

## **CAPÍTULO I**

### **1 MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN**

## 1.1 INTRODUCCIÓN

En términos de consumo humano, la papa es el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo después del arroz y el trigo.

La papa es uno de los principales alimentos en la canasta familiar de Bolivia y el promedio de consumo per cápita al año llega a 102 kilos.

En el manejo del cultivo de la papa, la misma requiere de 400 a 600 litros de agua para producir 1 kilogramo de materia seca de tubérculos. (Haverkort, A.2003).

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los más importantes en la región Andina boliviana, tanto por su valor como cultivo de seguridad alimentaria, como también por su condición de centro de domesticación de una diversidad de papas nativas. Los diferentes procesos sociales, económicos y políticos de los últimos años vienen promoviendo un nuevo panorama de la tendencia de la producción de la papa en Bolivia.

La imagen tradicional de país con agricultura eminentemente Andina e Interandina, con la ampliación de la frontera agrícola hacia zonas no tradicionales como los Valles Mesotérmicos, el oriente y chaco boliviano se encuentra configurando una nueva cultura del cultivo y consumo de la papa en Bolivia. (M.Coca–Morante, 2015).

Los cultivos Andinos, en Bolivia, entre ellos, la papa (*Solanum tuberosum* L.), Se concentran principalmente en los departamentos de La Paz, Cochabamba y Potosí.

En el departamento de La Paz, se distribuye la mayor diversidad de papas nativas (cultivadas y silvestres) y sus zonas productoras de papa se encuentran en el Altiplano (3800 msnm), área circunlacustre del lago Titicaca (3800 msnm) y alturas de montañas húmedas (3000-4500 msnm) influenciadas por la Cordillera Real (Ochoa, C.M. 2003).

En el departamento de Cochabamba, la mayor diversidad de papas nativas se concentra en las zonas de montaña Alto andinas de Tapacari y montañas Alto andinas húmedas de Colomi, la producción de papa se concentra principalmente, en las zonas de alturas montañosas (3000-4500 msnm). Influenciadas por la humedad de las zonas de transición Andino-Amazónica, en los Valles interandinos (2000-3000 msnm) y zonas de Yungas (1500-2500 msnm), y, en el caso del departamento de Potosí se concentra en pequeñas Altiplanicies del centro y sur de su territorio (3800 msnm) y en las zonas de montaña (3500-4000 msnm) secas, alejadas de los ramales de la cordillera de los Andes (Ochoa, C.M. 2003).

En los últimos 60 años los diferentes procesos sociales, económicos y políticos, por los que ha atravesado Bolivia, han contribuido a configurar un nuevo panorama, una nueva tendencia de la producción agropecuaria de Bolivia. En Bolivia se fue desarrollando la agricultura en otras regiones no Andinas, como el oriente tropical del departamento de Santa Cruz y posteriormente la región del Chaco boliviano, sistemáticamente fue modificándose hasta alcanzar una nueva imagen (Gandarillas, 2011).

En la comunidad de Timboy de la provincia Gran Chaco del Departamento de Tarija, el cultivo de la papa año a año se va difundiendo considerablemente hasta constituirse en una de las principales fuentes de ingreso de los comunarios, dadas las condiciones de suelo favorables para el cultivo, aunque se presenta el inconveniente del manejo del agua, ya que es escasa y durante la última temporada se han experimentado sequías prolongadas que han mermado considerablemente la producción en varios sectores e incluso en otros han ocasionado la pérdida total del cultivo, llevando consigo pérdidas económicas importantes al productor.

Dado que el factor riego es muy importante en la producción de papa, es necesario que el cultivo disponga de humedad constante en el suelo, y al ser los suelos de la zona en estudio de textura arenosa, el agua se infiltra rápidamente

con el consiguiente perjuicio para la planta, por lo que se hace necesario buscar alternativas de riego para que se pueda mantener por más tiempo la humedad y poder también de alguna manera cuidar nuestros recursos hídricos.

Frente a esta situación es que se propone realizar el presente trabajo de investigación, cuya finalidad es aplicar tres láminas de agua por el sistema de riego por goteo, al cultivo de la papa y determinar cuál de estas láminas de agua optimizará mejor el recurso agua y mejorará el comportamiento del cultivo de la papa y por ende incrementar sus rendimientos.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Se ha determinado que la producción de la papa es sensible a un déficit de agua en los estados vegetativos iniciales y durante la maduración. En consecuencia, un buen suministro de agua es necesario desde el inicio de la tuberización hasta la madurez. Además, un adecuado suministro de agua antes de la tuberización incrementa el número de tubérculos por planta y adicionalmente el tamaño del tubérculo.

Actualmente la producción de papa en la comunidad de Timboy es de 16 Tn/ha promedio, teniendo dificultad en el riego, por esta razón creemos conveniente realizar el presente trabajo investigativo, consistente en encontrar la lámina de riego óptima, poniendo a prueba tres láminas de agua, a través del sistema de riego por goteo, para la producción de papa miscka en la comunidad de Timboy, Provincia Gran Chaco del Departamento de Tarija, de esta manera se determinará matemáticamente cuanto de agua se debe aplicar al cultivo de la papa bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona de estudio y así poder optimizar nuestros recursos hídricos.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 General**

Determinar la lámina de riego óptima para la producción de papa en un sistema de riego por goteo en la comunidad de Timboy provincia Gran Chaco del Departamento de Tarija.

#### **1.3.2 Específicos**

- Evaluar el efecto de cada lamina de riego bajo prueba sobre el rendimiento total expresado en Tn/ha.
- Evaluar el rendimiento de la papa en tres Tamaños I, II y III en Tn/ha.
- Determinar el requerimiento hídrico en el cultivo de la papa.

### **1.4 HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

Con la aplicación del sistema de riego por goteo a las tres láminas de riego, el tratamiento 2 o lamina teórica calculada, obtendrá mayores rendimientos en el cultivo de la papa en la comunidad de Timboy provincia Gran Chaco del departamento de Tarija.

**CAPÍTULO II**  
**2 MARCO TEÓRICO**

## 2.1 CULTIVO DE LA PAPA

### 2.1.1 Origen

El origen de la planta de la papa y de su tubérculo comestible se establece, según la evidencia científica actual, el año 8000 a.C. en el altiplano andino, aproximadamente en el sur del actual Perú. Durante siglos fue, junto al maíz, puntal clave en la alimentación de varias civilizaciones precolombinas.

### 2.1.2 Características botánicas de la papa

Taxonomía del cultivo de la papa	
Reino:	Vegetal
Phylum:	Telemophytae
División:	Tracheophytae
Subdivisión:	Anthophyta
Clase:	Angiospermae
Subclase:	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo:	Metachlamideae
Grupo de Ordenes:	Tetracíclicos
Orden:	Polemoniales
Familia:	Solanaceae
Nombre Científico:	<i>Solanum Tuberosum L.</i>
Nombre Común:	papa

**Figura 1.** Taxonomía del cultivo de la papa, Fuente. HERBARIO UNIVERSITARIO (T. B.)

#### 2.1.2.1 Morfología de la papa

La papa es una planta dicotiledónea, herbácea, tuberosa, anual, perenne por sus tubérculos, caducifolia (hojas y tallos aéreos) de tallo erecto, semi-decumbente o decumbente y puede medir hasta 1 m de altura.

Esta planta está compuesta por una parte que crece sobre el suelo, en la que destacan tallos, hojas, flores y frutos. La otra que crece subterráneamente

corresponde a papa-madre (tubérculo-semilla), estolones, tubérculos y raíces. (INIAP 2006)

### **2.1.3 Requerimientos Edafoclimáticos para el cultivo de la papa**

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo de clima templado, aunque se puede cultivar en clima subtropical y tropical. Existen diversos factores que afectan la producción del cultivo de la papa, pero se debe procurar tener un manejo adecuado de ellos para poder alcanzar altos rendimientos. Previamente al establecimiento del cultivo es necesario conocer los requerimientos edafoclimáticos, ya que con ello se podrá elegir la variedad que mejor se adapte a las condiciones particulares del lugar donde se desea cultivar. (INIAP 2006).

#### **2.1.3.1 Temperatura.**

Para el cultivo de la papa, la mayor limitante son las temperaturas, ya que si son inferiores a 10 °C y superiores a 30 °C afectan irreversiblemente el desarrollo del cultivo, mientras que la temperatura óptima para una mejor producción va de 17 a 23 °C. Por ese motivo, la papa se siembra a principios de la primavera en zonas templadas y a finales de invierno en las regiones más calurosas. En los lugares de clima tropical cálido se siembra durante los meses más frescos del año. La papa es considerada una planta termo periódica, es decir, necesita una variación de las temperaturas entre el día y la noche. Dicha variación debe ser entre 10 a 25 °C en el aire. La temperatura del suelo adecuada para el desarrollo de tubérculos debe ser de 10 a 16 °C durante la noche y de 16 a 22 °C en el día. Cuando la oscilación de estas temperaturas es menor a las especificadas anteriormente, se ve afectado el crecimiento y tuberización de la papa.

Las temperaturas bajas de los suelos durante el crecimiento vegetativo del cultivo, disminuyen el crecimiento y desarrollo de raíces, además de la asimilación de nutrientes, especialmente el fósforo. Por otro lado, las altas temperaturas aceleran el desarrollo de la planta y su envejecimiento, sobre todo en variedades de maduración temprana. (INIAP 2006).



### **2.1.3.2 Suelos.**

La papa puede crecer en la mayoría de los suelos, aunque son recomendables suelos con poca resistencia al crecimiento de los tubérculos. Los mejores suelos son los francos, franco-arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos, con buen drenaje y ventilación, que además facilitan la cosecha. Sin embargo, se pueden alcanzar altas producciones en suelos con textura arcillosa al aplicar materia orgánica y regulando las frecuencias de riego. Suelos con una profundidad efectiva mayor 50 cm, son necesarios para permitir el libre crecimiento de estolones y tubérculos de la planta. El cultivo tiene un adecuado desarrollo en un rango de pH de 5,0 a 7,0. Los suelos salinos, alcalinos o compactados provocan trastornos en el desarrollo y producción de la papa. Es recomendable tener suelos con una densidad aparente de 1,20 g/cm<sup>3</sup>, contenido de materia orgánica mayor a 3,5 %. (INIAP 2006).

### **2.1.3.3 Pendiente del terreno.**

La pendiente tiene una relación muy estrecha con la retención y captación de agua, además de la profundidad del suelo y acceso de maquinaria. Para una buena productividad del cultivo se recomienda una pendiente de 0 a 4,0 %, pendientes mayores a 4,1 % ocasionan que disminuya la producción del tubérculo. Una manera de manejar las fuertes pendientes es mediante el surcado en curvas a nivel o mediante terrazas. (INIAP 2006).

