

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE SUSTRATOS EN EL
PROCESO DE ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES DE MANZANA ROYAL
GALA (*Malus domestica*) EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL
CENTRO EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

Por:

Henrry Kasa Ramirez

EL ALTO – BOLIVIA

Diciembre, 2024

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
EVALUACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE SUSTRATOS EN EL PROCESO DE
ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES DE MANZANA ROYAL GALA (*Malus domestica*) EN
CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE KALLUTACA

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniero agrónomo*

Henrry Kasa Ramirez

Asesores:

M.Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

M.Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas

Tribunal Revisor:

M.Sc. Lic. Ing. Pedro Mamani Mamani

Lic. Ing. René Felipe Coronel Cortez

Lic. Ing. Edwin Guarachi Laura

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA:

A Dios por darme la vida, por estar siempre conmigo en todo momento. A mis padres Dionicio Kasa Aruquipa y Gabina Daria Ramirez Aruquipa por su gran apoyo y sacrificio, incansable.

A mis hermanos Marleny, Carla, Sergio, Alvaro, Roger, Gael. A mí querida madrina Luisa por su apoyo valioso e inolvidable durante estos años de estudio.

AGRADECIMIENTOS

A Dios que me dio la oportunidad de poder culminar mis estudios y realizar mi vida profesional.

Manifestar mi sincero agradecimiento a la Universidad Pública de El Alto, a la carrera de Ingeniería Agronómica, al instituto de investigación, al proyecto IDH producción de esquejes de frutales, a todos los docentes de las diferentes materias, quienes forjaron mis estudios en el transcurso de toda la carrera.

A mis asesores: M.Sc. Lic. Ing, Ramiro Raul Ochoa Torrez y el M.Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas, por toda la colaboración que me brindaron asesorando y orientándome, durante toda la etapa de investigación, un agradecimiento muy especial.

Al tribunal examinador: M.Sc. Lic. Ing. Mamani Mamani Pedro, al Lic. Ing. Coronel Cortez René Felipe y al Lic. Ing. Guarachi Laura Edwin, por las correcciones y observaciones realizadas en la elaboración del documento de tesis.

Un agradecimiento muy especial a mis padres Dionicio Kasa Aruquipa y Gabina Daria Ramirez Aruquipa por su constante apoyo, cariño y comprensión, estoy eternamente agradecido.

A mis Padrinos Luisa Kasa Ramirez y Mario Chambi Catacora y a toda su familia, por el apoyo incondicional que me dieron en todo momento, mis sinceros agradecimientos.

A mis queridos amigos que ya no están Nelson Lima Mendoza, Lazaro Ordoñez y su familia quienes me brindaron un apoyo valioso e inolvidable, en el transcurso de mi formación académica a un que ya no están en este mundo siempre vivirán en mi corazón.

A mis compañeros de estudio por los buenos y malos momentos que pasamos por su gran apoyo y compañerismo: Jhoquin, Jhony, Karina, Abigail, Esther, Lupe y a todos mis amigos (as), que Dios me dio la dicha de conocer.

A todos mil gracias

CONTENIDO

Pág.

CONTENIDO.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
ABREVIATURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Hipótesis	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Origen de la manzana	4
2.2. Composición nutricional	5
2.3. Producción internacional.....	6
2.4. Producción en Bolivia.....	8
2.5. Producción local	8
2.6. Morfología del manzano.....	9
2.7. Fisiología del manzano	10
2.8. Variedad Royal Gala	12
2.9. Propagación vegetativa de las plantas	13
2.9.1. Propagación sexual.....	13
2.9.2. Propagación Asexual.....	15
2.9.3. Propagación por esquejes.....	16
2.9.4. Tipos de propagación vegetativa	17
2.9.5. Estaca o esqueje	17
2.9.6. Estacas de madera dura o leñosa	18
2.9.7. Estacas de madera semidura o semileñosa.....	18

2.9.8.	Estacas de madera blanda o herbácea	18
2.10.	Ventajas de la propagación vegetativa	19
2.11.	Desventajas de una propagación vegetativa	19
2.12.	Condiciones ambientales durante el enraizamiento	20
2.12.1.	Condiciones producción controlado	20
2.12.2.	Relaciones con el agua	20
2.12.3.	El pH del suelo.....	20
2.12.4.	Temperatura	20
2.12.5.	Luz	21
2.13.	Época de estaquillado	21
2.14.	Rizogénesis	21
2.15.	Razones para emplear la propagación asexual	22
2.16.	Fisiología de la propagación de esquejes.....	22
2.16.1.	Formación del callo	22
2.16.2.	Formación de raíces adventicias	23
2.17.	Condiciones que influyen en el enraizamiento	24
2.17.1.	Sustancias reguladoras de crecimiento	24
2.18.	Sustratos.....	25
2.18.1.	Clasificación del sustrato.....	26
2.18.2.	Desinfección del sustrato	26
2.18.3.	Condiciones edafológicas	27
2.18.4.	Suelo del lugar.....	27
2.18.5.	Arena	28
2.18.6.	Turba.....	28
2.18.7.	Cascarilla de café	29
2.18.8.	Cascarilla de arroz.....	30
2.18.9.	Aserrín	31
2.19.	Labores culturales	32
2.19.1.	Riego.....	32
2.19.2.	Deshierbe	32
2.19.3.	Semisombra.....	33
3.	MATERIALES Y MÉTODO.....	34
3.1.	Localización	34
3.1.1.	Ubicación Geográfica	34

3.2.	Características edafoclimáticas	35
3.2.1.	Características climáticas.....	35
3.2.2.	Suelo.....	35
3.3.	Flora.....	35
3.4.	Materiales	36
3.4.1.	Material vegetal	36
3.4.2.	Material químico	36
3.4.3.	Material orgánico	36
3.4.4.	Material de campo	36
3.4.5.	Material de gabinete	37
3.5.	Metodología.....	37
3.5.1.	Desarrollo del ensayo.....	37
3.3.1.1.	Medición del área de estudio	37
3.3.1.2.	Preparaciones del área y nivelación del terreno.....	38
3.3.1.3.	Recolección de cascarilla de arroz, aserrín, cascarilla de café y turba.....	38
3.3.1.4.	Preparación y desinfección del sustrato	38
3.3.1.5.	Preparación de sustratos	38
3.3.1.6.	Características de los envases utilizados	38
3.3.1.7.	Recolección de esquejes	38
3.3.1.8.	Trasplante.....	39
3.3.1.9.	Labores culturales	39
3.5.2.	Toma de datos.....	40
3.5.3.	Diseño Experimental	40
3.3.3.1.	Modelo lineal	40
3.5.4.	Tratamientos de estudio.....	41
3.5.5.	Croquis experimental.....	41
3.5.6.	Variables de respuesta.....	42
3.3.6.1.	Porcentaje de prendimiento	42
3.3.6.3.	Número de raíces secundarias	42
3.3.6.4.	Longitud de la raíz (cm).....	42
3.3.6.5.	Porcentaje de brotación	42
3.3.6.6.	Número de brotes.....	43
3.3.6.7.	Longitud de brotes.....	43
3.3.6.8.	Número de hojas	43

3.3.6.9.	Altura del brote principal a los tres meses	43
3.5.7.	Análisis económico	43
3.5.8.	Análisis económico	43
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1.	Características Microclimáticas	44
4.2.	Variables agronómicas	45
4.2.1.	Porcentaje de prendimiento	45
4.2.2.	Diámetro del tallo	46
4.2.3.	Número de raíces secundarias	48
4.2.4.	Longitud de la raíz	49
4.2.5.	Porcentaje de brotación	51
4.2.6.	Número de brotes	53
4.2.7.	Longitud del brote principal (cm)	55
4.2.8.	Número de hojas	56
4.2.9.	Análisis económico	58
5.	CONCLUSIONES	59
6.	RECOMENDACIONES	61
7.	BIBLIOGRAFÍA	62
8.	ANEXOS	69

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1: Proporciones de la mezcla de los sustratos.....	41
Cuadro 2: Análisis de varianza de porcentaje de prendimiento	45
Cuadro 3: Análisis de varianza de diámetro del tallo	47
Cuadro 4: Medias de diámetro del tallo.....	47
Cuadro 5: Análisis de varianza de numero de raíces secundarias (cm)	48
Cuadro 6: Análisis de varianza para longitud de la raíz (cm)	50
Cuadro 7: Análisis de varianza para porcentaje de brotación	51
Cuadro 8: Análisis de varianza de número de brotes	54
Cuadro 9: Análisis de varianza de longitud del brote principal	55
Cuadro 10: Análisis de varianza de número de hojas	57
Cuadro 11: Beneficio/costo en la propagación de esquejes de manzana.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Ubicación geográfica de la Estación Experimental de Kallutaca(Google Earth, 2024).	34
Figura 2: Croquis del experimento	41
Figura 3: Temperaturas máximas, mínimas y humedad relativa.....	44
Figura 4: Comparación de medias de porcentaje de prendimiento de los esquejes de manzana	46
Figura 5: Comparación de numero de raíces secundarias.....	48
Figura 6: Análisis de medias de longitud de la raíz.....	50
Figura 7: Prueba de medias de la variable porcentaje de brotación.....	52
Figura 8: Prueba de medias de la variable números de brotes	54
Figura 9: Prueba de medias de longitud del brote principal.....	56
Figura 10: Prueba de medias de número de hojas.....	57

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Presupuesto para la producción de esquejes de manzana.	69
Anexo 2: Presupuesto para la producción de esquejes de manzana.	70
Anexo 3: Nivelación del terreno y embolsado de sustrato.	70
Anexo 4: Recolección de esquejes de manzana en Sapahaqui.	71
Anexo 5: Preparación de esquejes para su trasplante.	71
Anexo 6: Porcentaje de prendimiento de los esquejes de manzana.	72
Anexo 7: Control de humedad en el ambiente.	72
Anexo 8: Desinfección de agua para el sustrato formol al 40%	73
Anexo 9: Presencia de larvas pequeñas y la aplicación de spiderman	73
Anexo 10: Evaluación de longitud de raíz.	74
Anexo 11: Evaluación de diámetro de tallo, temperatura.	74
Anexo 12: Volumen radicular.	75
Anexo 13: Producción de manzana por esquejes.	76

ABREVIATURAS

NDRS	Número de raíces secundarias
DBP	Diámetro del brote principal
LBP	Longitud del brote principal
LR	Longitud de raíz
NDB	Número de brotes
NHBP	Número de hojas del brote principal
PP	Porcentaje de prendimiento
NH	Número de hojas
PB	Porcentaje de brotación

RESUMEN

El siguiente trabajo se realizó en la Estación Experimental de Kallutaca en el vivero de fruticultura de la carrera Ingeniería Agronómica, de la Universidad Pública de El Alto, que corresponde a la jurisdicción de la provincia Los Andes, municipio Laja, se realizó el trabajo de investigación con esquejes de manzana con diferentes sustratos como T1 (Cascarilla de arroz), T2 (Cascarilla de café), T3 (Aserrín), T4 (Turba), la producción de manzana en nuestro país principalmente en el altiplano presenta dificultades en la producción por las características climáticas mayormente por las bajas temperaturas, aun cuando tienen una capacidad de soportar temperaturas bajas de hasta -10°C bajo cero y regenerarse vegetativamente de una planta madre y adaptarse al altiplano central, con el objetivo de analizar el desarrollo de esquejes de manzana (*Malus domestica*) con diferentes tipos de sustratos en condiciones de invernadero en la Estación Experimental de Kallutaca. El método aplicado fue experimental. El Diseño fue Bloques Completos al Azar, prueba de significancia mediante Duncan: la toma de datos fue cuantitativa, se utilizó la observación para el comportamiento y desarrollo de los esquejes los cuales fueron obtenidos de Sapahaqui, después paso al trasplante en cuatro tipos de sustrato, se utilizaron 300 esquejes de manzana y un cuaderno de campo para toma de datos, para la sistematización de datos se utilizó el programa InfoStat. El sustrato adecuado en la reproducción de esquejes de manzana es el T4 (Turba) ya que mostro buenos resultados en variables: con 70,4% con un buen porcentaje de brotación de 94%, en porcentaje de prendimiento, una media de 3,33 brotes en los esquejes, con una longitud de brote principal de 16,6 cm, con una media de 15,67 hojas en los brotes principales, ya que está compuesta por una estructura esponjosa y ligera que ayudo al desarrollo de los esquejes de manzana, en el enraizamiento de esquejes de manzana, se mostró dos mejores resultados en el T4 (Turba) ya que presentó una media de 11,73 cm de longitud de raíz seguido de T3 (Aserrín) con una longitud de raíz de 8,7 cm y en número de raíces secundarias T4 (Turba) con una media de 8,27, seguido el T3 (Aserrín) con una media de 5,67, mostrándose los sustratos con buen desarrollo radicular. En los esquejes de manzana, la relación beneficio/costo, donde se aprecia que el sustrato 3 y 4, alcanzaron la relación de 1,08 y 1,69 bs respectivamente este resultado nos indica que de un boliviano invertido se recupera el boliviano invertido, se gana 0.08, 0,69 centavos de boliviano respectivamente.

ABSTRACT

The following work was carried out at the Kallutaca Experimental Station in the fruit growing nursery of the Agronomy Engineering career of the Public University of El Alto, which corresponds to the jurisdiction of the Los Andes province, Laja municipality, the research work was carried out with apple cuttings with different substrates such as T1 (rice husk), T2 (coffee husk), T3 (sawdust), T4 (peat), apple production in our country, mainly in the highlands, presents difficulties in production due to the climatic characteristics, mainly due to low temperatures, even though they have the capacity to withstand low temperatures of up to -10°C below zero and to regenerate vegetatively from a mother plant and adapt to the central highlands. The objective was to analyze the development of apple (*Malus domestica*) cuttings with different types of substrates under greenhouse conditions at the Kallutaca Experimental Station. The method applied was experimental. The design was Randomized Complete Blocks, Duncan significance test: data collection was quantitative, observation was used for the behavior and development of the cuttings which were obtained from Sapahaqui, then transplanting in four types of substrate, 300 apple cuttings were used and a field notebook for data collection, for the systematization of data the InfoStat program was used. The suitable substrate for the reproduction of apple cuttings is T4 (Peat) since it showed good results in variables: with 70.4% with a good percentage of sprouting of 94%, in percentage of budding, an average of 3.33 shoots in the cuttings, with a main shoot length of 16.6 cm, with an average of 15.67 leaves in the main shoots, since it is composed of a spongy and light structure that helped the development of apple cuttings, in the rooting of apple cuttings, In the rooting of apple cuttings, two better results were shown in T4 (Peat), which presented an average root length of 11.73 cm, followed by T3 (Sawdust) with a root length of 8.7 cm, and in the number of secondary roots, T4 (Peat) with an average of 8.27, followed by T3 (Sawdust) with an average of 5.67, showing substrates with good root development. In the apple cuttings, the benefit/cost ratio, where it can be seen that the substrate 3 and 4, reached the ratio of 1.08 and 1.69 bs respectively, this result indicates that of one boliviano invested, the invested boliviano is recovered, 0.08 and 0.69 cents of boliviano are earned respectively.

1. INTRODUCCIÓN

El manzano es una planta caducifolia que se cultiva en zonas con inviernos fríos y en la actualidad se han ampliado a las áreas de clima templado o tropical. El desarrollo de nuevas variedades con menor requerimiento de frío como resultado de la investigación genética y el desarrollo de nuevas tecnologías como la implementación de hormonas de crecimiento para acelerar el enraizamiento de esquejes, lo que han permitido cultivar esta fruta en zonas con invierno templado como en el altiplano.

En la actualidad la superficie total estimada de manzana en Bolivia es de: Cochabamba, la producción se realiza en una superficie aproximada de 54,190 hectáreas, a nivel nacional 495,0 hectáreas, la cual es muy reducida comparada a otros países ya que ni siquiera aparece en las estadísticas de la (INE), (2024). El volumen anual de manzana alcanza a 3145,2 toneladas, producción que no cubre ni el 20% del consumo local. El reducido volumen de producción se puede explicar por los bajos rendimientos por unidad de superficie (Condori, 2016).

