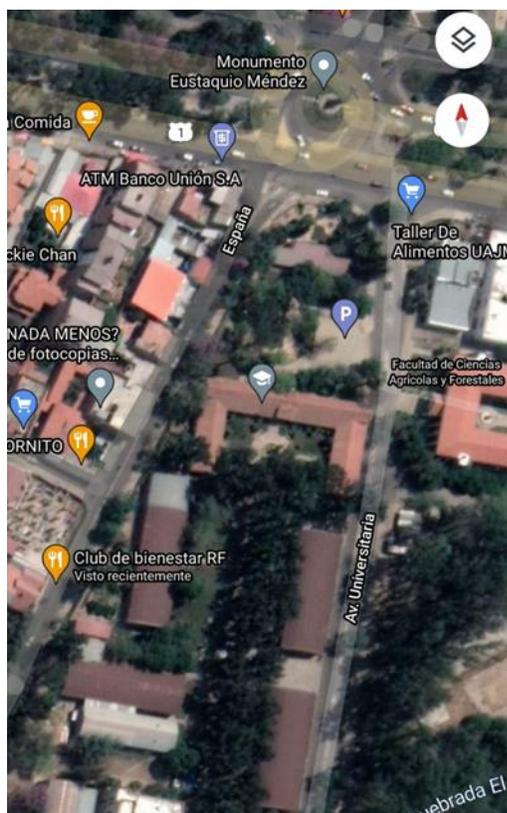
La frecuencia estomática es el número de estomas por unidad de área de superficie foliar (Esau, 1972) y según Wilkinson, (1979) representa un valor diagnóstico para fragmentos de láminas foliares. Este mismo autor señala que el IE sirve para expresar el número de estomas por superficie foliar, independientemente del tamaño de las células epidérmicas. Tanto la DE como el IE pueden estar influenciados por las condiciones ambientales y nutricionales (Esau, 1972; Wilkinson, 1979; Roth et al., 1986), afirmaron que las hojas con mayores valores de IE presentan los mayores valores de DE. La transpiración y la intensidad de la respiración está en razón directa al número y abertura de los estomas y como las hojas son los principales órganos de las plantas donde se realiza la fotosíntesis, la cantidad y distribución de los estomas influyen directamente sobre la asimilación clorofílica (Ruiz et al., 1962). Rubino et al. (1989) y Thakur (1990) señalan que la disminución de la cantidad de estomas por mm<sup>2</sup> incrementa la resistencia estomática de la planta y de esta manera evita un exceso de transpiración; sin embargo, tanto la DE como el IE son tan variables que están fuertemente influenciadas por diversas condiciones estresantes como condiciones de sequía y altas concentraciones salinas además el material vegetal que se trate (Cañizares,2003).

## CAPÍTULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Localización.

El presente trabajo de investigación se realizó en el herbario universitario, laboratorio de biología y en el Laboratorio de Suelos, de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Tarija-Bolivia, con muestras provenientes de Santa Ana de la Provincia Cercado del Dpto. de Tarija.



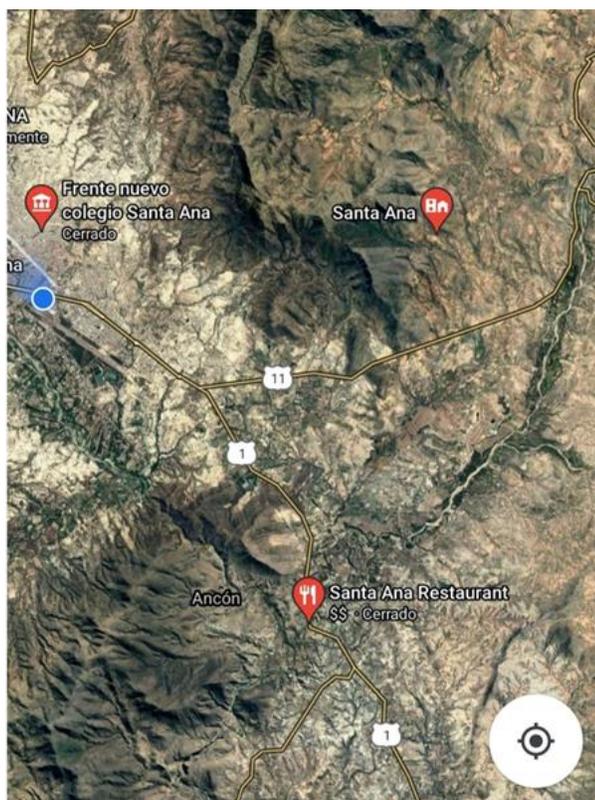
(Figura 2)

Mapa de Ubicación Laboratorio de Suelos, de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Fuente: <https://www.google.com.bo/maps>

## 2.2 Ubicación Geográfica de la localidad de Santa Ana (zona de extracción de las especies en estudio).

Comunidad ubicada en la provincia Cercado del Departamento de Tarija, República de Bolivia,

Al este de la ciudad de Tarija Capital entre las coordenadas de Latitud sur  $21^{\circ}33' 11.7''$  y longitud oeste  $64^{\circ} 32 ' 53,8''$ , altitud de 2267 msnm.



(Figura 3)

Mapa de Ubicación Localidad Santa Ana, Zona de extracción de muestras Fuente:

<https://www.google.com.bo/maps>

## **2.3 Características Edafoclimáticas**

### **2.3.1 Clima**

Pertenece a la sub formación de Valles Mesotérmicos o Montes de Valles que corresponde a todo el Valle de Tarija, excluyendo las rinconadas de la Victoria, Erquis, Coimata y región de Pinos, tiene clima templado, cálido, semiseco, con veranos fuertes, otoños e inviernos influenciados temporalmente por vientos helados que soplan del sur (surazos). Las heladas se presentan de mayo a octubre. Promedio de lluvias anuales. 600 mm. distribuidos entre los meses de octubre a abril. Temperatura media anual de 18°C. Vientos dominantes del Sur y sureste. Granizadas fuertes especialmente al comienzo de las lluvias generales, noviembre y diciembre (Coro, 1982); citado por (Acosta y Laime, 2001).