### **2.1.3.4 Altitud.**

La altitud puede variar, pues el cultivo se desarrolla bien desde alturas mínimas de 460 hasta los 3000 msnm, pero la altitud ideal para un buen desarrollo se encuentra desde los 1500 a 2500 msnm, claro está que bajo estas condiciones se da la mejor producción de la papa.

### **2.1.3.5 Vientos.**

Los vientos tienen que ser moderados, con velocidades no mayores a 20 km/h, ya que las plantas de papa pueden sufrir daños y reducciones en su rendimiento.

### **2.1.3.6 Luz.**

Después de la emergencia del tubérculo, el cultivo requiere bastante luminosidad. Además, la luminosidad de las plantas afecta directamente en los procesos fotosintéticos, dando origen a una serie de reacciones secundarias entre las que intervienen agua y CO<sub>2</sub>, los cuales ayudan a la formación de los diferentes tipos de azúcares, que a su vez forman parte de los tubérculos. La cantidad de luz necesaria varía según la temperatura, por lo que, para una óptima producción, la papa requiere de periodos aproximadamente de 8 a 12 e incluso 16 horas de luminosidad (20000 a 50000 Lux) según la variedad cultivada. La cantidad de luz tiene gran influencia en la tuberización de la papa y duración del crecimiento vegetativo. Días cortos favorecen el inicio de la tuberización y acortan el ciclo vegetativo, en cambio días largos tienen el efecto inverso. (INIAP 2006)

### **2.1.3.7 Requerimiento Hídrico.**

Las necesidades de la papa varían de 600 a 700 mm, además indican que precipitaciones inferiores a 10 mm no son efectivas ya que estas quedan retenidas en las hojas del cultivo y se evaporan (Jerez y Simpfendofre 2000).

Un buen cultivo de papa con un ciclo de 120 a 150 días requiere entre 600 a 800 mm de agua dependiendo de las condiciones climáticas y de la duración del periodo vegetativo (Haverkort 2003).

Las mayores demandas existen en las etapas de germinación y crecimiento de los tubérculos, por lo que es necesario efectuar algunos riegos secundarios en los períodos más críticos del cultivo, cuando no se presenta precipitación.

La cantidad de agua que consume un cultivo durante su ciclo, se conoce como uso consuntivo y puede ser medido o estimado, dependiendo de factores edáficos, cismáticos, fisiológicos y morfológicos propios de la planta.

La planificación de riego en el cultivo de papa conduce a la determinación de la lámina de agua a aplicar en el momento oportuno en cantidades suficientes, con

la finalidad de que el proceso de evapotranspiración puede efectuarse sin restricciones (Gutiérrez 2010).

Cuando la suplencia de humedad es deficitaria, los requerimientos del cultivo no pueden ser abastecidos con plenitud, la velocidad de transpiración es superior a la velocidad de absorción de agua por las raíces y la planta reduce la transpiración mediante el cierre de sus estomas, retrasándose el desarrollo de los tallos y hojas en crecimiento. Se reduce la fotosíntesis y producción de materia seca, se estimula la respiración y se acelera el envejecimiento. Los síntomas de déficit de humedad son característicos en cada período del ciclo del cultivo de la papa (Calvache 2000). Los excesos de humedad conducen a la podredumbre de la semilla, susceptibilidad a enfermedades fungosas y bacterianas, fallas a lo largo y ancho de las hileras y sistema radical superficial (Haverkort 2003).

La estimación y uso de la lámina necesaria en relación con el clima, condiciones edáficas y del cultivo, según la etapa de su ciclo, constituye la esencia de la planificación del riego fisiológico, para que la planta pueda desarrollarse de la mejor manera y así lleguemos a obtener una excelente tuberización (Gutiérrez 2010).

## **2.2 RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA**

Israelsen y Hansen (2001), indican que para calcular la cantidad de agua que artificialmente debe de ponerse a disposición de la planta, es preciso estudiar sus necesidades y las características agroclimatológicas del medio en que vive, ya que ejercen una influencia decisiva sobre los requerimientos de humedad.

Según Grassi (2001), los requerimientos de agua de los cultivos en general, son muy variables. El requerimiento de agua varía de una especie a otra, así como entre las de un mismo tipo, también dentro de los requerimientos influyen condiciones naturales como el clima, la cantidad de distribución de lluvia, la clase de suelo y subsuelo y de acuerdo al estado fenológico de crecimiento.

### **2.2.1 Capacidad de campo (CC).**

La capacidad de campo es el contenido humedad que tiene el suelo inmediatamente después de que el agua gravitacional ha drenado, o sea que es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de gravedad. Es el límite superior de agua aprovechable o disponible para el desarrollo de las plantas y además porque es el porcentaje de humedad al que la zona radicular debe regarse para que no existan desperdicios ni déficit en la planta. Es el contenido de humedad que tiene el suelo cuando el agua esta retenida de 1/10 atmósferas para suelos arenosos y 1/3 de atmósfera para suelos arcillosos (Sandoval, 2007).

### **2.2.2 Punto de marchitez permanente (PMP).**

Es el porcentaje o contenido de humedad del suelo al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración.

Al alcanzar el suelo valores de PMP las plantas se marchitan y no son capaces de recuperarse aun cuando se coloquen durante una noche en una atmósfera saturada en la que casi no se produce consumo de agua. Es el contenido de humedad que tiene el suelo cuando el agua esta retenida a 15 atmósferas (Sandoval, 2007).

### **2.2.3 Densidad aparente (Da).**

La densidad aparente de un suelo es el peso de suelo seco por unidad de volumen de suelo, incluyendo los poros, se expresa en gramos por  $\text{cm}^3$ . Como valores medios los suelos arcillosos tienen una densidad aparente de 1,00 a 1,3  $\text{gr}/\text{cm}^3$ , los francos de 1,3 a 1,5  $\text{gr}/\text{cm}^3$ , los suelos arenosos de 1,5 a 1.8  $\text{gr}/\text{cm}^3$  y los suelos orgánicos de 0,7 a 1,0  $\text{gr}/\text{cm}^3$  (Sandoval, 2007).

### **2.2.4 Profundidad efectiva o zona radicular del cultivo (Zr).**

La profundidad efectiva que pueden alcanzar las raíces depende de muchos factores de los suelos (porosidad, impedancias, concreciones, rangos de pH óptimos, contenido de agua en el perfil del suelo, etc.). Las raíces pueden crecer

mientras el medio en que se encuentran sea favorable (buena humedad, buena aireación, buenas cualidades en general) (KNOL.GOOGLE, 2017).

Los suelos arcillosos y limosos retienen mucha agua, pero gran parte de esta no es aprovechable por las plantas; además la aireación de esos suelos suele ser pobre. En suelos arenosos, en cambio, pasa lo contrario. El agua drena muy rápidamente, con lo que no es retenida en el perfil del suelo, y la aireación es buena. Por lo tanto, los suelos en los que es esperable una mayor profundidad efectiva son aquellos que son francos (los que tienen una composición relativamente equilibrada de arcillas, limos y arenas) (KNOL.GOOGLE, 2017).

### **2.2.5 Profundidad en la que se encuentra el mayor porcentaje de raíces.**

La mayoría de las raíces, fundamentalmente las que toman la mayor parte de nutrientes del suelo, se encuentran o se concentran en los primeros 0,20 m, alcanzando las raíces verticales hasta 0,60 m, y en los suelos más ligeros hasta 2,0 m. de profundidad. De manera general, respaldado por un conteo de raíces a diferentes profundidades y después de haber hecho una calicata transversal al lado de la planta, algunas investigaciones coinciden al respecto que la profundidad a la que deben tomarse las muestras para los cálculos del riego debe oscilar entre los 50 y 60 cm, o sea, que en ese horizonte ha de encontrarse la zona de mayor actividad, aunque por debajo de la misma aún se encuentra un porcentaje bajo de raíces. En el estrato de 0,00 a 0,10 m existe baja concentración de raíces, pero a esta zona se le atribuye una alta evaporación de agua (CENTA, 2002).

### **2.2.6 Lámina de agua bruta (dB).**

Es la diferencia entre el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo y punto de marchitez permanente, expresados en porcentaje, multiplicado por la densidad aparente y la zona radicular, quedando con la siguiente ecuación:  $dB = (CC - PMP) / 100 * Da * Zr$ , expresada en centímetros (cm) (Sandoval, 2007).

### **2.2.7 Déficit permitido por manejo (DPM) o umbral de riego (UR)**

Es el rango entre la capacidad de campo y el punto crítico. Normalmente se expresa como el porcentaje de la humedad aprovechable total que puede ser usada por el cultivo sin que la producción de este disminuya. De manera general el DPM O UR varía entre 25 y 80% del agua disponible total, siendo de 25 a 40% para cultivos susceptibles a sequía y de 60 a 80% para cultivos resistentes a sequía. El valor más usado comúnmente de DPM es 50% (Sandoval, 2007).

### **2.2.8 Lámina de agua neta (dN)**

La lámina neta es la lámina de agua rápidamente aprovechable por la planta a la profundidad radical efectiva, y se obtiene multiplicando la lámina de humedad aprovechable por el déficit permitido de manejo (DPM) o umbral de riego (UR). Esta dada por la siguiente ecuación:  $dN = dB * UR$  o  $DPM$  (Sandoval, 2007).

### **2.2.9 Evapotranspiración (ET).**

La evapotranspiración (ET) es el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera. Incluye tanto la evaporación de agua en forma sólida como líquida directamente del suelo o desde las superficies vegetales vivas o muertas (rocío, escarcha, lluvia interceptada por la vegetación), como las pérdidas de agua a través de las superficies vegetales, particularmente las hojas.

La evapotranspiración constituye la transferencia total de agua desde una superficie vegetada a la atmósfera (MILIARIUM, 2017).

La evaporación es un proceso por el cual el agua se evapora del terreno adyacente, ya sea por la superficie del suelo o por la superficie de las hojas de la planta; la transpiración resulta del desprendimiento del agua en forma de vapor de las hojas de las plantas, la cual ha sido absorbida desde el suelo y llevada a través de los tallos hasta la superficie foliar de donde pasa a la atmósfera a través del sistema estomático. (FAO, 2006).

### **2.2.10 Evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>).**

Existe acuerdo entre los diversos autores al definir la ET<sub>o</sub>, como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua.