Según Paez, (2005), señala que la manzana Royal Gala es propagada vegetativamente en condiciones controladas, los esquejes serán las futuras nuevas plantas con las mismas características de la planta madre. Estos esquejes antes de ser implementados al invernadero serán tratados, e introducidas a diferentes sustratos de esta manera se puede realizar una evaluación y demostrar así cuál de los sustratos es más favorable al enraizamiento

La importancia económica de la manzana se ve favorecida por sus propiedades nutritivas y la alta aceptación de la que goza en el mercado local, y en países productores y no productores. La manzana es una fruta que posee un sabor muy bueno y muchos nutrientes básicos para mantenernos sanos y fuertes, así mismo es una fuente de ingresos para las familias productoras. Quiénes la comen frecuentemente, su organismo se ve beneficiado debido a las muchas propiedades que posee.

La manzana también es propagada vegetativamente en condiciones controladas, los esquejes que se utilizaron serán las futuras nuevas plantas con las mismas características a la de la planta madre. Las mismas antes de ser implementadas al invernadero de

enraizamiento fueron tratadas, seleccionadas por el grosor del tallo, y por los números de yemas que tenían, de esta manera se pudo realizar una evaluación.

1.1. Antecedentes

Según Arenas, (2018), el porcentaje de enraizamiento de esquejes de manzana puede variar dependiendo del tipo de sustrato utilizado, las condiciones ambientales y la variedad de manzana. Generalmente, se reportan tasas de enraizamiento entre el 60% y el 90% en sustratos adecuados, como turba, perlita o mezclas de sustratos.

Según Borkowska *et al.* (2010), encontraron que la aplicación de IBA aumenta significativamente el porcentaje de enraizamiento en esquejes de manzana, logrando valores superiores al 80% en condiciones controladas.

Hartmann *et al.* (2018), mencionan que las condiciones ambientales (como humedad relativa y temperatura) son críticas. Señalan que enraizar esquejes de manzana es más exitoso en sistemas de nebulización intermitente, logrando un enraizamiento entre el 40% y 80% según la especie y tratamiento.

Smolka *et al.* (2020), destacaron que las variedades influyen notablemente: esquejes de portainjertos como M9 y M26 suelen enraizar mejor que variedades comerciales. Las tasas de enraizamiento oscilaron entre el 50% y el 90% con el uso de IBA y condiciones óptimas de propagación.

1.2. Planteamiento del problema

El principal problema que enfrenta la manzana en la propagación sexual es no poder contar con las características genéticas, fenotípicas de su predecesor por lo que es imprescindible contar con individuos de esas características. Es de conocimiento general que Royal gala es la variedad más resistente como pie de injerto por ello es la mejor para aplicar la reproducción en esquejes.

1.3. Justificación

El presente trabajo de investigación busca analizar las alternativas para poder reducir el

tiempo de enraizamiento de esquejes de manzana (*Malus doméstica*) con el fin de acelerar el crecimiento radicular de los plantines de manzana, probando la eficiencia de cuatro tipos de sustratos, con el fin de determinar cuál será el sustrato óptimo, beneficiando a las familias dedicadas a la producción, y reconociendo la importancia socioeconómica de este cultivo en el contexto nacional. Con este trabajo, se pretende impulsar prácticas más eficientes y sostenibles en la agricultura, promoviendo así un impacto positivo en la producción de esquejes en el altiplano, así mismo dando a conocer las prácticas realizadas en el estudio a la comunidad agrícola del municipio de Laja.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar diferentes tipos de sustratos en el proceso de enraizamiento de esquejes de manzana royal gala (*Malus doméstica*) en condiciones de invernadero en el Centro Experimental de Kallutaca.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el porcentaje de enraizamiento y brotación de esquejes de manzana con la aplicación de diferentes sustratos.
- Comparar el desarrollo de esquejes de manzana bajo condiciones de invernadero.
- Realizar una evaluación económica de la propagación de plantines de manzana por esquejes en diferentes sustratos.

1.5. Hipótesis

Ho: La aplicación de diferentes sustratos en el proceso de enraizamiento de esquejes de manzana (*Malus doméstica*) en condiciones de invernadero no muestran diferencias significativas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen de la manzana

El manzano tiene su centro de origen en el sudoeste asiático, entre los mares Caspio y Negro, en el área geográfica comprendida entre Georgia y Armenia (Rimache, 2007). Los manzanos de las zonas antes mencionadas fueron de las especies *Malus pumila* y *Malus baccata* con frutos pequeños, esféricos y de sabor ácido. *Malus sieversii* R. crece en la zona montañosa de Asia media y de esta especie se habrían originado, hace 15 o 20 mil años (Qian *et al.*, 2010).

2.1.1. Origen genético y geográfico

Según estudios genéticos realizados por Velasco *et al.* (2010), la manzana doméstica proviene principalmente del manzano silvestre *Malus sieversii*, que aún se encuentra en estado silvestre en los bosques de las montañas Tian Shan, en Asia Central. Durante la domesticación, esta especie se hibridó con otros manzanos silvestres como *Malus sylvestris* de Europa.

Según Velasco *et al.* (2010) identificaron mediante análisis genéticos que el manzano cultivado moderno (*Malus domestica*) tiene su origen principal en *Malus sieversii*, una especie que crece en las montañas de Asia Central, específicamente en Kazajistán, Kirguistán, Tayikistán y Uzbekistán. También encontraron evidencias de hibridación con otras especies de *Malus* durante su domesticación.

Según Harris *et al.* (2002), explicaron que el manzano se domesticó por primera vez hace aproximadamente 4,000 a 10,000 años, posiblemente en las regiones de Asia Central. A través de las rutas comerciales como la Ruta de la Seda, las semillas y esquejes de manzana se distribuyeron hacia Europa y otras partes del mundo, donde se cruzaron con especies locales de *Malus*.

Según Juniper, (2006), estudiaron el desarrollo histórico y cultural de la manzana. Señalan que las primeras evidencias arqueológicas de consumo de manzana provienen de sitios neolíticos en Europa, lo que sugiere que las poblaciones humanas comenzaron a usar manzanas silvestres antes de la domesticación formal.

2.1.2. Diversidad y domesticación moderna

según Cornille *et al.* (2014), analizaron la diversidad genética de las poblaciones silvestres y domesticadas, destacando cómo el intercambio genético con especies como *Malus sylvestris* contribuyó a la mejora de características como el tamaño del fruto y la resistencia a enfermedades.

2.2. Composición nutricional

El Disegna, (2003), la manzana es rica en fibra soluble, la que ayuda al cuerpo a eliminar el colesterol y a protegerse contra los efectos de la polución ambiental. Estudios en Francia, Italia e Irlanda han demostrado que dos manzanas al día pueden reducir hasta un 10% el nivel de colesterol, al mismo tiempo que la pectina ayuda a nuestro cuerpo a eliminar metales nocivos tales como el plomo y el mercurio. Además, un auténtico tónico para el corazón y la circulación.

El mismo autor señala que las manzanas contienen asimismo ácido málico y tartárico, que son especialmente eficaces como ayuda en la digestión de alimentos ricos en grasas. La vitamina C que se encuentra en la manzana ayuda a reforzar el sistema inmunológico, tradicionalmente, las manzanas han sido utilizadas para combatir problemas del sistema gastrointestinal y los naturistas suelen recomendar manzana rallada, que debe dejarse al aire libre hasta que se ponga de color marrón, mezclada con un poco de miel o yogur, como uno de los remedios más efectivos contra la diarrea. Curiosamente, esta fruta es asimismo un arma no despreciable contra el estreñimiento, debido a sus contenidos de fibra soluble.

Según Benedetti, *et al.* (2018), la composición nutricional de la manzana varía ligeramente según la variedad, pero en general es rica en fibra, vitaminas y minerales, siendo un alimento bajo en calorías. A continuación, se detallan algunos componentes clave:

- **Carbohidratos:** Las manzanas contienen principalmente azúcares naturales, como la fructosa, que representan entre el 10% y el 15% de su peso total. Una manzana mediana (~182 g) contiene aproximadamente 25 g de carbohidratos, de los cuales la mayoría provienen de azúcares simples.

- **Fibra:** Las manzanas son una excelente fuente de fibra, especialmente en la cáscara. Una manzana mediana contiene alrededor de 4 g de fibra, lo que favorece la digestión y la salud intestinal.
- **Vitaminas:** Son ricas en vitamina C, que actúa como antioxidante y apoya el sistema inmunológico. Una manzana mediana proporciona aproximadamente el 8-10% de la ingesta diaria recomendada (IDR) de vitamina C.
- **Minerales:** Contienen potasio, un mineral importante para la regulación de la presión arterial y la función cardíaca. También tienen pequeñas cantidades de calcio, magnesio y hierro.
- **Agua:** Las manzanas son compuestas principalmente de agua (alrededor del 85%), lo que las convierte en un alimento hidratante.
- **Compuestos bioactivos:** Las manzanas contienen antioxidantes, como los flavonoides y los polifenoles, que se encuentran principalmente en la cáscara y tienen efectos beneficiosos sobre la salud cardiovascular y la prevención de enfermedades crónicas

2.3. Taxonomía

Según Hartmann, *et al.* (2018), la taxonomía del manzano (*Malus domestica*), la especie más cultivada dentro del género *Malus*, se clasifica según los principios de la botánica moderna de la siguiente manera:

Clasificación taxonómica

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta (Angiospermas)
- Plantas con flores y frutos que protegen las semillas.
- Clase: Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
- Plantas con dos cotiledones en la semilla.
- Orden: Rosales
- Grupo al que pertenecen muchas plantas frutales y ornamentales.
- Familia: Rosaceae

- Incluye especies como perales (Pyrus), cerezos (Prunus), y rosas (Rosa).
- Género: Malus
- Género que comprende a los manzanos y otras especies relacionadas.
- Especie: Malus domestica
- Especie cultivada, resultado de la hibridación y selección artificial.
- Variedades:
 - Existen miles de variedades y cultivares, como Royal Gala, Fuji, Golden Delicious, entre otras, seleccionadas por características como tamaño, sabor y resistencia.

2.4. Producción internacional

Según la FAO, (2022), esta es la evolución de la producción mundial de manzana según los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). En 2022, el total mundial fue de 95 836 000 toneladas, y el país con mayor producción fue China, con 47 571 800 toneladas, el 49.64% del total.

Según la FAO, (2023), en el año 2023, la producción global de manzanas alcanzó aproximadamente 83,74 millones de toneladas métricas, un leve incremento respecto al año anterior. China fue el mayor productor mundial, con una participación del 54% del total global (45 millones de toneladas). Otros importantes productores incluyen la Unión Europea (15%, 12,21 millones de toneladas), Estados Unidos (6%, 5,03 millones de toneladas) y Turquía (6%, 4,85 millones de toneladas, el crecimiento en la producción se debe a la recuperación en regiones como China, Sudáfrica y Estados Unidos, que contrarrestaron las pérdidas en países de la Unión Europea y Turquía causadas por condiciones climáticas adversas. Por ejemplo, las heladas afectaron algunas regiones productoras en China, pero otras áreas lograron mayores rendimientos.

FAO, (2024), la producción mundial de manzanas para el año 2024 se estima en aproximadamente 83.1 millones de toneladas, un incremento moderado respecto al ciclo 2023 debido a un aumento en la producción en países como China, Sudáfrica y Estados Unidos, lo que compensa las reducciones observadas en Europa y Turquía. China continúa siendo el principal productor, representando más del 50% del suministro global, con una producción cercana a 45 millones de toneladas. Turquía y Estados Unidos se ubican en el segundo y tercer lugar, respectivamente, mientras que otros grandes productores incluyen

Polonia e India, en cuanto a las variedades, las tendencias muestran un crecimiento continuo en la popularidad de las manzanas Honeycrisp, Gala, y Pink Lady, mientras que las variedades tradicionales como la Red Delicious están en declive. La exportación de manzanas desde Estados Unidos ha experimentado un aumento significativo gracias a políticas comerciales favorables y a la reducción de aranceles en mercados clave como India.

2.5. Producción en Bolivia

En la actualidad la superficie total estimada de manzana en Bolivia es de 495,0 hectáreas, la cual es muy reducida comparada a otros países ya que ni siquiera aparece en las estadísticas de la FAO 2003. El volumen anual de manzana alcanza a 3145,2 toneladas, producción que no cubre ni el 20% del consumo local. El reducido volumen de producción se puede explicar por los bajos rendimientos por unidad de superficie. Los principales departamentos que cultivan y producen manzana son Chuquisaca y Santa Cruz, Cochabamba, Potosí y La Paz (FAUTAPO, 2012).

Según INE, (2023), la producción de manzana en Bolivia en 2023 varió entre diferentes departamentos, con Cochabamba liderando la producción. En Cochabamba, especialmente en los municipios de Pojo y Pocona, se cosechan más de 1,100 toneladas de manzana al año, representando casi la mitad de la producción nacional, la Paz sigue como segundo productor, con una participación significativa en el mercado, mientras que Santa Cruz se encuentra en tercer lugar, aunque Bolivia produce alrededor de 3,000 toneladas anuales de manzanas, aún enfrenta una importante brecha de importación, especialmente de Chile y Argentina. Los departamentos productivos claves incluyen Cochabamba, La Paz, Santa Cruz, y Potosí, entre otros.

2.6. Producción local

Según Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras de Bolivia. (2022), la producción de manzanas en el departamento de La Paz, Bolivia, puede variar de un año a otro. Según datos del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras de Bolivia, la producción de manzanas en ese departamento se estima que, en el año 2022, la producción de manzanas en el departamento de La Paz, Bolivia, fue aproximadamente de 9,500 toneladas, según datos del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.

Según Urgentebo, (2024), en el año 2024, la producción de manzanas en La Paz, Bolivia, ha continuado creciendo, especialmente en regiones como Luribay y Sapahaqui, reconocidas por su alto potencial agrícola. Este crecimiento ha sido impulsado por iniciativas gubernamentales y programas como el Programa Nacional de Frutas, que busca mejorar la productividad y la calidad de los cultivos para competir con frutas importadas de países como Chile y Argentina

Según Urgentebo, (2024), en Luribay, los proyectos implementados bajo el Programa Empoderar han permitido incrementar los rendimientos y mejorar las técnicas de cultivo a través de sistemas de riego eficientes y capacitación para los productores. Esto ha contribuido al aumento de la producción local, beneficiando económicamente a más de 2,700 familias, por otro lado, se han realizado eventos como ferias nacionales de la manzana en La Paz, donde productores locales ofrecen manzanas orgánicas de calidad directamente al consumidor. Estas actividades no solo fomentan el consumo de productos locales, sino que también promueven la sustitución de importaciones, un objetivo clave para fortalecer la soberanía alimentaria del país

2.7. Morfología del manzano

Según Rimache, (2007), el manzano es un árbol de tamaño mediano de 10 a 15 metros cuando tiene libre crecimiento. Tiene sistema radicular pivotante y adventicio, según provenga de semilla o estaca respectivamente. El sistema pivotante penetra a mayor profundidad del suelo en comparación a las plantas con raíces adventicias. Estos sistemas de raíces tienen funciones de anclaje, absorción, conducción y síntesis de algunos compuestos para la vida del manzano. Las hojas son de inserción alterna, de borde dentado y forma elíptica, en la base del peciolo presentan dos estípulas, se caen en invierno. La flor del manzano es hermafrodita, la inflorescencia es un corimbo con grupos de 5 a 7 flores. El fruto es un pomo que en la madurez cambia de color a verde a tono rojo, amarillo dorado con chapa, rayas o estriaciones rojas, amarillo verdoso y otras tonalidades.

