

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna se enfrenta constantemente a desafíos relacionados con la disponibilidad y eficiencia del agua en la producción de frutales. Una de las soluciones innovadoras que se han desarrollado en los últimos años es el uso de hidrogeles como retenedores de humedad en el suelo.

La producción de manzanos es una actividad agrícola que enfrenta retos significativos en términos de manejo del agua y el mantenimiento de condiciones adecuadas de humedad en el suelo. En esta situación, la utilización de hidrogel como agentes retenedores de humedad se ha convertido en una solución innovadora y promisoría para aumentar la eficacia en la utilización del agua en el cultivo de manzanas. En suelos que poseen poca retención de humedad y zonas con bajas precipitaciones.

Los hidrogeles son materiales poliméricos capaces de retener grandes cantidades de agua y liberarla lentamente a medida que las plantas la necesitan. Esta tecnología ha demostrado ser efectiva para mantener la humedad del suelo y reducir el estrés hídrico en los manzanos, lo que puede resultar en un mejor crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Algunos estudios muestran que los hidrogeles reducen la erosión del suelo, disminuyen la pérdida de nutrientes por lixiviación y tienen la capacidad de liberarlos gradualmente, permitiendo que las plantas dispongan de una reserva de nutrientes y agua, de acuerdo con la función de los ciclos de absorción-liberación.

1.1 Planteamiento del Problema

En la comunidad de Guayabillas, los agricultores enfrentan desafíos y dificultades en la producción de manzanos. Zona con una precipitación anual de 724mm y una evapotranspiración anual en la manzana de 917mm, existe un déficit hídrico de 193mm a pesar de contar con agua durante todo el año, no abastece para los diferentes cultivos agrícolas debido a los patrones de precipitación cambiantes a causa del cambio climático, mal uso de gestión integral del agua y malas prácticas de riego. Afectando al desarrollo de los cultivos como también al impacto económico de la comunidad.

1.1 Justificación

La razón por la que se realizará esta investigación, es porque en la comunidad de Guayabillas a pesar de contar con agua de riego durante todo el año, no abastece para los diferentes cultivos que cuentan los comunarios de esa zona limitándose el riego, tanto así, que los productores dejaron de producir los frutales de manzano, durazno, pera, ciruela en grandes extensiones. Esta tecnología de hidrogel ofrece un suministro constante de humedad en el suelo para las plantas, lo que puede extender la frecuencia de riego, aumentando el rendimiento de los cultivos y garantizar su crecimiento saludable incluso en condiciones de escasez de agua.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar la retención de humedad del Hidrogel mediante porcentajes de humedad en diferentes texturas de suelo, en la plantación del manzano (*Malus domestica* Borkh) en la comunidad de Guayabillas en el municipio de Padcaya del departamento de Tarija.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Medir y comparar el porcentaje de humedad del suelo en las parcelas con y sin aplicación de hidrogel.
- Evaluar el crecimiento de las plantas del manzano en las parcelas con y sin hidrogel, considerando parámetros como altura, número de brotes nuevos.
- Determinar las potencialidades del suelo y los requerimientos hídricos del cultivo del manzano.

1.3 Hipótesis

El uso del hidrogel en el sistema de riego por goteo de los cultivos del manzano aumentará significativamente la retención de humedad en el suelo, promoviendo un mejor desarrollo de las plantas, medida a través de variables como la altura de las plantas, crecimiento de nuevo brotes y reduciendo la frecuencia de riego.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2 MARCO TEÓRICO

2.1 El Hidrogel

El hidrogel es un polímero absorbente llamada también hidrogel de potasio o poliacrilato tiene la capacidad de absorber soluciones acuosas al formar enlaces de hidrógeno con moléculas de agua hasta 500 veces su tamaño. El hidrogel reduce la pérdida de nutrientes, libera agua y nutrientes con el tiempo (manteniendo el suelo húmedo) (Angulo, 2022).

Su aplicación en las cantidades adecuadas a cultivos como hortalizas o frutales en agricultura comercial reduce la aplicación de agua y nutrientes y aumenta la productividad, pero puede ser contraproducente en agricultura al aire libre por el exceso de humedad en la rizosfera provocado por la presencia de lluvia, que pueden aumentar la presencia de microorganismos patógenos. También es un producto biodegradable, ya que las bacterias *Bacillus* degradan el gel significativamente en 7 meses, aunque puede ser colonizado por bacterias fitopatógenas como *Phytophthora* y *Rhizoctonia solani* (Angulo, 2022).

El Hidrogel optimiza el consumo de agua de forma específica en el sector agrícola, produciendo un impacto positivo para el ambiente llegando a ser considerado como un producto agro-sostenible mejorando el rendimiento de los cultivos sin perjudicar el medio donde se lo aplica, con una visión a futuro podría llegar a solucionar a nivel mundial la escasez de agua para regadío en especial en cultivos secano (Estrada, 2022).

2.1.1 Origen del Hidrogel

Si bien el primer hidrogel fue sintetizado en laboratorio durante el año 1938 por W. Kern, no fue hasta 1974 que se llevó al mercado en Estados Unidos una primera versión comercial de hidrogel con fines agrícolas, que fracasó por el precio, difícil aplicación y poca capacidad absorbente. Pero desde esos años revolucionaron varios mercados gracias a los avances de la ciencia con el uso de los hidrogeles, tales como la oftalmología, la cosmética, la higiene personal, entre otras (Estrada, 2019).

2.1.2 Importancia del Hidrogel en la Agricultura

Existen indicios de que pueden contribuir a mitigar problemas relacionados con la sequía en la agricultura; no obstante, se deben combinar con otras tecnologías más

sostenibles y accesibles para todo tipo de agricultor. El hidrogel reduce la cantidad y frecuencia de la aplicación de los riegos en los frutales y cereales como el maíz, por lo que la aplicación de hidrogel y materia orgánicas que tienen que realizar para tener una mayor rentabilidad. En ese sentido, es muy importante realizar estudios de costo beneficio de cada cultivo, ya que la rentabilidad dependerá del precio del producto en el mercado (Angulo, 2022).

2.1.3 Hidrogel en los Frutales

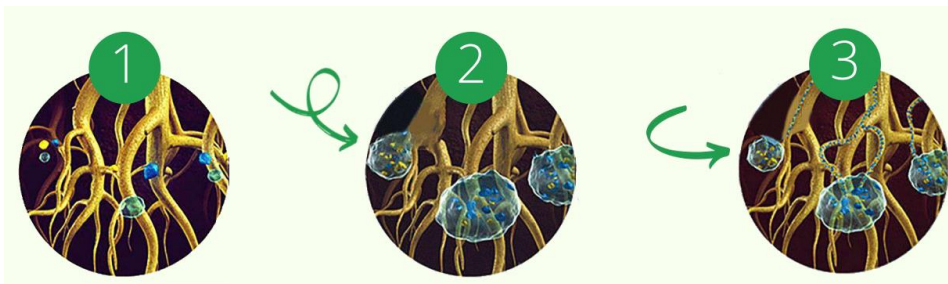
El uso del hidrogel en frutales no solo representa una alternativa sostenible para la gestión del agua, sino que también contribuye a la salud del suelo y al desarrollo óptimo de los cultivos, fortalecer las plantas y proteger el medio ambiente. En frutales, el hidrogel aumenta la eficiencia del riego, mejora el desarrollo de las raíces, reduce la erosión del suelo y disminuye el estrés por sequía. Se puede aplicar al suelo en forma de gránulos o polvo, tanto al momento de la siembra o trasplante como alrededor de las plantas ya establecidas (CONANP, 2020).

2.1.4 Función del Hidrogel en los Frutales

El hidrogel, un polímero que opera en los frutales a través de diversos mecanismos que impactan positivamente en su desarrollo y productividad (Cárdenas, 2020).

El agua retenida por el hidrogel se libera gradualmente a las plantas a medida que la necesitan, ya que actúa como una reserva de agua disponible, también crea un microambiente favorable para el crecimiento de las raíces, aumentando la absorción de nutrientes debido a que el hidrogel retiene los nutrientes en la zona de las raíces, facilitando su acceso por parte de las plantas y desarrollando las raíces con mejor desarrollo, más fuertes y resistentes a condiciones de estrés como sequía, salinidad y temperaturas extremas. (FAO, 2018).

Figura N°1. Funcionamiento del hidrogel en las raices.



Fuente. PlusAgro

2.1.5 Propiedades

Las propiedades de un hidrogel dependen de su estructura molecular y del proceso de síntesis utilizado para fabricarlo. Además, el hinchamiento de los hidrogeles puede dar lugar a otras propiedades, como su contenido de agua, porcentaje de contenido de agua, peso hidratado, grado de hinchamiento, estabilidad dimensional, humectabilidad y permeabilidad (Rodríguez, 2006).

2.2 Características Físicas y Químicas

Los hidrogeles son geles poliméricos hidrofílicos formados por una red tridimensional que tiene la capacidad de absorber una gran cantidad de agua, hinchándose y aumentando considerablemente su volumen sin perder su forma, hasta alcanzar su máximo grado de hidratación o índice de hinchamiento (Rodríguez, 2006).

Figura N°2. Hidrogel en seco e hidratado



Fuente. SociELO

2.2.1 Características químicas.

El hidrogel agrícola, también conocido como polímero hidro absorbente, es un material que tiene la capacidad de retener grandes cantidades de agua en su estructura molecular y tiene estas características químicas (Ochoa, 2018):

2.2.1.1 Composición.

Los hidrogeles agrícolas son polímeros reticulados, generalmente de origen natural o sintético, con una alta capacidad de absorción de agua. Algunos ejemplos de hidrogeles agrícolas comunes son (FAO, 2018):

- Poliacrilamida (PAM): Es un polímero sintético de bajo costo y alta capacidad de absorción de agua.
- Alginato: Es un polisacárido natural derivado de algas marinas.
- Quitosano: Es un polisacárido natural derivado de exoesqueletos de crustáceos.
- Hidrogel de celulosa: Se obtiene a partir de la celulosa, un componente natural de las plantas.

2.2.1.2 Grupos funcionales.

Los hidrogeles agrícolas contienen grupos funcionales hidrófilos, como -OH, -COOH, -CONH₂ y -SO₃H, que atraen y retienen el agua.

2.2.1.3 pH.

El pH de los hidrogeles agrícolas puede variar según su composición. Algunos hidrogeles son neutros, mientras que otros son ácidos o básicos.

2.2.1.4 Carga iónica.

Los hidrogeles agrícolas pueden tener una carga iónica positiva, negativa o neutra.

2.2.2 Características físicas

El hidrogel tiene la capacidad de almacenar el doble o el triple de volumen de agua respecto a su peso, tiene unas características físicas como (FAO, 2018):

- **Apariencia.** Los hidrogeles agrícolas pueden ser transparentes, opacos o de color.
- **Textura.** Los hidrogeles agrícolas pueden ser blandos, duros o gelatinosos.

- **Densidad.** La densidad de los hidrogeles agrícolas varía según su composición
- **Solubilidad.** Los hidrogeles agrícolas son insolubles en agua, pero se hinchan y absorben grandes cantidades de agua.
- **Permeabilidad.** Los hidrogeles agrícolas son permeables al agua y a otras moléculas pequeñas.
- **Biodegradabilidad.** Los hidrogeles agrícolas pueden ser biodegradables o no biodegradables.

2.3 Usos

Los cristales de hidrogel se pueden utilizar en cualquier aplicación que requiera retención de agua. Su uso principal en la agricultura es para ahorrar agua en la agricultura, para lograr la retención de agua para ahorrar tiempo y costo de riego. Hidrogel es adecuado para macetas pequeñas, mantenimiento de raíces y grandes superficies (Alquera, 2021).

2.4 Ventajas y Desventajas

2.4.1 Ventajas

Con la aplicación del hidrogel obtienes las siguientes ventajas (Alquera, 2021):

- **Disminución de la erosión del suelo.** El hidrogel ayuda a mantener el suelo en su sitio, lo que reduce la erosión, es especialmente útil en terrenos con pendiente
- **Mayor eficiencia en el uso de fertilizantes.** El hidrogel ayuda a retener los fertilizantes en el suelo, lo que reduce la cantidad necesaria, pueden evitar las pérdidas por lixiviación. También puede reducir la contaminación del agua.
- **Facilidad de uso.** El hidrogel es fácil de aplicar y no requiere maquinaria especial, se puede usar en seco e hidratado. También se puede aplicar en cualquier tipo de suelo.
- **Otras ventajas.** El hidrogel puede ayudar a mejorar la aireación del suelo. Puede aumentar la capacidad de retención de nutrientes del suelo.

2.4.2 Desventajas

Los resultados negativos ocurren generalmente porque se ignoran variables técnicas, que son necesarias de considerar antes de aplicar cualquier hidrogel a un suelo usado para fines agrícolas (FAO, 2018):

- **Costo.** Los hidrogeles agrícolas pueden ser costosos, especialmente en comparación con métodos tradicionales de riego y manejo del suelo. El costo puede variar dependiendo del tipo de hidrogel, la cantidad necesaria y el método de aplicación.
- **Eficacia a Largo Plazo.** La eficacia del hidrogel puede disminuir con el tiempo, lo que requiere aplicaciones repetidas para mantener sus beneficios.
- **Impacto Ambiental.** Algunos hidrogeles agrícolas no son biodegradables y pueden persistir en el medio ambiente durante un largo tiempo. Esto puede tener un impacto negativo en la calidad del suelo y el agua.
- **Efectos en la Salud.** Se han realizado investigaciones limitadas sobre los posibles efectos en la salud del uso de hidrogeles agrícolas. Se necesita más investigación para determinar si existe algún riesgo para la salud humana o animal.

2.5 Dosificación

Los hidrogeles para la cosecha de lluvia tienen la capacidad de absorber hasta 500 veces su volumen y retener 375 veces su peso en agua, lo que les permite tener una disponibilidad de agua del 95% al 97%. Además, tienen una vida útil de 5 años. El fabricante recomienda dosis de 160-180 gr/árbol en nuevas plantaciones en frutales y árboles grandes con riego 260-360 gr/árbol. Árboles grandes sin riego 300-400 gr/árbol de hidrogel, dependiendo del tipo de suelo, cultivo y clima. Sin embargo, la dosificación depende bastante del tipo de suelo y las condiciones climáticas de la zona (Alquera, 2021).

2.6 Descripción de la Planta

2.6.1 Manzano

El manzano es un árbol frutal caducifolio, lo que significa que pierde sus hojas en otoño y las vuelve a brotar en primavera., originario de Asia Central y Europa. Se ha cultivado durante miles de años y su fruto es una de las frutas más populares del mundo.

(Colque, 2012)

2.6.2 Importancia del Cultivo

Por su importancia como cultivo básico, la manzana contiene antioxidantes, vitaminas A, C y E, así como del grupo B; minerales como potasio, calcio y fibra soluble. Las propiedades de la manzana son muchas, entre ellas: acción antiinflamatoria, hidratante, diurética, digestiva, laxante y astringente. (2000Agro, 2018)

2.6.3 Clasificación Taxonómica

Reino	Vegetal
Phylum	Telemophytae
División	Tracheophytae
Sub división	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Sub clase	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo	Archichlamydeae
Grupo de Ordenes	Corolinos
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Sub familia	Pomoideae
Nombre científico	<i>Malus domestica</i> Borkh.
Nombre común	Manzano

Fuente: (Herbario Universitario (T.B.), 2023)

2.6.4 Características Botánicas

Es un árbol que alcanza como máximo 10 m. de altura y tiene una copa globosa. Tronco derecho que normalmente alcanza de 2 a 2,5 m. de altura, con corteza cubierta de lenticelas, lisa, adherida, de color ceniciento verdoso sobre los ramos y escamosa y gris pardo sobre las partes viejas del árbol. Es formado por hibridación de especies silvestre, se puede encontrar cultivado en muchas partes del mundo y algunas veces asilvestrado (Botanical, 2020).

2.7 Plagas y Enfermedades en el Manzana

2.7.1 Plagas

Una plaga se refiere a una población de organismos vivos que causan daño o molestias a los árboles de manzana o a sus frutos (Syngenta, 2023).