Según esta definición, la magnitud de la ET<sub>o</sub> está regulada solamente de las condiciones meteorológicas climáticas, según el caso, del momento o período para el cual se realiza la estimación (FAO, 2006).

### **2.2.11 Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>).**

Para referirse a la cantidad de agua que efectivamente es utilizada por la evapotranspiración se debe utilizar el concepto de evapotranspiración actual o efectiva, o bien, más adecuadamente, el de evapotranspiración del cultivo.

La ET<sub>c</sub> es más difícil de calcular que la ET<sub>o</sub>, ya que además de las condiciones atmosféricas que influyen en la ET<sub>o</sub>, interviene la magnitud de las reservas de humedad del suelo y los requerimientos de los cultivos. Para determinarla se debe corregir la ET<sub>o</sub> con un factor K<sub>c</sub> dependiente del nivel de humedad del suelo y de las características de cada cultivo (MILIARIUM, 2017).

### **2.2.12 Coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>).**

Como puede desprenderse del apartado anterior, un coeficiente de cultivo, K<sub>c</sub>, es un coeficiente de ajuste que permite calcular la ET<sub>c</sub> a partir de la ET<sub>o</sub>. Estos coeficientes dependen fundamentalmente de las características propias de cada cultivo, por tanto, son específicos para cada uno de ellos y dependen de su estado de desarrollo y de sus etapas fenológicas, por ello, son variables a lo largo del tiempo. En el cultivo de la papa va de desde 0,41 a 1,15, dependen también de las características del suelo y su humedad, así como de las prácticas agrícolas y del riego (FAO, 2006 – Software ABRO).

### **2.2.13 Frecuencia de riego (Fr).**

Es el número de días que hay entre dos riegos sucesivos, es decir, el número de días que el cultivo a través de la evapotranspiración, demora en consumir el agua y está definido por la siguiente fórmula:  $Fr = dN/ETc$  (KNOL.GOOGLE, 2017).

## **2.3 RIEGO POR GOTEO**

Este sistema permite regar las plantas, mediante goteros los cuales se encuentran insertados en mangueras plásticas, que proporcionan un caudal de 2 a 10 L/h, mojando una parte de la superficie del suelo ocupado por el cultivo. Alrededor de cada gotero se forma una zona de suelo húmedo, denominado “bulbo”, por su forma.

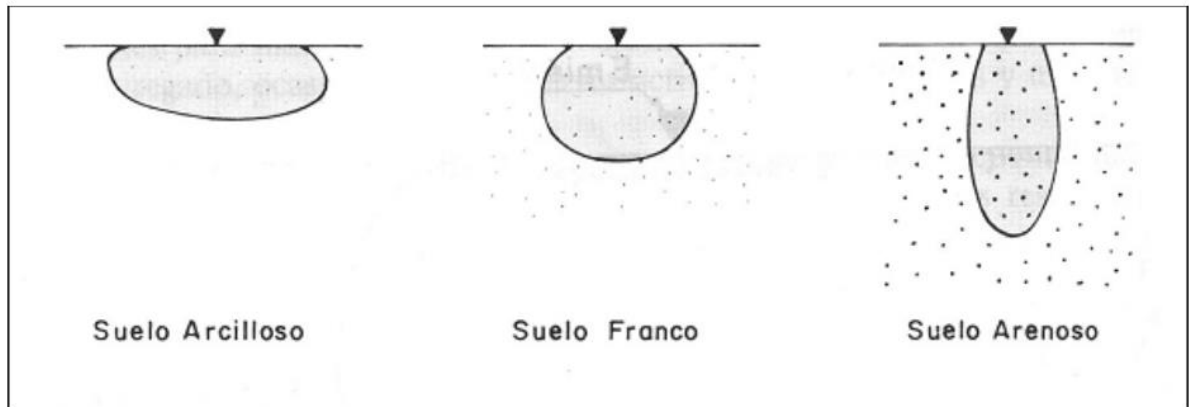
Las características del suelo son las que determinan el movimiento del agua bajo el riego por goteo. Por ello, existe una relación entre la dimensión horizontal (radio de humedecimiento) y la dimensión vertical (la profundidad de humedecimiento) en las cuales se distribuye el agua de riego. Ambas dimensiones constituyen los límites del bulbo humedecido (Sandoval, 2007).

El riego por goteo es un método relativamente nuevo, habiéndose desarrollado principalmente en las últimas décadas. En este método el agua es conducida a presión por una red de tuberías (principales, secundarias, múltiples o terciarias y laterales) y aplicada al suelo en forma de gotas a través de emisores o goteros especiales ubicados a intervalos regulares en la tubería lateral (Sandoval, 2007).

En un sistema de riego por goteo se requiere normalmente de menos presión que en riego por aspersión, siendo 10 metros de columna de agua (mca) una presión de operación del emisor. Además la descarga o caudal a través de los emisores es de poca intensidad, es común usar emisores con descargas de 2, 4 y 8 litros/hora. El agua gotea lentamente sobre el suelo entrando en el perfil del mismo y expandiéndose hacia abajo y lateralmente, formando un bulbo o cono



de humedad dentro del cual se desarrolla la zona radicular de los cultivos (Sandoval, 2007).



**Figura 2.** Bulbo húmedo en riego por goteo.

Con este método se aplica la cantidad de agua que los cultivos requieren con bastante precisión y frecuentemente (a diario o cada 2 a 4 días), la humedad del suelo se mantiene todo el tiempo casi a capacidad de campo, esto favorece la aireación y la tensión a la cual el agua esta retenida es baja, siendo por lo menos fácilmente disponible a la planta.

Esta es una de las razones por la cual muchas veces los rendimientos obtenidos con riego por goteo sean mayores que con otros métodos. Además es común un ahorro significativo de agua ya que la eficiencia de aplicación es de 90 a 95%, y en muchos casos también hay ahorro de fertilizantes los cuales son aplicados con el agua del sistema de riego cuidadosamente no perdiéndose por percolación.

El método de riego por goteo requiere menos mano de obra que los otros métodos de riego (Sandoval, 2007).

### **2.3.1 Tipos de riego por goteo.**

Se distingue dos tipos:

**Subterráneo:** La manguera de goteo se coloca enterrada bajo la superficie del suelo, poco utilizado por problemas de obturación de goteros.

**Superficial:** La línea de goteo se coloca sobre la superficie del suelo, es el más popular.

### **2.3.2 Características del riego por goteo.**

- El agua que se aplica al suelo se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical, a diferencia del riego tradicional en el cual predominan la fuerza de gravedad y por tanto el movimiento vertical.
- No se moja todo el suelo, sino solo parte del mismo.
- Se da un desarrollo radicular inferior al normal limitado a la zona húmeda en la cual se da la absorción de nutrientes, lo que permite menores distanciamientos de siembra, es decir un cultivo intensivo.
- Se mantiene un nivel óptimo de humedad en el suelo con lo cual la tensión de agua en el mismo es baja.
- Requiere un abonado frecuente, pues como consecuencia del movimiento permanente del agua puede producirse un lavado excesivo de nutrientes.

### **2.3.3 Adaptabilidad.**

El riego por goteo se adapta a prácticamente todos los tipos de suelo y topografías, y la mayoría de cultivos pueden ser regados por este método (árboles frutales, hortalizas, flores y cultivos en hilera como algodón, maíz dulce, etc.) (Sandoval, 2007).

Los componentes básicos de un sistema de riego por goteo, son:

- Unidad de control o cabezal (filtros, tanque para fertilizante, válvulas de medición de flujo, manómetros y purga aire).
- Tubería principal o de conducción.
- Tubería terciaria (múltiple).
- Tubería lateral.
- Conectores.
- Cintas de goteo.

#### **2.3.4 Filtros.**

El taponamiento de los goteros es el problema más serio que enfrenta el sistema de riego por goteo, puede arruinar un sistema y causar severos daños a los cultivos. Los filtros son indispensables en un sistema para reducir el riesgo de taponamiento de los emisores por partículas sólidas suspendidas en el agua. Existen diversos tipos de filtros, los más comunes son los contruidos por medio de mallas o cedazos, este tipo de filtro es adecuado para retener arenas finas; sin embargo, se obstruye rápidamente a causa de partículas de materia orgánica (algas) en suspensión (Sandoval, 2007).

#### **2.3.5 Reguladores de presión.**

Debe haber reguladores de presión en el cabezal de control y en la entrada de la unidad de riego (puede haber hasta en cada lateral o dentro del emisor al usar goteros 24 auto compensables) para asegurar uniformidad en la aplicación del agua en toda la banda de humedecimiento (Sandoval, 2007).

#### **2.3.6 Tubería principal.**

Son generalmente de plástico (cloruro de polivinilo PVC, o polietileno de baja densidad normalmente) que preferiblemente deben enterrarse para evitar daños físicos o descomposición por los rayos solares (Sandoval, 2007).

#### **2.3.7 Tubería múltiple (terciaria).**

Son las que llevan el agua a las tuberías laterales. El material utilizado es PVC o más comúnmente polietileno de alta o mediana densidad. El PVC debe enterrarse y el polietileno puede colocarse sobre la superficie (Sandoval, 2007).

#### **2.3.8 Tubería lateral.**

Son las líneas a las cuales están conectados los emisores, normalmente son de polietileno de alta o mediana densidad (Sandoval, 2007).

### **2.3.9 Cintas de goteo.**

Los goteros disipan la energía en diferentes maneras, pero de manera general se basan en el paso del agua a través de conductos de diámetro pequeño y recorrido largo. El gotero tipo laberinto, por ejemplo, conduce el agua por largos conductos tortuosos (zigzag) en los cuales la pérdida de carga es debido a la combinación de fricción, secciones agudas, contracciones, expansiones y cambio de dirección (Sandoval, 2007).

### **2.3.10 Descarga del gotero o emisor.**

La distribución lateral (horizontal) del agua, depende de la descarga del gotero. Un gotero de 2 L/h produce un bulbo más estrecho que uno de 4 o de 10 L/h. Si comparamos un suelo arenoso con otro arcilloso, veremos que el primero será necesario seleccionar un gotero con mayor descarga y con menor espaciamiento que el segundo (Sandoval, 2007).

### **2.3.11 Fertilización con riego por goteo.**

La fertilización es una parte integral de un sistema de riego por goteo. La aplicación correcta de fertilizantes es esencial para obtener altos rendimientos en el riego por goteo, la aplicación directa del fertilizante en el momento adecuado a través del sistema de riego solamente en la región donde la mayoría de raíces se encuentran, resultará en un uso eficiente del fertilizante y en mayores rendimientos.