Según González *et al.* (2024), la morfología del manzano (*Malus domestica*) ha sido ampliamente estudiada, y varios aspectos clave de su estructura botánica son importantes tanto para su cultivo como para su rendimiento. Las características más relevantes incluyen:

- **Árbol y ramas:** El manzano es un árbol caducifolio que puede alcanzar hasta 10 metros de altura, dependiendo de las condiciones de cultivo. Las ramas presentan crecimiento alterno, con yemas bien definidas y distribuidas a lo largo de las ramas.
- **Hojas:** Las hojas son simples, de forma elíptica a ovada, con márgenes serrados. Su color varía de verde oscuro a un verde más claro según la variedad y el ambiente. La parte superior de la hoja es más oscura y brillante, mientras que la inferior es más pálida y con una textura algo aterciopelada.
- **Flores:** La floración ocurre en primavera, antes de la aparición de las hojas. Las flores son hermafroditas, con cinco sépalos y pétalos, y presentan una gama de colores que puede incluir blanco a rosado dependiendo de la variedad. Las flores son polinizadas generalmente por insectos.
- **Frutos:** Los manzanos producen frutos en forma de pomo, que son esféricos o ligeramente achatados dependiendo de la variedad. Estos pueden variar en tamaño, forma y color, desde verde y amarillo hasta rojo, con un diámetro de 5 a 10 cm.
- **Sistema radicular:** El manzano tiene un sistema radicular superficial que se extiende a una profundidad de 50-60 cm, dependiendo del tipo de suelo. Las raíces son típicamente de color naranja cuando jóvenes y se oscurecen con el tiempo.

2.8. Fisiología del manzano

Según Rimache, (2007) el crecimiento vegetativo como en fructificación del manzano, al igual que en otras plantas, los reguladores de crecimiento cumplen roles esenciales, interactuando entre ellos para activar o inhibir reacciones en la fisiología de la planta. Las auxinas, giberelinas y citoquininas regulan el crecimiento, mientras que los inhibidores frenan el estímulo de los reguladores de crecimiento. El crecimiento vegetativo del manzano es moderado, en el reinicio del ciclo anual hay un activo crecimiento de brotes terminales hasta la formación de primordios de los botones florales. La actividad cambial, responsable del crecimiento en grosor, depende de la actividad de los puntos de crecimiento. La presencia de hojas, temperatura adecuada y aireación del suelo son determinantes para el crecimiento de las raíces.

El mismo autor señala al concluir el crecimiento estacional se da la diferenciación de los primordios florales luego de la percepción del efecto fotoperiódico. La porción de brotes que florecerán depende del área foliar y de haber completado los requerimientos de frío de las yemas diferenciadas.

Según González *et al.* (2024), la fisiología del árbol de manzana, en especial en variedades comerciales como la Royal Gala, involucra una serie de procesos clave que afectan tanto la productividad como la calidad de los frutos. Entre los aspectos más relevantes, se destacan la influencia de la temperatura en la brotación y el desarrollo de la fruta, así como la dinámica del crecimiento en función del clima.

Según Hernández *et al.* (2022), en términos de crecimiento, el manzano requiere temperaturas frías durante el invierno para una adecuada fase de latencia de las yemas. Sin embargo, un exceso de frío o de calor en determinadas fases del desarrollo floral y frutal puede afectar negativamente la productividad. Por ejemplo, una helada durante la floración o en las primeras etapas de desarrollo de la fruta puede destruir las flores o afectar la polinización, lo que resulta en una menor calidad de la cosecha. Temperaturas bajas de primavera (entre -2°C y -5°C) pueden inducir la caída prematura de los frutos pequeños, mientras que temperaturas por encima de los 25°C afectan la acumulación de ácidos y compuestos volátiles responsables del aroma y sabor de la fruta.

- Además, la fisiología del manzano está fuertemente influenciada por la dinámica de las lenticelas, pequeñas aberturas en la epidermis que permiten el intercambio gaseoso entre el interior del árbol y el ambiente exterior. Alteraciones en estas estructuras pueden afectar la calidad del fruto, especialmente en el almacenamiento postcosecha
- La optimización del proceso fisiológico del manzano depende también del manejo adecuado de riego, nutrientes y control de plagas, especialmente en variedades como la Royal Gala, que pueden mostrar una mayor sensibilidad a las condiciones climáticas extremas

Según *Gala Apple Variety: Technical Data*, (2020), en términos de composición física en caso del fruto, la manzana Royal Gala es crujiente y jugosa, con una piel fina que presenta

tonos de rojo y amarillo. Los frutos varían en tamaño, pero en general tienen un calibre medio, y su sabor es generalmente dulce, con una concentración de azúcares que oscila entre 14 y 16 grados Brix, lo que la hace bastante dulce en comparación con otras variedades, además, su pH promedio de 3.3 a 3.5 indica que es ligeramente ácida, lo que contribuye a su equilibrio de sabor.

2.9. Variedad Royal Gala

Según Páez (2005), es una mutación de la gala posee dominancia apical y requiere entre 500-800 horas de frío. El fruto es mediano a pequeño, por lo cual requiere de raleo para mejorar el calibre, de color rojo jaspeado, con fondo crema, de forma achatada, de buen contenido de azúcar, crocante por ello es muy apetecida en el mercado.

Según Sánchez *et al.* (2018), en Bolivia, las condiciones de cultivo son óptimas en valles con riego, permitiendo a las manzanas de esta variedad alcanzar un sabor dulce, con una textura crujiente y jugosa, características que la han hecho popular en mercados internacionales. Además, la variedad Royal Gala es conocida por su rápido inicio de producción y su rendimiento consistente, lo que favorece a los productores que buscan variedades de ciclo medio

Según Sánchez, (2021), respecto al cultivo y reproducción mediante esquejes, el Royal Gala es una variedad vigorosa que se adapta bien a diferentes condiciones climáticas, aunque requiere de un control adecuado de hongos y plagas. Es un buen polinizador para otras variedades de manzanos, como el Granny Smith. Esta variedad es también propensa a una cosecha escalonada, donde los frutos no maduran de manera uniforme, lo que implica realizar varias pasadas durante la recolección.

Según González *et al.* (2023), el proceso de propagación por esquejes no es el más común para esta variedad, ya que se prefiere el injerto debido a las características genéticas específicas del Royal Gala. Sin embargo, si se opta por esquejar, es fundamental elegir un esqueje saludable, asegurarse de que esté bien enraizado y que reciba suficiente luz para un desarrollo óptimo. Además, los esquejes deben ser tomados de ramas jóvenes y saludables para evitar enfermedades y asegurar una buena tasa de enraizamiento.

2.10. Propagación vegetativa de las plantas

Según Ramirez (2019), menciona que la propagación vegetativa consiste en el uso de órganos de la planta, sean estacas de la parte aérea o de la raíz o yemas u otras estructuras especializadas, como meristemos, ápices caulinares, callos y embriones.

Según Sánchez, (2018), la propagación de manzanas por esquejes es menos común que otros métodos como el injerto, pero es posible bajo condiciones controladas. A continuación, se describen algunos de los aspectos clave de la propagación por esquejes:

- **Selección de esquejes:** Los esquejes deben ser tomados de ramas jóvenes y saludables de manzanos, preferiblemente en la temporada de crecimiento (primavera o principios de verano). Esto asegura una mejor tasa de enraizamiento. Los esquejes de alrededor de 15-20 cm de longitud son ideales.
- **Tratamiento hormonal:** Para estimular el enraizamiento, es común utilizar hormonas de enraizamiento como el ácido indolbutírico (IBA). Los esquejes se sumergen en esta hormona antes de ser plantados en un medio adecuado.
- **Medio de enraizamiento:** Un sustrato ligero, bien aireado y con buen drenaje, como una mezcla de perlita y turba o una mezcla de arena y turba, es ideal para el enraizamiento. La humedad y la temperatura deben ser controladas para evitar el estrés excesivo en los esquejes.
- **Condiciones ambientales:** La temperatura ideal para el enraizamiento de esquejes es de alrededor de 20-25°C. La humedad debe mantenerse alta, lo que se puede lograr usando invernaderos o cubriendo los esquejes con una bolsa de plástico transparente.

2.10.1. Propagación sexual

De acuerdo con, Hartmann y Kester (1999), sostiene que la dispersión vía semillas es un método fundamental de reproducción en la naturaleza, destacándose como el más eficaz y común en el cultivo de plantas.

Según Argueta (2018), indica que la propagación a través de semillas exige un manejo precavido en la fase de germinación. Lograr una germinación exitosa implica eliminar el letargo mediante variados métodos, además de garantizar óptimas condiciones de humedad, temperatura, oxígeno, luz y oscuridad.

Según Hartmann, *et al.* (2018), la propagación sexual en plantas es un proceso de reproducción que se realiza a través de semillas, las cuales se forman tras la unión de gametos masculinos y femeninos durante la fecundación. Este método es fundamental para la generación de nuevas plantas en la naturaleza y es utilizado en agricultura para la producción de cultivos, especialmente cuando se busca diversidad genética.

Según Hartmann, *et al.* (2018), Proceso de propagación sexual es:

- **Polinización:** El polen (gameto masculino) es transferido desde las anteras de una flor al estigma de otra, ya sea por el viento, agua o polinizadores como insectos.
- **Fecundación:** Una vez en el estigma, el tubo polínico transporta los gametos masculinos hacia el óvulo (gameto femenino), ubicado en el ovario, donde ocurre la fertilización y se forma una semilla.
- **Desarrollo de la semilla:** El embrión, junto con los tejidos de almacenamiento (cotiledones o endospermo) y la cubierta de la semilla, se desarrolla en el ovario.
- **Germinación:** Bajo condiciones adecuadas de humedad, temperatura y oxígeno, la semilla germina, dando lugar a una nueva planta.

Características principales:

- **Diversidad genética:** La descendencia tiene combinaciones únicas de características, lo que mejora la capacidad de adaptación a cambios ambientales.
- **Aplicaciones agrícolas:** Se utiliza principalmente en cultivos como cereales, hortalizas y algunas frutas donde la variabilidad genética es deseada.

Ventajas:

- Produce plantas adaptables a distintas condiciones ambientales.
- Facilita el mejoramiento genético en cultivos.
- Permite la producción masiva de plantas a bajo costo.

Limitaciones:

- No garantiza uniformidad en las plantas producidas, lo cual puede ser problemático para cultivos comerciales.
- Algunas semillas requieren tratamientos previos (escareado, estratificación) para germinar.

2.10.2. Propagación Asexual

Según Pina (2008), la propagación asexual o vegetativa se obtiene individuos completos a partir de tejidos somáticos procedentes de una, a veces de dos y más raramente de tres plantas.

Según Aguirre (2016), señalan que la prioridad de las células vegetativas vivientes de las plantas es contener toda la información genética necesaria, para regenerar el organismo completo.

La propagación asexual o vegetativa es un método de reproducción que produce clones, lo que significa que las nuevas plantas son auténticas divisiones de las plantas madres. A través de este proceso, las plantas propagadas conservan toda la información genética de la planta progenitora, replicando así el ADN original. Por lo tanto, las características específicas de una planta en particular se perpetúan en la propagación de un clon. Esta forma de reproducción es especialmente importante en el cultivo de frutales, ya que la mayoría de los cultivares de frutales tienen un genotipo generalmente heterocigoto, y si se propagan por semilla, se pierden inmediatamente las características distintivas de estos tipos (Centellas *et al.*, 2011).

La reproducción vegetativa, conocida como propagación asexual, implica la creación de nuevas plantas a partir de fragmentos de la planta madre, sin que haya un intercambio de material genético, lo que resulta en plantas hijas idénticas a la planta madre. Uno de los

métodos más simples en este proceso de propagación asexual es la división del tallo en secciones que una vez enterradas en el sustrato pueden enraizar. Este fenómeno es muy común en las plantas vasculares. Algunos de los métodos más utilizados para la propagación vegetativa incluyen el uso de estacas y esquejes, la creación de acodos y el cultivo de tejidos (Napoleón y Cruz, 2005).

Según Hartmann y Kester, citado por Aguirre (2016), la propagación asexual se efectúa en áreas como el ápice del tallo, el ápice de la raíz, el cambium o en zonas lesionadas y es posible debido a que cada una de las células de la planta contiene la genética necesaria para el crecimiento y desarrollo, replicados en la división celular (mitosis). La mitosis es el proceso de crecimiento vegetativo, regeneración y cicatrización de heridas (callo) que posibilita la propagación por estacas e injertos, permitiendo la multiplicación a gran escala de una planta madre. También señalan que, al momento de seleccionar el material a propagar por estacas, por injertos o ambos a la vez, conocer las condiciones fisiológicas de la planta madre. Se debe colectar el material en horas de la mañana cuando este se encuentra turgente, manteniéndolas en conservación para posteriormente hidratarlas 24 a 48 horas antes del estaquillado y/o injerto.

2.10.3. Propagación por esquejes

Es una técnica que consta en la realización de un corte de una porción de tallo, hoja o raíz, el cual es sometido a condiciones ambientales favorables, para inducirle a la formación de raíces y tallos, específicamente solo al sistema radicular, ya que existe un sistema caulinar con aptitud potencial para generar un nuevo individuo, independiente e idéntico a la planta de origen (Boutherin *et al.*, 2002).

La propagación por estacas es importante porque se puede multiplicar especies como frutales, forestales, hortícolas y ornamentales; con características superiores, en pequeños espacios sin necesidad de semilla botánica. Asimismo, la propagación por estaca también es importante porque tiene el propósito de conservar el germoplasma valioso, dado que actualmente muchas especies, especialmente las forestales, han sido deforestadas en forma masiva de tal manera que quedan pocos árboles élite (Gárate citado por Bustinza, 2016).

2.10.4. Tipos de propagación vegetativa

Pina (2008), señala que la propagación vegetativa puede ser clasificada en diferentes tipos, según el órgano o elemento de la planta utilizado para generar el resto de órganos y formar una nueva planta.

- Injerto
- Estacas
- Acodos
- Hijuelos

2.10.5. Estaca o esqueje

Según Centellas, (2011), la estaca es una técnica de propagación vegetativa que implica tomar un trozo de tallo o raíz de una planta madre y utilizarlo para iniciar una nueva planta. Este método de propagación se realiza colocando la estaca en condiciones propicias para su desarrollo, como un sustrato adecuado y un ambiente con la humedad y temperatura adecuadas. A medida que la estaca se desarrolla, forma raíces y brotes, dando lugar a una planta completamente nueva y genéticamente idéntica a la planta madre.

El mismo autor menciona que, los esquejes o estacas son unos fragmentos de plantas, generalmente tallos o ramas, que se cortan y se colocan en condiciones adecuadas para que desarrollen raíces y crezcan como una nueva planta independiente, este método se utiliza en la propagación vegetativa para obtener genéticamente idéntica a la planta madre.

Por tal efecto, Argueta (2018), manifiesta que la estaca es una rama provista de yemas capaz de convertirse en una nueva planta, esta debe contar con una longitud de 20 a 40 cm y el grosor varía de 1.5 a 3 cm, para obtener esta rama se realiza un corte por el extremo inferior, y por la parte superior se realiza un corte redondeado a una distancia de 6 a 8 mm de la última yema.

Señala Calderón (1987), el proceso de propagación vegetativa implica tomar fragmentos de material vegetativo, como brotes, ramas o raíces, y luego colocarlos en un medio de suelo adecuado donde puedan desarrollar raíces y brotar la parte aérea, lo que resulta en la formación de nuevas plantas completas que pueden o no ser injertadas posteriormente. Cada fragmento de material vegetativo se denomina estaca, y puede variar en tamaño, edad, estado fisiológico, parte y origen en el árbol, presencia o ausencia de hojas, entre otras características.

2.10.6. Estacas de madera dura o leñosa

Constituye el método de propagación más fácil y menos costoso, son las más simples de preparar, no requieren equipo especial durante el enraizado. Se preparan durante la estación de reposo, después de la caída de hoja y antes de la brotación de yemas. El material debe obtenerse de plantas madres sanas y vigorosas (Hartmann y Kester 1998).