Tabla N°1. Descripción de plagas que afectan el cultivo de manzana

Nombre común	Nombre científico	Daños	Control
Mosca de la fruta	<i>Drosophila melanogaster</i>	Las larvas perforan la manzana, causando pudrición y caída prematura del fruto.	Trampas adhesivas, control de hospederos, insecticidas específicos.
Pulgón verde	<i>Aphididae</i>	Debilita la planta al succionar la savia, produce deformación de hojas y frutos.	Jabón potásico, insecticidas orgánicos, enemigos naturales como mariquitas.
Araña roja	<i>Tetranychus urticae</i>	Debilita la planta al succionar la savia, produce decoloración y manchas en las hojas, defoliación y reducción de la producción.	Acariciadas, insecticidas específicos, enemigos naturales como las mariquitas.
Gusano o polilla	<i>Cydia pomonella</i>	Las larvas permanecen dentro las manzanas, creando galerías y pudrición interna.	Trampas de feromonas, <i>Bacillus thuringiensis</i> , insecticidas específicos.

Pájaros		Comen los frutos, especialmente en época de maduración.	Mallas de protección, espantapájaros, repelentes naturales
---------	--	---	--

Fuente: Gipuzkoa, 2023

2.7.2 Enfermedades

Una enfermedad se refiere a una condición anormal del árbol de manzana causada por un patógeno como un hongo, bacteria o virus (Gipuzkoa, 2023).

Tabla N°2. Descripción de enfermedades que afectan el cultivo de manzana

Nombre común	Nombre científico	Daños	Control
Viruela	<i>Venturia inaequalis</i>	Manchas en las hojas y frutos, deformación de los frutos, reducción de la calidad y tamaño del fruto.	Eliminación de tejido afectado, control de vectores como pulgones, uso de variedades resistentes.
Podredumbre gris	<i>Botrytis cinerea</i>	Afecta flores, frutos y brotes, pudrición de color gris y textura algodonosa.	Fungicidas específicos, control de la humedad, eliminación de frutos afectados.
Oídio	<i>Podosphaera leucotricha</i>	Manchas blancas polvorrientas en hojas y brotes, debilita la planta y reduce la fotosíntesis.	Fungicidas azufrados, fungicidas sistémicos, prácticas culturales como buena ventilación y eliminación de tejido afectado.
Tizón del manzano	<i>Erwinia amylovora</i>	Manchas en hojas y frutos, defoliación, reducción de la calidad y tamaño del fruto.	Fungicidas cúpricos, fungicidas sistémicos, prácticas culturales como poda y eliminación de hojas afectadas.
Chancro	<i>Nectria galligena</i>	Heridas en la corteza, canchros y muerte de ramas.	Poda de ramas afectadas, fungicidas cúpricos, prevención de heridas en la corteza.

Fuente: Gipuzkoa, 2023

2.8 Características de la Variedad Princesa

Las características son las siguientes (FAUTAPO, 2023):

2.8.1 Árbol

Esta variedad presenta un nivel de vigor moderado, con un crecimiento vertical y una tendencia a producir rebrotes en la base de las ramas principales. Los brotes que produce son de tamaño mediano a pequeño, con entrenudos cortos. Además, se caracteriza por tener una dominancia apical moderada a alta.

2.8.2 Sistema Radicular

El sistema radicular es leñoso; las plantas de semilla tienen una o más raíces pivotantes, mientras que las de estacas, acodo o estaquillas tienen varias raíces principales alrededor del tronco.

2.8.3 Hojas

De forma oval, bordes aserrados, con el haz verde claro, de doble longitud que el pecíolo, con 4 - 8 nervios alternados y bien desarrollados, con una longitud de 4.13 cm. Aproximadamente.

2.8.4 Producción

Esta variedad tiene una etapa de producción temprana que comienza entre 1 y 2 años después de su siembra, dependiendo del desarrollo y vigor de la planta. Su rendimiento es moderado, con un potencial de 25 a 35 toneladas por hectárea en Bolivia, siempre y cuando se maneje adecuadamente el huerto.

2.8.5 Susceptibilidades y Tolerancias

Tanto las hojas como los brotes y los frutos de esta variedad son altamente susceptibles al oídio. En cuanto a la fruta, su susceptibilidad a la venturia es moderada, aunque es más propensa a ser afectada en zonas húmedas o nubladas.

2.8.6 Requerimiento de frío

Variedad con bajo requerimiento de frío en invierno (300- 450 horas frío de temperatura menores a 7,2 °C).

2.8.7 Brotación y floración

El proceso de brotación y floración de esta planta ocurre entre finales de agosto y mediados de septiembre, y su tiempo exacto está determinado por las temperaturas de

la zona. En general, las zonas más cálidas experimentan la brotación antes que las zonas más frías.

2.8.8 Cosecha

Es una variedad de maduración temprana desde principios a fines de enero, dependiendo de la zona.

2.8.9 Fruta

La fruta de esta variedad es de tamaño mediano a grande, con una forma cónica, de color rojo que cubre el 85-90% de la superficie y fondo de color crema. Es crujiente, tiene un contenido medio de azúcar y un buen sabor. Cabe destacar que esta variedad es partenocárpica, es decir, que puede producir frutos sin semillas o con muy pocas. No obstante, para mejorar la calidad de la fruta, se recomienda la polinización cruzada con la variedad Eva.

2.8.10 Requerimiento de Clima y Suelo

2.8.10.1 Clima.

- **Temperatura.** Las manzanas requieren climas templados con inviernos fríos y veranos cálidos. La temperatura ideal en la producción de manzana oscila entre 18°C y 22°C, la temperatura media anual oscila entre, con una temperatura máxima de 28°C en verano y una mínima de 5°C en invierno (Morales et al. 2017).
- **Precipitación.** La manzana requiere una precipitación anual de entre 600 y 1000 mm. La distribución de la lluvia debe ser uniforme durante el año, especialmente durante la etapa de crecimiento del árbol (INTA, 2010).
En Tarija, la precipitación media anual es de 650 mm, con una concentración de lluvias durante el verano (Morales et al., 2017).
- **Humedad.** La humedad relativa ideal para el cultivo de manzana se encuentra entre 60% y 70% (Universidad de Chile, 2013).
La humedad relativa media en Tarija es de 70%, lo que la convierte en un clima adecuado para el cultivo de manzana (Morales et al., 2017).
- **Horas de frío.** La mayoría de las variedades de manzana requieren un período de frío durante el invierno para romper la dormancia de las yemas y florecer.

Este período de frío varía según la variedad, pero generalmente se necesitan entre 700 y 1500 horas de frío por debajo de 7°C (FAO, 2019).

En Tarija, las variedades de manzana que requieren menos de 1000 horas de frío pueden ser cultivadas exitosamente (Morales et al., 2017).

2.8.10.2 Suelo.

- **Textura.** La manzana prefiere suelos francos arenosos o francos arcillosos con buen drenaje. Los suelos arenosos son propensos a la sequía, mientras que los suelos arcillosos pueden ser demasiado compactos y tener un drenaje deficiente (INTA, 2010).

En Tarija, los suelos arenosos son los más comunes, por lo que es importante mejorar el drenaje y la retención de agua del suelo (Morales et al., 2017).

- **pH.** El pH ideal para el cultivo de manzana se encuentra entre 6.0 y 7.0 (FAO, 2019).

En Tarija, el pH del suelo varía entre 5.5 y 8.0, por lo que es necesario ajustar el pH del suelo según la variedad de manzana que se vaya a cultivar (Morales et al., 2017).

- **Materia orgánica.** La materia orgánica es importante para mejorar la fertilidad del suelo, la retención de agua y la estructura del suelo (Universidad de Chile, 2013).

En Tarija, los niveles de materia orgánica del suelo son generalmente bajos, por lo que es necesario aplicar materia orgánica al suelo de forma regular (Morales et al., 2017).

- **Nutrientes.** La manzana requiere una cantidad adecuada de nutrientes para crecer y producir frutos de calidad. Los nutrientes más importantes para la manzana son el nitrógeno, el fósforo, el potasio y el calcio (FAO, 2019).

2.9 Infiltración de Agua en el Suelo

La infiltración de agua en el suelo es un proceso fundamental en la agricultura porque determina la cantidad de agua disponible para las plantas y la eficiencia del

riego. Este es el proceso por el cual el agua de la superficie del suelo ingresa al perfil del suelo, moviéndose vertical y horizontalmente (Portalfruticola, 2017).

2.9.1 Factores que afectan el proceso de infiltración:

2.9.1.1 Textura del suelo. El suelo arenoso tiene una alta tasa de infiltración, mientras que el suelo arcilloso tiene una baja tasa de infiltración. Los suelos bien estructurados tienen poros grandes que permiten que el agua penetre rápidamente.

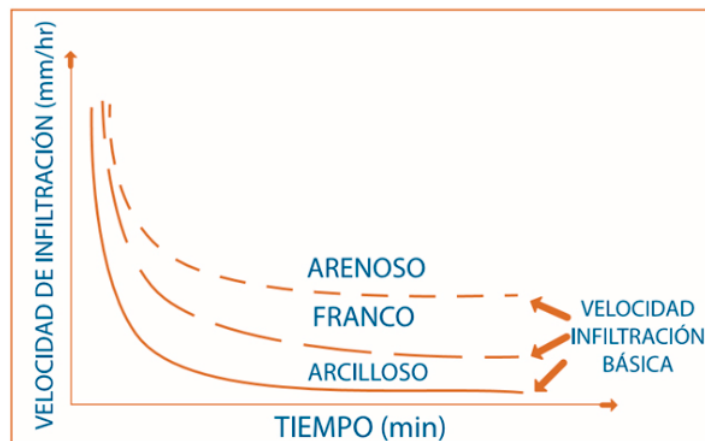
2.9.1.2 La Materia Orgánica. La materia orgánica aumenta la porosidad del suelo y mejora la capacidad de infiltración. La vegetación protege el suelo de la erosión y aumenta la infiltración.

3.9.1.3 Clima. La intensidad y duración de la lluvia afecta la tasa de infiltración. La labranza excesiva, la compactación y el riego inadecuado pueden reducir la infiltración.

2.9.2 Importancia de la infiltración

La infiltración ayuda a las plantas a acceder al agua que necesitan para crecer, un suelo bien permeable permite un riego más eficiente porque se reducen la escorrentía y la evaporación. Previene la erosión del suelo ayudando a mantener el suelo en su lugar, también ayuda a purificar el agua y eliminar contaminantes mejorando la calidad de agua (Portalfruticola, 2017).

Figura N°3. Velocidad de infiltración básica según la textura del suelo.



Fuente: Portalfruticola.com. (2017)

2.10 Capacidad De Campo (CC)

La capacidad de campo (CC) es una medida básica en la agricultura. Se define como la cantidad máxima de agua que el suelo puede retener cuando está saturado y drenado (Casanova, 2019).

2.10.1 Importancia

CC es un indicador importante (Casanova, 2019):

- Determinar la frecuencia y cantidad de riego. - los suelos con alto CC pueden almacenar más agua, lo que significa que se necesita riego menos frecuente.
- Promueve el crecimiento de las plantas: el suelo con la humedad adecuada (cerca de CC) proporciona un ambiente óptimo para el crecimiento de las raíces y las plantas.
- Mayor eficiencia en el uso del agua: el CC permite un uso más eficiente del agua de riego, evitando el exceso de riego y la lixiviación.

2.11 Punto De Marchitez Permanente (PMP)

El punto de marchitez permanente (PMP) es un concepto importante en la agricultura porque indica una condición del suelo en la que las plantas ya no pueden absorber agua del suelo, incluso en ambientes húmedos. PMP se define como el contenido mínimo de agua en el suelo al cual la planta no puede recuperar su turgencia (estado hinchado y firme) incluso cuando se coloca en un ambiente saturado de humedad durante largos períodos de tiempo (generalmente 12 horas) En este momento, la atracción entre las partículas del suelo y las moléculas de agua es tan fuerte que las raíces de las plantas ya no pueden absorber agua (Casanova, 2009).

2.12 El Agua Útil en la Agricultura

El agua útil se define como la cantidad de agua retenida en el suelo entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP).

El agua útil determina la cantidad de agua disponible para las plantas ya que solo pueden crecer y desarrollarse si tienen acceso a agua útil. Un riego eficiente busca maximizar el uso del agua útil, evitando el riego excesivo o deficitario, también influye

en la calidad de los cultivos afectando el tamaño, la forma y el sabor de los frutos y hortalizas (Casanova, 2009).

2.13 Riego

El riego para frutales es la aplicación de agua al suelo para satisfacer las necesidades hídricas de los árboles frutales. El objetivo del riego es mantener el suelo en un estado de humedad óptimo para que las plantas puedan crecer y desarrollarse de manera adecuada (FAO, 2018).

La siguiente información se puede utilizar para determinar la cantidad de agua que se debe aplicar al cultivo para satisfacer sus necesidades hídricas:

2.13.1 Kc

El Kc, o coeficiente del cultivo, es un factor que se utiliza para determinar la demanda de agua de un cultivo específico. El Kc varía según el tipo de cultivo, la etapa de desarrollo del cultivo y el clima (Jensen et al., 1990).

2.13.2 ETR

La ETR, o evapotranspiración de referencia, es la cantidad de agua que se evapora de una superficie de referencia, como un campo o parcela de un cultivo bien regada. La ETR se utiliza para estimar la demanda de agua de un cultivo específico (Jensen et al., 1990).

2.14 Sistema de Riego por Goteo

El sistema de riego por goteo para árboles frutales deposita el agua sobre o bajo la superficie del suelo, por lo que no encharca. También utiliza pequeños caudales a baja presión y aplica el agua en la proximidad de las plantas con un número determinado de emisores (goteros) (Fernández, 2010).

2.14.1 Ventajas del riego por goteo

El riego por goteo para árboles frutales tiene ciertas ventajas que son interesantes de conocer a la hora de decidimos por él, como los siguientes (Fernández, 2010):

- Reducción sensible de las necesidades de agua de riego.
- El riego por goteo hace que la evaporación del suelo se reduzca considerablemente al no haber una amplia superficie cubierta de agua alrededor del árbol, así como se reducen las pérdidas por percolación. Por lo

tanto, las necesidades hídricas del cultivo son ligeramente menores que las de un cultivo en las mismas condiciones, pero regado por inundación.

- Permite la aplicación simultánea de agua y fertilizantes (fertiirrigación) de forma precisa, optimizando la utilización de estos productos.
- Menor requerimiento de dotación de agua en comparación con el riego por inundación y mayor rendimiento.
- Es posible automatizar de forma completa el sistema de riego. Esto se consigue gracias a la programación de riego, que consiste en determinar la frecuencia y la dosis de agua que se aplica en el cultivo. Con la automatización no habría que realizar ninguna acción salvo la configuración previa y la supervisión cada cierto tiempo de que todo está funcionando en orden.
- Facilidad de transformación del sistema tradicional a regadío.
- Disminuye la acumulación de sales en la cubierta vegetal, ya que esta se mantiene seca.

2.14.2 Desventajas del riego por goteo

Las desventajas en este tipo de sistema pueden ser las siguientes (Fernández, 2010):

- Elevado coste de la instalación.
- El cabezal de riego requiere de equipos específicos para el buen funcionamiento de este sistema, que conllevan un coste elevado en comparación con el sistema tradicional.
- Inversión en tuberías para conformar las líneas de tubería de goteo.
- Limpieza constante en los goteros.

2.14.3 Tipos de goteos

- **Goteros autocompensantes:** Estos goteros incorporan una membrana interna que regula el caudal de agua de manera constante, independientemente de la presión del sistema 0.5 a 4 litros la hora.
- **Goteros turbulentos:** Estos goteros no tienen partes móviles y funcionan por el principio de turbulencia, lo que significa que el caudal de agua se regula en función de la presión del sistema 0.5 a 4 litros la hora.