El fertilizante se aplica en pequeñas cantidades y frecuentemente siendo posible mantener un suplemento de nutrientes en el suelo de acuerdo con las necesidades cambiantes de las plantas durante su ciclo de crecimiento. La aplicación de fertilizante con riego por goteo es mucho más eficiente que cualquier otro método (Sandoval, 2007).

### **2.3.12 Salinidad en el agua de riego.**

Las sales presentes en el agua o en el suelo reducen la disponibilidad de agua para el cultivo, provocan un estado de marchitamiento y afectan por tanto a los rendimientos.

La conductividad eléctrica del agua (CEa) es una medida indirecta de la concentración de sales de una solución, basada en el hecho de que, si bien el agua pura es mala conductora de la electricidad a las sales les sucede lo contrario.

La unidad de conductividad más usada en análisis de aguas era el mmho/cm (milimho por centímetro); sin embargo, por acuerdo general pasó a denominarse Siemens (S) en el sistema internacional de unidades de medida. La equivalencia entre ambas es:

$1 \text{ mmho/cm} = 1 \text{ dS/m}$  (un milimho por centímetro equivale a un deciSiemens por metro) A partir de 0,7 dS/m de CEa se produce riesgo para los cultivos más sensibles a las sales.

Respecto al Contenido Total de Sales (CTS) comentar que este parámetro se utiliza para estimar la concentración de sales disueltas en el agua. La concentración de sales en la mayor parte de las aguas de riego es menor de 200 mg/l, si bien en aguas subterráneas este valor puede ser más alto (Miguel Monge, 2016).

**Tabla 1.** Valores considerados normales de un análisis de agua para riego (FAO).

<b>Parámetros</b>	<b>Símbolos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valores Normales en Aguas de Riego</b>
<b>SALINIDAD</b>			
<u>Contenido en sales</u>			
Conductividad Eléctrica	CEa	dS/m	0 - 3
Contenido Total de Sales	CTS	mg/L	0 - 2000

**Tabla 2.** Restricción en el uso de agua de riego según la concentración de sales (FAO).

<b>Problema Potencial</b>	<b>Unidades</b>	<b><u>Grado De Restricción del Uso</u></b>		
		<b>Ninguno</b>	<b>Ligero o Moderado</b>	<b>Alto</b>
<b>SALINIDAD</b>				
Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos				
Conductividad Eléctrica (CEa)	dS/m	< 0,7	0,7 - 3	> 3,0
Contenido Total de Sales (CTS)	mg/L	< 450	450 - 2000	> 2000

### 2.3.13 Ventajas y desventajas del sistema de riego por goteo.

Fuente:(CENTA, 2002).

#### **Ventajas:**

- Una importante reducción de la evaporación del suelo y de las pérdidas por percolación, lo que trae una reducción significativa de las necesidades netas y brutas de agua. No se puede hablar de una reducción en lo que se refiere a la transpiración del cultivo, ya que la cantidad de agua transpirada (eficiencia de transpiración) es una característica fisiológica de la especie. Al contrario, se puede pensar que la transpiración del cultivo en riego localizado sería generalmente superior a la que se observaría en riego que cubre totalmente la superficie del suelo (riego por aspersión) debido al efecto de "ropa tendida" o "efecto oasis", que incrementa la parte efectiva del proceso de evaporación a la superficie de las hojas.
- La posibilidad de automatizar completamente el sistema de riego, con los consiguientes ahorros en mano de obra. El control de las dosis de aplicación es más fácil y completo.
- La posibilidad de utilizar aguas más salinas que en riego convencional, debido al mantenimiento de una humedad relativamente alta en la zona radical (bulbo húmedo).
- Una adaptación más fácil en terrenos rocosos o con fuerte pendientes.
- No se moja el dosel vegetal, lo que disminuye los riesgos de problemas fitosanitarios.
- Reduce la proliferación de malas hierbas en las zonas no regadas.
- Permite la "fertirrigación", es decir el aporte controlado de nutrientes con el agua de riego.

**Desventajas:**

- El coste elevado de la instalación.
- Se necesita una inversión elevada debida a la cantidad importante de emisores, tuberías, equipamientos especiales en el cabezal de riego y la casi necesidad de un sistema de control automatizado (electro válvulas). Sin embargo, el aumento relativo de coste con respecto a un sistema convencional no es prohibitivo.
- El alto riesgo de obturación ("clogging" en inglés) de los emisores, y el consiguiente efecto sobre la uniformidad del riego. Esto puede ser considerado como el problema número 1 en riego localizado.
- La presencia de altas concentraciones de sales alrededor de las zonas regadas, debida a la acumulación preferencial en estas zonas de las sales. Esto puede constituir un inconveniente importante para la plantación siguiente, si las lluvias no son suficientes para lavar el suelo.



**CAPÍTULO III**  
**3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1 LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO

#### 3.1.1 Ubicación geográfica.

La comunidad de Timboy se encuentra en:

Departamento:	Tarija
Provincia:	Gran Chaco
Sección Municipal:	Segunda
Cantón:	Saladillo
Distrito:	3

Timboy se encuentra al Norte de la Capital de la Segunda Sección Municipal a una distancia de 30 Km, con una carretera asfaltada de 15 Km y una carretera de tierra 15 Km. estable durante todo el año.

#### 3.1.2 Características de la zona.

##### 3.1.2.1 Vegetación de la zona.

La vegetación está constituida por un bosque extremadamente xeromórfico, generalmente ralo, bajo y caducifolio. La composición florística presenta 72 familias, donde las más importantes son las Mimosaceae, Caesalpinaceae, Caparaceae y Anacardiaceae al igual que las Ulmaceae y Bignoniaceae con especies mesomórficas, por la mejor humedad ambiental y edáfica respecto a la Llanura Chaqueña. Son importantes las siguientes especies: cebil (*Anadenanthera colubrina*), quebracho colorado (*Schinopsis quebracho colorado*), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*), algarrobilla (*Caesalpinia paraguariensis*), toboroche (*Chorisia insignis*), perilla (*Phyllostylon rhamnoides*) y orco quebracho (*Schinopsis hankeana*). Formando manchas dispersas se encuentra el roble (*Amburana cearensis*) y urundel (*Astronium urundeuva*). (Diagnostico Timboy- Caraparí, 2016).

### **3.1.2.2 Fauna de la Zona.**

Entre las especies de mamíferos se encuentra el tigre (*Panthera onca*) y puma o león (*Felis concolor*), especies adaptadas a una variedad de ambientes, desde el bosque tropical hasta la puna. El anta (*Tapirus terrestres*), especie afectada por la reducción de su hábitat natural, se encuentra en todo el Subandino y Chaco; también el guanaco (*Lama guanacoe*), al igual que el pecarí tropero (*Tayassu pecari*) y el pecarí de collar (*Tayassu tajaccu*) que viven en una amplia variedad de hábitats, incluyendo bosques húmedos, secos y matorrales chaqueños, formando tropas de 50 a 300 individuos. La corzuela (*Mazama gonazoubira*) y el guazo (*Odocoileus bezoarticus*). (Diagnostico Timboy- Caraparí, 2016).

### **3.1.2.3 Aspectos Agroclimáticos.**

En la comunidad de Timboy no se cuenta con estación meteorológica, por lo que se tomó como referencia la estación meteorológica, cercana, que tiene características similares, como es la estación de Palmar Grande de la Primera Sección de la Provincia Gran Chaco del Departamento de Tarija.

En general, el verano se caracteriza principalmente por vientos dominantes del sud hacia el norte, una temperatura y humedad relativa alta y masas de aire inestables, produciéndose precipitaciones aisladas de alta intensidad y corta duración. Por otro lado, el invierno se caracteriza por temperaturas y humedad relativa generalmente bajas y la ausencia de precipitaciones.

El invierno también está asociado a la llegada de frentes fríos provenientes del sur (Patagonia, Argentina), llamados "surazos", que traen consigo masas de aire frío, dando lugar a veces a precipitaciones de muy baja intensidad pero de larga duración, principalmente en la Llanura Chaqueña, y a descensos abruptos de temperatura de un día al otro. (Diagnostico Timboy- Caraparí, 2016).

#### **3.1.2.4 Precipitación.**

La precipitación promedio anual es de 942,7mm., en el periodo de lluvias que se halla comprendido entre los meses de noviembre a abril, se concentra el 92,5% en estos seis meses y el 7,5% en los meses más secos.

#### **3.1.2.5 Humedad Relativa.**

El período húmedo corresponde a los meses de noviembre a abril, en cual está concentrado el 61% de la precipitación anual.

#### **3.1.2.6 Temperatura.**

De acuerdo a la estación meteorológica, la temperatura media anual oscila entre los 28,2° C, mientras que la mínima media anual registrada fue de 12,4° C. La máxima extrema se registró en noviembre con 44,4° y la mínima extrema con 6° C. (Diagnostico Timboy- Caraparí, 2016).

#### **3.1.2.7 Suelo.**

Las pendientes varían entre 0,5 y 5% y los suelos son profundos, con una disponibilidad natural de nutrientes de baja a media. Los suelos están formados por una mezcla de sedimentos coluviales finos dispuestos en estratos.

Los suelos profundos a moderadamente profundos, bien drenados, en algunos sectores con evidencia de erosión hídrica. La textura dominante es franco arenoso. La capacidad de retención de humedad es buena.

#### **3.1.2.8 Actividad Económica.**

En primer lugar se encuentra la agricultura que se basa en los cultivo de la papa y maíz choclo, luego le siguen los cultivos de cítricos y sandía.

En orden de importancia sigue la ganadería que se desarrolla en forma alternada y escasa. La mayoría de los habitantes de la comunidad practican una economía de subsistencia, ya que las familias complementan sus ingresos mediante la venta de su fuerza de trabajo fuera del lugar de origen. (Diagnostico Timboy- Caraparí, 2016).

### 3.1.3 Condiciones Meteorológicas.

Las condiciones meteorológicas del lugar donde se realizó la investigación.