### **2.3.2 Suelos**

Se caracterizan por presentar suelos muy variables desde pedregosos, leptosol, los cuales guardan mucha relación con características naturales como resultado de procesos geomorfológicos y se diferencian de acuerdo a la población del relieve, así se tiene suelos superficiales en laderas con pendientes mayores y de textura franco – arenosa a franco – limosa (PDM Aguilar, 2014).

## **2.4 Materiales**

### **2.4.1 Material Vegetal**

Se recolectarán, seis especies de cactáceas de la zona de Santa Ana, de la provincia Cercado del Departamento de Tarija las mismas fueron identificadas por (Acosta, 2008) las que se nombran a continuación:

*Cereus hankeanus* Weber & Schumann

*Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose.

*Echinopsis mamillosa* Guerke

*Opuntia ficus – indica* (L.) Mill.

*Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.

*Opuntia sp.*

## **2.4.2 Materiales y Equipo**

Para la recolección del material vegetal

- Carpeta de colección
- Tijera
- Papel periódico usado
- Libreta de campo
- Guantes

Equipos

- Microscopio binocular de marca Olympus – CH 30
- Microscopio óptico con cámara fotográfica incluida
- Lupa estereoscópica
- Cámara fotográfica
- Altímetro

Material de laboratorio

- Estuche de disección
- Hoja de afeitar
- Agua destilada
- Cubreobjetos
- Portaobjetos
- Esmalte incoloro
- Regla milimétrica

## **2.5 Metodología**

### **2.5.1 Recolección del Material Vegetal de la localidad de Santa Ana**

Se trabajaron con seis especies de cactáceas nativas, las mismas serán columnares, aplanadas y globosas. Se trabajaron con cuatro plantas por especie ubicadas en diferentes exposiciones, y de cada una de ellas se extraerá parte del tallo (parte herbácea) para ser trasladadas al Herbario Universitario dependiente de la Facultad de

Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de la ciudad de Tarija.

### **2.5.2 Estudio Epidérmico**

De cada especie se tomaron cuatro plantas, de la cual se sustrajo una muestra por planta, con la observación de 5 campos microscópicos por muestra haciendo una observación total de 20 campos por especie.

Total de plantas muestreadas en todo el trabajo de investigación son 24

### **2.5.3 Obtención del Tejido Epidérmico Foliar**

Los preparados histológicos son basados en la técnica del Esmalte (Acosta, 2016)

De las muestras obtenidas se procedió a quitar todas las areolas para una fácil manipulación

**Paso 1.-** Cada porción seleccionada primeramente se colocó acetona, con la finalidad de quitar la cutina,

**Paso 2.-** Posteriormente con la ayuda de un pincel se colocó el esmalte incoloro, en la parte terminal, con distribución uniforme en la parte más plana, se dejó secar durante 5 minutos aproximadamente, para que el mismo tome la impresión de las células propiamente dichas y las especializadas.

**Paso 3.-** Se quitó la laminilla con la ayuda de una pinza

**Paso 4.-** Se puso en el portaobjeto y agregar una gota de agua destilada, luego cubreobjeto, para así ser llevada al microscopio y observar con el aumento de 40X (Acosta, 2018).

En cada preparado (pseudorélicas) se contarán al azar cinco campos. Los valores de las pseudorélicas de cada especie serán promediados y el resultado expresado como la densidad en 1 mm<sup>2</sup> de lámina foliar.

Para el análisis cuantitativo, se determinará realizando un conteo de las células epidérmicas propiamente dichas, y de las especializadas en cada campo microscópico

haciendo un total de 120 campos en toda la investigación, con un aumento de 40X, con la ayuda de un microscopio binocular de marca Olympus CH 30

#### **2.5.4 Conteo de las Células Propiamente Dichas y Especializadas**

El conteo de las células propiamente dichas y de las especializadas se realizó directamente de la impresión obtenida de la técnica del esmalte en el microscopio con el aumento de 40X.

#### **2.5.5 Microfotografías del Tejido Epidérmico**

Las microfotografías serán tomadas con cámara digital incorporadas, en el laboratorio de Suelos.

#### **2.5.6 Calculo del Área del Campo Microscopico**

$$\text{Área} = \pi.r^2$$

En el área del campo microscópico determinado (0.166 mm<sup>2</sup>). Con este dato se calculó el número de células propiamente dichas y especializadas en 1mm<sup>2</sup> (Acosta, 2018).

#### **2.5.7 Índice Estomático**

I.E.= (densidad de estomas/ densidad de estomas + densidad de células epidérmicas) x 100

El cálculo del IE se realizó a través de la ecuación sugerida por (Wilkinson, 1979) (Citado por Toral y Mariquez et al. 2010).

$$IE = \frac{NE}{CE + NE} * 100$$

**Donde,**

IE = Índice estomático.

NE = Número de estomas por campo de observación.

CE = Número de células epidérmicas en el campo de observación.

### 2.5.8 Análisis Estadísticos

Fueron analizadas medidas de dispersión como: Varianza, Desviación estándar y el Coeficiente de variación.

a) Pruebas estadísticas: La prueba de **t** de studens.

b) Comparación de medias entre especies

El análisis estadístico de este problema se hace mediante la prueba t, donde el estadístico se calcula mediante la siguiente expresión:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{S_{x_1 - x_2}}$$

El valor del error estándar de la diferencia entre las medias de las poblaciones 1 y 2 se calcula mediante la expresión:

$$S_{x_1 + x_2} = \sqrt{(S^2 p/n_1) + (S^2 p/n_2)}$$

Donde

$$S^2 P = \frac{v_1 S^2_1 + v_2 S^2_2}{v_1 + v_2}$$

$n_1$  = número de muestras de la población 1

$n_2$  = número de muestras de la población 2

$v_1$  = grados de libertad de la población 1  $\neq (n - 1)$

$v_2$  = grados de libertad de la población 2  $\neq (n - 2)$

$x_1$  = media de la población 1

$x_2$  = media de la población 2

$S^2_1$  = varianza de la población 1

$S^2_2$  = varianza de la población 2

Valores pequeños en el estadístico  $t$  indican una alta probabilidad de que las dos medias muestrales tengan una misma media poblacional ( $\mu$ ); valores grandes indican una baja probabilidad de que esto suceda

Formalmente la hipótesis nula por probar es que  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  y por lo tanto tenemos una  $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ . Mediante la comparación del valor obtenido  $t$  contra un valor  $C$  obtenido de la tabla de distribución de  $t$ -student, con 95% de confiabilidad y  $n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad, se sigue el criterio de decisión que se menciona

Si  $t < C$ , se acepta la hipótesis nula;

Si  $t > C$ , se rechaza la hipótesis nula.