- **Goterros antidrenantes:** Estos goteros incorporan una válvula que impide la salida de agua cuando la presión del sistema disminuye, evitando así el vaciado de las tuberías y el desperdicio de agua.
- **Goterros regulables:** Estos goteros permiten ajustar el caudal de agua manualmente mediante un tornillo o regulador de a 70 litros la hora
- **Goterros emisores de punto:** Estos goteros emiten un único chorro de agua muy localizado, lo que los hace ideales para regar plantas individuales o en macetas.

2.15 Textura del Suelo

La textura del suelo se refiere a la composición física del suelo en términos de las proporciones relativas de partículas de diferentes tamaños: arena, limo y arcilla. La textura tiene que ver con la facilidad con la que funciona el suelo, la cantidad de agua y aire que puede contener y la rapidez con la que el agua puede entrar y atravesar el suelo (CSR, 2021).

Existen cuatro grandes grupos de texturas en el suelo:

- Suelos Arenosos.
- Suelos Limosos.
- Suelos Francos.
- Suelos Arcillosos.

2.15.1 La Importancia de la Textura del Suelo

La textura del suelo tiene una gran influencia en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, que a su vez afectan el crecimiento de las plantas. También determina la velocidad a la que el agua drena a través del suelo saturado (CSR, 2021).

2.15.2 Triángulo de la Textura del Suelo

Son conocidas como triángulo de texturas, es un diagrama ternario que se utiliza para clasificar la textura del suelo en función de las proporciones de arena, limo y arcilla que lo componen. Las líneas dibujadas en el triángulo (paralelas a los lados) establecen los límites porcentuales para cada componente (CSR, 2021).

2.16 La Humedad del Suelo

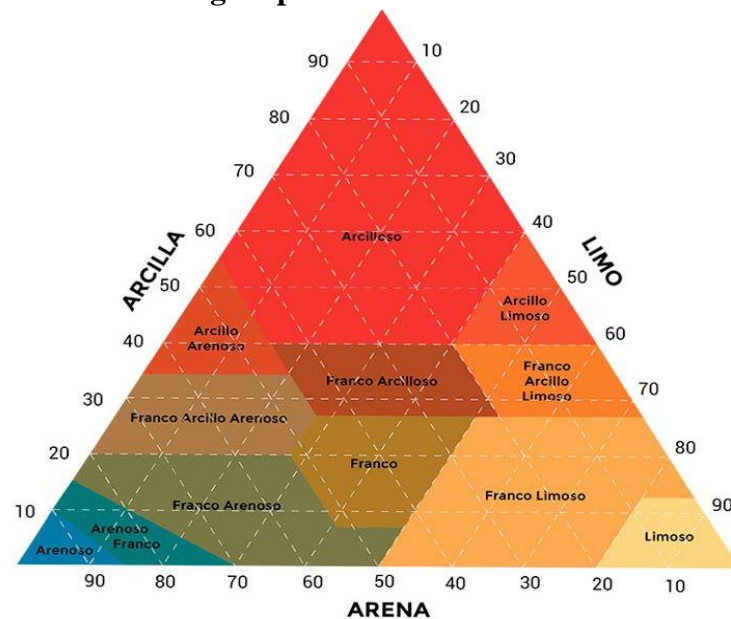
La humedad del suelo es un factor vital para el correcto desarrollo de las plantas y afecta directamente el rendimiento, ya que las plantas no pueden crecer adecuadamente si no tienen la humedad necesaria, afecta a la disponibilidad de nutrientes, la aireación del suelo y la temperatura del suelo. La capacidad de retención de agua del suelo utilizada por las plantas, conocida como agua disponible, varía según el tipo de suelo. y la práctica en los sistemas de producción (CSR, 2021).

2.16.1 Factores que Influyen en la Humedad del Suelo

La cantidad de precipitación, la temperatura y la evapotranspiración son factores climáticos que influyen en la humedad del suelo. La estructura y la materia orgánica del suelo influyen en su capacidad de retención de agua. La topografía como la pendiente y la exposición al sol afectan la cantidad de agua que se infiltra en el suelo y que se evapora (Hillel, 2007).

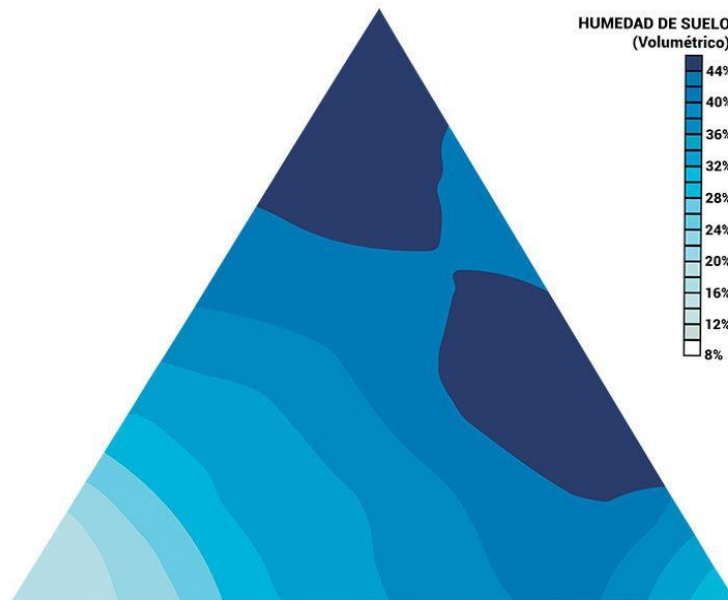
La textura del suelo es otro factor muy importante que influye en la permanencia de humedad en el suelo ya que varía una capacidad de retención de agua según su textura, lo que se ilustra en la imagen inferior (Estrada, 2022).

Figura N°4. Triángulo piramidal de la textura de suelo.



Fuente: Eficagua

Figura N°5. Triángulo piramidal de la humedad en referencia a la textura de



Fuente: Eficagua

En los suelos que más fácilmente pierden la humedad son los suelos arenosos. Por otro lado, en suelos muy arcillosos mantienen bastante humedad debido a que la infiltración es muy lenta por la compactación que tienen estos suelos, generando problemas de exceso de humedad o mala aireación (Estrada, 2022).

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

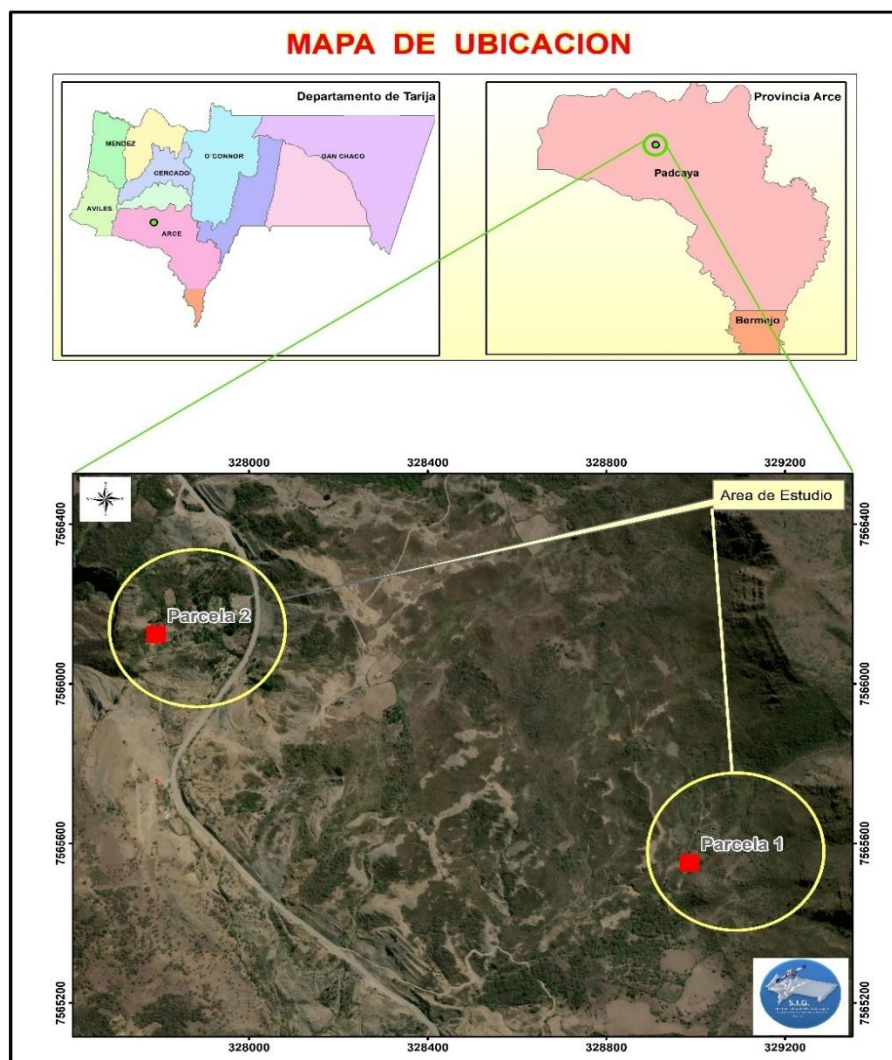
3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización de la Zona de Estudio

3.1.1 Localización

El presente trabajo de investigación se centra en la comunidad de Guayabillas, se encuentra en el municipio de Padcaya provincia Arce del Departamento de Tarija. Guayabillas tiene altitud de 1.993 m.s.n.m. con una latitud de $21^{\circ}59'33.69''$ Sur y una longitud de $64^{\circ}40'25.05''$ Oeste. Guayabillas está situada entre las comunidades Baizal y La Merced.

Figura N°6. Mapa de ubicación de las parcelas de estudio.



Fuente: laboratorio de SIG.

3.1.2 Clima

La comunidad de Guayabillas presenta un clima templado subhúmedo. La temperatura media anual es de 13.44 °C, con una máxima y mínima promedio de 20.84 °C y 6.04 °C respectivamente. Los días con helada se registran en los meses de mayo a septiembre. La humedad relativa promedio es de 67%. La dirección del viento predominante es el Sur - Este con una velocidad promedio de 1.06 Km/hr (Fuente: MMAyA-ABRO SIARH 2023).

3.1.3 Fisiografía

En el ámbito geográfico la comunidad de Guayabillas tiene los siguientes paisajes fisiográficos:

Está rodeada de colinas montañosa, serranías medias a altas de forma alongadas con simas sobre ondeadas irregulares, cuencas hidrográficas ríos y arroyos. Con pendientes varían de 20 a 50 % con afloramiento rocoso y pedregosas superficial, boques praderas que rodean a toda la comunidad.

En las planicies estuvieron sometidas a fuertes procesos de denudación por la concurrencia combinada de procesos erosivos, condiciones climáticas áridas y semiáridas.

3.1.4 Vegetación del área de estudio

Agrícolas

La comunidad de Guayabillas tiene diversidad de pisos agro productivos que permiten una amplia variedad de cultivos agrícolas, entre los productos tradicionales son la papa (*Solanum tuberosum* L.), maíz (*Zea mays* L.), cebolla (*Allium cepa* var. *cepa* L.), y cebada (*Hordeum* sp.), en tanto que los no tradicionales es la arveja (*Pisum sativum* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Árboles y frutales

En la comunidad existen diversidad de árboles y frutales, las más resaltantes son la producción de guayabilla o llamada también guayabillo (*Psidium sartorianum*), el durazno (*Prunus persica* L.), la manzana (*Malus domestica* Borkh), ciruela (*Prunus domestica* L.), pera (*Pyrus communis* L.) y entre los árboles se encuentran el churqui (*Acacia caven* Mol.), molle (*Schinus molle* L.), eucalipto (*Eucalyptus spp*).

Tabla N°3. Parámetros meteorológicos de la Comunidad de Guayabillas**DATOS AGROMETEOROLOGICOS**

Localidad:	Guayabillas	Altitud:	1993 m.s.n.m.
Provincia:	Arce	Latitud sur:	21°59'33.69" S
Departamento:	Tarija	Longitud oeste:	64°40'25.05" W

PARAMETROS METEOROLOGICOS	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	ANUAL
Temperatura máxima media (°C)	19,27	20,60	21,14	22,09	21,90	22,18	20,63	20,27	20,53	20,89	20,59	19,99	20,84
Temperatura mínima media (°C)	-0,67	1,40	3,96	7,76	9,21	10,28	10,78	10,33	9,74	7,27	2,70	-0,33	6,04
Temperatura media (°C)	9,30	11,00	12,55	14,93	15,56	16,23	15,71	15,30	15,14	14,08	11,65	9,83	13,44
Precipitación Total (mm)	11,86	13,00	19,23	51,81	103,44	180,92	244,51	222,68	181,12	73,54	23,86	12,74	94,89
Humedad Relativa Media (%)	52,66	51,82	53,26	56,41	59,83	64,37	67,74	69,67	69,46	66,06	59,72	54,49	60,46
Nubosidad Media (octas)	0,32	0,30	0,35	0,43	0,49	0,54	0,58	0,53	0,53	0,45	0,34	0,33	0,43
Velocidad Viento (km/h)	1,22	1,22	1,48	1,26	1,30	1,11	0,96	0,78	0,78	0,83	0,85	0,89	1,06

Fuente: Resumen climático de ABRO-MMAyA-SIARH, (2023)

3.1.5 Suelo

La comunidad de Guayabillas cuenta con suelos superficiales a moderadamente profundos, los suelos son de textura franco-arenosa, franco-limosa y franco arcilloso con una fertilidad media a alta. Esto significa que los suelos tienen una buena capacidad de retención de agua y nutrientes, tienen una estructura generalmente granular, lo que los hace permeables y con buena aireación.

Los suelos en Guayabillas tienen un contenido moderado de materia orgánica, lo que contribuye a su productividad y un pH ligeramente ácidos, que varía entre 6,0 y 6,5 (MDRyT, 2023).

3.1.6 Análisis de Suelo

Desarrollando el análisis de suelo en cada parcela en estudio se tiene los siguientes resultados:

- La primera parcela de estudio se encuentra en la zona alta a 2044 m.s.n.m. con una textura Franco Arcilloso.

Tabla N°4. Descripción de la parcela 1

N° de Parcela	1	
Nombre	SR. Esteban País	
Coordenadas	Lat. 22° 00' 22,59" S	
	Long. 64° 39' 24,03" W	
Altitud	2044 m.s.n.m.	
Tipo de Suelo		
Franco Arcilloso		
Arcilla	Limo	Arena
31,80%	39,20%	29%

Fuente: Lab. de Suelos U.A.J.M.S. (2023)

- La segunda parcela de estudio se encuentra la zona de 1875m.s.n.m con una textura Franca.

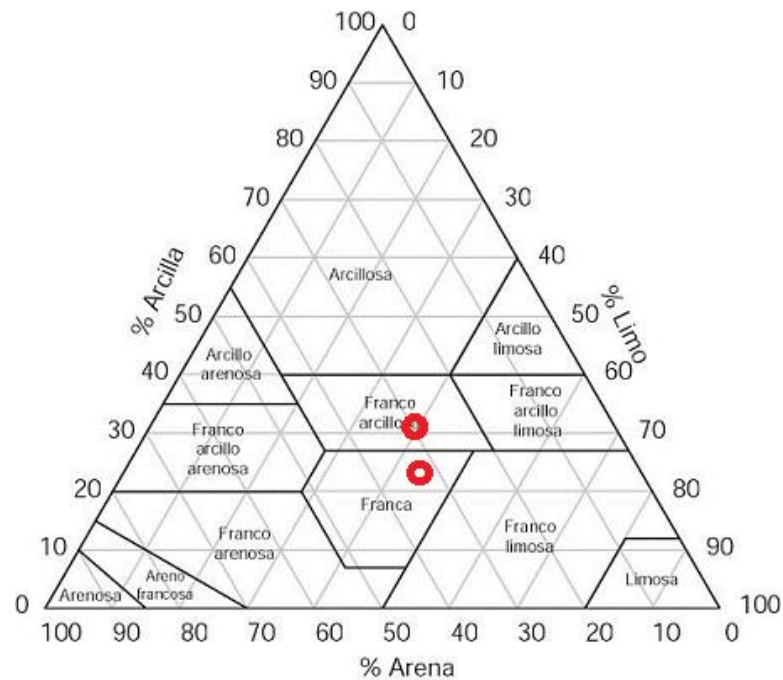
Tabla N°5. Descripción de la Parcela 2

N° de Parcela	2	
Nombre	Sr. Rosario Tejerina	
Coordenadas	Lat 22° 00' 3,57" S	
	Long 64° 40' 5,47" W	
Altitud	1875 m.s.n.m.	
Tipo de Suelo		
Franco		
Arcilla	Limo	Arena
26.80%	42,20%	31%

Fuente: Lab. de Suelos U.A.J.M.S. (2023)

Figura N°7. Triángulo piramidal de las texturas de suelo estudiados.