**Cuadro 1.** Estación Meteorológica Palmar Grande.

**Estación:** Palmar Grande

**Latitud Sud:** 21° 31' 53"

**Departamento:** Tarija

**Longitud Oeste:** 63° 26' 31"

**Provincia:** Gran Chaco

**Altura m/s/n/m:** 460

#### PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1996-2016	16,21	22,01	13,04	10,78	7,79	2,06	1,80	5,44	4,30	10,01	16,91	15,14

#### TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1996-2016	27,53	26,75	25,48	22,88	19,48	18,58	18,14	20,16	22,82	25,95	26,35	26,83

#### PORCENTAJE MENSUAL DE HORAS LUZ SOLAR DURANTE EL AÑO

Latitud Sur	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
20°	9,25	8,09	8,58	7,92	7,83	7,41	7,73	8,05	8,13	8,83	8,85	9,32
21°	9,31	8,11	8,58	7,91	7,79	7,36	7,75	8,04	8,13	8,85	8,875	9,35
22°	9,36	8,12	8,58	7,89	7,74	7,3	7,76	8,03	8,13	8,86	8,9	9,38

## **3.2 MATERIALES Y EQUIPOS**

### **3.2.1 Materiales.**

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes materiales:

- Azadón
- Wincha métrica
- Flexómetro
- Arado de tracción animal
- Tarraja
- Sierra mecánica
- Taladro
- Cinta Teflón
- Sella roscas

### **3.2.2 Equipos.**

- Tractor Agrícola (Romplao)
- Equipo de Riego por goteo (cabezal de riego, tubería de conducción, laterales, conectores, cintas de goteo)
- Pulverizador manual

### **3.2.3 Material Experimental.**

Se utilizó tubérculos semilla de papa de la categoría certificada tamaño II de la variedad Desirée. Papa moderadamente larga, de piel rojiza, tubérculo oval y carne amarillo brillante, de alto rendimiento, precoz (90 – 100 días) buena calidad culinaria, resistente a la cocción, de sabor neutra, también se utiliza para la elaboración de papa frita.

Actualmente es la papa más comercializada en el departamento de Tarija.

### 3.2.4 Factores Estudiados.

3 Láminas de riego.

T1 = Lámina con un 15% abajo de la teórica calculada = **1,01 cm (10,1 mm)**

T2 = Lámina teórica calculada = **1,19 cm (11,9 mm)**

T3 = Lámina con un 15% arriba de la teórica calculada = **1,37 cm (13,7 mm)**

### 3.2.5 Diseño Agronómico.

El diseño agronómico debe responder a los requerimientos de reposición de agua a los cultivos y el suelo. Los valores de requerimientos provienen del diseño agronómico, que combina datos de los cultivos y del suelo para así determinar láminas de aplicación, y frecuencias de riego (Hoogendam y Rios, 2008).

#### 3.2.5.1 Análisis Químico del Agua para Riego.

Para la toma de Muestra de agua para el riego, se usó una botella plástica, y se sacó la muestra de la quebrada de Timboy, se llevó la muestra al laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para determinar las características químicas de este. Los resultados obtenidos se indican en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Datos del análisis Químico del agua para riego, de la quebrada de Timboy.

<b>Identificación</b>	<b>pH</b> <b>1:5</b>	<b>CEa</b> <b>mmho/cm</b> <b>1:5</b>	<b>CTS</b> <b>g/L</b>
M-1	6,7	0,266	0,167

### 3.2.5.2 Análisis Físico del suelo.

Se llevó las muestras de suelo al laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para determinar las características físicas de este. Los resultados obtenidos se indican en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Datos del análisis físico de suelo en la parcela de investigación de la Comunidad de Timboy.

<b>Identificación</b>	<b>PROF. (cm)</b>	<b>Da (g/cc)</b>	<b>CC %</b>	<b>PMP %</b>	<b>Arena %</b>	<b>Limo %</b>	<b>Arcilla %</b>	<b>Clase Textural</b>
M-1	40-50	1,5	13,64	6,06	64,8	22,8	12,4	Franco Arenoso

Para el cálculo de la lámina de agua a aplicar en riego, con un 90% de eficiencia, se hizo uso de este análisis físico del suelo, en donde se ocuparon las siguientes ecuaciones para su cálculo:

$$\text{Lámina de agua bruta (dB)} = \left( \frac{CC - PMP}{100} \right) * Da * Zr$$

**Donde:**

CC = capacidad de campo

PMP = punto de marchitez permanente

Da = Densidad aparente

Zr = Profundidad de zona radicular del cultivo.

$$dB = \left( \frac{13,64 - 6,06}{100} \right) \times 1,5 \times 30 \text{ cm} = \mathbf{3,41 \text{ cm}}$$

$$dB = \mathbf{3,41 \text{ cm (34,1mm)}}$$



### **Umbral de riego (UR) o déficit permitido de manejo (DPM)**

Como umbral de riego se consideró 0,35, Conociendo el valor de la lámina de agua bruta, se determinó la lámina de agua neta, para este caso se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Lámina de agua neta (dN)} = \text{dB} * \text{UR o DPM}$$

**Dónde:**

dB= Lámina de agua bruta

UR = umbral de riego, o DPM = déficit permitido de manejo.

$$\text{dN} = 3,41 \times 0,35 = \mathbf{1,19 \text{ cm (11,9 mm)}}$$

#### **3.2.5.3 Determinación del Requerimiento Hídrico del cultivo de la papa.**

El análisis de la evapotranspiración se realizó por el método de Blanney-Cridle y el método de campo propuesto por la FAO para medir precipitación efectiva.

Los datos meteorológicos que se necesitaron para la determinación de la evapotranspiración diaria por el método antes mencionado, se tomaron de la estación meteorológica de Palmar Grande, la cual está a 15 kilómetros aproximadamente en línea recta a Timboy. Los datos meteorológicos utilizados por este método para este análisis, son promedio de 20 años (período 1996 a 2016), los cuales fueron: Temperatura media, porcentaje de horas luz solar y precipitación observada.

**Cuadro 4.** Balance Hídrico del cultivo de la papa.

**Latitud Sud:** 21° 31' 53"

**Longitud Oeste:** 63° 26' 31"

**Altura m/s/n/m:** 460

<b>DATOS</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Sept.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>
Temp. Media °C	18,14	20,16	22,82	25,95	26,35
P (precipitación media mensual (mm))	1,80	5,44	4,30	10,01	16,91
P% (porcentaje horas luz)	7,75	8,04	8,13	8,85	8,88
Pe (Precipitación efectiva) (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
ETo (Evapotranspiración de ref.) (mm/mes)	127,11	139,34	150,81	176,73	178,95
Días del mes	31	31	30	31	30
Kc Papa miscka	0,00	0,41	0,78	1,15	0,75
ETc Papa miscka (mm/mes)	0,00	57,13	117,63	203,24	134,21
Rr (Requerimiento de riego) (mm/mes)	No Req.	57,13	117,63	203,24	134,06
Rr (Requerimiento de riego) (cm/día)	No Req.	0,18	0,39	0,66	0,45

Para determinar la frecuencia de riego, se realizó considerando la lámina de agua neta teórica calculada (dN) y la evapotranspiración del cultivo más crítica diaria (ETC) que es equivalente al requerimiento de riego por día (Rr/día) expresado en cm, tomando en cuenta el dato mayor o crítico que aparece dentro de los meses del ciclo del cultivo (Octubre), que es 0,66 cm/día, por lo tanto, se calculó por medio de la siguiente ecuación: **Fr = dN/ Rr crítico**

$$Fr = \frac{1,19cm}{0,66cm/día} = 1,82 = \mathbf{2 \text{ días}}$$

### 3.2.6 Diseño experimental

El diseño utilizado para realizar esta investigación fue el de bloques al azar (DBA), debido a que las condiciones en las que se realizó el experimento no eran homogéneas. La investigación se llevó a cabo con tres tratamientos consistentes en las láminas de riego y tres repeticiones por cada tratamiento.

En algunos experimentos las unidades experimentales no son homogéneas, es decir, algunas tienen características diferentes a las demás. Para eficientar el experimento las unidades experimentales se agrupan por su homogeneidad y a esos grupos se les aplican los tratamientos. Así se evalúa también el impacto del grupo de unidades llamado bloque. La varianza total se va a separar en tres varianzas, la de tratamientos, la de bloques y la del error.

#### Características del diseño

Las unidades experimentales se agrupan en  $r$  bloques. Se definen los  $t$  tratamientos que se van a aplicar a las  $n$  unidades experimentales. Las unidades experimentales de cada bloque se sortean para la asignación a cada tratamiento. Se define la variable a medir.

**Cuadro 5.** Esquema de los tratamientos, Unidades Experimentales, Repeticiones.

Factor	Tratamientos	Repeticiones	Unidades Experimentales	Variables Respuesta
Riego por Goteo	L1	3	9	Rendimiento Tamaño I (Tn/ha)
	L2			Rendimiento Tamaño II (Tn/ha)
	L3			Rendimiento Tamaño III (Tn/ha)
				Rendimiento Total (Tn/ha)

### **3.2.7 Modelo estadístico**

El modelo estadístico utilizado para determinar las diferentes variables es el siguiente:

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta del i-ésimo tratamiento y la j-ésima repetición.

U = Efecto de la media general.  $T_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento.

$B_j$  = Efecto del j-ésimo bloque.

$E_{ij}$  = Efecto del error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental.

### **3.2.8 Unidad Experimental**

#### **3.2.8.1 Parcela bruta del Diseño Experimental.**

La superficie de la unidad experimental es de 380,20 m<sup>2</sup>, teniendo un ancho de 13,20 m., y un largo de 28,80 m. Teniendo calles de acceso de 1,4 m entre tratamientos y un ancho de 1 m. al contorno de la unidad experimental.