## 2.6 Variables de Estudio

- Número de células epidérmicas propiamente dichas/mm<sup>2</sup>
- Número de estomas/ mm<sup>2</sup> en el tallo
- Índice Estomático en porcentaje.

## CAPÍTULO III

### RESULTADO Y DISCUSIONES

#### 3.1 Especies en la Zona de Estudio

Todas las especies estudiadas en la localidad de Santa Ana, fueron descritas por Acosta (2018) tomando en cuenta algunos caracteres morfológicos más sobresalientes de las especies como se indica a continuación en cada una de ellas.

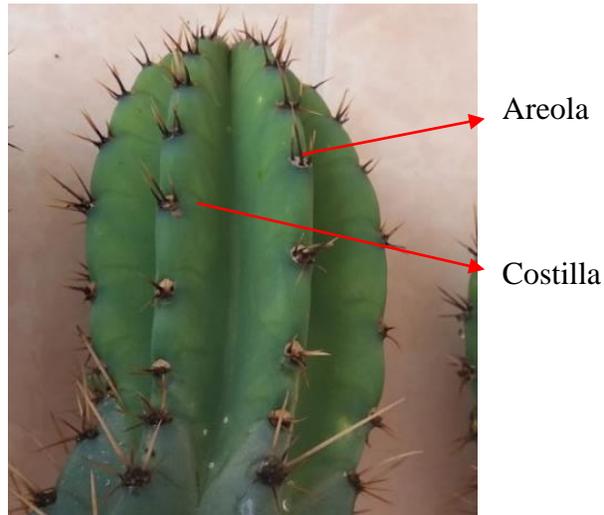
**Nombre científico:** *Cereus hankeanus* Weber & Schumann.

**Nombre común:** Ulala.

**Descripción:** Planta columnar de tallo ramificado con 5 a 7 costillas, areolas alineadas sobre las costillas con 3 a 8 espinas y una de ellas más desarrolladas que mide de 3 a 4.5 cm. de color gris, con vellosidades de color blanco a gris en las areolas de las ramas terminales (Figura 4).



(Figura 4) *Cereus hankeanus* Weber & Schumann



(Figura 5) Rama apical de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann

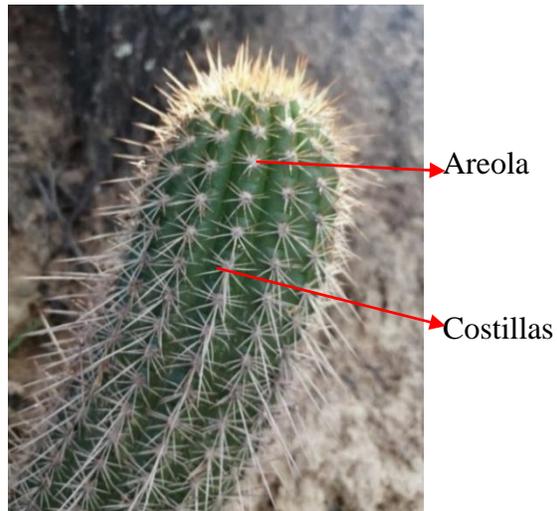
**Nombre científico:** *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose.

**Nombre común:** Cardón.

**Descripción:** Planta erguida o decumbente de tallo cilíndrico, costillas hasta 15 areolas con espinas delgadas en un número de 11 a 14 de color gris, pero existen algunas más desarrolladas que pueden medir de 2.5 a 5 cm. (Figura 6).



(Figura 6) *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose



(Figura 7) Rama apical de *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose

**Nombre científico:** *Echinopsis mamillosa* Guerke

**Nombre común:** Asiento de suegra.

**Descripción:** Planta globosa con el ápice hundido solitaria o agrupada, areolas en 29 series con 14 a 20 espinas, (Figura 8)



(Figura 8) *Echinopsis mamillosa* Guerke



(Figura 9) Rama apical de *Echinopsis mamillosa* Guerke

**Nombre científico:** *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.

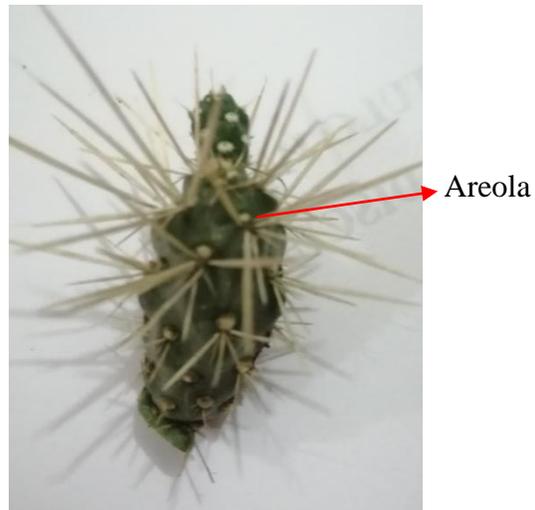
**Nombre común:** Uturungo.

**Descripción:** arbusto ascendente, artículos erectos oblongos, areolas con espinas numerosas de color blanquecinas.

**Usos:** Son utilizadas en cercos vivos (figura10)



(Figura 10) *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.



(Figura 11) Rama apical de *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.