Figura N°8. Fuente: Lab. de Suelos U.A.J.M.S. (2023)



Fuente: Elaboración propia.

3.1.7 Uso de la tierra

El uso que se le da a la tierra en la comunidad de Guayabillas es mayormente para la agricultura para cultivos perennes como los manzanos, duraznero, ciruelo y para los cultivos de maíz, papa que estos son los más producen, también son el tomate, arveja, cebolla, forrajes y otros productos. Así también para el pastoreo del ganado.

3.1.8 Cedula de cultivo

La cédula de cultivo es un documento técnico que describe la planificación y programación de los cultivos en una superficie agrícola específica durante un período de tiempo determinado.

Tabla N°6. Cedula de cultivo anual por hectáreas (Siembra, Riego, Cosecha).

CEDULA DE CULTIVO													
Cultivos	Superficie Has	Meses											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Manzana	0.25		C							R			
Durazno	0.20	C									R		C
Pera	0.20		C										R
Ciruelo	0.10									R		C	
Papa	1.00								S				C
Arveja	0.25	S				C							
Morron	0.25					C							S
Tomate	0.25					C							S
Cebolla	0.50							S				C	
Maiz	1.00					C						S	
Total	4.00												

Fuente: Elaboración propio

3.1.9 Accesibilidad

El acceso a la comunidad de Guayabillas donde se llevó a cabo el trabajo de investigación es mediante carretera Tarija-Bermejo. Esto facilita de gran manera a los comunarios y productores del lugar para poder llevar sus productos a los mercados de la capital. Sin embargo, el camino para llegar a una de las parcelas aun no es muy viable debido a diferentes factores la pendiente, clima y erosión del suelo.

3.2 Materiales

3.2.1 Material de aplicación

El material principal será el Hidrogel Stockosorb (acrilato de potasio).

3.2.2 Material vegetal

- El material biológico plantines del manzano variedad Princesa (*Malus domestica* Borkh)
- Abono vegetal o animal

3.2.3 Materiales de Campo

- Picota
- Palas
- Tensiómetro
- Flexómetro
- Hilo o tanza
- Anillos de Infiltración
- Sacabocado
- Bolsas con cierre hermético
- Conservadora
- Estacas
- Cronómetro
- Balde
- Tacho de 200lts
- Libreta de campo

3.2.4 Materiales para el Riego

- Poli tubo monocapa de 2 pulgadas
- Mangueras ciegas 16mm
- Filtro de anillas
- Goteros regulables 70 lt/hr.
- Empaquetadura de goma, conector inicial 16 mm, mini válvula 16mm
- Accesorios para riego a goteo

- Herramientas para la instalación

3.2.5 Equipo de Laboratorio

- Balanza
- Horno o estufa
- Desecador
- Extractor de presión

3.2.6 Equipo de Registro

- Cámara fotográfica
- GPS GARMIN

3.2.7 Materiales Gabinete

- Excel
- Word
- Calculadora
- Impresora

3.3 Metodología

Para el siguiente trabajo de investigación se utilizó un diseño de “medidas repetidas”, intersujeto (entre sujetos) con 4 tratamientos (2 tratamientos con hidrogel y 2 tratamientos sin hidrogel) e intrasujeto (dentro de grupos) con tiempo de medición (1, 5, 10 y 15 días). Cada unidad de tratamiento es sometida a medidas en porcentajes de humedad en diferentes momentos a lo largo del tiempo. Esto permite analizar cómo cambian las variables de interés dentro de los mismos sujetos. Donde se requiere un menor número de unidades experimentales en comparación de otros diseños. Tiene mayor potencia estadística para detectar diferencias entre tratamientos. Apoyándome con la prueba de Tukey para realizar comparaciones múltiples entre los diferentes grupos de tratamiento. También se realizó un análisis de varianza con la prueba de F de Fisher para comparar el efecto del tratamiento con hidrogel y sin hidrogel sobre el crecimiento del cultivo de manzano.

3.3.1 Características del diseño

Tabla N°7. Descripción de los parámetros evaluados.

Tratamiento	Descripción de la primera parcela	Símbolo
Con hidrogel	Suelo franco arcilloso 20 plantines con hidrogel. Parcela 1, Muestra 1.	P1M1CH
Sin hidrogel	Suelo franco arcilloso 20 plantines sin hidrogel. Parcela 1, Muestra 1.	P1M1SH
Con hidrogel	Suelo franco 20 plantines sin hidrogel. Parcela 2, Muestra 1.	P2M1CH
Sin hidrogel	Suelo franco 20 plantines con hidrogel. Parcela 2 Muestra 1.	P2M1SH

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Dosis

La dosis de hidrogel que se usó fue de 100gr por planta de manzana, es decir, 2kg de hidrogel por parcela, en un tacho de 200lts de agua, aplicando una relación de 1:100 repartiendo así 10lts de hidrogel hidratado por planta.

3.3.3 Metodología Para Evaluar las Variables

Siguiendo las etapas que se estudió en la investigación se determinaron las siguientes variables:

3.3.4 Infiltración del Agua

Las pruebas de infiltración, se realizaron empleando dos anillos infiltrómetros 25cm de diámetro y 50cm para determinar la velocidad en la que el agua se infiltra en el suelo en un tiempo de 125min en ambas parcelas. Para determinar qué tipo de riego es el ideal para estos tipos de suelo se hizo el siguiente procedimiento:

1. Se seleccionó un área del terreno con una superficie lo más uniforme posible y libre de vegetación.
2. Los cilindros se introdujeron en el suelo con el cuidado de no compactarlo. La profundidad de inserción fue de 5 cm.
3. Se llenó los cilindros con agua hasta una altura predeterminada (tener abundante agua a disposición).

4. Medición de la infiltración, se tomó el registro del tiempo que tarda el agua en bajar a un nivel específico en el cilindro de 25cm con la ayuda de una regla.
5. Se llenó las planillas
6. Se calculó la infiltración acumulada en cada tiempo.
7. Se calculó la diferencial de agua infiltrada en función del tiempo, utilizando la siguiente ecuación:

$$I = at^b$$

$$t = -10b; -100b$$

3.3.5 Capacidad de Campo

Es un parámetro importante para el manejo del riego, ya que indica la cantidad de agua disponible para las plantas, se usó el método gravimétrico:

1. Se realizó la recolección de muestras del suelo en ambas parcelas, con un muestreo en forma de X, una vez bien homogenizadas se llevó al laboratorio de suelos y agua de la U.A.J.M.S.
2. Se colocan las muestras de suelos en las placas de extracción.
3. Saturamos las muestras de suelos por 24 horas
4. Se colocaron las muestras en el extractor de presión durante 48 horas.
5. Se pesó las muestras del suelo húmedo.
6. Se llevó al horno a 105°C durante 24 hasta alcanzar un peso constante luego se pesa las muestras de suelo seco
7. La CC se calcula con la fórmula

$$\%CC = \frac{(P \text{ suelo humedo} - Tara) - P \text{ suelo seco}}{P \text{ suelo seco}} * 100$$

3.3.6 Punto de Marchitez Permanente

El PMP es el contenido de agua en el suelo a partir del cual las plantas no pueden absorber agua suficiente para mantener su turgencia, incluso si se les añade agua.

Se calculó con la siguiente formula:

$$\%PMP = \frac{CC}{2.25}$$

3.3.7 Agua útil

El agua útil se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Agua útil} = CC - PMP$$

3.3.8 Requerimiento del Cultivo

El requerimiento de cultivo se determinó gracias al ABRO (área bajo riego optimo) donde:

Requerimiento de agua del cultivo = Evapotranspiración del cultivo * Área neta regable

- Evapotranspiración del cultivo es la cantidad de agua que el cultivo pierde por evaporación del suelo y transpiración de las plantas.
- Área neta regable es el área que se puede regar de manera efectiva.

3.3.9 Caudal del riego por goteo.

El caudal es la cantidad de agua que fluye por un canal o tubería en un tiempo determinado. Se determino utilizando recipiente y un cronómetro siguiendo estos pasos:

- Colocamos el recipiente para coleccionar el agua debajo del flujo de agua.
- Se inicio el cronómetro al mismo tiempo que se comienza a llenar el recipiente.
- El cronómetro se detuvo cuando el recipiente estaba completamente lleno a un volumen determinado.
- Se registro el tiempo que tomó llenar el recipiente 5 veces y se sacó una media.
- Cálculo del caudal:

$$Caudal = \frac{\text{Volumen del recipiente}}{\text{Tiempo que tarda en llenarse}}$$

De igual manera la formula del cálculo del caudal de riego por goteo que requiere el manzano para los diferentes meses según los datos climáticos:

$$Caudal = \frac{ETr * A * Kc}{T * 60}$$

3.3.10 Tiempo de retención de humedad en el suelo

El tiempo que permaneció la humedad en el suelo se determinó gracias al análisis físico realizado en el laboratorio de Suelos y Agua de la U.A.J.M.S. con un muestreo homogéneo del suelo por cada 2 surcos de 10 plantas a una profundidad de 20-30cm, teniendo con un total de 4 muestras. En un tiempo determinado, es decir, en un plazo de 15 días (día 1, día 5, día 10 y día 15).

Los métodos para determinar la humedad del suelo se basan en el análisis directo en campo o en laboratorio; dicho método que se utilizó fue:

➤ Método gravimétrico

- Se tomó aproximadamente 100g de suelo de una profundidad de 20-30cm, en platillos de aluminio.
- Se registró el peso húmedo.
- Se secó el material en un horno de 105°C hasta tener un peso constante.
- Se aplica la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P \text{ suelo húmedo} - \text{Tara}) - P \text{ suelo seco}}{P \text{ suelo seco}} * 100$$

3.3.11 Numero de brotes

Después del trasplante de las plántulas de manzana, se observó y se registró el número de brotes en cada planta en ambos grupos (con hidrogel y sin hidrogel). Realizando observaciones regulares del número de brotes en las plantas a intervalos específicos (cada mes) durante el período de tres meses.

Registrando cualquier cambio afectando el número de brotes como cambios climáticos (granizada o heladas) y documenta cualquier diferencia entre los grupos de estudio.

Se utilizo técnicas estadísticas apropiadas para comparar los datos y determinar si hay diferencias significativas en el número de brotes entre los grupos como por ejemplo la distribución F, también conocida como distribución de Fisher-Snedecor.

3.3.1 Tamaño de la planta

Antes del trasplante, se midió la altura de cada planta para las dos parcelas utilizando un metro,

haciendo las mediciones regulares de la altura de las plantas a intervalos específicos durante el período de trasplante y al finalizar el estudio (4meses aproximadamente).

Calculando el crecimiento relativo de las plantas en términos de altura utilizando también técnicas estadísticas para determinar si hay diferencias significativas en el crecimiento entre los grupos tratado con hidrogel y sin hidrogel.

3.3.2 Diseño de campo

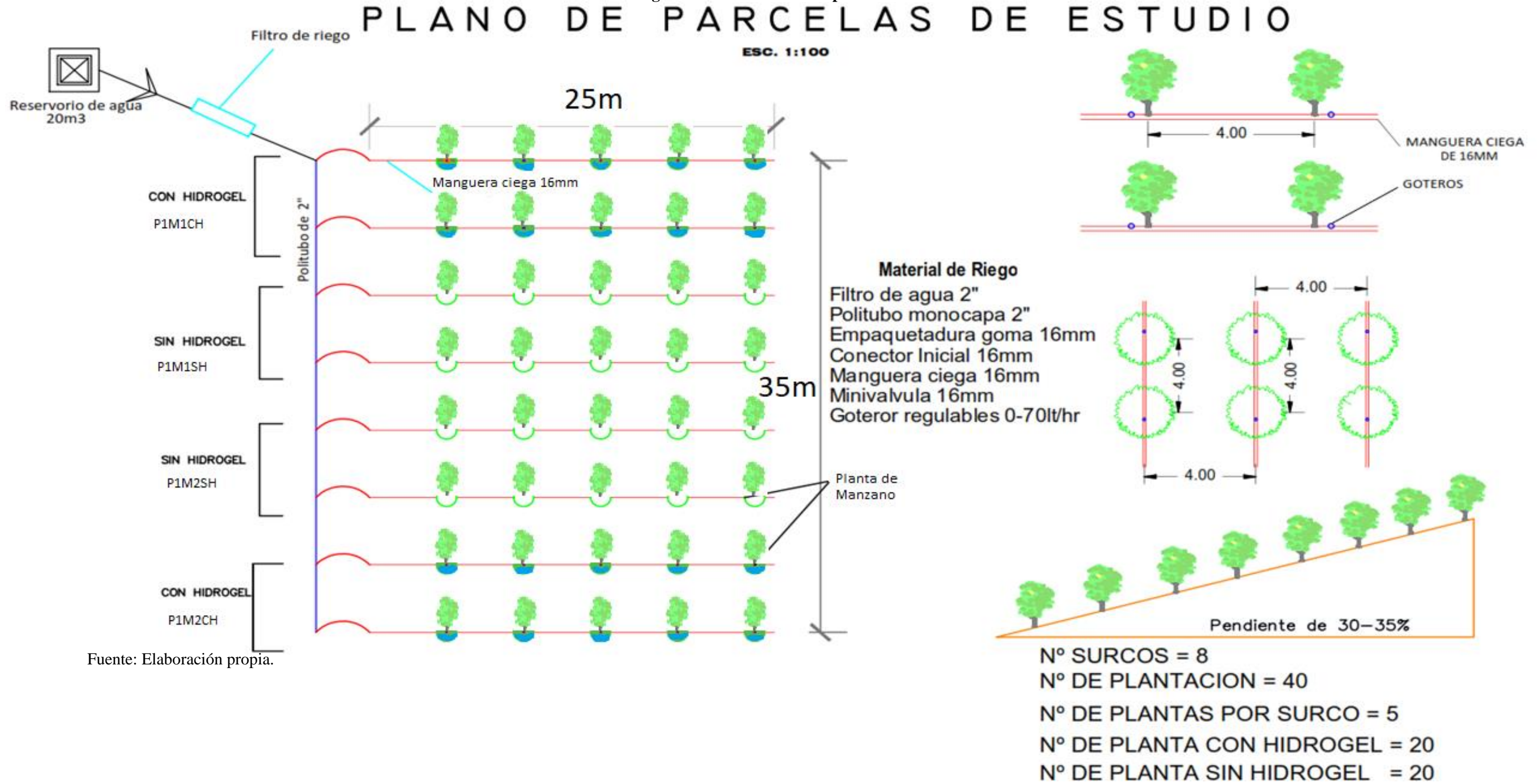
Tabla N°8. Características del diseño de campo.

Parcelas	2	Número de surcos	8
Área por parcela	600m ²	Número de plantas por surco	5
Largo del surco	20m	Número de plantas por tratamiento	10
Ancho de surco a surco	4m	Número de plantas de ensayo por parcela	40
Distancia de planta a planta	4m	Número total de plantines estudiados	80

3.3.3 Croquis de la Parcela

El diseño de la figura N°8 se usó en las dos parcelas, ya que tenían la misma disponibilidad de terreno y agua.

Figura N°9. Planos de las parcelas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

3.4 Procedimiento del ensayo

3.4.1 Preparación del Terreno

Se preparó y se limpió toda la zona de área del estudio antes del trasplante para garantizar condiciones óptimas de crecimiento para las plantas de manzano.