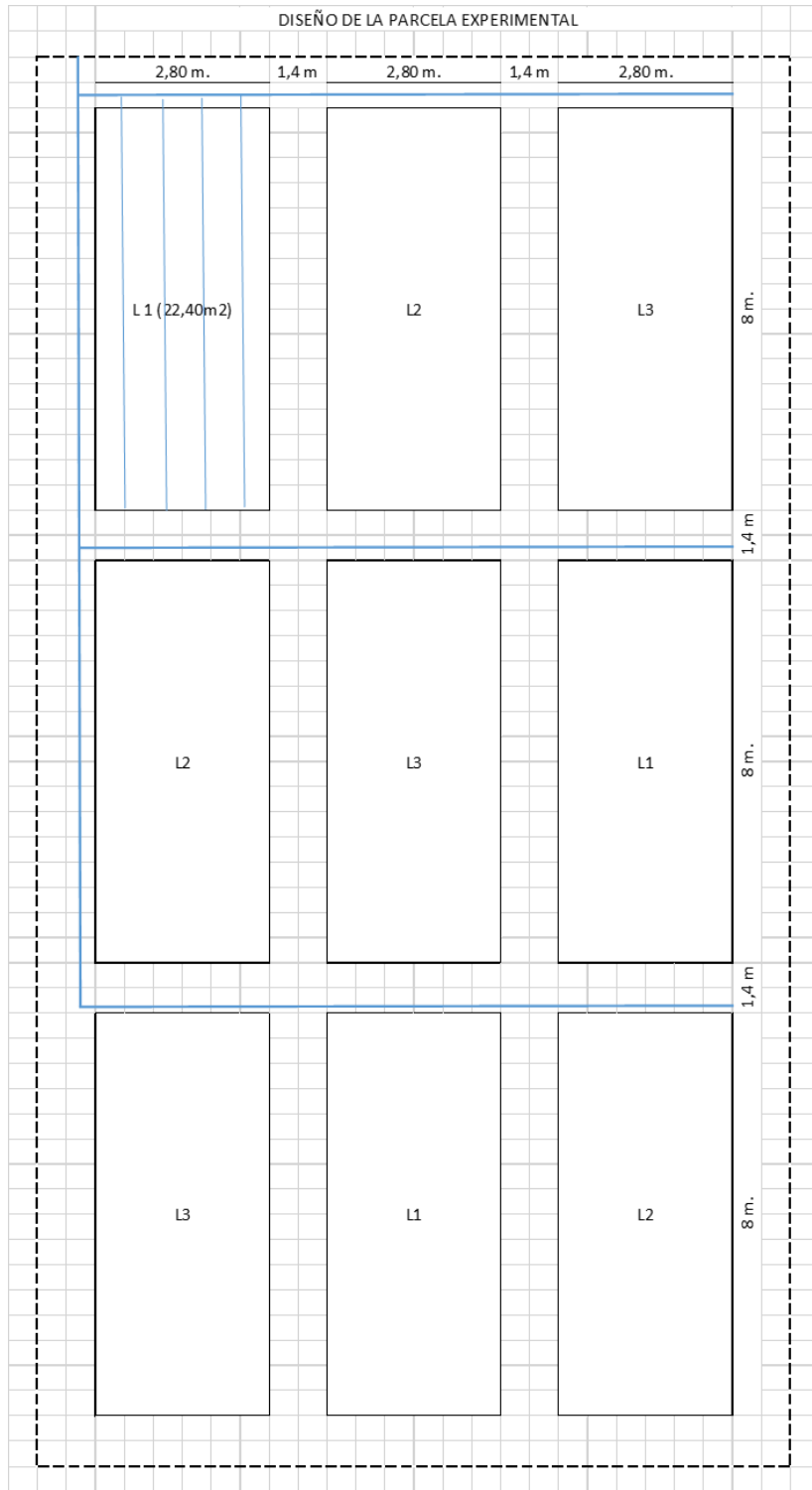
#### **3.2.8.2 Parcela bruta del Tratamiento.**

El área total fue de 22,4 metros cuadrados (m<sup>2</sup>) por tratamiento, la cual estuvo compuesta por 4 surcos distanciados a 0,70 m de ancho, para un largo total de 8 m, haciendo un total de 9 tratamientos con una superficie de 201,60 m<sup>2</sup>.

#### **3.2.8.3 Parcela neta evaluable.**

El área neta de tratamiento evaluable es de 8,4 m<sup>2</sup> por tratamiento, esta se obtuvo descartando los surcos laterales, y 1 m de los extremos de los surcos (efecto cabecera), quedando dos surcos de 6 m de longitud; siendo la parcela neta evaluable total de 75,6 m<sup>2</sup>.

### 3.2.9 Diseño de campo y distribución aleatoria de los tratamientos



**Figura 3.** Diseño de campo y distribución aleatoria de los tratamientos.

### 3.2.10 Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico de un sistema se entiende como la selección y el dimensionamiento de todos los equipos, piezas y estructuras que conforman la red de captación, conducción y distribución. (Hoogendam y Rios, 2008).

El método de riego empleado fue el de goteo, teniendo una frecuencia de riego cada dos días, aplicando las láminas correspondientes a cada tratamiento de acuerdo al cálculo realizado a través del análisis de laboratorio de suelos y la estación meteorológica de Palmar Grande de la Primera Sección de la Provincia Gran Chaco.

La instalación del sistema de riego fue a partir de un cabezal de riego tecnificado, derivado a una tubería de politubo de 2" en una extensión de 60 m., a partir de ello se redujo a una tubería de 1" para la instalación en la parcela; de los tres laterales que corresponde a los tratamientos, se instalaron los conectores de las cintas de goteo, los mismos estuvieron espaciados a cada 0,30 m con un caudal de descarga de 1,2 litros por hora.

El riego se inició a los 10 días de la siembra, concluyendo los riegos a 8 días antes de la cosecha haciendo un total de 36 riegos en todo el ciclo del cultivo.

**Cuadro 6.** Especificaciones de los tratamientos evaluados.

TRATAMIENTO	LÁMINA
T1	Lámina con un 15% abajo de la teórica calculada
T2	Lámina teórica calculada
T3	Lámina con un 15% arriba de la teórica calculada

T1 = Lámina con un 15% abajo de la teórica calculada = **1,01 cm (10,1 mm)**

T2 = Lámina teórica calculada = **1,19 cm (11,9 mm)**

T3 = Lámina con un 15% arriba de la teórica calculada = **1,37 cm (13,7 mm)**

Para conocer el tiempo de riego necesario para aplicar las láminas de riego de cada tratamiento fue necesario calcular la Intensidad de Aplicación (Iap) del sistema de riego.

$$I_{ap} = \frac{Q.\text{emisor}}{D.\text{entre manguera} \times D.\text{entre goteros}}$$

$$I_{ap} = \frac{1,2 \text{ L/h}}{0,7\text{m} \times 0,3\text{m}} = 5,71 \text{ L/h/m}^2 \text{ igual a decir } 5,71 \text{ mm/h} = 0,571\text{cm/h}$$

**Dónde:**

Q = L/hora.

Dm: Distancia entre mangueras (m).

Dg: Distancia entre goteros (m).

Cuando se determinó la precipitación del sistema, se procedió a calcular el tiempo de riego considerando un 90 % de eficiencia de aplicación (Ea) a través de la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{dN \text{ (cm)}/E_a}{I_{ap}}$$

**Cuadro 7.** Cálculo de tiempo de riego (Tr).

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>LÁMINA</b>	<b>CÁLCULO DE TIEMPO DE RIEGO (Tr)</b>
T1	1,01 cm	$((1,01 \text{ cm} / (0,9 * 0,571 \text{ cm/h})) = 1,97 \text{ h}$
T2	1,19 cm	$((1,19 \text{ cm} / (0,9 * 0,571 \text{ cm/h})) = 2,32 \text{ h}$
T3	1,37 cm	$((1,37 \text{ cm} / (0,9 * 0,571 \text{ cm/h})) = 2,67 \text{ h}$

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>LÁMINA</b>	<b>CÁLCULO DE TIEMPO DE RIEGO (Tr)</b>
T1	1,01 cm	1 h: 58 min
T2	1,19 cm	2 h: 19 min
T3	1,37 cm	2 h: 40 min

### **3.2.10.1 Diseño del cabezal de riego.**

El cabezal está constituido por varios equipos y accesorios que conjuntamente permiten regular el caudal, controlar la calidad del agua y generar la presión necesaria para la operación del sistema.

El cabezal del riego se encuentra conectado a la matriz del sistema de riego, a través de una tubería de PVC clase C-6 de 3”.

El cabezal en si está construido por tubería de PVC de 2” la cual consta, de un manómetro de ingreso para medir la presión de llegada de agua, alcanzando una presión de 2,6 bares, continua un sistema de fertirrigacion (Venturi), una válvula de control para regular la presión del agua para el riego por goteo a la parcela de estudio, un filtro de anillas con el fin de evitar la obstrucción de los goteros, un manómetro de control de presión de salida, el cual se reguló para el riego a 0,5 bares y por último se tiene una válvula purga aire, esto para purgar el aire que existe en el sistema de riego de la parcela de estudio.



### **3.2.11 Manejo del experimento.**

Para la implantación de las parcelas experimentales, se utilizó, la siguiente tecnología:

Semilla de papa variedad Desiree, categoría certificada, tamaño II.

La siembra se la realizo en distanciamientos de s/s 0,70 m., p/p 0,35 m., profundidad de siembra 0,12m., con un nivel de fertilización de 90-100-00, en cuanto a las labores destinadas al cultivo de papa, tanto manejo fitosanitario, control de malas hierbas, manejo nutricional, labores culturales y cosecha, se realizó de acuerdo al desarrollo fenológico de la planta y la presencia de plagas y enfermedades, con la variante de la aplicación de láminas de riego de acuerdo a la descripción de los tratamientos. Los muestreos se tomaron en el momento de la cosecha y se tomaron los datos de rendimiento que se evaluaron.

#### **3.2.11.1 Fertilización.**

Para la fertilización en el cultivo de la papa se consideró el nivel 90-100-00, (Fuente PROSEMPA); La fertilización se hizo por medio de los siguientes productos: 18-46-00 y 46-00-00 (aplicación en el momento de la siembra el total del fertilizante 18-46-00), la segunda aplicación se lo realizó en el momento del aporque (30 días de la siembra, con el fertilizante 46-00-00).

#### **3.2.11.2 Control de malezas.**

El control de malezas se llevó a cabo en forma manual, con el apoyo de una pala recta. Las malezas más comunes presentes en el cultivo fueron la verdolaga (*Portulaca oleracea*), saitilla (*Bidens pilosa*) por la ausencia de las lluvias y riego por gravedad, se tuvo muy poco ataque de malezas, los cuales fueron controlados de manera rápida.

### **3.2.11.3 Manejo fitosanitario.**

Por la temporada de la siembra no se tuvo mucho problema sanitario siendo las plagas presentes el pulgón verde (*Myzus persicae*), pulga saltona (*Epitrix cucumeris*), entre las enfermedades se tuvo la presencia del pasmo amarillo (*Alternaria solani*) en el final del ciclo del cultivo.

El control de las diferentes plagas y enfermedades se lo realizó con el primer tratamiento con Rogor plus (Dimetoato 40%) más aceite mineral, el segundo tratamiento se lo realizó con Lorsban plus (clorpirifós: 500 g/L cipermetrina: 50 g/L) más aceite mineral, el tercer tratamiento se lo realizó con Rogor plus (Dimetoato 40%) más aceite mineral, más Coraza (Dimethomorph + Mancozeb, 90 + 600 g/kg).