2.10.7. Estacas de madera semidura o semileñosa

Se mencionan que se recogen en verano, después de haber transcurrido un periodo de crecimiento, con madera parcialmente madura. Se las recoge con una longitud de 10 a 15 cm, dejando hojas en su extremo apical. Es necesario plantarlas inmediatamente para evitar su deshidratación y con uso de auxinas (Centellas, 2011).

Según Hartmann, *et al.* (2018), el uso de estacas de madera semidura o semileñosa es una técnica común en la propagación asexual de muchas plantas leñosas, incluyendo árboles frutales. Este tipo de material se caracteriza por estar tomado de ramas que aún son flexibles pero que han comenzado a endurecerse, lo que favorece el enraizamiento.

2.10.8. Estacas de madera blanda o herbácea

Según Hartmann, *et al.* (2018), las estacas de madera blanda o herbáceas son aquellas que se obtienen de plantas con tallos tiernos y flexibles, como las herbáceas (plantas que no tienen un tallo leñoso). Estas estacas se utilizan principalmente para la propagación vegetativa debido a su capacidad de enraizar rápidamente en condiciones adecuadas. A menudo, se emplean para cultivar plantas ornamentales y algunas hortalizas. Son ideales porque presentan un alto contenido de agua y nutrientes, lo que facilita la formación de raíces.

Las estacas se extraen en primavera de los extremos de las ramas nuevas que crecen a plena luz. La longitud varía de 10 a 15 cm, dejando un par de medias hojas en la porción terminal a pesar que el enraizamiento es más rápido y fácil, se requiere más atención y debe ser necesariamente bajo nebulización. Los brotes muy tiernos no son deseables porque tienen una tendencia mayor a deshidratarse antes que ocurra el enraizamiento (Hartmann y Kester 1998)

Según Hernández *et al.* (2021), las estacas de madera blanda provienen de brotes jóvenes

y flexibles, generalmente recolectados en primavera o principios de verano. Este tipo de estaca tiene tejidos vivos y en crecimiento activo, lo que facilita el enraizamiento bajo condiciones adecuadas.

2.11. Ventajas de la propagación vegetativa

Según Hartmann et al. (2018), este método garantiza que las plantas hijas sean genéticamente idénticas a la planta madre, lo que es crucial para conservar características como calidad del fruto, resistencia a plagas o enfermedades, y otras propiedades deseables.

La propagación vegetativa permite obtener plantas maduras en menos tiempo en comparación con el cultivo a partir de semillas, ya que no es necesario esperar los procesos de polinización y germinación (Barrera *et al.*, 2020).

Según Centellas, (2011), la propagación por estacas presenta ventajas como:

- Facilidad en el procedimiento, se puede propagar abundante material utilizando un espacio limitado, partiendo de pocas plantas madres.
- Cada planta producida por este método es genéticamente idéntica a la planta de la cual procede.
- Se obtiene mayor uniformidad del huerto por reproducir los caracteres genéticos.
- Tiene bajo costo de operación (económico), es rápido y simple.

2.12. Desventajas de una propagación vegetativa

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2006), la propagación vegetativa tiene las siguientes desventajas:

- Si ocurre un cambio drástico en las condiciones ambientales, un clon o una especie que se reproduce mediante clones, estará en desventaja, ya que tiene menos posibilidades de adaptación a las nuevas condiciones ambientales, que pueden afectar a todos los miembros del clon.
- Otra desventaja es aparentemente la infección por virus. De hecho, cualquier clon cultivado por cierto periodo es probable que se infeste, y su éxito depende de la

capacidad que presente para tolerar al virus.

2.13. Condiciones ambientales durante el enraizamiento

2.13.1. Condiciones producción controlado

Según González (2021), la producción de esquejes de manzana en invernadero permite un control más efectivo de las condiciones ambientales, lo que puede resultar en un mayor porcentaje de enraizamiento y mejor crecimiento. En invernaderos, los porcentajes de enraizamiento pueden alcanzar entre el 70% y el 95%, dependiendo de factores como el tipo de sustrato, la temperatura, la humedad y el manejo del riego

2.13.2. Relaciones con el agua

Se ha observado que, aunque la presencia de hojas en las estacas puede ser un factor importante para estimular la formación de raíces, es esencial tener en cuenta que la pérdida de agua a través de las hojas puede llevar a que las estacas se deshidraten, lo que podría resultar en su muerte antes de que tengan la oportunidad de desarrollar raíces. Para asegurar un proceso de enraizamiento exitoso en estacas con hojas, es fundamental que estas mantengan su firmeza y que dispongan de suficiente agua en su estructura (Quinteros, 2012).

2.13.3. El pH del suelo

Según Hartmann y Kester (1998), señala que el pH del suelo es una forma de medir la cantidad de iones de hidrógeno presentes en el suelo. Aunque el pH en sí no ejerce una influencia directa en el crecimiento de las plantas, tiene diversos efectos indirectos, como la influencia en la disponibilidad de varios nutrientes y en la actividad de microorganismos beneficiosos del suelo. En general, se considera que un rango de pH de 5,5 a 7,0 es el más óptimo para favorecer el desarrollo de la mayoría de las plantas.

2.13.4. Temperatura

Para promover el enraizamiento de esquejes en la mayoría de las especies, resultan apropiadas temperaturas diurnas en el rango de aproximadamente 21 a 27 °C, acompañadas de temperaturas nocturnas de alrededor de 15 °C, si bien algunas especies enraízan de manera más efectiva a temperaturas más frescas. Además, se menciona que temperaturas del aire significativamente altas tienden a estimular el desarrollo de las yemas

antes que el de las raíces, y también aumentan la pérdida de agua a través de las hojas (Quinteros, 2012).

2.13.5. Luz

Según Quinteros, (2012), destaca que, en todos los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas, la luz desempeña un papel fundamental al servir como la fuente primordial de energía para llevar a cabo la fotosíntesis. En el caso del enraizamiento de esquejes, los productos generados a través de la fotosíntesis juegan un papel importante en el inicio y crecimiento de las raíces. Los efectos de la luz en este proceso pueden deberse a factores como la intensidad luminosa, la duración de la exposición a la luz (fotoperiodo) y la calidad de la luz.

2.14. Época de estaquillado

Según Ramirez (2019), señala que las épocas del estaquillado es uno de los factores que se debe tomar muy en cuenta. Las estacas semileñosas deben ser tomadas durante la primavera, el verano o principios de otoño, usualmente enraízan con mayor facilidad que las estacas de madera dura obtenidas en el invierno.

2.15. Rizogénesis

Pina (2008), indica que la rizogénesis es el conjunto de fenómenos que conducen a la emisión de raíces. Cualquiera que sea el tipo de estaquillado, el primer estado de reconstrucción de la planta entera será el nacimiento de un nuevo sistema radicular, ya que existe un sistema caulinar en potencia y una yema que permitirá el crecimiento nuevo.

Hartmann y Kester (1998), mencionan que cuando se hace en una estaca, las células vivientes que están en las superficies cortadas son lesionadas, quedando expuestas las células muertas y conductoras del xilema. El proceso sucesivo de cicatrización y regeneración ocurre en tres pasos.

- Primero: al morir las células externas lesionadas, se forma una placa necrótica que sella la herida con un material suberoso (suberina) y tapa el xilema con goma. Esta placa protege las superficies cortadas de la desecación.
- Segundo: después de unos cuantos días, las células que están detrás de esa placa empiezan a dividirse y se puede formar una capa de células de parénquima

(callo).

- Tercero: en ciertas células próximas al cambium vascular y al floema empieza el inicio de las raíces adventicias.

2.16. Razones para emplear la propagación asexual

Goitia (2003), menciona las siguientes razones para tal propagación asexual:

- Inhabilidad de producir semillas.
- Inhabilidad de producir semillas por autofecundación.
- Para perpetuar determinada especie.
- Para propagar rápidamente sin semillas.
- Para desarrollar inmunidad a plagas y enfermedades.
- Para adaptación a un hábitat.
- Para modificar el hábito de crecimiento.

2.17. Fisiología de la propagación de esquejes

2.17.1. Formación del callo

Según Moeller (2016), indica que el callo es tejido de parénquima cicatricial, surgiendo como defensa ante patógenos. Contiene células no especializadas capaces de generar brotes y raíces en respuesta a heridas.

Cuando las estacas están en condiciones propicias, se genera un callo en su base, constituido por células parenquimatosas variadamente lignificadas, originadas en el cambium vascular y el floema adyacente. A menudo, las primeras raíces surgen a través del callo, insinuando su importancia para el enraizamiento, aunque ambos procesos son independientes. La coincidencia frecuente se debe a similitudes en factores internos y ambientales (Hartmann y Kester, 1998).

En tanto Goitia (2003), define el proceso de enraizamiento, después de cortar una estaca, se produce una liberación de sustancias grasas en el lugar de la sección. Estas sustancias, al entrar en contacto con el aire, se oxidan y forman una capa impermeable que protege contra los patógenos. Posteriormente, comienza un proceso de suberización. A partir del cambium y utilizando los nutrientes disponibles, se inicia la proliferación de células en forma

de un anillo. Este anillo, llamado callo, se diferencia y da lugar al desarrollo de raíces. Luego, comienza la formación de raíces alrededor del anillo. En el caso de las estacas verdes, el enraizamiento se inicia en el periciclo y el floema primario, mientras que, en las estacas leñosas, el proceso se inicia en el cambium y el floema secundario.

2.17.2. Formación de raíces adventicias

Según Rodríguez, citado por Aguirre (2016), señalan por lo general, el origen y desarrollo de las raíces adventicias se efectúa cerca y justamente fuera del núcleo central del tejido vascular. Al salir del tallo las raíces adventicias han formado una cofia y los tejidos usuales de la raíz, así como las conexiones vasculares completas con el tallo del que se originan. Las raíces y las ramas adventicias, usualmente se originan dentro del tallo (endógenamente) cerca del cilindro vascular, justo fuera del cambium.

Mientras que Blanco (2011), menciona el siguiente proceso de formación de raíces en estacas, se sigue una secuencia específica:

- Inicialmente, se forma una placa necrótica, compuesta principalmente de suberina, en la zona de corte. Esta placa actúa como un sello que impide la pérdida de agua y desecación del material.
- Las células ubicadas detrás del corte comienzan a dividirse y forman un tejido llamado parénquima, que a menudo se conoce como callo. Este callo es una especie de masa de células indiferenciadas que sirve como punto de partida para el desarrollo de las raíces. Al rededor del cambium (el tejido que produce nuevas capas de crecimiento en el tallo), se forman los primordios radiculares. Estos son los precursores de las raíces y comienzan a desarrollarse.
- Posteriormente, las raíces nuevas emergen del callo y, en el proceso, pueden romper otros tejidos del tallo circundante para abrirse camino hacia el sustrato circundante.
- Finalmente, se establecen conexiones vasculares en el nuevo tejido formado, lo que implica la formación de tejido de xilema y floema que permiten el transporte de agua y nutrientes a las raíces recién formadas.

Este proceso asegura que las estacas puedan desarrollar un sistema de raíces funcional y adaptarse para crecer como nuevas plantas independientes (Blanco, 2011).

según Rodríguez (1991), indica que el callo es una formación de color amarillenta ubicada en la base de la estaca. Está provocada por una auxina, que estimula la rápida división de células parenquimáticas.

2.18. Condiciones que influyen en el enraizamiento

Calderón (1987), menciona que teniendo en cuenta una especie y variedad específicas, cada una con sus características distintivas en términos de la facilidad y el éxito del enraizamiento, varios factores pueden ejercer influencia, incluyendo el entorno, el estado fisiológico de las partes utilizadas como estacas y el sustrato aplicado a las mismas.

Según González, (2020), el enraizamiento de esquejes de manzana es influenciado por varios factores clave, los cuales tenemos, el tipo de esqueje, los esquejes de madera blanda (tomados durante la temporada de crecimiento) tienen una mayor tasa de éxito en comparación con los de madera dura. Los esquejes más jóvenes y sanos son preferibles para evitar enfermedades y asegurar una mejor absorción de nutrientes.

Según Díaz, (2022), indica que las condiciones ambientales, la temperatura y la humedad son factores críticos. Las temperaturas ideales para el enraizamiento de esquejes de manzana oscilan entre los 20-25°C. Un ambiente húmedo es esencial, ya que la deshidratación puede matar los esquejes antes de que tengan la oportunidad de formar raíces. El uso de una tapa de plástico o un invernadero ayuda a mantener la humedad.

Según González, (2020), indica que el medio de enraizamiento, el sustrato debe ser bien aireado y tener un buen drenaje. Las mezclas de perlita y turba o la arena son opciones comunes, ya que permiten que las raíces se desarrollen sin riesgo de pudrirse debido al exceso de agua.

Según Díaz, (2022), las técnicas de corte indican el ángulo y la longitud del corte, de los esquejes deben ser cortados justo debajo de un nodo, y la longitud ideal del esqueje es de aproximadamente 10-20 cm

2.18.1. Sustancias reguladoras de crecimiento

Según Quinteros, (2012), el transporte de las auxinas se caracteriza por tener movimiento

lento, polar en forma basipetala, que este movimiento es dependiente de energía metabólica.

Según Harman y Kester, citado por Quinteros (2012), mencionan que las Auxinas promueven el enraizamiento de las estacas y son más utilizadas para la propagación de las plantas a través de las estacas, también menciona que las auxinas intervienen en el crecimiento del tallo, la formación de raíces, activación de las células del cambium, la inhibición de las yemas laterales, la abscisión de hojas y frutos.

Según Rodríguez (1991), indica que la acción de la auxina en el crecimiento de las raíces es parecida a su acción sobre los tallos, con la salvedad de que la concentración de auxina en el crecimiento del tallo actúa como estimuladora, mientras para el crecimiento de raíz es inhibidora.

2.19. Sustratos

Según Colque (2016), una buena definición de sustrato es aquella que hace mención a todo material sólido distinto del suelo, natural o sintético, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o mezclada, permite el anclaje del sistema radicular, cumpliendo un papel de soporte, este puede o no intervenir en la nutrición vegetal.

Según Zapana (2013), define al sustrato como a todo material sólido utilizado en viveros que se diferencia del suelo, este puede ser natural, sintético, mineral u orgánico que permite el anclaje de las plantas mediante su sistema radicular, dependiendo del sustrato este puede o no interferir en el proceso de nutrición de la planta, se puede clasificar a los sustratos en químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, etc.) y químicamente activos (turbas, corteza de pino, etc.).

Según Muñoz y Vera (2012), señalan que el sustrato sirve como soporte y anclaje de las plantas, además de suministrar a la planta cantidades adecuadas de aire, nutrientes y minerales, dependiendo de la preparación de la misma, si las proporciones del sustrato son inadecuadas el crecimiento de la planta puede verse afectada, a causa de varios factores entre los cuales se encuentran: la asfixia debido principalmente a la falta de oxígeno que requieren las raíces, deshidratación debido a la falta de agua, esto puede ocasionar la muerte de la planta, enfermedades producidas indirectamente a causa de los anteriores

factores mencionados volviendo a la planta más susceptible al ataque de virus, bacterias y hongos.

Según Cornejo (2018), señala para el enraizamiento de estaca se requiere de un sustrato adecuado, con capacidad de retención de humedad, aireación, fácil manejo, luego ese mismo medio de enraizamiento puede ser aprovechada al momento de la plantación para su adaptación.

Según Gárate (2010), señala que existen diferentes tipos de sustratos de enraizamiento que se usan a nivel mundial, entre ellos el suelo con características propias de la especie, la arena de río, musgo turboso, turba, vermiculita, perlita, piedra pómez, cascarilla de café, cascarilla de arroz, aserrín, e inclusive el agua.