3.4.2 Trazado de la Parcela

Marcando claramente el área donde se realizó el trasplante de las plántulas de manzana con ayuda de un hilo y estacas para delimitar el área de cultivo de manera uniforme y precisa con una distancia entre planta y surco de 4m x4m.

3.4.3 Hoyado

Para preparar los agujeros donde se colocó las plantas de manzano, se utilizó herramientas de hoyado, como una pala, pico, para excavar agujeros de tamaño adecuado y profundidad suficiente para las raíces de las plántulas (40cm x 40cm). Se espacian los hoyos según el diseño de plantación planificado.

3.4.4 Pendiente de las Parcelas

Las parcelas contaban con una pendiente de aproximadamente 30-35% haciendo una plantación con pequeñas terrazas para evitar pérdidas de por erosión.

3.4.5 Preparación de Materia Orgánica (animal y vegetal)

Con la finalidad de mejorar la estructura y fertilidad del suelo se adicionó materia orgánica como ser compost orgánico, estiércol animal u otros materiales orgánicos. Haciendo una mezcla entre ellos para una distribución uniforme.

3.4.6 Preparación del Hidrogel

Siguiendo las instrucciones del fabricante, se preparó el hidrogel hidratado que implica mezclar el hidrogel en seco con agua en un tacho con 200lts, mezclando bien para asegurar una distribución uniforme del hidrogel.

3.4.7 Trasplante de la Manzana, Incorporación de Materia Orgánica e Hidrogel

En el hoyo se aplicó una distribución en capas, es decir, entre la materia orgánica, luego el hidrogel (solo en los surcos establecidos para el estudio) y posterior el limo o el suelo extraído del hoyo. El hidrogel se aplicó de forma hidratada con un volumen de 10 litros

en cada hoyo con cada planta de manzano asegurándose de que las raíces estén bien distribuidas y cubiertas con el sustrato.

Al finalizar el trasplante se compactó suavemente el suelo alrededor de las raíces y el tallo para evitar bolsas de aire.

3.4.1 Instalación del Riego por Goteo

Se diseñó el sistema de riego por goteo regulables teniendo en cuenta la distribución uniforme del agua a lo largo de las filas de plantas y tomando en cuenta su fuente de agua (reservorio).

Se midió las tuberías principales y secundarias, la instalación comenzó por el filtro de agua, seguido por el poli tuvo de 2". Haciendo perforaciones para los conductores de 16mm a una medida determinada con las mini válvulas en cada salida, posteriormente se instaló la manguera ciega de 16mm, así como los emisores de goteo en cada planta, siguiendo el diseño planificado.

Realizando pruebas de funcionamiento para asegurarse de que el sistema de riego esté operando correctamente y que todas las plantas reciban la cantidad adecuada de agua. Se proporcionó un sistema de goteros regulables a un caudal de 40-45 lts/hr.

3.4.1 Labores Culturales

3.4.1.1 Aporque. Se realizó el aporque unas semanas después del trasplante, cuando el árbol ya se haya establecido. El aporque consistió en amontar tierra alrededor del tallo del frutal para favorecerlo, mejorando su estabilidad contra el viento, proteger su sistema radicular y reducir la incidencia de enfermedades.

3.4.1.2 Tutorado. Una vez establecido el frutal se procedió a utilizar un tutor para ayudar al árbol a crecer recto y evitar que se caiga por el viento. Los tutores se realizaron de estacas aproximadamente 1m.

3.4.1.3 Poda. Se realizó para eliminar las hojas y brotes dañados por los granizos que hubo en el transcurso del tiempo. También se eliminaron chupones y brotes innecesarios.

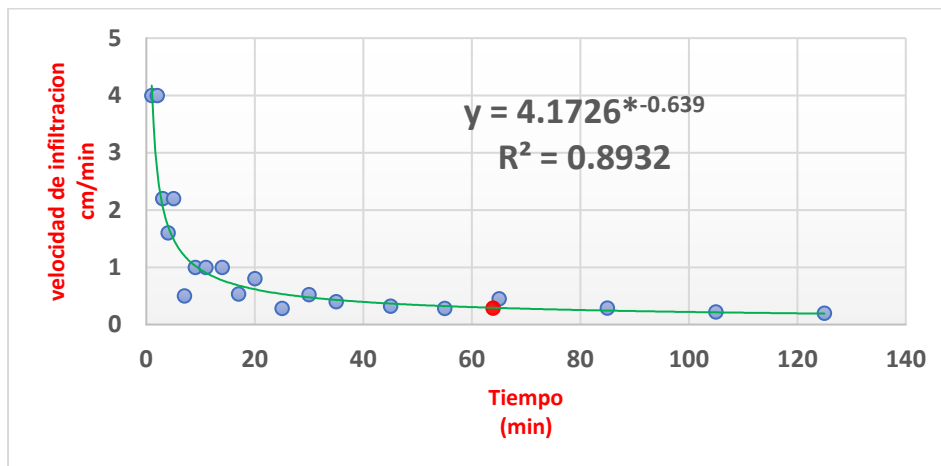
3.4.1.4 Control de Plagas y Enfermedades. Fue importante monitorizar el árbol después del trasplante para detectar cualquier problema como las plagas y enfermedades que pueden afectar al árbol

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Infiltración de Agua

Figura N°10. Curva de infiltración Parcela 1



Fuente: Elaboración propia.

En la curva de infiltración de la figura N°9 realizada con un cilindro de 25cm de altura en el suelo con textura franco arcilloso, muestra que al minuto 1 tiene una velocidad de infiltración de 4cm/min, a los 5 min la infiltración es de 2.2cm/min y a los 20min sigue teniendo una gran infiltración de 0.80cm/min. Pasado los 40 min recién se observó una infiltración lenta, que encontrando el punto del tiempo base ($t_b = -100b$) en la tabla N°9 al minuto 63.9 ya tiene infiltración aproximadamente constante. Para la prueba de infiltración se tomó un tiempo de 125min y al finalizar tuvo una infiltración de 0,2cm/min.

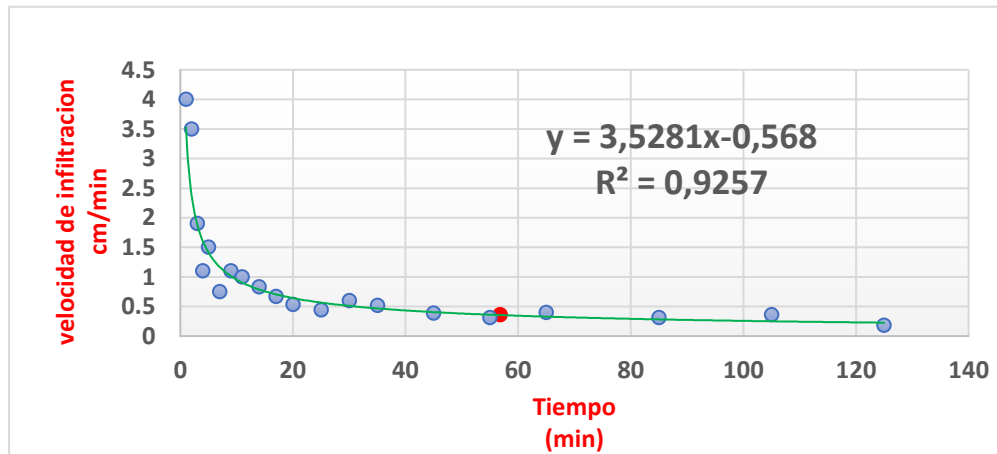
Fase inicial (0-1 min): La alta tasa de infiltración inicial (4 cm/min) indica una gran capacidad de almacenamiento de agua en la superficie del suelo, debido a la presencia de macroporos que permiten que el agua ingrese rápidamente.

Fase intermedia (1-40 min): La disminución gradual de la tasa de infiltración (de 2.2 cm/min a 0.8 cm/min) sugiere que los macroporos se van llenando y el agua comienza a infiltrarse en poros más pequeños.

Fase final (40 min - 125 min): La tasa de infiltración se estabiliza alrededor de 0.2 cm/min a partir del minuto 63.9, lo que indica que se ha alcanzado la tasa de infiltración

constante. En este punto, la tasa de entrada de agua en el suelo es igual a la tasa de salida por drenaje o evaporación.

Figura N°11. Curva de infiltración Parcela 2



Fuente: Elaboración propia.

En la curva de infiltración de la figura N°10 realizada con un cilindro de 25cm de altura en el suelo con textura franco, muestra que al minuto 1 tiene una velocidad de infiltración de 4cm/min, a los 5 min la infiltración es de 1,5cm/min y a los 20min teniendo una infiltración de 0,53cm/min se observó una infiltración lenta, que encontrando el punto del tiempo base ($t_b = -100b$) en la tabla N°10 que al minuto 56,8 ya tiene infiltración aproximadamente constante. Para la prueba de infiltración se tomó un tiempo de 125min y al finalizar tuvo una infiltración de 0,18cm/min.

La curva de infiltración del suelo franco (Figura N°10) muestra un comportamiento similar al del suelo franco arcilloso, con una fase inicial de rápida disminución en la tasa de infiltración, seguida de una fase intermedia de disminución gradual y finalmente una fase final donde se alcanza la tasa de infiltración constante.

La alta tasa de infiltración inicial (4 cm/min) indica una gran capacidad de almacenamiento de agua en la superficie del suelo, debido a la presencia de macroporos.

La disminución gradual de la tasa de infiltración (de 1.5 cm/min a 0.53 cm/min) sugiere que los macroporos se van llenando y el agua comienza a infiltrarse en poros más pequeños.

La tasa de infiltración final de 0.18 cm/min proporciona información sobre la permeabilidad del suelo franco en condiciones de saturación.

Al igual que el suelo franco arcilloso, el suelo franco tiene una buena capacidad de retención de agua inicial, pero la tasa de infiltración se reduce rápidamente a medida que se van llenando los macroporos. Esto sugiere que ambos tipos de suelo son susceptibles a la erosión por escorrentía si no se manejan adecuadamente.

Tabla N°9. Resumen de la curva de infiltración

	a	b	$t_b = -100b$	I b cm/min	I b mm/hrs
Parcela 1	4.1726	-0.639	63,9	0.29	174
Parcela 2	3,5281	-0,568	56,8	0,36	216

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°9 resumen de la curva de infiltración muestra la diferencia de la infiltración básica entre las dos parcelas debido a las diferentes texturas del suelo, la parcela 1 con suelo franco arcilloso tiene menor velocidad infiltración con 174mm/hr ya que este suelo tiene una **textura más fina** que el suelo franco, lo que significa que las partículas del suelo son más pequeñas y están más juntas. Esto **reduce el tamaño de los poros del suelo**, lo que dificulta la entrada del agua. Mientras que en la parcela 2 con un suelo más tiene una mayor velocidad de infiltración con 216mm/hr, este suelo tiene una **textura más arenosa** que el suelo franco arcilloso, lo que significa que las partículas del suelo son más grandes y están más separadas. Esto **aumenta el tamaño de los poros del suelo**, lo que facilita la entrada del agua. (revisar tabla N°4 y N°5).

Tabla N°10. Interpretación de resultados a partir de la figura N°9 y N°10

<i>Clase</i>	Velocidad de infiltración (mm/hora)	Evaluación
1	<1	Susceptible al encharcamiento, riesgo de erosión elevado.
2	1-5	Lenta, riesgo de erosión importante. Se pierde una parte importante considerable del agua de riego
3	5-20	Moderada y lenta, óptima para riego de superficie.
4	20-60	Moderada, adecuada para riego de superficie.
5	60-125	Moderada rápida, provoca pérdida de nutrientes por lavado. Baja eficiencia de riego.
6	125-250	Rápida. Marginal para riego de superficie, se requiere riego localizado.
7	>250	Muy rápida. Excesiva para el riego de superficie, se requiere riego localizado.

Fuente: USDA, (1999).

En la tabla N°10 muestra que al analizar la infiltración de ambas parcelas en la tabla N°9 se encuentran en el rango 125-250mm/hr, se determinó que la infiltración de las dos parcelas en condiciones normales es muy alta, que no es apto para un riego por surcos, tiene bastante pérdida de agua a través del perfil, como erosión del suelo y hay pérdidas de elementos por lixiviación ya que también las parcelas cuentan con una pendiente de 30-35%.

Una tasa de infiltración tan alta implica que el agua se filtra en el suelo rápidamente, lo que puede generar problemas de erosión del suelo y lixiviación de nutrientes. La erosión del suelo se produce cuando el agua de riego o lluvia escurre por la superficie del suelo en lugar de infiltrarse, arrastrando consigo partículas de suelo. La lixiviación, por otro lado, ocurre cuando el agua de riego o lluvia se filtra en el suelo y arrastra consigo nutrientes esenciales para las plantas hacia capas más profundas del suelo o incluso fuera del alcance de las raíces.

Considerando la pendiente de las parcelas (30-35%), estos problemas se intensifican aún más. La pendiente favorece el escurrimiento del agua, aumentando la erosión y la lixiviación.

En consecuencia, el riego por surcos no es una opción adecuada para estas parcelas. Este método de riego implica la distribución del agua por surcos o canales abiertos en el suelo, lo que, en este caso, provocaría una mayor erosión y lixiviación debido a la alta tasa de infiltración y la pendiente del terreno. Un riego por goteo es lo ideal para este tipo de suelos, este sistema proporciona agua directamente a las raíces de las plantas a través de emisores o goteros, lo que optimiza el uso del agua y minimiza las pérdidas por lixiviación y erosión.

4.2 Agua útil en el suelo

Tabla N°11. Resumen de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, agua útil (CC; PMP; AU).

N° de parcela	CC	PMP	AU
1	33.67%	14.96%	18.71%
2	30.65%	13.62%	17.03%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°11 se muestra la capacidad que tiene los suelos de ambas parcelas tienen un 30.65% y 33.67% de retener agua para la disposición de la planta a una presión de 0.33 bar. Y el contenido mínimo de agua en el suelo que una planta necesita para mantener su turgencia y evitar la marchitez llamado punto crítico donde la planta acentúa su marchitamiento y muere es a los 13.62% y 14.96% de agua determinada a una presión de 15 bar (revisar anexo N°28, N°29).

El **agua útil** del suelo, también llamada agua disponible o aprovechable, es del 17.03% y 18.71% de contenido de **agua en el suelo que las plantas pueden absorber y aprovechar para su crecimiento.**

La CC es un indicador de la cantidad de agua que el suelo puede almacenar y poner a disposición de las plantas. En este caso, los valores obtenidos sugieren que ambas parcelas tienen una buena capacidad para almacenar agua, lo que favorece el crecimiento de las plantas y reduce la necesidad de riego frecuente.

Sin embargo, es importante considerar el punto crítico (PMP), que representa el contenido mínimo de agua en el suelo que una planta necesita para mantener su turgencia y evitar la marchitez. En este estudio, el PMP se determinó en 13.62% y 14.96%.

En este caso, el agua útil es del 17.03% y 18.71% para las dos parcelas, respectivamente. Esto significa que las plantas en estas parcelas tienen acceso a una cantidad considerable de agua que pueden absorber y utilizar para su crecimiento.

4.3 Área Bajo Riego Optimo

Figura N°12. Resumen de cultivos.

AREA REGABLE (ha):	4.00	Eficiencia del Sistema:	Total: 0.3087
CAPACIDAD MAXIMA DEL CANAL (l/s):	2.00	De captación: 0.70	De distribución: 0.70
		De conducción: 0.70	De aplicación: 0.90

PRECIPITACIONES (mm):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
12.74	11.86	13.00	19.23	51.81	103.44	180.92	244.51	222.68	181.12	73.54	23.86

DERECHOS DE TERCEROS (l/s):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cultivo	Mes de siembra	Area (ha)
Manzana	Septiembre	0.25
Durazno	Octubre	0.20
Pera	Diciembre	0.20
Ciruelo	Septiembre	0.10
Papa (intermedia)	Agosto	1.00
Maíz (grano)	Noviembre	1.00
Cebolla (cabeza)	Julio	0.50
Pimentón	Diciembre	0.25
Tomate (tardia)	Diciembre	0.25
Arveja (verde)	Enero	0.25
	TOTAL	4.00

Fuente: Elaboracion propia

En la figura N°12 se detalla las precipitaciones de todo el año de la comunidad de Guayabillas apartir del ABRO-SIARH de la tabla N°3 de los datos climaticos. Tambien se muestra el area total a regar de 4 ha de los diferentes cultivos, un caudal del canal maximo de 2 l/s con una eficiencia de aplicación de riego con proyecto del 90% y derechos de terceros del 0% ya que los dueños de las dos parcelas cuentan con su propia vertiente como su propia reserva de agua.