### **3.2.11.4 Cosecha y registro de datos.**

La cosecha consistió en el cavado manual del cultivo, para efectos de toma de datos, solo se realizó el cavado de los dos surcos centrales y dando un metro al inicio y otro metro al final del surco como efecto de surco, siendo la unidad experimental de solamente 8,40 m<sup>2</sup>, los datos se fueron tabulando para la interpretación en el diseño experimental.

Posterior a la cosecha se procedió a la clasificación y pesado de los tubérculos teniendo en cuenta los Tamaños I, II y III.

### **3.2.12 Variables respuesta.**

#### **3.2.12.1 Rendimiento Tamaño I (Tn/ha).**

Después del cavado de cada unidad experimental, se procedió a la clasificación y después al pesado de las mismas, siendo el tamaño I, de 9 a 11 cm con un peso que va de 80 a 100 gramos por tubérculo.

#### **3.2.12.2 Rendimiento Tamaño II (Tn/ha).**

Se procedió a la clasificación y después al pesado de las mismas, siendo el tamaño II de 7 a 9 cm con un peso que va de 60 a 80 gramos por tubérculo.

### **3.2.12.3 Rendimiento Tamaño III (Tn/ha).**

Se procedió a la clasificación y después al pesado de las mismas, siendo el tamaño III de 5 a 7 cm con un peso que va de 40 a 60 gramos por tubérculo.

### **3.2.12.4 Rendimiento Total (Tn/ha).**

La suma de todos los tamaños es el rendimiento total.

### **3.2.13 Análisis Estadístico.**

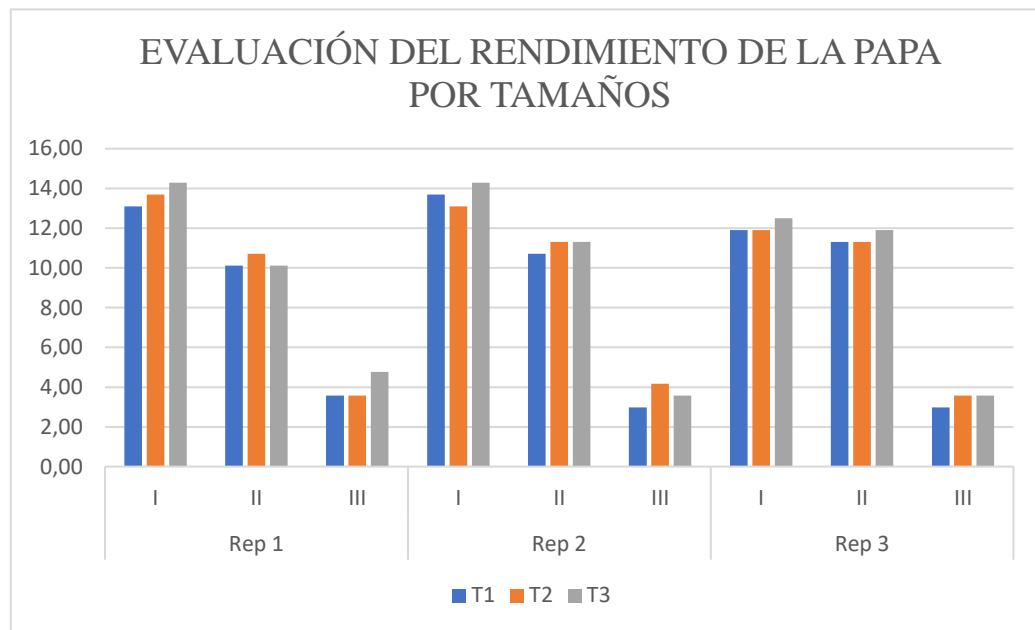
Para el análisis estadístico, se empleó el procedimiento ANDEVA para el análisis de varianza; Se buscó en las tablas de la distribución F, con tablas de Fisher (0,05).

**CAPÍTULO IV**  
**4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1.1 Evaluación del Rendimiento de la Papa por Tamaños

Después del cavado de cada unidad experimental, se procedió a la clasificación y después al pesado de las mismas, siendo el tamaño I, de 9 a 11 cm; el tamaño II, de 7 a 9 cm; el tamaño III, de 5 a 7 cm.



**Figura 4.** Evaluación del rendimiento del cultivo de la papa por tamaños I, II y III.

#### 4.1.1.1 Rendimiento Tamaño I (Tn/ha).

**Cuadro 8.** Análisis de varianza (ANDEVA) para la variable rendimiento Tamaño I en Tn/ha.

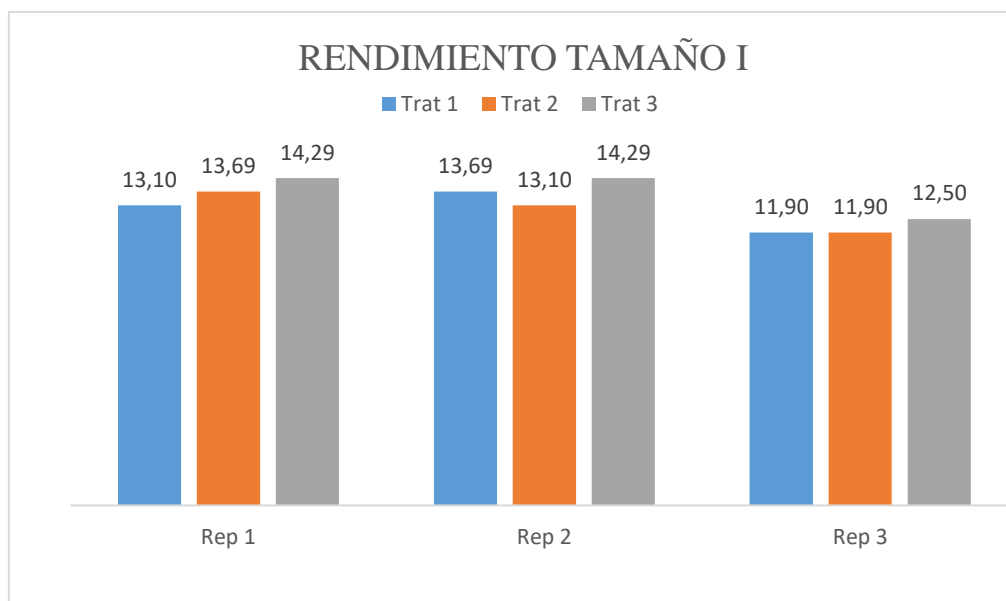
Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	Tablas de Distribución F 0,05%
<b>Tratamientos</b>	2	1,26	0,63	6,40	6,94
<b>Bloques</b>	2	5,04	2,52	25,60	6,94
<b>Error</b>	4	0,39	0,10		
<b>Total</b>	8	6,69			

**ns** = No hay significancia estadística entre los tratamientos

Coefficiente de Variación % (CV%) = 6,95%.

Los resultados obtenidos para esta variable que se muestra en el Cuadro 8; demuestran que, estadísticamente las láminas se presentaron iguales en el análisis de varianza, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos; debido a la uniformidad del suelo en todo el área del diseño experimental, como la textura y fertilidad del suelo, así mismo todas las labores agronómicas realizadas fueron similares para los tratamientos, favoreciendo en buena parte a las tres fases fenológicas de la planta que son: vegetativa, floral y fructificación (tuberización). En cuanto a la confiabilidad de los resultados para esta variable en función del manejo del experimento se considera BUENA, ya que se obtuvo un valor de coeficiente de variación del 6,95%.

En la Figura 5, se puede apreciar los diferentes valores de rendimiento Tamaño I en Tn/ha, que dio como resultado la evaluación de tres láminas de riego por goteo en el cultivo de la papa.



**Figura 5.** Rendimiento Tamaño I en Tn/ha de los diferentes tratamientos evaluados.

#### 4.1.1.2 Rendimiento Tamaño II (Tn/ha).

**Cuadro 9.** Análisis de varianza (ANDEVA) para la variable rendimiento Tamaño II en Tn/ha.

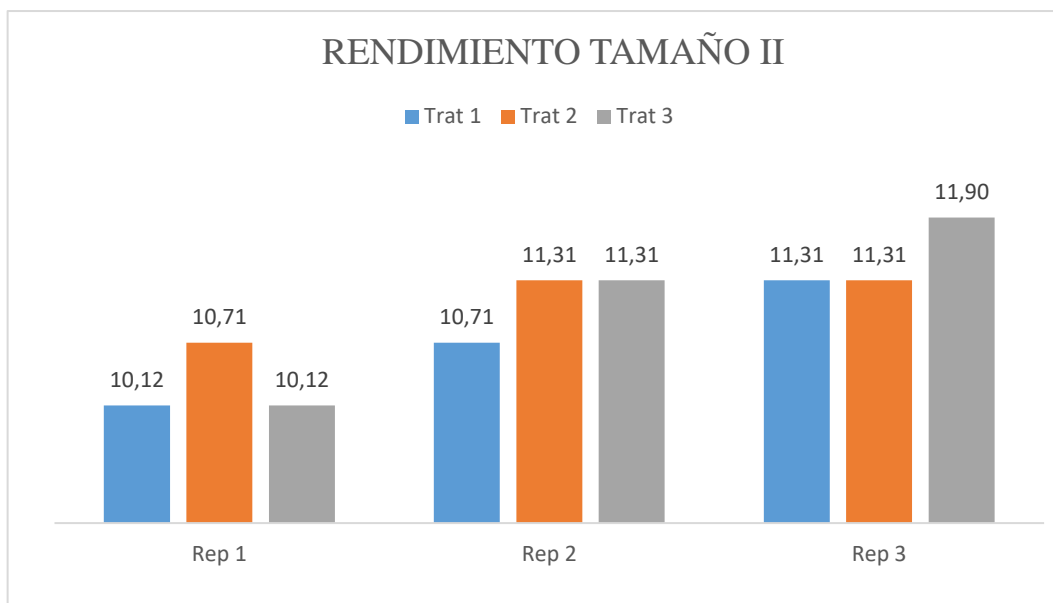
Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	Tablas de Distribución F 0,05%
<b>Tratamientos</b>	2	0,31	0,16	1,60	6,94
<b>Bloques</b>	2	2,20	1,10	11,20	6,94
<b>Error</b>	4	0,39	0,10		
<b>Total</b>	8	2,91			

**ns** = No hay significancia estadística entre los tratamientos

Coefficiente de Variación % (CV%) = 5,50%

Los resultados obtenidos para esta variable que se muestra en el Cuadro 9; demuestran que, estadísticamente las láminas se presentaron iguales en el análisis de varianza, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos; debido a la uniformidad del suelo en todo el área del diseño experimental, como la textura y fertilidad del suelo, así mismo todas las labores agronómicas realizadas fueron similares para los tratamientos, favoreciendo en buena parte a las tres fases fenológicas de la planta que son: vegetativa, floral y fructificación (tuberización). En cuanto a la confiabilidad de los resultados para esta variable en función del manejo del experimento se considera BUENA, ya que se obtuvo un valor de coeficiente de variación del 5,50%.