2.19.1. Clasificación del sustrato

Aguilar y Baixauli (2002), clasifican los distintos sustratos utilizados en los sistemas de cultivo en:

a) Sustratos orgánicos, que al mismo tiempo se subdividen en:

- De origen natural, entre los que se encuentran las turbas.
- Subproductos de la actividad agrícola: la fibra de coco, virutas de madera, paja de cereales, residuos de la industria del corcho.

b) Sustratos inorgánicos, subdivididos en:

- De origen natural, que no requieren de un proceso de manufacturación, entre los que se encuentran: la arena, las gravas y las tierras de origen volcánico.
- Aquellos que pasan por un proceso de manufacturación, como son: la lana de roca, la fibra de vidrio, perlita, vermiculita, arcilla expandida, arlita, ladrillo troceado.

2.19.2. Desinfección del sustrato

La desinfección del sustrato se realizó utilizando una concentración de 2l de formaldehído, disueltos en 20 litros de agua esta cantidad de agua fue rociada en los sustratos usados en la investigación, para luego ser cubierta por nylon esto evito la evaporación, y la concentración de humedad, pasado el lapso de tres días se pasó a destapar el sustrato,

comprobando que el olor del formaldehído haya desaparecido.

Según Khuno (2005), para la desinfección del sustrato se utilizan 250 cc de formaldehído en una concentración del 40%, este debe ser disueltos en 15 litros de agua, esta cantidad se rocía en 3 m² de sustrato inmediatamente se cubre con un nylon para evitar la evaporación de los gases, una vez transcurridos las 48 horas se destapa el sustrato comprobando que el olor de los gases del formaldehído haya desaparecido. Estos ayudaran a que las enfermedades, ataque de hongos disminuyan.

Según Huarhua (2017), la desinfección del sustrato evita la proliferación de hongos, microorganismos y enfermedades que afectan al desarrollo de la plántula, la desinfección se la realiza utilizando distintos productos químicos como ser el formol al 40%, bromuro de metilo, etc., también se puede desinfectar el sustrato mediante la solarización, aplicando agua hervida, siendo procesos de fácil ejecución y menos costosos.

2.19.3. Condiciones edafológicas

Según los análisis de suelo de Kallutaca demuestran que cuentan con los siguientes minerales:

Calcio 8.0 mg/kg, Fosforo 0.40 mg/kg, Magnesio 8.0 mg/kg, Materia Orgánica 5.0%, Nitrógeno total 0.0030%, Potasio 8.0 mg/kg. Los distintos macrominerales presentes en el suelo ayudaron para que los esquejes de manzana tengan un buen desarrollo y optimo prendimiento.

Según Hartmann y Kester (1998), mencionan que un suelo está formado por materiales en estado sólido, líquido y gaseoso. Para un crecimiento satisfactorio de la planta, estos materiales deben estar presentes en las proporciones adecuadas. La parte solida del suelo está compuesta por formas tanto orgánicas como inorgánicas. La porción orgánica del suelo está formada por organismos tanto vivos como muertos, insectos, hongos, bacterias y raíces de plantas. Estos beneficiaran al desarrollo, enraizamiento de los esquejes de manzana.

2.19.4. Suelo del lugar

Los suelos de Kallutaca demuestran una textura arcillosa, por ello se hizo la incorporación de 40% de sustrato y la adición de 10% de arena, esto para facilitar el enraizamiento, ya que el desarrollo de los esquejes de manzana es mejor en suelos de textura liviana.

Se demostró que el sustrato de textura liviana facilita el enraizamiento de las estacas, compuesto preferentemente de tierra del lugar o tierra negra 40%, arena 30% y 30% de tierra vegetal que se forma por la deposición de hojarasca y restos vegetales, que a su vez sufren una descomposición por la actividad microbiana que la convierten en compost (Tucupa, 2012).

2.19.5. Arena

En el estudio realizado se utilizó arena fina previamente desinfectada, esto para facilitar el drenado del agua, retener el calor y a su vez para formar una textura más liviana, y así facilitar el desarrollo de los esquejes de manzana.

Darquea (2015), expresa que la arena contiene partículas con diámetros de 0.2 a 2 mm, tiene poca capacidad de retención de humedad, buena aireación, escasos nutrientes y exige riegos con mucha frecuencia y poca intensidad. Esto facilitara el drenado del agua en exceso de riego.

Hartmann y Kester (1998), sostiene que la arena de cuarzo, que está formada en su mayor parte por un complejo de sílice, es la que en general se usa para fines de propagación. La arena es el más pesado de los materiales que se utilizan como medio de crecimiento de las raíces. De preferencia debe ser fumigada o tratada con calor antes de usarla, ya que puede contener semillas de malezas y organismos patógenos. La arena prácticamente no contiene nutrientes minerales ni capacidad de amortiguamiento químico. Se usa principalmente en combinación con materiales orgánicos. Ya que ayuda a soltar los suelos compactos para ser usados como sustrato.

2.19.6. Turba

Para el experimento se utilizó un 40% de turba, ya que cuenta con una mayor retención de humedad y presenta un buen porcentaje de macro y micro minerales, con un buen pH, y con alta capacidad de intercambio catiónico, los cuales ayudaron al desarrollo de los esquejes de manzana.

La turba está formada por restos de vegetación acuática, de pantanos, o marismas, que han sido conservados de bajo del agua en estado de descomposición parcial. La falta de

oxígeno en el pantano hace más lenta la descomposición bacteriana y química del material vegetal. La composición de los diversos depósitos de turba varía mucho, dependiendo de la vegetación de que se originaron, su estado de descomposición, contenido de minerales y grado de acidez (Hartmann y Kester, 1998). Los cuales ayudaran al desarrollo de los esquejes de manzana.

Según Colque (2016), hace referencia a que la turba es una sustancia orgánica densa de color marrón oscuro que contiene una alta cantidad de carbono. Está compuesta por una estructura esponjosa y ligera en la que todavía se pueden observar los restos de las plantas de las que se originó. Sus características físicas y químicas varían dependiendo de su procedencia. La turba se utiliza tanto como fuente de energía, siendo empleada como combustible, como en la fabricación de fertilizantes orgánicos.

La turba es el sustrato utilizado tradicionalmente debido a su excelente combinación de propiedades fisicoquímicas como bajo pH, alta capacidad de intercambio catiónico y porosidad adecuada (Inbar, citado por Nieto, 2015). Los cuales son óptimos en el desarrollo radicular de los esquejes de manzana.

2.19.7. Cascarilla de café

Para el experimento se utilizó la cascarilla de café al 40%, ya que los esquejes de manzana se desarrollan mejor en suelos sueltos, este proporcionara una mayor porosidad y drenaje, facilitando la retención de humedad.

El pergamino de café o cascarilla es la parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa y representa alrededor de 12% del grano de café en base seca. Esta cascarilla constituye una excelente fuente de celulosa, y lignina, pentosanos, sílice y cenizas, así como otros compuestos en menor proporción (Enma y Manals-Cutiño, 2018). Lo cual será beneficioso para el estudio ya que proporcionará mayor retención de humedad y porosidad.

Según Rodríguez *et al.* (2017), en su trabajo titulado "Evaluación de la cascarilla de café como sustrato para cultivos hortícolas", concluyeron que la cascarilla de café es útil como componente en sustratos para hortalizas, debido a su capacidad para mantener la humedad y proporcionar un buen drenaje, aunque recomiendan combinarla con otros

materiales orgánicos para equilibrar su acidez.

Según López *et al.* (2016), la cascarilla de café mejora la aireación del sustrato, lo que facilita la oxigenación de las raíces. Esta propiedad es crucial en el crecimiento de las plantas y ayuda a prevenir el encharcamiento.

Según Bravo *et al.* (2015), la cascarilla de café tiene ciertos compuestos como alcaloides (por ejemplo, cafeína) que pueden actuar como repelentes naturales de hongos y plagas. Reportaron que la cascarilla de café puede disminuir la incidencia de ciertos hongos patógenos en el sustrato, aunque este efecto puede ser variable según las condiciones.

2.19.8. Cascarilla de arroz

Para el experimento se utilizó cascarilla de arroz al 40% ya que mejora las características del suelo mejorando la retención de humedad, y disponibilidad de nutrientes, este proporciona una mejora en la microflora microbiana benéfica del suelo, ayudando a la formación de las raíces en los esquejes de manzana.

Según Colque (2016), indica que la cascarilla de arroz tiene diferentes usos según la industria; para cama en las avícolas, pesebreras, para flores, alimentos concentrados para animales y productores de compostaje principalmente y para mejorar la retención de la humedad. Lo cual favorecerá al desarrollo de los esquejes de manzana.

Según Ayaviri, (2010), se hace referencia a que la cascarilla de arroz como un componente que mejora las características físicas del suelo, favoreciendo la aireación, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes. Además, incrementa la actividad de los microorganismos del suelo, promueve el crecimiento de las raíces de las plantas y actúa como una fuente rica de sílice, lo que confiere resistencia a las plantas contra insectos y microorganismos dañinos. A medida que se descompone, la cascarilla de arroz se convierte en una fuente de materia orgánica (Humus) debido a su alto contenido de lignina. Cuando se utiliza como ceniza, aporta fósforo y potasio y puede ayudar a corregir la acidez del suelo. La implementación de este sustrato será de beneficio a los esquejes de manzana por su alto contenido de retención de humedad y sus demás características.

Según Apaza, (2004), Es un sustrato suelto liviano, inerte, baja retención de

descomposición, buen drenaje, que permite una excelente aireación, controla los excesos de humedad y el filtraje de nutrientes al suelo, lo que favorece el desarrollo radicular en él, aumentando la actividad macro y microbiológica del suelo y estimula el desarrollo del sistema radicular de las plantas. Es una fuente de sílice y favorece así la resistencia de las plantas contra plagas y enfermedades. Corrige la acidez del suelo y es una fuente constante de humus, este material puede ocupar hasta un 33% del volumen de los ingredientes, tiene un 87% de materia orgánica y 13% de cenizas. Los esquejes de manzana serán favorecidos con la actividad microbiana presente en este sustrato ayudándolo a su desarrollo radicular.

Según Álvarez (2004), manifiesta que es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, dado su alto contenido de sílice. Es liviano y su principal costo es el transporte, dado que para los molineros es un desecho. También señala, se presenta como material liviano, de buen drenaje, buena aireación, pero presenta una baja retención de humedad inicial y es difícil conservar la humedad homogéneamente cuando se usa como sustrato único en camas o bancadas. A medida que envejece va aumentando su capacidad de retención de humedad, simultáneamente adquiere un color café oscuro y se siente más suave al tacto.

2.19.9. Aserrín

En el experimento se utilizó aserrín al 40%, ya que es considerado como un sustrato que favorece en la disposición de nitrógeno, tiene una gran retención de humedad y favorece al desarrollo radicular lo cual favorece al prendimiento de los esquejes de manzana.

El aserrín es el residuo de la madera más común. La especie de árbol del cual deriva, influye en la durabilidad del aserrín y la cantidad de nitrógeno complementario requerido para mantener un crecimiento normal de las plantas. Todo tipo de aserrín mejoran las condiciones físicas del sustrato. Su efecto sobre la acidez es casi nulo (Colque, 2016). Este ayudara al desarrollo radicular del suelo ya que lo hace mas suelto, lo cual favorece en el enraizamiento de los esquejes de manzana.

La utilización de restos de madera (Aserrín), es preferible que no sean de pino ni de madera roja, porque estos pueden afectar a las raíces de las plantas; se lo pueden utilizar cuando tenga de uno a dos años de antigüedad porque la descomposición en el suelo absorbe el

Nitrógeno del suelo quedando no disponible para las plantas, lo cual produce una depresión en el cultivo. Se podría compensar si se aporta un fertilizante mineral nitrogenado hasta que los microorganismos liberen el Nitrógeno que han "inmovilizado" temporalmente en su ataque a las materias secas (Apaza, 2004).

Las propiedades físicas dependen del tamaño de sus partículas, y se recomienda que el 20-40% de dichas partículas tengan un tamaño inferior a los 0.8 mm constituyendo un sustrato ligero, con una densidad aparente de 0.1 a 0.45 g/ cm³. La porosidad total es superior al 80-85%, la capacidad de retención de agua es de baja a media, siendo su capacidad de aireación muy elevada. El pH varía de medianamente ácido a neutro. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 55 meq/100 gramos (FAO, 2003). Al ser un sustrato ligero inducirá al enraizamiento de los esquejes de manzana.

2.20. Labores culturales

2.20.1. Riego

El riego se realizó día por medio esto para evitar el encharcamiento, pudrición radicular, el riego es indispensable para el desarrollo optimo de los esquejes de manzana ya que, sin contar con este, los esquejes de manzana no podrían brotar, se secarían.

Desde el punto de vista de Gómez (2010), el riego es muy importante debido a que la pérdida excesiva de humedad del suelo ocasiona que las semillas, materia vegetal se sequen, esto ocasionaría una pérdida en la germinación y prendimiento, por otra parte, el exceso de humedad genera un decaimiento en el porcentaje de germinación. Por ello los días de riego fueron controlados.

2.20.2. Deshierbe

El deshierbe se realizó cada tres semanas, o (cada vez que fuera necesario) esto para evitar la pérdida de nutrientes y la competencia de plantas, evitando el crecimiento y el desarrollo de los esquejes ya que las malezas son invasoras y frenan el desarrollo de las plantas.

El deshierbe se lo realiza después del riego, se realiza esta actividad eliminando las malezas, es muy importante porque permite que el agua penetre con mayor facilidad a las

raíces, también favorece la aireación del suelo (Cocarico, 2016). Favoreciendo el desarrollo de las plantas ya que estas estarían libres de competencia nutricional.

De acuerdo con Méndez y Cárdenas (2009), consideran que el deshierbe es una labor que se debe realizar de forma manual, si se deja de lado esta labor se pueden experimentar pérdidas en la producción debido a la competencia de las hierbas con el cultivo por los nutrientes, luz y agua. Estos retendrían el desarrollo de las plantas evitando su crecimiento.

2.20.3. Semisombra

La implementación de la semisombra evito las quemaduras a las hojas jóvenes de los esquejes brindándoles un ambiente atemperado y evitando la radiación del sol, ya que sin este las hojas de los esquejes de manzana se vieron quemada por el sol, existió marchitamiento y resecamiento.

Méndez y Cárdenas (2009), señalan que si bien no es una labor cultural se recomienda su utilización en la mayoría de los casos para la protección de las plantas, para que no reciban directamente la luz del sol, particularmente en la fase inicial, con el transcurrir del tiempo se puede controlar su exposición al sol. Las plantas no deben ser sobre expuestas a la semisombra, esto podría causar que las plantas crezcan más altas, delgadas, inclinadas y con hojas de color verde oscuro.

2.21. Análisis económico

Según Quinteros, (2012), el propósito de la evaluación económica de este trabajo ha sido, para determinar su factibilidad técnica y económica del método de propagación vegetativa implementada. De esta manera determinar su viabilidad, para recomendar o descartar esta técnica de propagación hacia los productores interesados de la región.

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los predios del Estación Experimental de Kallutaca de la carrera Ingeniería Agronómica, de la Universidad Pública de El Alto, que corresponde a la jurisdicción de la provincia Los Andes, municipio Laja, geográficamente se encuentra situada a $16^{\circ}31'26''$ latitud Sur y $68^{\circ}18'30''$ longitud Oeste, a una altitud de 3903 m.s.n.m. (Google Earth, 2022).

En la Figura 1, se muestra la ubicación geográfica de la investigación realizada en el Estación experimental de Kallutaca.



Figura 1: Ubicación geográfica de la Estación Experimental de Kallutaca(Google Earth, 2024).

3.2. Características edafoclimáticas

3.2.1. Características climáticas

Según Guarachi (2011), señala que el comportamiento climático en el Centro Experimental de Kallutaca, tiene una temperatura media es de 7.1°C, se cuentan con temperaturas extremas mínimas de -10.8 a -11.0°C en los meses de junio y julio indicando temperaturas bajo cero. En los meses de noviembre y diciembre se observa el comportamiento de las temperaturas máximas de 21.6 a 22.3°C. Realizando un análisis de estas variaciones extremas en cuanto a temperaturas de 19.6°C de variación y la humedad relativa en los meses de diciembre a marzo registra los valores de 64.5 a 71.0% y de junio a agosto registra los valores promedio de 40.0%.