El análisis de las precipitaciones anuales en Guayabillas permite comprender el patrón de disponibilidad de agua natural en la zona. Esta información es crucial para determinar la necesidad de riego suplementario y planificar el calendario de riego de acuerdo con las épocas de mayor sequía.

Se menciona un área total a regar de 4 hectáreas (ha) para diferentes cultivos. Es importante considerar las características específicas de cada cultivo, como sus requerimientos hídricos y épocas de mayor demanda de agua, para diseñar un plan de riego eficiente que optimice el uso del agua disponible.

El caudal máximo del canal se establece en 2 litros por segundo (l/s). Este dato limita la cantidad de agua que puede ser utilizada para el riego simultáneo de las parcelas. Es necesario evaluar si este caudal es suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos durante los períodos de mayor demanda.

Tambien menciona una eficiencia de aplicación de riego con proyecto del 90%. Esta eficiencia indica la proporción de agua aplicada que llega efectivamente a la zona radicular de las plantas. Es importante implementar prácticas de riego eficientes, como el riego por goteo o el riego por aspersión, para minimizar las pérdidas de agua por evaporación y escorrentía.

Se indica que los dueños de las parcelas cuentan con su propia vertiente como su propia reserva de agua, lo que significa que no hay derechos de terceros que afecten la disponibilidad de agua para el riego. Esta situación facilita la gestión del agua y la toma de decisiones sobre el uso del recurso.

Figura N°13. Area bajo riego optimo

	Junio 30	Julio 31	Agosto 31	Septiembre 30	Octubre 31	Noviembre 30	Diciembre 31	Enero 31	Febrero 28	Marzo 31	Abril 30	Mayo 31	ANUAL 365
ET (mm/día)	2.96	2.98	3.47	3.98	4.33	4.22	4.47	4.28	4.07	3.73	3.35	3.13	
ET (mm/mes)	88.86	92.38	107.69	119.31	134.09	126.74	138.62	132.81	113.87	115.76	100.46	96.95	1,367.53
Prec. (mm)	12.74	11.86	13.00	19.23	51.81	103.44	180.92	244.51	222.68	181.12	73.54	23.86	1,138.71
Prec. Efec. (mm)	0.00	0.00	0.00	3.17	27.61	66.33	124.44	172.13	155.76	124.59	43.91	6.65	724.58
Kc (Manzana)	0.00	0.00	0.00	0.50	0.75	0.95	1.00	1.00	0.95	0.90	0.85	0.70	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	59.65	100.57	120.40	138.62	132.81	108.18	104.18	85.39	67.87	917.68
Req. Riego (mm)	0.00	0.00	0.00	56.48	72.96	54.07	14.18	0.00	0.00	0.00	41.48	61.22	300.41
Req. Neto (m3)	0.00	0.00	0.00	29.41	37.99	28.15	7.38	0.00	0.00	0.00	21.60	31.87	156.40

Fuente: Elaboracion propia

En la figura N° 13 nos presenta el Kc del ciclo anual de la manzana, donde el mes de septiembre la planta solo usa el 50% es decir que el consumo de agua es relativamente bajo. Los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero sugiere que usa el 100% el consumo de agua alcanza su punto máximo.

El ETR indican la cantidad de evapotranspiración de referencia que se produce en esos meses. 917,68 mm anuales siendo los meses de septiembre con 59.65mm la planta de manzano tiene una menor transpiracion debido a que recién empieza a pasar la temporada de dormancia, mientras que en los meses de diciembre y enero con 138.62mm y 132.81mm tienen una mayor tasa de transpiración. Esto se debe al crecimiento ya que implica un mayor desarrollo celular y una mayor actividad metabólica, mayor desarrollo foliarde por que cuanto más follaje tenga la planta, mayor será la superficie a través de la cual perderá agua por transpiración. Lo que la planta requiere más agua.

El requerimiento de riego anual es de 300.41mm. donde en los meses más críticos y donde se requiere más agua son septiembre 56.48mm, octubre 72.96mm, noviembre 54.07 y mayo 61.22mm son la cantidad de agua que se debe **aportar** al sistema de riego artificial para satisfacer el requerimiento neto. Pero en los meses de enero febrero y marzo no se debe aportar agua artificial, debido a que cuenta con suficiente agua en el suelo debido a las constantes lluvias.

El requerimiento neto anual de la planta de manzano necesita para cubrir sus necesidades fisiológicas de evapotranspiración y compensar las pérdidas por drenaje

es de 156.4 m³. Siendo los meses criticos de septiembre 29.41m³, octubre 37.99m³ y noviembre 28.15m³. y noviembre que se debe aplicar para satisfacer sus necesidades, siendo el mes de octubre y marzo los meses que mas requiere agua, mientras los meses de enero febrero y marzo no se requiere adicionar agua por la cantidad ya que el cultivo esta recibiendo suficiente agua de otras fuentes, como la lluvia.

Figura N° 14. Área incrementada.

SIN PROYECTO												
CULTIVO	Manzana	Durazno	Pera	Ciruelo	Papa (inte	Arveja (ve	Pimentón	Tomate (ta	Cebolla (c	Maíz (gran		TOTAL
AREA REAL (ha)	0.25	0.20	0.20	0.10	1.00	0.25	0.25	0.25	1.00	1.00	0.00	4.50
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	0.02	0.01	0.01	0.01	0.07	0.02	0.02	0.02	0.07	0.07	0.00	0.29
CON PROYECTO												
CULTIVO	Manzana	Durazno	Pera	Ciruelo	Papa (inte	Maíz (gran	Cebolla (c	Pimentón	Tomate (ta	Arveja (ve		TOTAL
AREA REAL (ha)	0.25	0.20	0.20	0.10	1.00	1.00	0.50	0.25	0.25	0.25	0.00	4.00
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	0.05	0.04	0.04	0.02	0.21	0.21	0.10	0.05	0.05	0.05	0.00	0.83
AREA INCREMENTADA (ha)	0.04	0.03	0.03	0.01	0.14	0.19	0.09	0.04	-0.01	-0.01	0.00	0.54
MES	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
SIN PROYECTO	0.03	0.08	0.14	0.15	0.17	0.23	0.21	0.16	0.16	0.16	0.16	0.05
CON PROYECTO	0.08	0.15	0.35	0.39	0.43	0.64	0.68	0.52	0.52	0.52	0.52	0.16
AREA INCREMENTADA MES (ha)	0.06	0.07	0.21	0.23	0.26	0.40	0.47	0.36	0.36	0.36	0.36	0.11
INDICE DE INCREMENTO MES	2.20	0.87	1.48	1.52	1.58	1.75	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
AREA INCREMENTADA (ha):												0.54

Fuente: Elaboracion propia

En la figura N° 14 muestra el total de area que podemos regar optimamente con un riego convencional es del 29%, mientras que con un riego tecnificado logra tener un riego optimo de un 83%. Tambien nos indica que un riego tecnificado podemos incrementar un 0.54 ha para otro cultivo y 0.04 ha netamente para el cultivo de la manzana.

Las limitaciones del riego convencional se deben a factores como la pérdida de agua por evaporación y escorrentía, la distribución no uniforme del agua y la dificultad para controlar la cantidad de agua aplicada. En contraste, el riego tecnificado permite un

riego óptimo del 83% del área total disponible, lo que representa un aumento significativo en comparación con el sistema convencional. La eficiencia del riego tecnificado se debe a la implementación de métodos como el riego por goteo o el riego por aspersión, que minimizan las pérdidas de agua y permiten una distribución precisa y controlada del recurso hídrico. El incremento en el área de riego óptimo que se logra con el riego tecnificado (0.54 ha) abre la posibilidad de cultivar un nuevo producto o ampliar la superficie de cultivo del manzano (0.04 ha).

Esto se traduce en un potencial aumento de la producción agrícola y, por consiguiente, en mayores beneficios económicos para los agricultores.

4.4 Porcentaje de Humedad

Los datos de porcentaje de humedad que permaneció en el suelo se tomaron en dos periodos:

- Porcentaje de humedad en temporada de lluvia
- Porcentaje de humedad en temporada sin lluvia

4.4.1 Parcela 1, Zona Alta, Textura Franco Arcilloso

4.4.1.1 Porcentaje de humedad temporada de lluvia

Tabla N°12. Resultados de porcentaje de humedad con días en lluvia Parcela 1.

Descripción	DIA 1 % 11/09/2023	DIA 5 % 16/09/2023	DIA 10 % 21/09/2023	DIA 15 % 27/09/2023	Media
P1M1CH	39.53	31.39	49.75	27.47	37.04
P1M2CH	34.25	25.07	26.77	21.22	26.83
P1M1SH	34.23	23.76	30.73	21.74	27.62
P1M2SH	35.59	29.73	24.02	19.06	27.10
Media	35.90	27.49	32.82	22.37	29.64

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla N°12 muestra los resultados de porcentaje humedad que contenía el suelo desde el día 1 hasta el día 15 con un intervalo de 5 días, donde se tomó como día 1 después de haber transcurrido las 24 horas del primer riego. En la descripción se muestran los tratamientos, los surcos con hidrogel y sin hidrogel.

Los datos de humedad en el día 10 presentan un cambio o aumento brusco debido a un giro inesperado en el día 7 por inicio de precipitaciones.

Se observa que en el día 10 se observa que el porcentaje de humedad en P1M1CH aumenta a 49.75% debido a la pendiente y encharcamiento de agua en la zona baja.

En general, se observa una tendencia a una mayor humedad del suelo en los surcos con hidrogel en comparación con los surcos sin hidrogel. Esto se debe a la capacidad del hidrogel para absorber y retener agua, lo que la libera gradualmente al suelo.

La diferencia en la humedad entre los tratamientos es más evidente en los primeros días después del riego (días 1 a 5), cuando el hidrogel libera la mayor cantidad de agua absorbida.

A partir del día 10, la diferencia en la humedad entre los tratamientos se aumenta, lo que se debe a las precipitaciones inesperadas durante las fechas de 18 y 19 de septiembre.

Este evento provocó un aumento significativo de la humedad en ambos tratamientos, especialmente en P1M1CH (surcos con hidrogel zona baja de la pendiente), donde se registró un aumento hasta el 49.75%.

Es importante considerar que las precipitaciones pueden afectar la dinámica de la humedad del suelo de manera impredecible, dificultando la comparación directa entre El día 15 se observó un crecimiento brusco de malezas, principalmente en las zonas con mayor humedad (zonas bajas y con hidrogel).

Esto se debe a que las malezas, al igual que otros organismos, buscan las zonas con mayor disponibilidad de agua para su crecimiento.

El crecimiento de malezas puede competir con los cultivos por agua y nutrientes, por lo que es importante implementar medidas de control de malezas, especialmente en zonas con alta humedad.

Tabla N°13. Cuadro de ANOVA de la parcela 1 para el periodo de lluvia.

ANOVA Medidas Repetidas					
					0.05
Fuentes	SC	gl	CM	F calculada	F
Entre sujetos	292.59	3	97.53	4.18 ns	9.28
Entre grupos	426.94	3	142.31	6.10 ns	9.28
Error	209.91	9	23.32		
<i>Total</i>	<i>929.44</i>	<i>15</i>		<i>F_c < F</i>	<i>H0 acepta</i>

Fuente: Elaboración propia.

Según los cálculos obtenidos en el cuadro de análisis de varianza en la tabla N°13 de porcentajes de humedad al 95% de confiabilidad, donde la F tabulada es mayor que la F calculada aceptando la hipótesis nula, ya que no existe diferencias significativas entre los sujetos de estudio ni entre los grupos con y sin hidrogel debido a la interrupción de precipitaciones.

La falta de diferencias significativas se debe a los siguientes factores:

La humedad del suelo varía naturalmente por la topografía y la presencia de materia orgánica. Esta variabilidad natural también incluye la interrupción de las precipitaciones, como se menciona en los resultados, afectó la dinámica de la humedad del suelo y dificultado la detección de diferencias entre los grupos.

4.4.1.2 Porcentaje de Humedad en periodo sin Lluvia

Tabla N°14. Porcentaje de humedad de la Parcela 1

Descripción	DIA 1 % 9/11/2023	DIA 5 % 13/11/2023	DIA 10 % 18/11/2023	DIA 15 % 23/11/2023	Media
P1M1CH	37.72	29.11	24.98	19.06	27.72
P1M2CH	39.45	28.76	23.22	18.36	27.45
P1M1SH	33.18	24.9	19.47	15.38	23.23
P1M2SH	32.92	26.35	17.8	13.15	22.56
Media	35.82	27.28	21.37	16.49	25.24

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°14 se muestra los resultados obtenidos en los tratamientos con la aplicación de hidrogel P1M1CH Y P1M2CH al igual que se muestra los resultados del

testigo sin hidrogel P1M1SH y P1M2SH en un suelo franco arcilloso, donde se observa que en el día 1 los tratamientos con hidrogel aumentan la capacidad de campo comparada con la tabla N°11. También se muestra la diferencia que existe en las medias P1M1CH y P1M2CH del 27% que son mayores que los tratamientos de P1M1SH y P1M2SH con 22% y 23%.

Los resultados indican que la aplicación de hidrogel tuvo un efecto positivo en la capacidad de campo del suelo, aumentando la cantidad de agua que el suelo puede almacenar. Esto se debe a la capacidad del hidrogel para absorber y retener agua, lo que permite que el suelo la libere gradualmente a las plantas según sus necesidades.

El aumento de la capacidad de campo del suelo tiene diversas consecuencias positivas para el crecimiento de las plantas y la gestión del riego:

Las plantas tienen acceso a una mayor cantidad de agua durante un período de tiempo más prolongado, lo que favorece su crecimiento y desarrollo. Se necesita regar con menos frecuencia, lo que ahorra tiempo, agua y energía.

Las plantas están menos expuestas al estrés hídrico, lo que reduce el riesgo de marchitamiento y muerte.

Tabla N°15. Cuadro de ANOVA de la Parcela 1.

ANOVA Medidas Repetidas					
					0.05
Fuentes	SC	gl	MC	F calculada	F
Entre sujetos	89.00	3	29.67	25.35 *	9.28
Entre grupos	830.59	3	276.86	236.57*	9.28
Error	10.53	9	1.17		
<i>Total</i>	<i>930.12</i>	<i>15</i>		<i>F_c > F</i>	<i>H1 acepta</i>

Fuente: Elaboración propia

Según los cálculos obtenidos en el cuadro de análisis de varianza en la tabla N°15 de porcentajes de humedad al 95% de confiabilidad, donde se muestra que la F tabulada es menor que la F calculada aceptando la hipótesis alternativa, ya que existe diferencias significativas entre los sujetos de estudio con y sin hidrogel.

Las diferencias significativas en la humedad del suelo entre los grupos con y sin hidrogel sugieren que el uso de hidrogel tuvo un efecto positivo en la retención de agua en el suelo. Esto se corrobora con los resultados de otros estudios (Pozo, 2018) que han demostrado que el hidrogel puede aumentar la capacidad de campo del suelo y reducir la frecuencia de riego.