**Nombre científico:** *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill.

**Nombre común:** Tuna.

**Descripción:** Planta arbustiva, con artículos elípticos, de color verde oscuro, areolas con 3 a 7 espinas y una de ellas más desarrollada que mide de 3.5 a 4.5 cm., presentan gloquidios blanquecinos (figura 12)



(Figura 12) *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill



Areola con  
o sin espinas

(Figura13) Rama apical de *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill

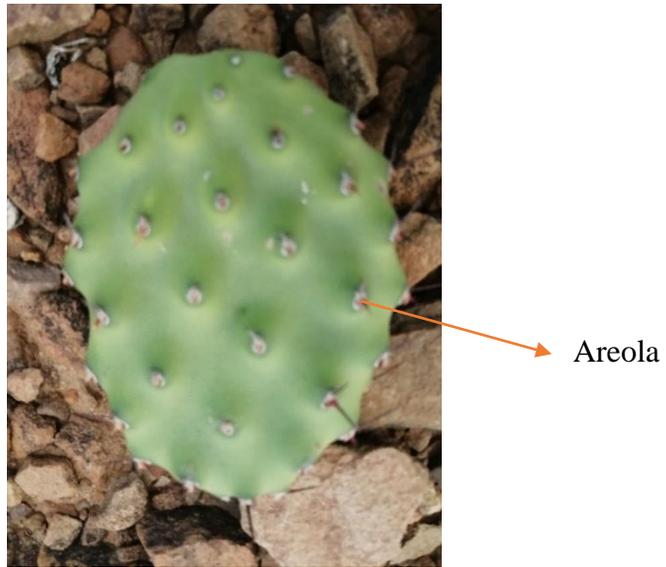
**Nombre científico:** *Opuntia sp.*

**Nombre común:** Pencas.

**Descripción:** Planta baja difusa extendida pero no postrada, formando agrupaciones, artículos erectos casi circulares aunque frecuentemente espatulados, areolas con 3 a 4 espinas y una de ellas, más desarrolladas que mide de 4.5 a 5.5 cm. de color amarillas y tortuosas. (figura 14).



(Figura 14) *Opuntia sp.*



**(Figura 15)** Rama apical de *Opuntia* sp.

**Cuadro 1**

Descripción Morfológica Externa del Tallo de las Especies en Estudio

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Tallo</b>	<b>Costilla</b>	<b>Número de espinas por aereola</b>
Cactaceae	<i>Cereus hankeanus</i> Weber & Schumann	Columnar	5-7	3-8
	<i>Cleistocactus smaragdiflorus</i> (Weber) Brito. & Rose	Columnar	15	11-14
	<i>Echinopsis mamillosa</i> Guerke	Esférico	18	14-20
	<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth.	Cladodio	-	-
	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	Cladodio	-	Con o sin espinas
	<i>Opuntia</i> sp	Cladodio	-	3-4

El tipo de tallo predominante es el cladodio y el columnar propio de las cactáceas que se encuentran habitando el Valle Central de Tarija, muchas de ellas sirviendo de barreras o cortinas rompe vientos, otras como soportes donde anidan algunas aves.

Todas las especies estudiadas de la comunidad de Santa Ana, son las mismas que indica Acosta (2008), coincidiendo que las de tallos tipo cladodio predominan, quienes están representadas por *Cylindropuntia tunicata*; *Opuntia ficus-indica*; *Opuntia* sp,

distribuidas en toda la zona fisiográfica fluvio – lacustre, específicamente en las terrazas disectadas por erosión de cárcavas asociadas con gramíneas, tacos (*Prosopis* sp.), aji covincho (*Capsicum chacoense*), y otras.

### **3.2 Descripción del Tejido Epidérmico del Tallo de las Especies en Estudio**

Se observaron las células propiamente dichas y especializadas, con esto se determinó el tipo de aparato estomático que presenta cada una de las especies de estudio.

#### **3.2.1 Descripción del Tejido Epidérmico del Tallo de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann**

Paredes de las células propiamente dichas irregulares o alargadas, de contorno algo lobulado.

Estoma paralelocítico, por presentar las células vecinas paralelas a las oclusivas en un número de hasta 4 células de tamaño y formas variables (figura 16 – 17)



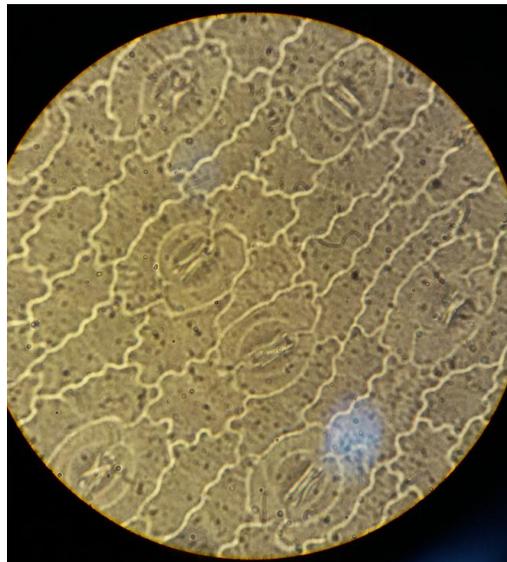
**(Figura 16)** Microfotografía de la epidermis del tallo de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann (40X)



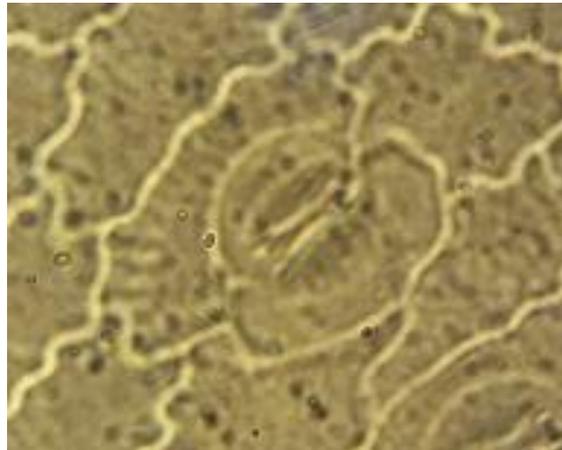
(Figura 17). Aparato estomático de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann  
Paralelocítico.

### 3.2.2 Descripción del Tejido Epidérmico del Tallo de *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose

Paredes de las células propiamente dichas irregulares o alargadas, de contorno sinuoso, estoma paralelocítico, por presentar las células vecinas paralelas a las oclusivas en un número de hasta 4 células de tamaño y formas variables (figura 18 -19).