El mismo autor señala que lo datos de la Estación Meteorológica del Centro Experimental de Kallutaca en la gestión (2013), indica que la precipitación media anual para la zona de estudio es de 612.2 mm año. La velocidad media del viento es de 2.4m/s. La nubosidad media es de 2.8 octavos y se dispone de 8 a 6 horas de sol diarias en promedio.

3.2.2. Suelo

De acuerdo al análisis físico químico de suelos de la estación experimental de Kallutaca bajo el respaldo del Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA-UMSA) y el laboratorio químico de suelos de la (UMSS), presentan suelos franco arcillosos, densidad aparente 1.32 y 1.11 g/cm³, respectivamente; en cuanto al pH del suelo de 7.4 se tiene una conductividad eléctrica de 2.3 dS/m; asimismo, presentan una acumulación de 4.4 % de materia orgánica (Huanca, 1996).

3.3. Flora

La vegetación natural está formada en su mayor parte por: paja brava (*Achnatherum ichu*), tola (*Parestrephya lepidophylla*), chilligua (*Festuca arundinacea*), munimuni (*Heterospora tenuisectum*) chijchipa (*Tajetes multiflora*), cebadilla (*Bromus inemis*), diente de león (*Taraxacum officinalis*) añawayas (*Adesmia miraflorensis*), Festuca alta (*Festuca arundinacea*), Pasto estrella (*Paspalum pignarum*), diente de león (*Taraxacum officinalis*) tólares (*Parastrephia* sp). Entre los principales cultivos se encuentran la papa, cebada, avena. Y en las especies forestales se encuentran la kiswara y la keñua en pocas cantidades (Apaza, 2014).

3.4. Materiales

Los diversos materiales, equipos, herramientas, e insumos que se usaron para la investigación fueron:

3.4.1. Material vegetal

Las estacas de manzana (*Malus doméstica*) que se utilizaron para este trabajo de investigación se adquirieron del municipio de sapahaqui, un total de 300 esquejes de ($\pm$) 30 cm de alto.

3.4.2. Material químico

- Formol al 40%
- Spiderman etiqueta Azul

3.4.3. Material orgánico

- Arena fina
- Aserrín
- Cascarella de arroz
- Cascarella de café
- Turba
- Tierra de lugar

3.4.4. Material de campo

- Tablero de campo
- Contenedores
- Pala, picota y carretilla
- Tijeras de poda
- Malla sombra raschel 50%
- Bolsa negra de polietileno (20 cm de alto con 10 cm de diámetro)
- Flexómetro
- Cernidor
- Termómetro
- Marbetes

- Calibrador vernier
- Regaderas

3.4.5. Material de gabinete

- Computadora
- Planillas de registro
- Calculadora
- Material de escritorio

3.5. Metodología

El enfoque del trabajo de investigación fue cuantitativo, porque describe y evalúa los factores productivos de las variables, el tipo de investigación es experimental con diseño de bloques completos al azar, prueba de medias Duncan, la población conformada por 300 esquejes con un muestreo probabilístico de 5 esquejes por tratamiento para la sistematización de datos se utilizó 2 etapas el primero: observación para el comportamiento y desarrollo de los esquejes que fueron traídos de Sapahaqui, trasplantados en cuatro tipos de sustrato y el segundo: las planillas para toma de datos, para la sistematización se utilizó el programa InfoStat.

3.5.1. Desarrollo del ensayo

El trabajo de la presente investigación, se realizó al inicio del mes de junio con una duración de 4 meses concluyéndose en octubre de la gestión 2022.

3.3.1.1. Medición del área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en predios de la Estación Experimental de Kallutaca, en los ambientes de la carpa de fruticultura, cuyas dimensiones son de 15 x 6 m, con una altura construida de ladrillo de 0.12 m y techado con agro film de 250 micrones, y una altura máxima de 4 m y el modelo de la carpa es de tipo dos aguas.

La medición del área de investigación se realizó con una wincha, obteniendo un área de 2,6 m * 2,60 m.

3.3.1.2. Preparaciones del área y nivelación del terreno

Se realizó una limpieza del área de estudio, eliminando las piedras, malezas, rastrojos para luego nivelar y tener un área de estudio uniforme y libre de malezas.

3.3.1.3. Recolección de cascarilla de arroz, aserrín, cascarilla de café y turba

Cascarilla de arroz y la cascarilla de café fueron adquiridas de la sede desconcentrada de Caranavi, turba fue adquirida de la feria 16 de julio de la ciudad de El Alto, el aserrín fue adquirido en el aserradero de la Ex tranca de Río seco.

3.3.1.4. Preparación y desinfección del sustrato

Según Fossati y Olivera (1996), para la desinfección de los diferentes sustratos se utilizó 1/2 litro de formol a una concentración del 40% en dos baldes de capacidad de 20 litros de agua cada uno, luego se procedió a regar con la ayuda de una regadera sobre los sustratos con la protección adecuada (botas y guantes). Posteriormente se cubrió con plástico por tres días con el objetivo de provocar transpiración, luego se debe dejar ventilar por cuatro días hasta que quede sin olor.

3.3.1.5. Preparación de sustratos

La preparación de sustratos para las unidades experimentales (platabandas), se realizó aplicando al sustrato (turba, cascarilla de café, aserrín, cascarilla de arroz) en una proporción de 40% por maseta para aumentar los nutrientes en el sustrato y arena con una proporción de 10% por maseta para mejorar la estructura del sustrato; retención de agua, gran tamaño de poros, mayor aireación y la capacidad de intercambio catiónico.

3.3.1.6. Características de los envases utilizados

Se utilizó bolsas de polietileno negro de 20 cm de largo por 10 cm de diámetro. Se envasaron 25 unidades por cada sustrato y en total se tuvo 300 envases para todo el diseño experimental.

3.3.1.7. Recolección de esquejes

Se recolectaron 300 esquejes de manzana (*Malus domestica*) de 15 a 20 cm del municipio de Sapahaqui, del departamento de La Paz.

Los esquejes obtenidos fueron de las ramas laterales de la planta de manzano, con yemas que son capaces de formar raíces, los esquejes serán cortados con 20 cm de longitud justo debajo del nudo con un corte de un ángulo de 45° aproximadamente, para obtener mayor área de contacto con el sustrato.

Luego de cortar los esquejes se procedió a llevarlos a la Estación Experimental de Kallutaca, se remojó durante 5 días en agua sumergiendo a una profundidad de 5 cm para la formación de callos ya que de ellos se forman las raíces adventicias.

3.3.1.8. Trasplante

El trasplante de los esquejes se realizó en bolsas de polietileno de color negro; primeramente, se colocaron los esquejes con la ayuda de una vareta de madera previamente elaborado para repique. El objetivo de hacer dichas perforaciones es para que no se dañe la base los esquejes al friccionarse con el sustrato al momento de colocarlas.

3.3.1.9. Labores culturales

Las labores culturales que se realizaron fueron:

a) Riego

El método de riego que se aplicó en este trabajo fue el riego manual con una regadera día por medio una vez que los esquejes ya estén introducidos en las macetas para proporcionar la humedad a las macetas y para el desarrollo del enraizamiento.

b) Deshierbe

Se realizó la extracción de las plantas ajenas en las macetas manualmente realizando esta actividad cada semana, durante el desarrollo del enraizamiento de esquejes con la finalidad de eliminar malezas y a la vez realizando la aireación del sustrato.

c) Semisombra

En el proceso inicial del crecimiento de los brotes de los esquejes se utilizó una malla semisombra al 50% con tal de proteger de las altas temperaturas en el interior de la carpa de ladrillo y proteger de la intensidad lumínica.

d) Control fitosanitario

En la presente investigación, se observó presencia de pequeñas larvas transparentes durante el desarrollo de los esquejes de manzana en la zona radicular causando la pudrición de las raíces emergidas de los callos y se pudo combatir con la aplicación del insecticida Spiderman de etiqueta color azul, esto pudo ser ocasionado por las condiciones medioambientales que se realizaron en el proceso de producción con el cambio de agrofilm, constantes circulación de personal en el área de investigación que pudieron ayudar en diseminación de insectos.

3.5.2. Toma de datos

La toma de datos se realizó diariamente en el control de temperaturas máximas y mínimas y la humedad relativa, para ver el desarrollo de los esquejes de manzana en el interior de la carpa solar. Por otra parte, las demás variables como longitud de raíz, longitud del brote principal, número de hojas, porcentaje de sobrevivencia, etc., fueron evaluadas una vez que concluyeron los cuatro meses de evaluación de los plantines.

3.5.3. Diseño Experimental

Para el presente trabajo de investigación, se utilizó el Diseño de Bloques Completo al Azar (DBCA), con cuatro sustratos y tres repeticiones teniendo un total de doce unidades experimentales (Ochoa, 2016).

3.3.3.1. Modelo lineal

Ochoa (2016), señala que el modelo para DBCA es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij}	=	Valor observado de la variable de respuesta de una unidad experimental
μ	=	Media general
β_j	=	Efecto del j-ésimo bloque
α_i	=	Efecto de i-ésimo de sustratos
ε_{ij}	=	Error experimental

3.5.4. Tratamientos de estudio

Las proporciones de la mezcla de los sustratos para el estudio del desarrollo de los esquejes de manzana se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Proporciones de la mezcla de los sustratos

Tratamiento	Tierra del lugar	Arena	Sustrato
T1	50%	10%	40% Cascarilla de arroz
T2	50%	10%	40% Cascarilla de café
T3	50%	10%	40% Aserrín
T4	50%	10%	40% Turba

3.5.5. Croquis experimental

En la Figura 2, se presenta la distribución de los tratamientos.

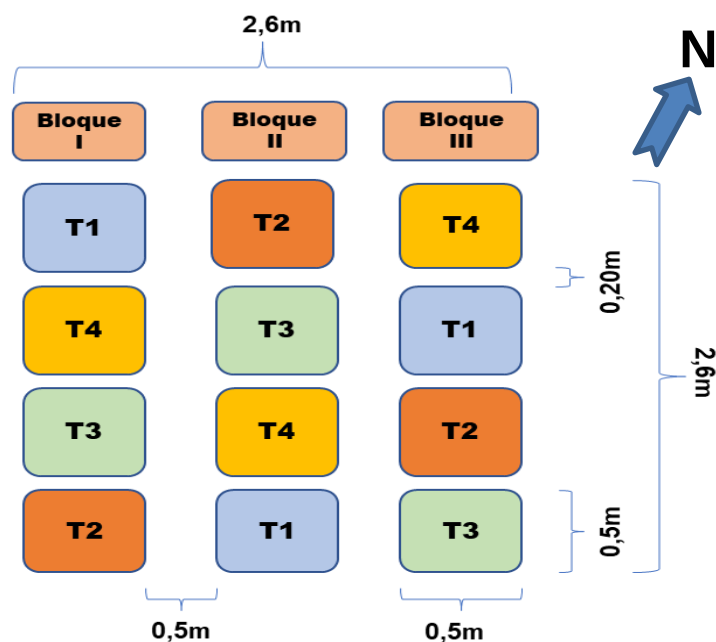


Figura 2: Croquis del experimento

El área experimental presentó las siguientes características:

- Área total 6.76 m²
- Largo del campo experimental 2,60 m

- Ancho del campo experimental 2,60 m
- Número de repeticiones; 3
- Distancia entre repeticiones; 0.5 m
- Distancia entre tratamientos; 0.20 m
- Área de la unidad experimental = 0,25 m²

3.5.6. Variables de respuesta

3.3.6.1. Porcentaje de prendimiento

Se registraron los datos a los 45 días después del estacado, lo suficiente para el desarrollo de los brotes, tomando en cuenta el número de estacas prendidas sobre el total de estacas brotadas.

$$\% \text{ prendimiento} = \frac{\text{número de esquejes prendidos}}{\text{número total de esquejes brotados}} * 100 \quad (1)$$

3.3.6.2. Diámetro del tallo

El diámetro del tallo se obtuvo con un calibrador vernier, para ello se tomaron al azar 5 esquejes, para hacer la medición.

3.3.6.3. Número de raíces secundarias

Se midió la longitud de las raíces a partir de los 130 días, donde se tomaron 3 esquejes al azar, para la medición, se procedería a remover el sustrato que contendrá las raíces a través de un lavado con agua corriente, las raíces libres de sustrato serán contadas de manera manual, para después registrarlas en una planilla.

3.3.6.4. Longitud de la raíz (cm)

Para obtener el resultado de longitud de las raíces, se procedió a tomar 5 muestras al azar extrayéndolos, luego a remover el sustrato adherido a las raíces a través de un lavado con agua, las raíces libres de sustrato se midieron con la ayuda de una regla, todas estas mediciones fueron registradas en una planilla.

3.3.6.5. Porcentaje de brotación

Los datos de esta variable se registraron al final del estudio realizado, se efectuó el conteo visual del número de brotes, es decir, cada brote vivo presente en el esqueje por unidad

experimental. El indicador serán los brotes de los esquejes.

3.3.6.6. Número de brotes

Se realizó el conteo del número de brotes tomando cinco esquejes al azar por cada uno de los tratamientos y contando visualmente los brotes por esqueje, después de 45 días cada 7 días durante 98 días.

3.3.6.7. Longitud de brotes

La evaluación de longitud de los brotes se realizó; después de 45 días cada 7 días durante 98 días, tomando cinco esquejes seleccionados e identificados al azar por cada uno de los tratamientos y para la medición se procederá con la ayuda de una regla, todas estas mediciones serán registradas en una planilla.

3.3.6.8. Número de hojas

La evaluación de número de hojas se la efectuó después de la aparición de los primeros botones florales, se hará el conteo de cada una de las hojas que tendrán los esquejes.

3.3.6.9. Altura del brote principal a los tres meses

Después de los tres meses se hizo la medición de los esquejes con un flexómetro, para ello se tomaron cinco esquejes al azar por cada uno de los tratamientos.

3.5.7. Análisis económico

3.5.8. Análisis económico

Es la relación que existe entre los beneficios brutos (BB) sobre los costos de producción (CP) (Apaza, 2004).

$$\frac{B}{C} = \frac{BB}{CP} \quad (2)$$

- B/C= Beneficio costo
- BB= Beneficios Brutos (Bs)
- CP= Costo de producción (Bs)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El trabajo fue realizado en pleno invierno con una duración de cuatro meses muestra los siguientes resultados del desarrollo de los esquejes de manzana en la comparación de diferentes tipos de sustratos.

4.1. Características Microclimáticas

El comportamiento de la temperatura y humedad durante la investigación fue medido a diario dentro de la carpa de investigación con un termómetro digital de máximas y mínimas expresados en °C, y la humedad relativa del ambiente para verificar el comportamiento de los esquejes de manzana.

En la Figura 3, se observa las temperaturas registradas durante toda la etapa de investigación.