Tabla N°16. Prueba de medias de los porcentajes de humedad al 5%

PRUEBA DE TUKEY AL 5%		
Grupo	Media	Agrupación
P1M1CH	27.72	A
P1M2CH	27.45	A
P1M1SH	23.23	B
P1M2SH	22.56	B

Fuente: Elaboración propia

Por la existencia de diferencias significativas como muestra en la tabla N°16 se procede a realizar la comparación de medias del porcentaje de humedad de los tratamientos al 5%, donde se observa que no existe diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento con hidrogel P1M1CH y P1M2CH, mientras estos tratamientos si presentan diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos sin hidrogel P1M1SH y P1M2SH. Por otra parte, los tratamientos P1M1SH y P1M2SH no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí. Lo que nos indica que los tratamientos con hidrogel tuvieron una mejor conservación de agua durante los 15 días después del riego.

4.4.2 Parcela 2, Zona baja, Textura Franco

4.4.2.1 Porcentaje de humedad temporada de lluvia

Tabla N°17. Datos de porcentaje de humedad con días en lluvia Parcela 2.

Descripción	DIA 1 % 11/09/2023	DIA 5 % 16/09/2023	DIA 10 % 21/09/2023	DIA 15 % 26/09/2023	Media
P2M1CH	47.23	26.6	34.02	26.45	33.58
P2M2CH	42.51	36.2	27.58	25.41	32.93
P2M1SH	32.49	23.85	22.85	19.27	24.62
P2M2SH	30.71	25.92	16.55	12.94	21.53
Media	38.24	28.14	25.25	21.02	28.16

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N°17 muestra los resultados de porcentaje humedad que contenía el suelo franco desde el día 1 hasta el día 15 con un intervalo de 5 días, donde se tomó como día 1 después de haber transcurrido las 24 horas del primer riego. En la descripción se muestran los tratamientos, los surcos con hidrogel y sin hidrogel.

En general, se observa una tendencia a una mayor humedad del suelo en los surcos con hidrogel en comparación con los surcos sin hidrogel. Esto se debe a la capacidad del hidrogel para absorber y retener agua, lo que la libera gradualmente al suelo.

La diferencia en la humedad entre los tratamientos es más evidente en los primeros días después del riego (días 1 a 5), cuando el hidrogel libera la mayor cantidad de agua absorbida.

A partir del día 10, la diferencia en la humedad entre los tratamientos se reduce, debido a la redistribución del agua por efecto de las precipitaciones inesperadas.

Este evento provocó un aumento significativo de la humedad en ambos tratamientos, especialmente en P1M1CH (surcos con hidrogel en pendiente), donde se registró un aumento hasta el 34.02%.

En el día 15, se observa que los tratamientos con hidrogel mantienen una mayor humedad del suelo en comparación con los tratamientos sin hidrogel. Esto se debe a la capacidad del hidrogel para retener agua durante un período de tiempo más prolongado, lo que reduce la pérdida de agua por evapotranspiración..

Tabla N°18. Cuadro de ANOVA de la Parcela 2 con días en lluvia.

ANOVA Medidas Repetidas					
					0.05
Fuentes	SC	gl	MC	F calculada	F
Entre sujetos	434.21	3	144.74	10.32 *	9.28
Entre grupos	643.96	3	214.65	15.31 *	9.28
Error	126.18	9	14.02		
<i>Total</i>	<i>1204.34</i>	<i>15</i>		<i>F_c > F</i>	H1 acepta

Fuente: Elaboración propia

Según los cálculos obtenidos en el cuadro ANOVA en la tabla N°18 de porcentajes de humedad al 95% de confiabilidad, donde la F calculada es mayor que la F tabulada aceptando la hipótesis alternativa, ya que existe diferencias significativas entre los sujetos de estudio con y sin hidrogel en un suelo con textura franco a pesar de la interrupción de precipitaciones.

Las diferencias significativas en la humedad del suelo entre los grupos con y sin hidrogel sugieren que el uso de hidrogel tuvo un efecto positivo en la retención de agua en el suelo, incluso con la interrupción de las precipitaciones.

Tabla N°19. Prueba de medias de los porcentajes de humedad al 5%

PRUEBA DE TUKEY AL 5%		
Grupo	Media	Agrupación
P2M1CH	33.58	A
P2M2CH	32.93	AB
P2M1SH	24.62	BC
P2M2SH	21.53	C

Fuente: Elaboración propia

Haciendo la comparación entre grupos con el test de Tukey al 5% por la existencia de diferencias significativas como muestra en la tabla N°19, donde se observa que no existe diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento con hidrogel P2M1CH y P2M2CH, pero el surco con el tratamiento con hidrogel P2M1CH si existe diferencias estadísticas significativas con los tratamientos sin hidrogel. Mientras el tratamiento del

surco 2 con hidrogel P2M2CH observa que no existe diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento con P2M1SH, pero si con P2M2SH. Y los tratamientos sin hidrogel P2M1SH y P2M2SH. Lo que nos indica que los tratamientos con hidrogel tuvieron una mejor conservación de agua durante los 15 días después del riego.

4.4.2.2 Porcentaje de Humedad Temporada sin Lluvia

Tabla N°20. Porcentaje de humedad de la Parcela 2.

Descripción	DIA 1 % 9/11/2023	DIA 5 % 13/11/2023	DIA 10 % 18/11/2023	DIA 15 % 23/11/2023	Media
P2M1CH	38.05	31.11	26.5	20.14	28.95
P2M2CH	40.42	33.6	27.21	18.02	29.81
P2M1SH	32.09	25.8	18.24	15.87	23.00
P2M2SH	33.63	26.28	19.6	16.01	24.38
Media	36.55	29.20	22.89	17.51	26.54

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°20 se muestra los resultados obtenidos en los tratamientos con la aplicación de hidrogel P1M1CH Y P1M2CH al igual que se muestra los resultados del testigo sin hidrogel P1M1SH y P1M2SH en un suelo franco, donde se observa que en el día 1 los tratamientos con hidrogel aumentan la capacidad de campo comparada con la tabla N°11. También se muestra la diferencia que existe en las medias P1M1CH 28.95% y P1M2CH del 29.81% que son mayores que los tratamientos de P1M1SH y P1M2SH con 23% y 24%.

Aumentando la capacidad de retener agua mediante la aplicación de hidrogel tiene diversas consecuencias positivas para el crecimiento de las plantas y la gestión del riego lo que la hace más accesible para las raíces de las plantas durante un período de tiempo más prolongado.

Tabla N°21. Cuadro de ANOVA de la Parcela 2.

ANOVA Medidas Repetidas					
					0.05
Fuentes	SC	gl	MC	F calculada	F
Entre sujetos	134.86	3	44.95	18.01 *	9.28
Entre grupos	808.38	3	269.46	107.98 *	9.28
Error	22.46	9	2.50		
<i>Total</i>	<i>965.69</i>	<i>15</i>		<i>F_c > F</i>	H1 acepta

Fuente: Elaboración propia

El cuadro de ANOVA en la tabla N°21 son los cálculos obtenidos de la tabla N°21 de porcentajes de humedad en los 15 días al 95% de confiabilidad, donde se muestra que la F tabulada de 9.28 es menor que la F calculada 18.01 entre sujetos aceptando la hipótesis alternativa, ya que existe diferencias significativas entre los sujetos de estudio con y sin hidrogel.

Las diferencias significativas en la humedad del suelo entre los grupos con y sin hidrogel sugieren que el uso de hidrogel tuvo un efecto positivo en la retención de agua en el suelo durante los 15 días del estudio.

Tabla N°22. Prueba de medias de los porcentajes de humedad al 5%

PRUEBA DE TUKEY AL 5%		
Grupo	Media	Agrupación
P1M2CH	29.81	A
P1M1CH	28.95	A
P1M2SH	24.38	B
P1M1SH	23.00	B

Fuente: Elaboración propia

Por la existencia de diferencias significativas como muestra en la tabla N°22 se procede a realizar la comparación de medias del porcentaje de humedad de los tratamientos al 5%, donde se observa que no existe diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento con hidrogel P1M1CH y P1M2CH, mientras estos tratamientos si presentan diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos sin hidrogel

P1M1SH y P1M2SH. Por otra parte, los tratamientos P1M1SH y P1M2SH no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí. Lo que nos indica que los tratamientos con hidrogel tuvieron una mejor conservación de agua durante los 15 días después del riego.

4.4.3 Diferencia Entre las Parcelas 1 y 2

En las parcelas 1 y 2 tienen una diferencia geográfica como física, es decir, son diferentes en la altitud y las texturas del suelo.

Tabla N°23. Porcentaje de humedad entre Parcela 1 y 2 CH.

Descripción	DIA 1 % 9/11/2023	DIA 5 % 13/11/2023	DIA 10 % 18/11/2023	DIA 15 % 23/11/2023	Media
P1M1CH	37.72	29.11	24.98	19.06	27.72
P1M2CH	39.45	28.76	23.22	18.36	27.45
P2M1CH	38.05	31.11	26.5	20.14	28.95
P2M2CH	40.42	33.6	27.21	18.02	29.81
Media	38.91	30.65	25.48	18.90	28.48

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°23 se muestra los resultados obtenidos en las dos parcelas en los tratamientos con hidrogel P1M1CH, P1M2CH de la parcela 1 y P2M1CH Y P2M2CH de la parcela 2 donde se determina que con la aplicación de hidrogel el suelo aumenta su capacidad de absorber agua en el suelo en el día 1 según la tabla N°11, 24hrs después del riego y aumenta su duración de humedad en el suelo a los 15 días. Con una media del 27% de humedad en la parcela 1, es menor que la de la parcela 2 con media de 29% de humedad en un suelo franco. A pesar de contar franco arcilloso, es decir, con un poco mas de arcilla en comparación con el suelo franco con menos porcentaje de arcilla debido a la altitud, ya que la parcela 1 se encuentra a una altitud de 2044m.s.n.m y la parcela 2 1875m.s.n.m. A mayor altitud, la presión atmosférica disminuye, lo que reduce la cantidad de vapor de agua que el aire puede contener. Esto genera un mayor gradiente de vapor de presión entre la superficie terrestre y la atmósfera, lo que impulsa la evaporación.

Tabla N°24. Cuadro de ANOVA de la Parcela 1 y 2 CH.

ANOVA Medidas Repetidas					
					0.05
Fuentes	SC	gl	MC	F calculada	F
Entre sujetos	14.58	3	4.86	2.57 ns	9.28
Entre grupos	857.44	3	285.81	151.05 *	9.28
Error	17.03	9	1.89		
<i>Total</i>	889.04	15		$F_c < F$	H0 acepta

Fuente: Elaboración propia

El cuadro de ANOVA en la tabla N°24 son los cálculos obtenidos de la tabla N°24 de porcentajes de humedad con tratamientos con hidrogel en las dos parcelas en los 15 días al 95% de confiabilidad, donde se muestra que la F tabulada de 9.28 es mayor que la F calculada 2.57. Que plantea que no existen diferencias significativas entre las dos texturas franco y franco arcilloso en cuanto a la retención de humedad del suelo con hidrogel. Este resultado sugiere que el efecto del hidrogel en la retención de humedad del suelo no depende significativamente de la textura del suelo, al menos en las condiciones de este estudio.

Esto es una buena noticia, ya que significa que el hidrogel podría ser una herramienta útil para mejorar la gestión del agua en el suelo en una amplia gama de tipos de suelo.

4.5 Numero de Brotes

4.5.1 Parcela 1, Zona Alta, Textura Franco Arcilloso

Tabla N°25. Crecimiento del número de brotes en Parcela 1 (cm)

P1M1CH			P1M1SH				
Nº de Brotes			Nº de Brotes			Media	
Sep	Oct	Nov	Sep	Oct	Nov	CH	SH
4	6	9	3	3	4	6	3
5	10	14	4	6	8	10	6
2	5	10	5	6	8	6	6
5	12	19	4	8	6	12	6
3	5	8	2	7	9	5	6
3	6	8	3	4	6	6	4
3	5	6	4	6	8	5	6
4	9	12	6	7	7	8	7
3	6	12	3	8	6	7	6
3	6	9	3	7	7	6	6
P1M2CH			P1M2SH				
Nº de Brotes			Nº de Brotes			Media	
Sep	Oct	Nov	Sep	Oct	Nov	CH	SH
3	4	11	3	5	7	6	5
2	4	12	5	5	8	6	6
3	3	7	3	4	6	4	4
4	6	8	6	6	12	6	8
3	2	10	3	8	10	5	7
3	5	11	4	5	7	6	5
2	4	10	4	5	9	5	6
4	5	10	2	5	7	6	5
4	5	11	6	6	9	7	7
4	6	7	3	5	5	6	4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°25 se observó el crecimiento de nuevos brotes de manzana en los tratamientos con y sin hidrogel durante el periodo de septiembre, octubre y noviembre. Donde todos los tratamientos con y sin hidrogel empezaron con una media de 4 y 3 brotes por planta, y en noviembre hubo un mayor crecimiento de brotes los tratamientos de hidrogel con 10 y 11 brotes por planta a comparación de los tratamientos sin hidrogel con una media de 7 y 8 brotes de planta.

Estos resultados sugieren un efecto positivo en el crecimiento de nuevos brotes en la planta de manzana con tratamientos con hidrogel. Cabe recalcar que también en esta parcela en el transcurso de la toma de datos de la investigación hubo pérdidas de brotes por fuertes granizos y altas temperaturas.

Tabla N°26. Prueba de varianzas de dos muestras Parcela 1.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	CH	SH
Media	6.33	5.77
Varianza	3.52	0.98
Observaciones	20	20
Grados de libertad	19	19
F calculada	3.58 ns	
F tabulada	2.17	<i>P<alfa</i>
0.05	$F_c < F$	acepta H0

Fuente: Elaboración propia

Para la tabla N°26 se acepta la hipótesis alternativa, dado que F calculada de 3.58 es mayor que la F tabulada de 2.17, estos los resultados muestran que si hay una diferencia significativa en el crecimiento de los brotes de manzana entre los surcos tratados con hidrogel en un suelo franco arcilloso, donde el hidrogel ayudo a evitar la pérdida de nutrientes por lixiviación y también ayudó a la recuperación de nuevos brotes, ya que en fechas de estudio hubo caída de precipitaciones con granizo, lastimando a las plantas de manzano.

En el caso de las medias son más cercanas 6.53cm a 5.77cm, en comparación de las varianzas con hidrogel 3.52 es mayor que la de sin hidrogel de 0.98, donde la varianza con hidrogel es mayor que la varianza sin hidrogel. Esto confirma que los datos de brotes con hidrogel tienen una mayor dispersión, lo que significa que hay una mayor diferencia en el número de brotes entre las plantas que recibieron hidrogel.

4.5.2 Parcela 2, Zona Baja, Textura Franco

Tabla N°27. Crecimiento del número de brotes en la Parcela 2 (cm).

P2M1CH			P2M1SH				
Nº de Brotes			Nº de Brotes			Media	
Sep	Oct	Nov	Sep	Oct	Nov	CH	SH
6	9	10	6	10	6	8	7
4	8	10	4	6	8	7	6
3	7	9	4	6	7	6	6
4	6	8	3	9	6	6	6
4	6	7	5	7	7	6	6
4	7	7	4	8	4	6	5
3	11	12	6	12	10	9	9
5	12	18	2	6	8	12	5
4	6	8	2	8	6	6	5
2	7	10	4	6	9	6	6
P2M2CH			P2M2SH				
Nº de Brotes			Nº de Brotes			Media	
Sep	Oct	Nov	Sep	Oct	Nov	CH	SH
4	9	7	2	4	9	7	5
7	8	7	6	12	10	7	9
3	10	18	4	8	7	10	6
4	7	17	6	8	7	9	7
6	10	14	3	5	7	10	5
3	8	14	2	6	3	8	4
1	3	7	3	7	6	4	5
2	7	12	5	8	6	7	6
5	8	8	2	13	8	7	8
4	8	10	5	6	9	7	7

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°27 se observó el crecimiento de nuevos brotes de manzana en los tratamientos con y sin hidrogel durante el periodo de septiembre, octubre y noviembre. Donde todos los tratamientos con y sin hidrogel empezaron con una media de 4 brotes por planta, y en noviembre hubo un mayor crecimiento de brotes los tratamientos de hidrogel con 10 y 11 brotes por planta a comparación de los tratamientos sin hidrogel con una media de 7 brotes de planta. Los resultados sugieren que el hidrogel tuvo un efecto positivo en el crecimiento de brotes de manzana.