(Figura 18) Microfotografía de la epidermis del tallo de *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose (40X)

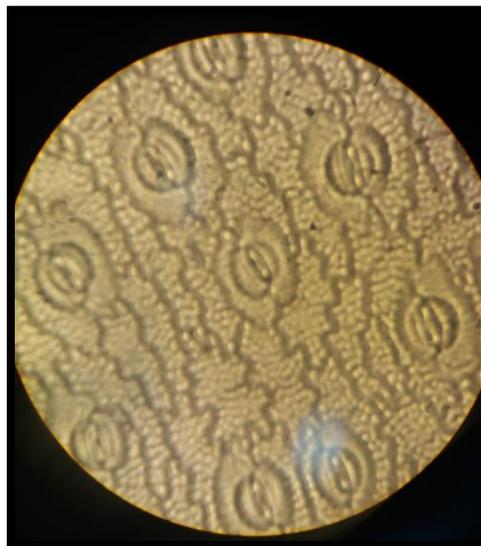


(Figura 19) Aparato estomático de *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose. Paralelocítico.

### 3.2.3 Descripción del Tejido Epidérmico del Tallo de *Echinopsis mamillosa* Guerke

Paredes de las células propiamente dichas irregulares o alargadas, de contorno algo lobulado.

Estoma paralelocítico, por presentar las células vecinas paralelas a las oclusivas en un número de hasta 4 células de tamaño y formas variables (figura 20-21).



(Figura 20). Microfotografía de la epidermis del tallo de *Echinopsis mamillosa* Guerke (40X)



(Figura 21). Aparato estomático de *Echinopsis mamillosa* Guerke, Paralelocítico

#### 3.2.4 Descripción del Tejido Epidérmico del Tallo de *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.

Paredes de las células propiamente dichas irregulares, de contorno entero estoma opuntioide, que asemeja arreglos tetra o hexacíticos referidas a las células vecinas.  
(Figura 22-23)



(Figura 22). Microfotografía de la epidermis del tallo de *Cylindropuntia tunicata*  
(Lehm) Knuth. (40X)



(Figura 23). Aparato estomático de *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.  
Opuntioide

### 3.2.5 Descripción del tejido epidérmico del tallo de *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill.

Paredes de las células propiamente dichas irregulares, de contorno sinuoso,  
Estoma opuntioide, que asemeja arreglos tetra o hexacíticos referidas a las células  
vecinas (figura 24-25)



(Figura 24). Microfotografía de la epidermis del tallo de *Opuntia ficus – indica*  
(L.) Mill. (40X)



(Figura 25). Aparato estomático de *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill.

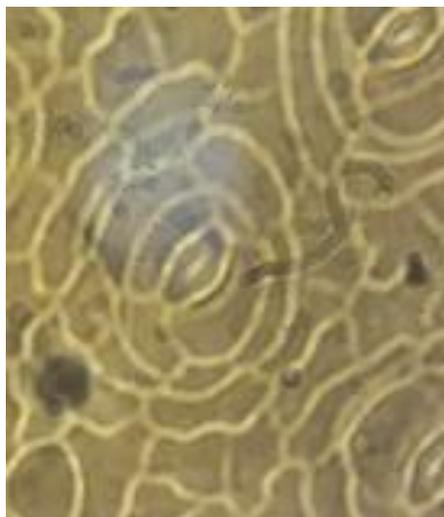
Opuntioide

### 3.2.6 Descripción del Tejido Epidérmico del Tallo de *Opuntia sp*

Paredes de las células propiamente dichas irregulares, de contorno algo lobulado, Estoma opuntioide, que asemeja arreglos tetra o hexacíticos referidas a las células vecinas. (Figura 26-27)



(Figura 26). Microfotografía de la epidermis del tallo de *Opuntia sp* (40X)



(Figura 27). Aparato estomático de *Opuntia* sp, Opuntioide

### 3.3 Clasificación de los Estomas

**Cuadro 2**

Especie	Tipo de estomas
<i>Cereus hankeanus</i> Weber & Schumann	Paralelocítico
<i>Cleitocactus smaragdiflorus</i> (Weber) Brito. & Rose.	Paralelocítico
<i>Echinopsis mamillosa</i> Guerke	Paralelocítico
<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth.	Opuntioide
<i>Opuntia ficus – indica</i> (L.) Mill.	Opuntioide
<i>Opuntia</i> sp	Opuntioide

Cabe hacer notar que los tallos con presencia de costillas, estos sean globosos o columnares, tienen estomas del tipo paralelocítico, en cambio los cladodios son del tipo

opuntioide, coincidiendo con lo indicado por diferentes autores, como manifestamos en nuestro análisis.

Herrera, (2015), indica que la mayoría de Cactáceas presentan estomas más o menos hundidos de tipo paralelocítico, que se caracterizan por presentar tres o más células subsidiarias paralelas al eje longitudinal de las células oclusivas, siendo coincidente este tipo de estomas con los encontrados en *Echinopsis mamillosa* Guerke; *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose; *Cereus hankeanus* Weber & Schumann en nuestro estudio. También son llamados paracíticos o paralelocíticos debido a que tienen más de dos células subsidiarias paralelas a las células guardianes (oclusivas) (Eggli, 1984; Loza – Cornejo y Terrazas 2003; Terrazas y Arias, 2003); citado por (Herrera, 2015). Otro tipo es el opuntioide que asemeja arreglos tetra o hexacíticos citado por este mismo autor, que son coincidentes en las especie *Opuntia* sp; *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill.; *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.

(Eggli, 1984; Loza-Cornejo y Terrazas, 2003) citados por Hernandez (2007) manifiestan que las especies que tienen tallos columnares son del tipo paralelocítico. Este mismo autor considera que es un carácter estable, al determinar en estudios de distribución en México de *Myrtillocactus geometrizans*, no modificándose con la distribución de la especie, corroborando las especies de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann y *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose., que tienen tallos columnares, pero también se evidencia que los de tallos globoso pueden ser paralelocítico en la especie *Echinopsis mamillosa* Guerke, en la zona de Santa Ana-Tarija Bolivia, aunque este género tiene especies columnares que puede tener estomas de tipo paralelocítico.

Los contornos de las células propiamente dichas, son irregulares en las especies *Cereus hankeanus* Weber & Schumann y *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose y no entero. Al respecto Hernandez (2007), manifiesta que las paredes anticlinales de las células epidérmicas son onduladas en la posición apical de las ramas, en *Myrtillocactus geometrizans*, coincidiendo nuestros resultados, por ser observados en la parte apical de las ramas columnares.