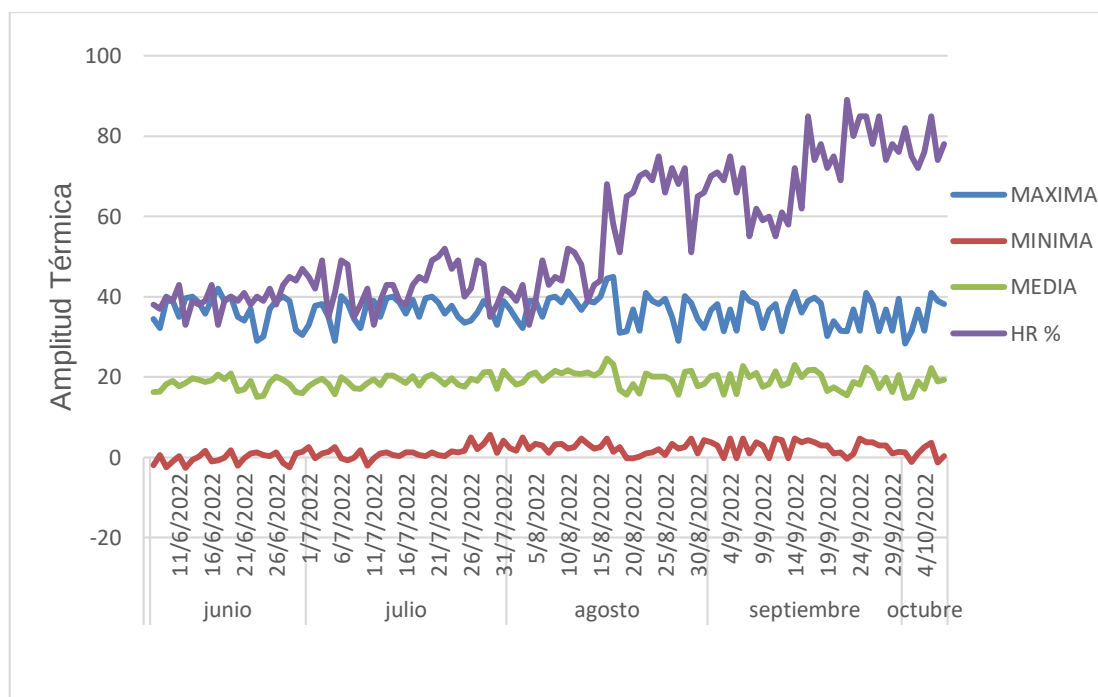


Figura 3: Temperaturas máximas, mínimas y humedad relativa.

En el Figura 3, se observa las fluctuaciones de las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas durante el proceso de investigación y también observamos la humedad relativa en porcentajes durante los cuatro meses de investigación, para observar las alteraciones que estos tendrán en el prendimiento, desarrollo de los esquejes de manzana,

para ello se hizo la medición de las temperaturas durante los 4 meses de estudio en lo cual las máximas temperaturas alcanzadas fueron el mes de agosto con unas temperaturas de 44,6°C, mientras que las temperaturas mínimas alcanzadas se presentan el mes de junio con un valor de -2.1°C, la humedad relativa máxima registrada en el interior de la carpa fue de 89% mientras que la mínima registrada fue de 33%, lo cual podemos indicar que se alcanzó al rango de humedad requerida.

4.2. Variables agronómicas

4.2.1. Porcentaje de prendimiento

El análisis de varianza para la variable porcentaje de prendimiento (Cuadro 2), muestra que no existen diferencias estadísticas para los bloques y sustratos, con un coeficiente de variación 30.00% que es = al 30%; dando a conocer que los datos presentados son confiables según Ochoa, (2016).

Cuadro 2: Análisis de varianza de porcentaje de prendimiento

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	8,00	2	4,00	0,46	0,6510
Sustrato	86,25	3	28,75	3,32	0,0985
Error	52,00	6	60,89		
Total	146,25	11	8,67		
Promedio	8,3				
CV (%)	30,00				

En la Figura 4, se llegó a determinar que existen dos grupos bien diferenciados, el primero formado por el T4 (Turba) y T3 (Aserrín), y el segundo formado por T2 (Cascarilla de café), y T1 (Cascarilla de arroz).

Asimismo, se evidencia que el sustrato T4 (Turba), muestra un alto porcentaje de prendimiento con 70,4% fueron los mejores, seguido de T3 (Aserrín), con 56%, mientras que el sustrato T2 (Cascarilla de arroz), y T1 (Cascarilla de café), ha demostrado obtener un bajo porcentaje de prendimiento, habiendo alcanzado un promedio de 41,2%. Y 37,2%.

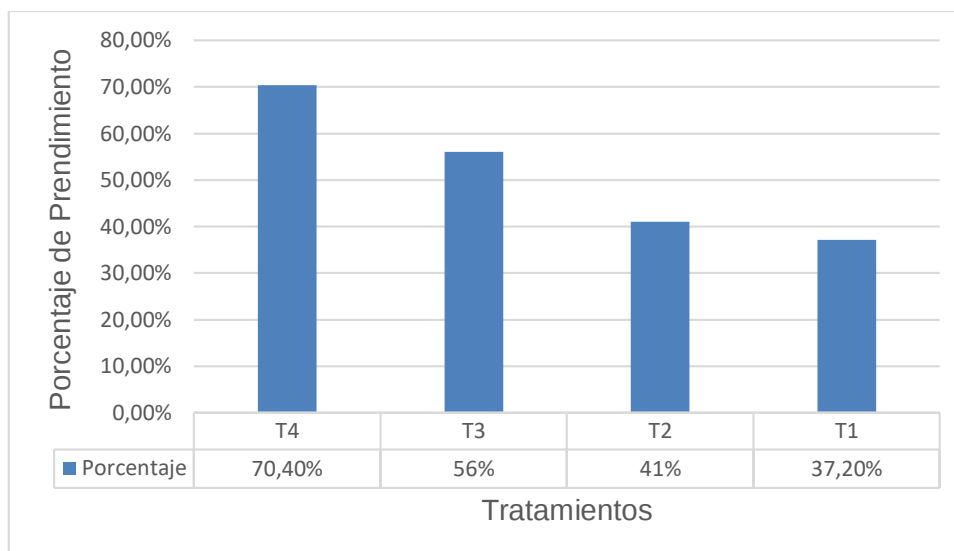


Figura 4: Comparación de medias de porcentaje de prendimiento de los esquejes de manzana

En el presente estudio se observó un mayor porcentaje de prendimiento con los sustratos T4 (Turba), y T3 (Aserrín), siendo estos los mejores en comparación a los demás sustratos, por lo tanto, se considera indispensable que el sustrato muestre una mayor retención de humedad causando el hinchamiento de las yemas de los esquejes.

Según González, (2020) observan que los esquejes de manzana tienen un mejor rendimiento de enraizamiento cuando se toman de brotes jóvenes en primavera, alcanzando un porcentaje de prendimiento de hasta el 85% con tratamientos hormonales adecuados y condiciones óptimas de luz y temperatura.

según Martínez *et al.* (2019) afirman que el enraizamiento de esquejes puede ser significativamente influenciado por la técnica de corte, el ángulo del esqueje y la profundidad de plantación, con un promedio de prendimiento de entre el 60% y el 80%, dependiendo del manejo y de las condiciones ambientales.

4.2.2. Diámetro del tallo

Para el diámetro de estacas (Cuadro 3) de acuerdo al análisis de varianza no se observa diferencias estadísticas en sustratos pero si existen diferencias significativas entre bloques, el coeficiente de variación fue de 21,85% el cual indica que los datos evaluados están dentro de los parámetros estadísticas de aceptación (< 30%) y se puede señalar que

el manejo de las unidades experimentales fue realizado de forma adecuada el manejo del experimento fue bueno y es confiable (Ochoa, 2016).

Cuadro 3: Análisis de varianza de diámetro del tallo

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	0,50	2	0,25	0,69	0,5364
Sustrato	1,58	3	0,53	1,46	0,3161
Error	2,17	6	0,36		
Total	4,25	11			
Promedio	3				
CV (%)	21,85				

Las estadísticas descriptivas del diámetro de los brotes principales (Cuadro 4), nos demuestran que los esquejes que tuvieron como sustrato T4 (Turba) presentaron un promedio de 3,33 mm, mientras tanto T3 (Aserrín) con 2,67 mm, y T1 (Cascarilla de arroz) con 2,67 mm, por último, T2 (Cascarilla de café) con una media de 2,66 mm, en el diámetro del brote principal.

Los sustratos en estudio al inicio se comportaron como medio de anclaje de la estaca, ya que posteriormente como soporte del sistema radical, tanto el limo como la arena y la mezcla de ambos, por sus características carecen de nutrientes, (Darquea, 2015).

Cuadro 4: Medias de diámetro del tallo

	Sustrato	Media (mm)
T1	Arroz	2,67
T2	Café	2,66
T3	Aserrín	2,67
T4	Turba	3,33

En los resultados de diámetro de los brotes, es influenciado por factores como: condiciones de cultivo, tipo de planta, método de corte y duración del experimento.

Según Maestro Jardín, (2023), en sustratos como turba, el diámetro del tallo puede crecer entre **2 y 5 mm** en un período de 6 a 12 meses, dependiendo de las condiciones de manejo. En resultados de no significancia, los sustratos no influyeron en el diámetro de estaca, indica que las estacas al carecer de raíces al inicio dependen de la retención de humedad y turgencia de la estaca, esto hace que el diámetro de estaca sea nulo o escaso.

4.2.3. Número de raíces secundarias

El siguiente análisis de varianza sobre el volumen radicular que se muestra en el (cuadro 5), establece que no existen diferencias significativas entre bloques, pero si presentan diferencias significativas entre los sustratos, el coeficiente de variación fue de 14,73% el cual indica que los datos evaluados están dentro de los parámetros estadísticas de aceptación (< 30%) y se puede señalar que el manejo de las unidades experimentales fue realizado en forma adecuada, con un promedio de 6 raíces secundarias.

Cuadro 5: Análisis de varianza de numero de raíces secundarias (cm)

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	0,09	2	0,04	0,05	0,9477
Sustrato	20,99	3	7,00	8,76	0,013 *
Error	4,79	6	0,80		
Total	25,87	11			
Promedio	6				
CV (%)	14,73				

(*) = Significativo

Para distinguir los diferentes efectos de los sustratos se efectuó un análisis de varianza para los datos obtenidos. Las medias de los sustratos se analizaron con la prueba de Duncan a un nivel de significancia del 5%.

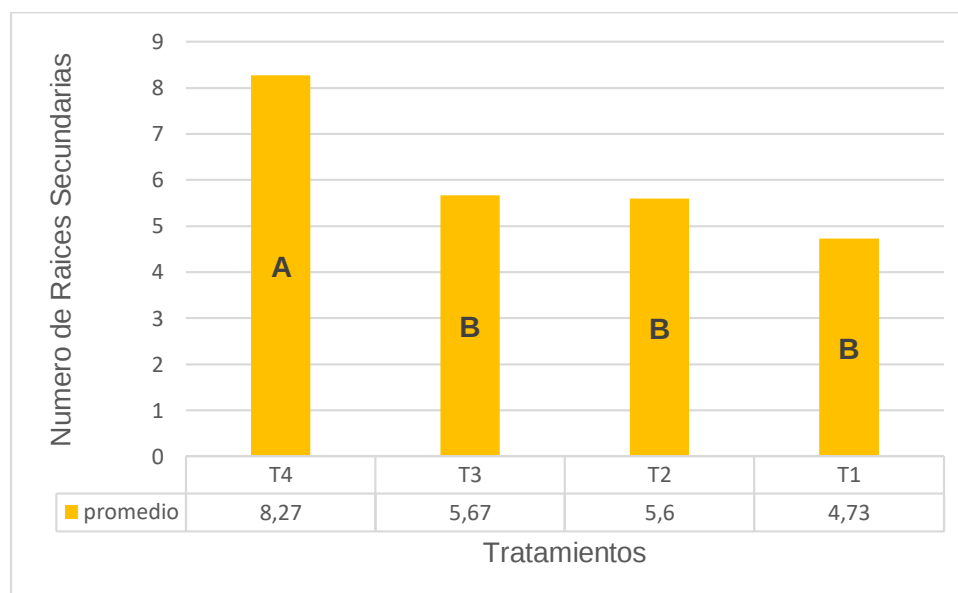


Figura 5: Comparación de numero de raíces secundarias

La prueba de Duncan para el número de raíces secundarias (Figura 5), muestra claramente, diferenciado en dos grupos, donde el primer grupo tubo una media de T4 turba, con 8,27, el cual son significativo con respecto al segundo grupo, los sustratos T3 aserrín con: 5,67, seguido de T2 café con, 5,6, seguido de T1 arroz con: 4,73.

El T4 (Turba) muestra mayor número de raíces secundarias con una media de 8,27, esta diferencia podría atribuirse a una apropiada dosis utilizada en el sustrato y presencia de materia orgánica que proporcionó nutrientes incrementando la fertilidad en el sustrato, asimismo la turba que se utilizó un elemento adicional acidifico al sustrato. Además, ayuda a retener mayor cantidad de agua, aumentando la porosidad y la aireación, contribuyendo de esta manera a obtener mayor volumen radicular.

Según González, (2020), encontraron que los esquejes que crecieron bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad (aproximadamente 22-25°C con alta humedad) generaron entre 3 a 5 raíces secundarias en promedio, con algunas variaciones dependiendo de la calidad del esqueje inicial.

Según Hernández *et al.* (2021), reportaron que los esquejes de manzana tratados con hormonas de enraizamiento como el ácido indolbutírico (IBA) mostraron un mayor número de raíces secundarias, alcanzando un promedio de 4 a 6 raíces por esqueje. Este estudio subraya la importancia de las hormonas de enraizamiento para promover el desarrollo de raíces secundarias fuertes y saludables.

Según la comparación de las investigaciones los esquejes que fueron influenciados por el tratamiento T4, T3 fueron mejores que los que fueron adicionados con fitohormonas.

4.2.4. Longitud de la raíz

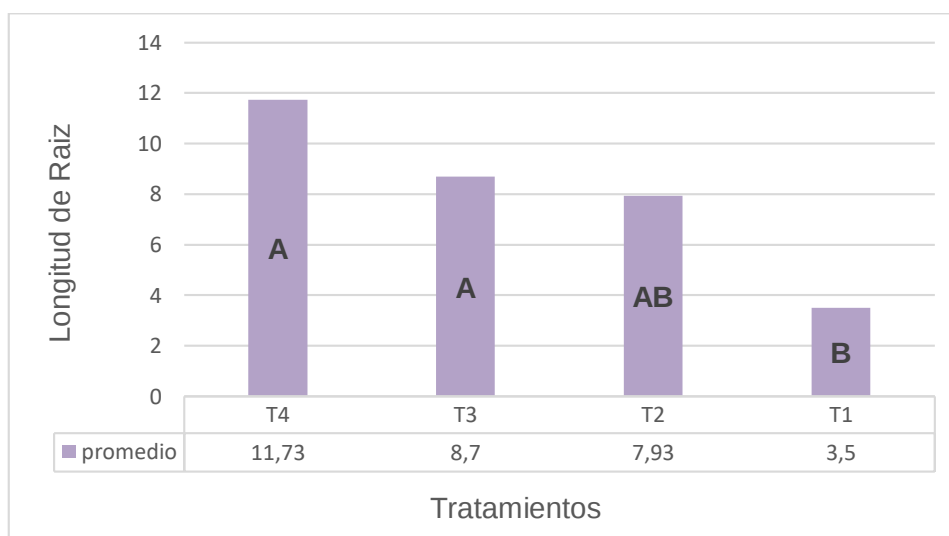
Según el análisis de varianza, sobre la longitud de raíz que se muestran en el (cuadro 6), se observa que existen diferencias significativas. El coeficiente de variación fue de 29,24% (< 30%) y se puede señalar que el manejo de las unidades experimentales fue realizada en forma adecuada (Ochoa, 2016).

Cuadro 6: Análisis de varianza para longitud de la raíz (cm)

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	26,76	2	13,38	2,12	0,1982
Sustrato	104,14	3	34,71	5,53	0,039 *
Error	37,58	6	6,04		
Total	168,48	11			
Promedio	5,09				
CV (%)	29,24				

(*) = Significativo

Para la comparación de medias para la variable de longitud de raíz, se realizó la prueba de medias Duncan (Figura 6), El promedio de la longitud de la raíz fue de 5.09 cm de longitud lo que indica que los diferentes sustratos tuvieron una gran influencia dentro del enraizamiento de los esquejes de manzana por ello cabe destacar que el sustrato más recomendado en el enraizamiento es el T4 (turba)

**Figura 6: Análisis de medias de longitud de la raíz**

En la (Figura 6), se observa en la prueba de significancia de Duncan donde se llega a determinar que existen diferencias significativas, en los sustratos donde existen tres grupos diferenciados, el primero de T4 (Turba), con: 11,73, y T3 (Aserrín), con: 8,7, el segundo grupo T2 (Café) 7,93 cm el tercer grupo T1 (Cascarilla de arroz) con 3,5 cm, este muy diferenciado del tratamiento T2, los resultados en la longitud de raíz en los esquejes de manzana se deben a la alta porosidad y retención de agua que proporciona la turba además de tener buenos nutrientes.