En la Figura 6, se puede apreciar los diferentes valores de rendimiento Tamaño II en Tn/ha, que dio como resultado la evaluación de tres láminas de riego por goteo en el cultivo de la papa.



**Figura 6.** Rendimiento Tamaño II en Tn/ha de los diferentes tratamientos evaluados.



#### 4.1.1.3 Rendimiento Tamaño III (Tn/ha).

**Cuadro 10.** Análisis de varianza (ANDEVA) para la variable rendimiento Tamaño III en Tn/ha.

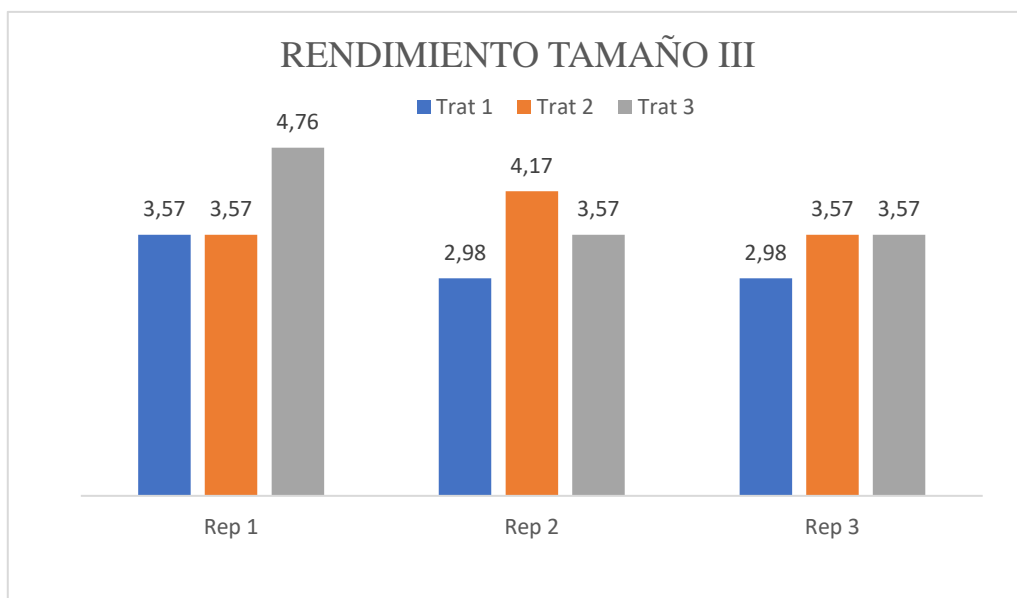
Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	Tablas de Distribución F 0,05%
Tratamientos	2	1,02	0,51	2,36	6,94
Bloques	2	0,55	0,28	1,27	6,94
Error	4	0,87	0,22		
Total	8	2,44			

**ns** = No hay significancia estadística entre los tratamientos

Coefficiente de Variación % (CV%) = 15,18%

Los resultados obtenidos para esta variable que se muestra en el Cuadro 10; demuestran que, estadísticamente las láminas se presentaron iguales en el análisis de varianza, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos; debido a la uniformidad del suelo en todo el área del diseño experimental, como la textura y fertilidad del suelo, así mismo todas las labores agronómicas realizadas fueron similares para los tratamientos, favoreciendo en buena parte a las tres fases fenológicas de la planta que son: vegetativa, floral y fructificación (tuberización). En cuanto a la confiabilidad de los resultados para esta variable en función del manejo del experimento se considera ACEPTABLE, ya que se obtuvo un valor de coeficiente de variación del 15,18%.

En la Figura 7, se puede apreciar los diferentes valores de rendimiento Tamaño III en Tn/ha, que dio como resultado la evaluación de tres láminas de riego por goteo en el cultivo de la papa.



**Figura 7.** Rendimiento Tamaño III en Tn/ha de los diferentes tratamientos evaluados.

#### 4.1.2 Rendimiento Total (Tn/ha).

**Cuadro 11.** Análisis de varianza (ANDEVA) para la variable rendimiento Total en Tn/ha.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	Tablas de Distribución F 0,05%
Tratamientos	2	5,91	2,95	50,00	6,94
Bloques	2	3,07	1,54	26,00	6,94
Error	4	0,24	0,06		
Total	8	9,21			

ss = Si hay significancia estadística entre los tratamientos

Coefficiente de Variación % (CV%) = 3,86%

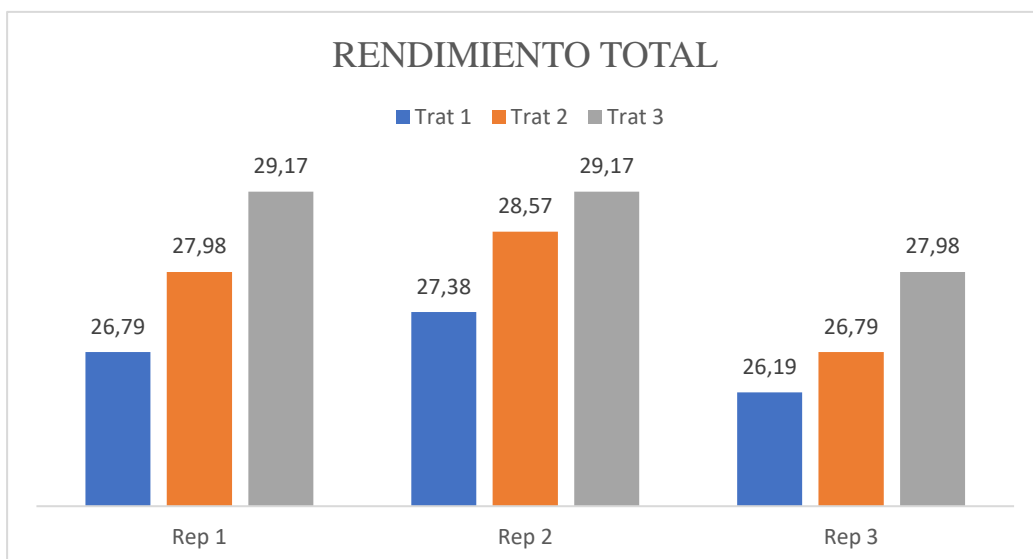
Los resultados obtenidos para esta variable, que se muestra en el Cuadro 11; se demuestra que, si hubo diferencia significativa entre los tratamientos, debido a que el rendimiento total es la sumatoria de los rendimientos de los

tamaños I, II y III, por cuanto en cada uno de los tamaños se pudo observar pequeñas diferencias de rendimientos; se puede evidenciar que el T3, (1,37 cm), lamina con un 15% arriba de la teórica calculada, cuenta con el rendimiento más alto frente a los otros tratamientos, esto debido a :

- Época de siembra (miscka)
- Textura del suelo Franco Arenoso
- Altas temperaturas
- Baja a nula precipitación
- Fuertes vientos

En cuanto a la confiabilidad de los resultados para esta variable en función del manejo del experimento se considera BUENA, ya que se obtuvo un valor de coeficiente de variación del 3,86%.

En la Figura 8, se puede apreciar los diferentes valores de rendimiento Total en Tn/ha, que dio como resultado la evaluación de tres láminas de riego por goteo en el cultivo de la papa.



**Figura 8.** Rendimiento Total en Tn/ha de los diferentes tratamientos evaluados.

#### 4.1.3 Determinación del Requerimiento hídrico en el cultivo de la papa

**Latitud Sud:** 21° 31' 53"

**Longitud Oeste:** 63° 26' 31"

**Altura m/s/n/m:** 460

<b>DATOS</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Sept.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>
ETC Papa miscka (mm/mes)	0,00	57,13	117,63	203,24	134,21
Rr (Requerimiento de riego) (mm/mes)	No Req.	57,13	117,63	203,24	134,06
Rr (Requerimiento de riego) (cm/día)	No Req.	0,18	0,39	0,66	0,45

**Figura 9.** Requerimiento hídrico del cultivo de la papa.

Para determinar la evapotranspiración real o del cultivo (ETc), se multiplicó, la evapotranspiración (ETo) por el Coeficiente del cultivo (Kc); luego para determinar el requerimiento de riego se restó la ETc por la precipitación efectiva mensual (Pe), es así como se determinó el requerimiento hídrico del cultivo de la papa, siendo el mes más crítico el de octubre, donde el cultivo necesita una cantidad de riego de 203,24 mm/mes o (0,66 cm/día).

## **CAPÍTULO V**

### **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 CONCLUSIONES

- El rendimiento total, fue influenciado por las láminas de riego evaluadas, los resultados obtenidos demuestran que sí hubo diferencia estadísticamente entre las láminas en el análisis de varianza, el T3 (1,37 cm), lamina con un 15% arriba de la teórica calculada, fue el que presentó los rendimientos más altos, por lo tanto, se descarta la hipótesis planteada.
- Los rendimientos según la clasificación por tamaños I, II y III, no presentaron diferencias significativas, demostraron estadísticamente que las láminas se presentaron iguales en el análisis de varianza, por lo tanto, se descarta la hipótesis planteada.
- Se determinó el requerimiento hídrico del cultivo de la papa, siendo el mes más crítico el de octubre, donde el cultivo necesita una cantidad de riego de 203,24 mm/mes o (0,66 cm/día). También se calculó la frecuencia de riego que es de 2 días.
- El análisis físico del suelo permitió encontrar la lámina teórica calculada, que fue  $dN = 1,19$  cm (11,9 mm) y del análisis químico del agua pudimos demostrar que la muestra de la misma está entre los valores normales de agua para riego, como también se evidencio según la concentración de sales el grado de restricción para su uso, que dio como resultado, el grado de restricción “Ninguno”.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los productores de papa de la comunidad de Timboy, utilizar la lámina de riego de 1,37 cm, tratamiento tres, con una frecuencia de riego de dos días, para incrementar el rendimiento en toneladas por ha. Esta recomendación es siempre y cuando se siga utilizando agua para riego de la quebrada Timboy la cual se demostró que es recomendable y se cuente con un sistema de riego por goteo, con las características del que se utilizó en el presente estudio.
- Se recomienda para futuras investigaciones en la comunidad Timboy, utilizar el T3, 1,37 cm, lámina con un 15% de la teórica calculada, con distintas variedades de papa.