### 3.4 Medidas de Dispersión de las Especies en Estudio

Cálculo de la media, la varianza, desviación estándar, y el coeficiente de variación de las células propiamente dichas y especializadas de las especies en estudio.

#### 3.4.1 Medidas de Dispersión de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann

**Cuadro 3**

Número de células propiamente dichas del tallo en *Cereus hankeanus* Weber & Schumann /mm<sup>2</sup>

	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
<i>Cereus hankeanus</i> Weber & Schumann	223,75	839,57	28,98	12,95

Del cuadro 3, se puede deducir que el coeficiente de variación es aceptable por estar con un valor del 12,95 %, no existiendo variaciones en los valores de la media (223,75) referido al número de las células propiamente dichas, existentes en los tallos de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann.

**Cuadro 4**

Número de estomas del tallo de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann / mm<sup>2</sup>

	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
<i>Cereus hankeanus</i> Weber & Schumann	24,3	16,96	4,12	16,95

Del cuadro 4, se puede deducir que la desviación estándar indica valores con respecto a la media del número de estomas/ mm<sup>2</sup> de 4,12, pudiendo obtenerse hacia arriba hasta

28,42 y hacia abajo valores de 20,18 estomas/ mm<sup>2</sup> respectivamente que pueden existir en los tallos de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann.

Acosta (2018), indica que la densidad estomática en *Cereus validus* Haw. es de 21.1 estomas/mm<sup>2</sup>, especie que habita en la zona chaqueña del departamento de Tarija Bolivia, resultados muy similares a los determinados en *Cereus hankeanus* Weber & Schumann 24.3 estomas/mm<sup>2</sup>, de procedencia de la comunidad de Santa Ana, provincia cercado del departamento de Tarija ubicado a los 1900 msnm., esta similitud se puede atribuir a la pertenencia del mismo género.

### 3.4.2 Medidas de dispersión de *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose

#### Cuadro 5

Número de células propiamente dichas del tallo en *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose. / mm<sup>2</sup>

<i>Cleistocactus smaragdiflorus</i> (Weber) Brito. & Rose.	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	361,90	1664,62	40,80	11,27

Del cuadro 5, se puede deducir que el coeficiente de variación es aceptable por estar con un valor del 11,27 %, no existiendo variaciones en los valores de la media (361,90) referido al número de las células propiamente dichas, existentes en los tallos de *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose.

**Cuadro 6**

Número de estomas del tallo en *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose. /  
mm<sup>2</sup>

<i>Cleitocactus smaragdiflorus</i> (Weber) Brito. & Rose.	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	37,80	45,85	6,77	17,91

Del cuadro 6, se puede deducir que la desviación estándar indica valores con respecto a la media del número de estomas/ mm<sup>2</sup> de 6,77 pudiendo obtenerse hacia arriba hasta 44,57 y hacia abajo valores de 31,03 estomas/ mm<sup>2</sup> respectivamente que pueden existir en los tallos de *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose.

### 3.4.3 Medidas de Dispersión de *Echinopsis mamillosa* Guerke

**Cuadro 7**

Número de células propiamente dichas del tallo en *Echinopsis mamillosa* Guerke  
/mm<sup>2</sup>

<i>Echinopsis mamillosa</i> Guerke	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	410,25	3124,72	55,90	13,63

Del cuadro 7, se puede deducir que el coeficiente de variación es aceptable por estar con un valor del 13,63 %, no existiendo variaciones en los valores de la media (410,25) referido al número de las células propiamente dichas, existentes en los tallos de *Echinopsis mamillosa* Guerke.

**Cuadro 8**Número de estomas del tallo en *Echinopsis mamillosa* Guerke /mm<sup>2</sup>

<i>Echinopsis mamillosa</i> Guerke	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	47,20	93,64	9,68	20.50

Del cuadro 8, se puede deducir que la desviación estándar indica valores con respecto a la media del número de estomas/ mm<sup>2</sup> de 9,68 pudiendo obtenerse hacia arriba hasta 56.88 y hacia abajo valores de 37,52 estomas/ mm<sup>2</sup> respectivamente que pueden existir en los tallos de *Echinopsis mamillosa* Guerke.

#### 3.4.4 Medidas de Dispersión de *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.

**Cuadro 9**Número de células propiamente dichas del tallo en *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth. /mm<sup>2</sup>

<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth.	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	533,8	1145,12	33,84	6,34

Del cuadro 9, se puede deducir que el coeficiente de variación es aceptable por estar con un valor del 6,34 %, no existiendo variaciones en los valores de la media (533,8) referido al número de las células propiamente dichas, existentes en los tallos de *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.

**Cuadro 10.**

Numero de estomas del tallo en *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth. / mm<sup>2</sup>

<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth.	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	32,70	47,27	6,87	21,03

Del cuadro 10, se puede deducir que la desviación estándar indica valores con respecto a la media del número de estomas/ mm<sup>2</sup> de 6,87 pudiendo obtenerse hacia arriba hasta 39,57 y hacia abajo valores de 25,83 estomas/ mm<sup>2</sup> respectivamente que pueden existir en los tallos de *Echinopsis mamillosa* Guerke.

#### 3.4.5 Medidas de Dispersión de *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill.

**Cuadro 11**

Número de células propiamente dichas del tallo en *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill. / mm<sup>2</sup>

<i>Opuntia ficus – indica</i> (L.) Mill.	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	1182,85	15086,56	122,83	10,38

Del cuadro 11, se puede deducir que el coeficiente de variación es aceptable por estar con un valor del 10,38 %, no existiendo variaciones en los valores de la media (1182,85) referido al número de las células propiamente dichas, existentes en los tallos de *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill.

**Cuadro 12**Número de estomas del tallo en *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill. / mm<sup>2</sup>

<i>Opuntia ficus – indica</i> (L.) Mill.	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	54,90	65,46	8,09	14,74

Del cuadro 12, se puede deducir que la desviación estándar indica valores con respecto a la media del número de estomas/ mm<sup>2</sup> de 8,09 pudiendo obtenerse hacia arriba hasta 62,99 y hacia abajo valores de 46,81 estomas/ mm<sup>2</sup> respectivamente que pueden existir en los tallos de *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill.