Esto se puede atribuir a la capacidad del hidrogel para mejorar la retención de agua en el suelo, lo que proporciona a las plantas un acceso más constante a este recurso vital para su crecimiento y desarrollo.

Además, el hidrogel puede haber liberado nutrientes de manera gradual, lo que también pudo haber contribuido al mayor crecimiento de brotes en los tratamientos con hidrogel. Cabe recalcar que en el transcurso de la toma de datos de la investigación hubo pérdidas de brotes por fuertes granizos y altas temperaturas.

Tabla N°28. Prueba de varianzas de dos muestras Parcela 2.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	CH	SH
Media	7.47	6.27
Varianza	3.50	1.93
Observaciones	20	20
Grados de libertad	19	19
F calculada	1.82 ns	
F tabulada	2.17	0.05
0.05	Fc < F	acepta H0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°28 se acepta la hipótesis nula, dado que los resultados muestran que no hay diferencia significativa en el crecimiento de nuevos brotes en la manzana. Esto sugiere que con la presencia o ausencia de hidrogel no tiene impacto estadísticamente significativo en el crecimiento de brotes en un suelo franco.

Varianza con hidrogel es de 3.50 y la de sin hidrogel es de 1.93, esto confirma que los datos de brotes con hidrogel tienen una ligera dispersión, lo que significa que hay una mayor diferencia en el número de brotes entre las plantas que recibieron hidrogel. Sin embargo, es importante considerar que la varianza solo proporciona información sobre la dispersión de los datos y no sobre la diferencia en las medias.

Es importante destacar que la ausencia de diferencias significativas no implica que el hidrogel no tenga ningún efecto. Se necesitarían estudios más amplios con diferentes

condiciones y variables para determinar con mayor precisión el efecto del hidrogel en el crecimiento de brotes de manzana.

4.5.3 La Diferencia entra la Parcela 1 y 2

En la tabla N°25 y N°27 se determinó el promedio de los crecimientos de brotes durante el mes de septiembre a noviembre, solo con los surcos tratados con hidrogel en las dos parcelas que tienen una diferencia texturas tales como, suelo franco arcilloso y suelo franco,

Tabla N°29. Prueba de varianzas de las dos muestras CH Parcela 1 y 2.

Parcela 1 y 2 con Hidrogel		
Prueba F para varianzas de dos muestras		
	P1CH	P2CH
Media	6.33	7.47
Varianza	3.52	3.50
Observaciones	20	20
Grados de libertad	19	19
F calculada	0.99 ns	
F tabulada	2.17	<i>P<alfa</i>
0.05	Fc < F	acepta H0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°29 en la prueba de F para varianzas de dos muestras, se acepta la hipótesis nula, queriendo decir que se rechazamos que existe diferencia significativa en el crecimiento de brotes nuevos en las diferentes texturas de suelo estudiado franco y franco arcilloso con hidrogel.

La media de brotes en el grupo franco 7.47 es mayor que la del grupo franco arcilloso 6.53. Esto sugiere que, en promedio, las plantas en suelo franco tienen más brotes que las del suelo franco por ser más apta para el cultivo del manzano.

Las varianzas de ambos grupos son muy similares 3.52 y 3.50, lo que indica que la dispersión de los datos es similar en ambos grupos con hidrogel.

4.6 Crecimiento de las Plantas de Manzana

4.6.1 Parcela 1, Zona Alta, Textura Franco Arcilloso

Tabla N°30. Crecimiento de la planta Parcela 1 (cm).

	Altura mes de sep(cm)		Altura mes de dic(cm)		Crecimiento de la Planta	
	CH	SH	CH	SH	CH	SH
Parcela 1	68	71	80	75	12	4
	73	75	73	100	0	25
	59	66	110	84	51	18
	71	60	104	92	33	32
	74	74	119	96	45	22
	68	65	98	75	30	10
	63	68	120	83	57	15
	69	70	84	77	15	7
	58	63	99	85	41	22
	65	65	93	90	28	25
	74	62	85	92	11	30
	67	69	75	89	8	20
	56	57	73	70	17	13
	60	65	105	100	45	35
	58	61	80	89	22	28
	59	70	75	87	16	17
	62	74	70	91	8	17
	65	76	80	106	15	30
	70	68	90	81	20	13
	73	70	108	93	35	23
				25,45	20,3	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°30 se muestra el crecimiento de las plantas de manzana durante el tiempo de estudio desde el mes de septiembre hasta el mes de diciembre, con la media de crecimiento con hidrogel de 25.45cm es mayor que la sin hidrogel de 20.3cm. Esto sugiere que, en promedio, las plantas con hidrogel crecen más en altura que las que no lo reciben el tratamiento.

Es importante tener en cuenta que este estudio se realizó en un solo ciclo de crecimiento muy corto y en condiciones específicas. Se necesitarían más estudios para confirmar estos resultados en diferentes condiciones climáticas y también sería interesante

investigar el efecto del hidrogel en otros aspectos del crecimiento de las plantas, como el diámetro del tallo, la producción de hojas y la producción de frutos a futuro.

Tabla N°31. Prueba de varianzas de las dos muestras Parcela 1

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	CH	SH
Media	25.45	20.30
Varianza	257.73	72.01
Observaciones	20.00	20.00
Grados de libertad	19.00	19.00
F calculada	3.58 *	
F tabulada	2.17	<i>P<alfa</i>
0.05	Fc > F	acepta H1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°31 de la Prueba F de varianza de dos muestras, acepta la hipótesis alternativa H1, con la F calculada 3.58 mayor que la F tabulada de 2.17, existe una diferencia estadísticamente significativa a favor del tratamiento con hidrogel, sin embargo, visualmente no se percibe la gran diferencia ya que solo son una media 5 centímetros de diferencia.

La varianza con hidrogel 257.73 es mucho mayor que la sin hidrogel 72.01. a variabilidad en el crecimiento es mayor en las plantas con hidrogel. Esto significa que hay una mayor diferencia en el crecimiento entre algunas plantas con hidrogel, mientras que el crecimiento de las plantas sin hidrogel es más uniforme.

Es importante destacar que la significancia estadística no implica necesariamente que la diferencia sea grande o importante desde un punto de vista práctico. En este caso, la diferencia de 5 cm en la media puede ser considerada pequeña en términos del crecimiento total de un árbol de manzana, pero a un futuro, puede seguir aumentando la diferencia.

4.6.2 Parcela 2, Zona Baja, Textura Franca

Tabla N°32. Datos del crecimiento de la planta Parcela 2 (cm).

	Altura mes de sep(cm)		Altura mes de ene(cm)		Crecimiento de la Planta	
	CH	SH	CH	SH	CH	SH
Parcela 2	68	66	100	96	32	30
	64	72	93	100	29	28
	70	60	85	80	15	20
	60	73	80	90	20	17
	60	67	90	90	30	23
	60	58	110	70	50	12
	59	77	73	100	14	23
	74	68	92	90	18	22
	60	60	105	90	45	30
	68	60	90	85	22	25
	72	71	85	80	13	9
	70	64	90	80	20	16
	65	65	73	70	8	5
	63	60	105	90	42	30
	65	60	80	95	15	35
	55	60	73	80	18	20
	60	65	75	90	15	25
	58	58	90	70	32	12
	59	58	90	85	31	27
	67	68	108	80	41	12
				25.5	21.05	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°32 se muestra el crecimiento de las plantas de manzana durante el tiempo de estudio desde el mes de septiembre hasta el mes de diciembre, con la media de crecimiento con hidrogel de 25.5cm es mayor que la sin hidrogel de 21.05cm. Esto sugiere que, en promedio, las plantas con hidrogel crecen más en altura que las que no reciben hidrogel. Los resultados de este estudio sugieren que el hidrogel podría ser una herramienta útil para mejorar el crecimiento en altura de las plantas de manzana a un futuro. Ya que esto podría tener implicaciones importantes para la producción de manzanas, ya que podría ayudar a aumentar el rendimiento de los cultivos y mejorar la calidad de la fruta.

Tabla N°33. Prueba de varianzas de las dos muestras Parcela 2.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	CH	SH
Media	25.5	21.05
Varianza	144.79	65.84
Observaciones	20	20
Grados de libertad	19	19
F calculada	2.20 *	
F tabulada	2.17	<i>P<alfa</i>
0.05	Fc > F	acepta H1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°33, el análisis estadístico ha proporcionado evidencia suficiente para aceptar la hipótesis alternativa de dos varianzas, donde la F calculada 2.20 es mayor que la F tabulada de 2.17, existe una diferencia estadísticamente significativa a favor del tratamiento con hidrogel.

La varianza con hidrogel 144.79 es mucho mayor que la sin hidrogel 65.84. Esto indica que el crecimiento de las plantas con hidrogel es más variable que el de las plantas sin hidrogel.

Los resultados de este estudio sugieren que el hidrogel puede tener un efecto en la variabilidad del crecimiento en altura de las plantas de manzana. Es importante destacar que una mayor variabilidad no implica necesariamente que el crecimiento promedio sea mayor o menor en el grupo con hidrogel.

4.6.3 La Diferencia entra la Parcela 1 y 2

Tabla N°34. Prueba de varianzas de las dos muestras CH Parcela 1 y 2.

Parcela 1 y 2		
Prueba F para varianzas de dos muestras		
	CH 1	CH 2
Media	53.45	51.85
Varianza	254.47	154.13
Observaciones	20	20
Grados de libertad	19	19
F calculada	1.65 ns	
F tabulada	2.17	<i>P<alfa</i>
0.05	Fc < F	acepta H1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°34 de la prueba F para varianza de dos muestras, acepta la hipótesis nula H_0 , quiere decir, que aplicando hidrogel en estas dos texturas no existe diferencias estadísticamente significativas siendo iguales en términos del desarrollo y crecimiento de las plantas. Pero si se notó que la varianza con hidrogel 1 es mayor que la con hidrogel 2, el crecimiento de las plantas con hidrogel de la parcela 1 es más variable que el de las plantas con hidrogel de la parcela 2.

Esto se debe a varios factores similares, como la cantidad de hidrogel aplicado, las condiciones climáticas durante el estudio, las texturas franco y franco arcilloso y las características individuales de cada planta.

Los resultados de este estudio sugieren que no hay una diferencia significativa en el crecimiento promedio de las plantas de manzana con hidrogel entre las parcelas 1 y 2. Sin embargo, la mayor varianza en la parcela 1 sugiere que el crecimiento de las plantas en esa parcela es más variable.

4.6.4 Frecuencia de riego

Tabla N°35. Tabla de duración del agua por día.

DURACION DEL AGUA EN DIAS CON Y SIN HIDROGEL								
PARAMETROS	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Evapotranspiración Potencial (mm/día)	3.98	4.33	4.22	4.47	4.28	4.1	3.73	3.35
Duración del agua disponible en días P1CH	12	11	12	11	12	12	13	15
Duración del agua disponible en días P1SH	8	8	8	8	8	8	9	14
Duración del agua disponible en días P2CH	14	12	13	12	13	13	14	16
Duración del agua disponible en días P2SH	9	8	9	8	9	9	10	11

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°35 se muestra el promedio de cada parcela en los tratamientos con y sin hidrogel, también se muestra que la evapotranspiración de cada día donde siendo diciembre los días con mayor evapotranspiración en los meses de desarrollo de la planta de manzano. La ETp es un proceso crucial para el desarrollo de las plantas, ya que permite la absorción de agua y nutrientes del suelo. Sin embargo, una Etp excesiva puede generar estrés hídrico en las plantas, afectando negativamente su crecimiento y producción.

La etapa de mayor desarrollo del manzano (noviembre, diciembre y enero) coincide con un aumento de la demanda de agua, lo que hace que la Etp sea un factor crítico durante este período.

Los resultados de este estudio indican que el hidrogel tuvo un efecto positivo en la retención de agua en el suelo durante 3 a 4 días adicionales en comparación con el tratamiento sin hidrogel.

La frecuencia de riego se ampliara de 8 días a 11-12 días. Esto se debe a la capacidad del hidrogel para absorber y almacenar agua, lo que permite que el suelo la libere gradualmente a las plantas según sus necesidades. La mayor retención de agua proporcionada por el hidrogel pudo haber contribuido a reducir el estrés hídrico en las plantas durante la etapa de mayor desarrollo, lo que tuvo un impacto positivo en su crecimiento. Esto podría ser particularmente beneficioso en áreas con condiciones de sequía o donde el acceso al agua es limitado.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- La aplicación de hidrogel resultó en un aumento significativo en el porcentaje de humedad del suelo en los tratamientos de ambas parcelas, tanto en suelo franco como en suelo franco arcilloso. Aumentando su capacidad de retener agua de 33.67% a 37.72% y 39.45%, en la parcela 1 y en la parcela 2 de 30.65% a 38.05% y 40.42%. Y con eso también se aumentó el agua útil de que permanece en el suelo para la planta de manzano.
- Se concluye que la diferencia en el porcentaje de humedad del suelo entre las parcelas con hidrogel, fue más pronunciada en el suelo franco, donde esta parcela se encuentra a una altura de 1875m.s.n.m, mientras la parcela 1 se encuentra a una altura de 2044m.s.n.m. donde hay una mayor evapotranspiración.
- Se concluye que hidrogel tuvo un efecto positivo en el crecimiento de las plantas de manzano en ambas parcelas con una media de 25.5cm a comparación de las parcelas sin hidrogel de una media de 20cm y 21cm. En cuanto a los crecimientos de nuevos brotes también existe una diferencia estadísticamente significativa.
- Se ha determinado que el suelo de la zona de estudio presenta características físicas adecuadas para el cultivo del manzano, con una textura franco y franco arcilloso, buena retención de agua. Sin embargo, es susceptibles a la erosión por escorrentía a causa de las precipitaciones, también tiene buen drenaje lo que causa lixiviación de los nutrientes a capas inferiores.
- Se concluye que el uso de hidrogel como enmienda del suelo puede mejorar la retención de agua y reducir la frecuencia de riego con una duración de agua en el suelo de 8-9 días a 11-12 días, en el cultivo del manzano. Esto se traduce en un ahorro de tiempo, energía y agua de aproximadamente de 3 días y una mayor eficiencia en el uso de este recurso en los meses críticos de los septiembre, octubre y noviembre, ya que los meses restantes hay bastante agua, por otras fuentes como las lluvias constantes y la abundancia de aguas en las vertientes.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios de las texturas del suelo antes de aplicar y determinar una dosis de hidrogel. Esto permitirá obtener una comprensión más completa del comportamiento del hidrogel en diferentes condiciones edáficas. Es importante analizar, la tasa de infiltración de la parcela a aplicar, la evapotranspiración del cultivo elegido y la retención de agua. También es importante consultar tus datos climáticos o el ABRO, para saber que meses es más eficiente usar el hidrogel.
- Se recomienda comprobar la capacidad real de absorción de agua del hidrogel adquirido o por adquirir.
- Se recomienda realizar un seguimiento de la humedad del suelo durante un período más extenso, que abarque diferentes estaciones del año y condiciones climáticas.
- Se recomienda seguir evaluando los otros parámetros de crecimiento, como la longitud de las raíces, el área foliar, la biomasa.
- Se recomienda realizar estudios a largo plazo ya que es importante evaluar el impacto del hidrogel en el suelo y en la salud de la planta de manzano, incluyendo la incidencia de enfermedades y plagas.
- Se recomienda estudiar la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y el agua útil para hacer un calendario y desarrollar modelos de riego que consideren el uso del hidrogel para determinar una frecuencia de riego óptima.
- Se recomienda realizar un análisis del impacto económico del uso del hidrogel en el cultivo de la manzana, considerando el costo del hidrogel, el ahorro de agua y si hay aumento de la producción futura.
- Se recomienda realizar siempre un monitoreo constante para evitar el desarrollo de malezas ya que buscan las zonas más húmedas para crecer, también estar pendiente para detectar posibles plagas y enfermedades.