### 3.4.6 Medidas de Dispersión de *Opuntia sp*

**Cuadro 13**Número de células propiamente dichas del tallo en *Opuntia sp* / mm<sup>2</sup>

<i>Opuntia sp</i>	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	1343,25	2350,09	48,48	6,61

Del cuadro 13, se puede deducir que el coeficiente de variación es aceptable por estar con un valor del 6,61 %, no existiendo variaciones en los valores de la media (1343,25) referido al número de las células propiamente dichas, existentes en los tallos de *Opuntia sp*.

**Cuadro 14**Numero de estomas del tallo en *Opuntia* sp / mm<sup>2</sup>

<i>Opuntia</i> sp	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	117	32,21	54,68	4,85

Del cuadro 14, se puede deducir que la desviación estándar indica valores con respecto a la media del número de estomas/ mm<sup>2</sup> de 54,68 pudiendo obtenerse hacia arriba hasta 171,68 y hacia abajo valores de 62,32 estomas/ mm<sup>2</sup> respectivamente que pueden existir en los tallos de *Opuntia* sp

### 3.5 Medidas de Dispersión del Índice Estomático en el Tallo de las Especies en Estudio

**Cuadro 15**Índice estomático de tallo en % de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann

<i>Cereus hankeanus</i> Weber & Schumann	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	9,95	0,69	0,83	8,32

En el Cuadro 15, se indica que el coeficiente de variación de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann, con respecto al índice estomático (9,95%) es muy aceptable por tener una uniformidad de los datos en los diferentes muestreos del 91,68%, y el valor de la desviación estándar (0,83), que se puede obtener hacia arriba hasta 10,78% y hacia abajo valores de 9,12% de índice estomático respectivamente, que pueden existir en los tallos de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann.

**Cuadro 16**

Índice estomático de tallo en % de *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose.

<i>Cleitocactus smaragdiflorus</i> (Weber) Brito. & Rose.	$\bar{X}$	$S^2$	S	CV%
	9,4	0,51	0,71	7,51

En el Cuadro 16, se indica que el coeficiente de variación de *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose, con respecto al índice estomático (9,4%) es muy aceptable por tener una uniformidad de los datos en los diferentes muestreos del 92,49%, y el valor de la desviación estándar (0,71), que se puede obtener hacia arriba hasta 10,11% y hacia abajo valores de 8,69% de índice estomático respectivamente, que pueden existir en los tallos de *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose.

**Cuadro 17**

Índice estomático del tallo en % de *Echinopsis mamillosa* Guerke

<i>Echinopsis mamillosa</i> Guerke	$\bar{X}$	$S^2$	S	CV%
	10,24	0,82	0,91	8,85

En el Cuadro 17, se indica que el coeficiente de variación de *Echinopsis mamillosa* Guerke, con respecto al índice estomático (10,24%) es muy aceptable por tener una uniformidad de los datos en los diferentes muestreos del 91,15%, y el valor de la desviación estándar (0,91), que se puede obtener hacia arriba hasta 11,15% y hacia abajo valores de 9,33% de índice estomático respectivamente, que pueden existir en los tallos de *Echinopsis mamillosa* Guerke

**Cuadro 18.**

Índice estomático del tallo en % de *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.

<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth.	$\bar{X}$	$S^2$	S	CV%
	5,75	0,96	0,98	17,06

En el Cuadro 18, se indica que el coeficiente de variación de *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth. con respecto al índice estomático (5,75%) es muy aceptable por tener una uniformidad de los datos en los diferentes muestreos del 82,94 %, y el valor de la desviación estándar (0,98), que se puede obtener hacia arriba hasta 6,73 % y hacia abajo valores de 4,77 % de índice estomático respectivamente, que pueden existir en los tallos de *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth.

**Cuadro 19.**

Índice estomático del tallo en % de *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill.

<i>Opuntia ficus – indica</i> (L.) Mill.	$\bar{X}$	$S^2$	S	CV%
	4,42	0,09	0,29	6,68

En el cuadro 19, se indica que el coeficiente de variación de *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill, con respecto al índice estomático (4,42%) es muy aceptable por tener una uniformidad de los datos en los diferentes muestreos del 93,32%, y el valor de la desviación estándar (0,29), que se puede obtener hacia arriba hasta 4,71% y hacia abajo valores de 4,13% de índice estomático respectivamente, que pueden existir en los tallos de *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill.

**Cuadro 20**Índice estomático del tallo en % de *Opuntia* sp

Opuntia sp	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV%
	7,99	0,02	0,15	1,88

En el Cuadro 20, se indica que el coeficiente de variación de *Opuntia* sp, con respecto al índice estomático (7.99%) es muy aceptable por tener una uniformidad de los datos en los diferentes muestreos del 98,12%, y el valor de la desviación estándar (0,15), que se puede obtener hacia arriba hasta 8,14% y hacia abajo valores de 7,84% de índice estomático respectivamente, que pueden existir en los tallos de *Opuntia* sp.

### 3.6 Índice Estomático en %, de las Especies en Estudio

**Cuadro 21**

Índice estomático en %

Especie	Índice estomático %
<i>Cereus hankeanus</i> Weber & Schumann	9,95
<i>Cleistocactus smaragdiflorum</i> (Weber) Brito. & Rose.	9.40
<i>Echinopsis mamillosa</i> Guerke	10.24
<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth.	5,75
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	4,42
<i>Opuntia</i> sp.	7.99

Índices estomáticos relativamente bajos, esto explica su gran capacidad de adaptabilidad a condiciones extremas de sequía y a su baja pérdida de agua de las cactáceas.

Acosta (2018), indica el Índice estomático para *Opuntia quimilo* Schumann, especie de cactácea propio de la llanura chaqueña tiene el IE= 5.8%, valor comparado con *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (IE= 4.42 %) y *Opuntia* sp. (IE= 7.99 %); *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth (IE=5,75), obtenido en nuestro estudio, podemos indicar que estos valores se pueden atribuir al tipo de tallo en cladodio que poseen cada especie.

### 3.7 Comparación de Media entre las Especies en Estudio de Índice Estomático

**Cuadro 22**

Comparación de Medias Entre las Especies

Espece	Índice estomático %	Tc	Tr	Significancia al 95%
<i>Cereus hankeanus</i> Weber & Schumann	9,95	2,29	2,025	S
<i>Cleistocactus smaragdiflorum</i> (Weber) Brito. & Rose.	9,40			
<i>Cleistocactus smaragdifolium</i> (Weber) Brito. & Rose.	9,40	3,27	2,025	S
<i>Echinopsis mamillosa</i> Guerke	10,24			
<i>Echinopsis mamillosa</i> Guerke	10,24	15,49	2,025	S
<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth.	5,74			

<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth.	5,74	6,07	2,025	S
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	4,42			
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	4,42	48,27	2,025	S
<i>Opuntia sp</i>	7,99			
<i>Cereus hankeanus</i> Weber & Schumann	9,95	1,04	2,055	N
<i>Echinopsis</i> <i>mamillosa</i> Guerke	10,24			
<i>Creus hankeanus</i> Weber & Schumann	9,95	14,64	2,025	S
<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth.	5,75			
<i>Cereus hankeanus</i> Weber & Schumann	9,95	29,13	2,025	S
<i>Opuntia ficus indica</i> (L.) Mill.	4,42			
<i>Cereus hankeanus</i> Weber & Schumann	9,95	10,39	2,025	S
<i>Opuntia sp</i>	7,99			

<i>Cleistocactus smaragdifolium</i> (Weber) Brito. & Rose.	9,40			
<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth.	5,75	13,53	2.025	S
<i>Cleistocactus smaragdifolium</i> (Weber) Brito. & Rose.	9,40			
<i>Opuntia ficus- indica</i> (L.) Mill.	4,42	29,09	2.025	S
<i>Cleistocactus smaragdifolium</i> (Weber) Brito. & Rose.	9,40			
<i>Opuntia sp</i>	7,99	8,72	2.025	S
<i>Echinopsis mamillosa</i> Guerke	10,24			
<i>Opuntia ficus- indica</i> (L.) Mill.	4,42	10,54	2,025	S
<i>Echinopsis mamillosa</i> Guerke	10,24			
<i>Opuntia sp</i>	7,99	10,94	2.025	S
<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth.	5,75			
<i>Opuntia sp</i>	7,99	10,13	2,025	S

Realizando las comparaciones respectivas, todas las especies estudiadas, sus índices estomáticos son diferentes, de acuerdo al análisis estadístico, excepto la comparación *Cereus hankeanus* Weber & Schumann (IE= 9.95) vs *Echinopsis mamillosa* Guerke, (IE= 10.24) donde se muestra que los valores de los índices, no tiene diferencia significativa.

### 3.8 Comparación de los Índices Estomáticos por el Tipo de Tallo de cada Especie

**Cuadro 23**

Comparación de Índices Estomáticos Según sus Tallos

Especie	Tipo de tallo	Índice estomático%	Significancias al 95%
<i>Cereus hankeanus</i> Weber & Schumann	Columnar	9,95	S
<i>Cleistocactus smaragdiflorum</i> (Weber) Brito. & Rose.		9,43	
<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm) Knuth	Cladodio	5,75	S
<i>Opuntia ficus indica</i> (L.) Mill.		4,42	
<i>Opuntia</i> sp		7,99	

Existen diferencias significativas entre especies que poseen el mismo tipo de tallo, demostrando que no interesa este carácter, considerando que puede ser característica de cada especie.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Los estomas de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann, *Cleistocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose, *Echinopsis mamillosa* Guerke, se clasificaron como Paralelocítico, y en el caso de *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill, *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth, *Opuntia* sp. como opuntiode,
- Todas las especies con tallo de tipo cladodio presentan el mismo tipo de estoma, (opuntiode ) de igual manera las especies de tallo tipo columnar (Paralelocítico)
- La densidad estomática, es muy variable para cada especie presentando: *Cereus hankeanus* Weber & Schumann 24.3/ mm<sup>2</sup>, *Cleistocactus smaragdiflorum* (Weber) Brito. & Rose 37.8 /mm<sup>2</sup>, *Echinopsis mamillosa* Guerke 47.2 /mm<sup>2</sup>, *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth 32.7/ mm<sup>2</sup>, Knuth *Opuntia ficus – indica* (L.) Mill 54,9/ mm<sup>2</sup>, *Opuntia* sp 117/ mm<sup>2</sup>
- Las especies de cactáceas presentan índices estomáticos relativamente bajos como ser: *Cereus hankeanus* Weber & Schumann 9,95 %; *Cleistocactus smaragdiflorum* (Weber) Brito. & Rose. 9,43 %; *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth, 5,75 %; *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. 4,42 %; *Opuntia* sp 7,99 % respectivamente
- Realizando la comparación de medias de los índices estomáticos entre todas las especies de estudio, a través de la prueba de t de student, se concluye que, sí existen diferencias significativas entre las especies con excepción de *Cereus hankeanus* Weber & Schumann y *Echinopsis mamillosa* Guerke, que no presentaron diferencias significativas.

- En la Comparación de los Índices Estomáticos por la Forma de Tallo de cada Especie,

*Cereus hankeanus* Weber & Schumann, *Cleitocactus smaragdiflorus* (Weber) Brito. & Rose, que tienen un tallo de tipo Columnar, existe una diferencia significativa.

*Opuntia ficus – indica* (L.) Mill, *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth, *Opuntia* sp tallo tipo cladodio, existe una diferencia significativa, lo que nos lleva a la conclusión que no importa si poseen el mismo tipo de tallo, entre especies, esto no influirá en los índices estomáticos.

## 4.2 Recomendaciones

- Tener mucho cuidado cuando se trabaje en la manipulación de estas especies, debido a su alto riesgo en especial de *Cylindropuntia tunicata* (Lehm) Knuth que pose espinas en forma de ganchos de pueden adherirse a la piel.
- Continuar con los estudios de estas especies autóctonas del lugar, para así ampliar la información que se tiene con respecto a estas plantas.
- Aplicar la misma metodología en estudios epidérmicos de estas especies debido a su gran eficiencia y facilidad. (técnica del esmalte)