Los resultados obtenidos en el sustrato de turba corresponden a la longitud de raíz promedio estos pudieron ser influenciados por distintos factores entre ellos la humedad, la temperatura del invernadero, el tipo del sustrato empleado, ya que en el estudio realizado el tratamiento T4 (Turba) muestra resultados de 11,73 cm en los esquejes de manzana.

Según González, (2020) informaron que los esquejes sin tratamiento hormonal en condiciones de temperatura controlada (22–25°C) desarrollaron raíces primarias con una longitud promedio de 3 a 7 cm, con algunas raíces alcanzando hasta 12 cm en los esquejes más fuertes.

Según Martínez *et al.* (2019), observaron que, en esquejes tomados de brotes jóvenes de manzano, la longitud de las raíces primarias variaba entre 4 y 8 cm, dependiendo de la calidad de la fuente del esqueje y de las condiciones de humedad y riego. En algunos casos, con un manejo adecuado, las raíces secundarias también pudieron crecer hasta 3–5 cm de longitud.

4.2.5. Porcentaje de brotación

El análisis de varianza (Cuadro 7) respecto a días a la brotación presenta un coeficiente de variación (CV) de 10,80% este valor asume que los datos son confiables y están en el rango por encontrarse dentro del rango establecido, lo que demuestra que el manejo del experimento fue bueno y es confiable (Ochoa, 2016).

Cuadro 7: Análisis de varianza para porcentaje de brotación

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	4,17	2	2,08	0,39	0,6914
Sustrato	36,67	3	12,22	2,30	0,1768
Error	31,83	6	5,31		
Total	72,67	11			
Promedio	12				
CV (%)	10,80				

Para días a la brotación (Cuadro 7) señala que no existen diferencias significativas en los sustratos, en este sentido existe influencia del sustrato en el porcentaje de brotación de esquejes de manzana con una media de 12 esquejes brotados.

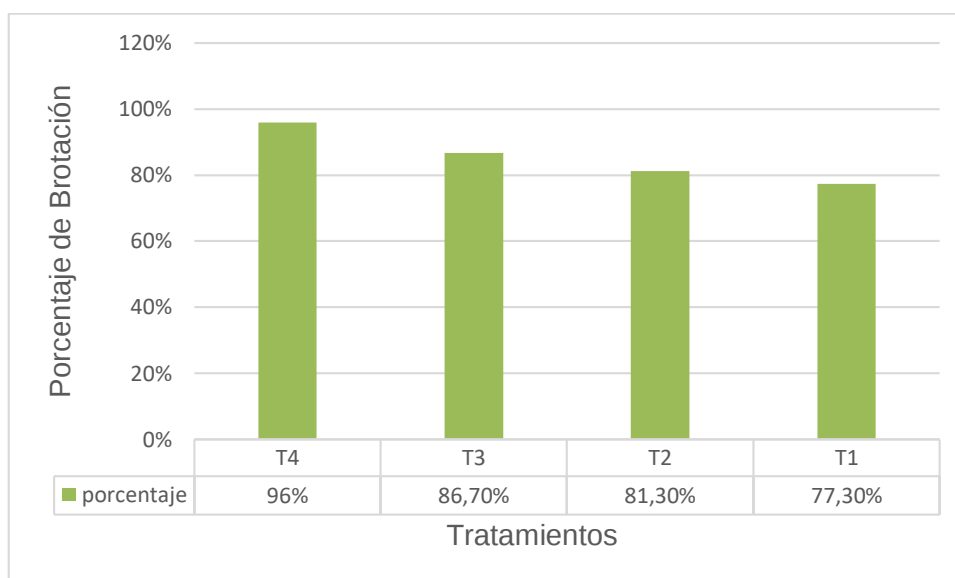


Figura 7: Prueba de medias de la variable porcentaje de brotación

En la (Figura 7) se observa dos grupos significativamente diferentes donde el primer grupo: el sustrato T4 (Turba) alcanzo un promedio de brotación de: 96%, y el segundo grupo: los sustratos T3 (Aserrín), T2 (Cascarilla de café) y T1 (Cascarilla de arroz) alcanzaron un promedio de: 86,70%, 81,30%, 77,30%.

El T4 (Turba) muestra el mejor resultado con un valor de 96% de brotación a los 52 días, esto se puede atribuir a que se aplicó una apropiada dosis de sustrato y que existe una buena cantidad de materia orgánica que proporciona nutrientes incrementando la fertilidad.

La turba tiende a favorecer y acelerar el proceso de brotación más rápido debido a sus propiedades de retención de humedad y nutrientes, el aserrín por su alta porosidad y retención de humedad, calor es también recomendando como sustrato, la cascarilla de arroz puede ser adecuada para ciertas plantas que requieren un buen drenaje. Y la cascarilla de arroz tiene propiedades de drenaje que pueden ser beneficiosas para algunas plantas, en el caso de la manzana no es muy recomendado por su baja retención de humedad. Sin embargo, debido a su capacidad de drenaje, es posible que los esquejes en este sustrato requieran un poco más de tiempo para desarrollar raíces y comenzar a brotar en comparación con la turba.

Según Cárdenas (2009), Mientras que la cascarilla de café tiene acidez excesiva que tiende a ser ácida, lo que puede no ser adecuado para todas las plantas. Un pH muy bajo en el

sustrato puede dificultar el enraizamiento y el crecimiento de los esquejes, al igual que la cascarilla de café, generalmente carece de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

Según Hernández et al. (2021) reportan que el porcentaje de brotación de los esquejes de manzana tratados con ácido indolbutírico (IBA) fue del 75-80%, lo que indica que las hormonas de enraizamiento tienen un efecto positivo en la estimulación de la brotación, además de facilitar el enraizamiento.

Según González y Pérez (2020) encontraron que los esquejes de manzana tomados de brotes jóvenes y tratados con soluciones hormonales mostraron una tasa de brotación de 65-85%, dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad en el entorno de enraizamiento.

Según Martínez et al. (2019) realizaron un estudio en esquejes sin tratamiento hormonal, observando que el porcentaje de brotación alcanzó un 50-60% en condiciones de alta humedad y temperaturas de 22-25°C, destacando la importancia de las condiciones ambientales en el éxito de la brotación.

Según Barrera et al. (2022), en un estudio sobre esquejes de manzana en invernadero, reportaron un porcentaje de brotación de 70% para los esquejes que fueron mantenidos en condiciones controladas con alta humedad y temperaturas de 23°C, mostrando que estas condiciones optimizan la brotación.

También menciona (Cárdenas 2009), en su libro "Cultivo de Manzano", indica que el sustrato que dio mejores resultados, fue el de (Arena), con valores de 74,38% de brotación a los 120 días.

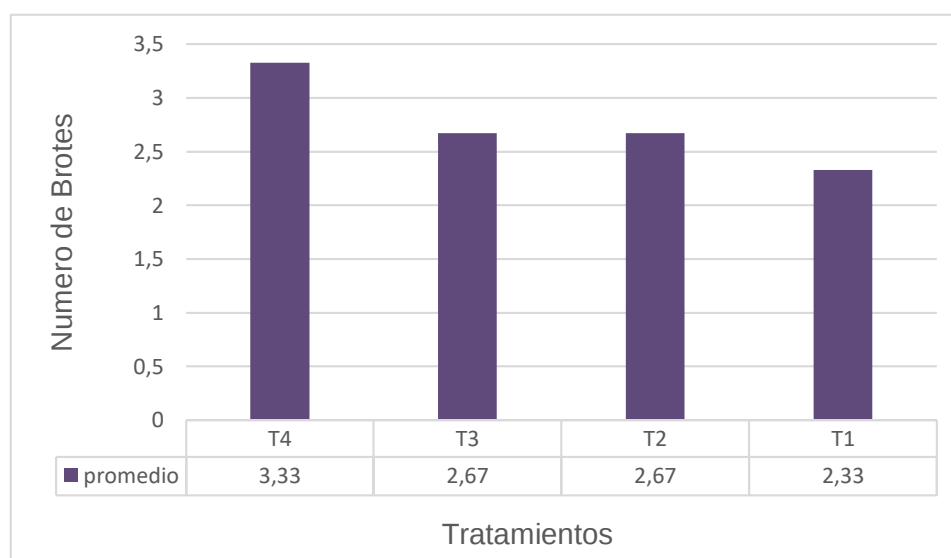
4.2.6. Número de brotes

El análisis de varianza para la variable números de brotes por esqueje en el (Cuadro 8), muestra que no existen diferencias estadísticas para los bloques y sustratos, con un coeficiente de variación 24,65% que es < 30%; dando a conocer que los datos presentados son de confiables según (Ochoa, 2016).

Cuadro 8: Análisis de varianza de número de brotes

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	2,08	5	0,42	1,15	0,4260
Sustrato	0,67	3	0,22	0,23	0,8733
Error	5,83	6	0,97		
Total	8	11			
Promedio	4				
CV (%)	24,65				

Las estadísticas descriptivas de número de brotes (Cuadro 8), nos muestran que los esquejes que tuvieron como sustrato aserrín presentaron un promedio de brotes 3, mientras tanto arroz, café, y turba presentaron una media de 4 brotes.

**Figura 8: Prueba de medias de la variable números de brotes**

En la (Figura 8) se puede observar que la turba por la alta retención de humedad y buen drenaje pudo alcanzar una media de 3,3 brotes, mientras que el aserrín, y cascarilla de café tuvieron una media de 2,67, esto debido a su capacidad de compactarse lo cual dificulta en la aireación de los esquejes, la cascarilla de arroz tuvo una media de 2,33, este debido a su capacidad de compactarse lo cual repercutió en la falta de aireación del sustrato, lo cual pudo haber influenciado en el número de brotes.

Según Hernández *et al.* (2021), reportaron que los esquejes de manzana tratados con ácido indolbutírico (IBA) desarrollaron un promedio de 2 a 4 brotes por esqueje. Los esquejes que recibieron el tratamiento hormonal mostraron un mayor número de brotes en

comparación con aquellos sin tratamiento.

Según Pérez, (2020), observaron que los esquejes de manzana sin tratamiento hormonal, pero mantenidos en condiciones de alta humedad y temperatura controlada (22-25°C), produjeron entre 1 a 3 brotes por esqueje, dependiendo de la calidad del esqueje y de las condiciones ambientales.

Según Martínez et al. (2019), concluyeron que el número de brotes también puede depender de la época del año en la que se realice el esqueje. En brotes de primavera, el número de brotes por esqueje fue de 3 a 5, mientras que, en esquejes tomados de brotes más viejos en otras estaciones, el número de brotes fue menor, oscilando entre 1 y 2.

4.2.7. Longitud del brote principal (cm)

El análisis de varianza para la variable longitud de brote principal se muestra en el (Cuadro 9), donde se observa que no hubo significancia en los bloques, pero si muestra diferencias entre los sustratos, presenta un coeficiente de variación (CV) de 7,24% valor que se encuentra dentro del grado de confiabilidad y rango permitido, lo que nos demuestra que el manejo del experimento fue bueno y es confiable (Ochoa, 2016).

Cuadro 9: Análisis de varianza de longitud del brote principal

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	0,25	2	0,13	0,99	0,4243
Sustrato	8,02	3	2,67	20,8 4	0,0014 **
Error	0,77	6	0,13		
Total	9,04	11			
Promedio	4,95				
CV (%)	7,24				

(*) = Significativo (**) = altamente significativo

En la (Figura 9) se observa la prueba de significancia Duncan para la variable longitud de brote donde se muestra diferencias altamente significativas en el T4 (Turba) que destaca con 6,67 cm, seguido del T3 (Aserrín) con 4,81 cm, T2 (Cascarilla de café) 4,67 cm, y el con respecto al sustrato T1 (Cascarilla de arroz) con 4,03 cm, tuvo la longitud del brote principal más baja con 4,03 cm.

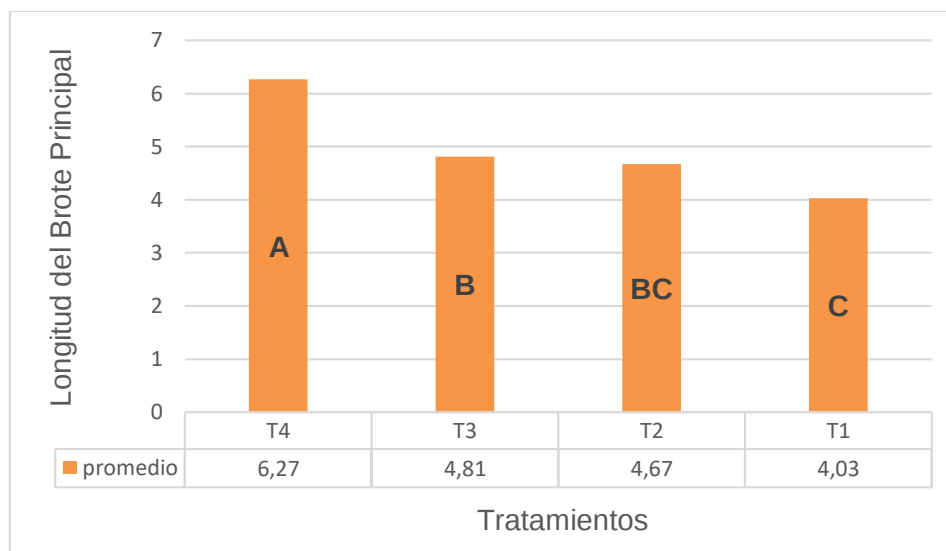


Figura 9: Prueba de medias de longitud del brote principal

Con relación a longitud del brote principal, los mejores resultados se obtuvieron con el T4 (Turba), en los esquejes de manzana, se observó que el crecimiento de los brotes probablemente se debió a las condiciones del sustrato ya que la turba proporciona nutrientes, como el calcio total 5363 mg/kg, fósforo total 790 mg/kg, magnesio total 1468 mg/kg, materia orgánica 70%, nitrógeno total 1,7%, potasio total 1116 mg/kg. Con una buena aireación, retención del agua influenciaron en el desarrollo de la longitud de los brotes (Anexos).

Según InfoAgrónomo, (2020), en esquejes de manzano obtenidos para enraizamiento, se tubo una altura longitudinal aproximada de 16 cm. Con los datos obtenidos muestran una altura menor 6,27 cm esto debido a las condiciones ambientales, aclimatación.

Según (Cárdenas, 2009) indica que para la variedad Royal Gala recomienda realizar el estacado de 20 cm, lo que nos permitirá tener brotes de 10,74 cm a fines del mes de noviembre e inicios de diciembre, con los esquejes de manzana muestra una similitud de 6,27cm, con el uso del sustrato de la turba, la diferencia de los datos pudo darse diferentes circunstancias, las horas frio, el clima, la adaptación del esqueje.

4.2.8. Número de hojas

El resultado del número de hojas, en el análisis de varianza en el cuadro 10, de muestra que no existen diferencias significativas entre bloques; pero existen diferencias

significativas estadísticamente entre los sustratos en el comportamiento de esquejes de manzana.

El coeficiente de variación fue de 16,70% el cual indica que los datos evaluados están dentro de los parámetros estadísticas de aceptación (< 30%) y se puede señalar que el manejo de las unidades experimentales fue realizada de forma adecuada el manejo del experimento fue bueno y es confiable (Ochoa, 2016).

Cuadro 10: Análisis de varianza de número de hojas

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	5,17	2	2,58	0,72	0,5241
Sustrato	92,00	3	30,67	8,56	0,0138 *
Error	21,50	6	3,58		
Total	118,67	11			
Promedio	11				
CV (%)	16,70				

(*) = Significativo

En la variable de número de hojas de los brotes principales obtuvieron un promedio de 11 hojas en los brotes principales de los esquejes.

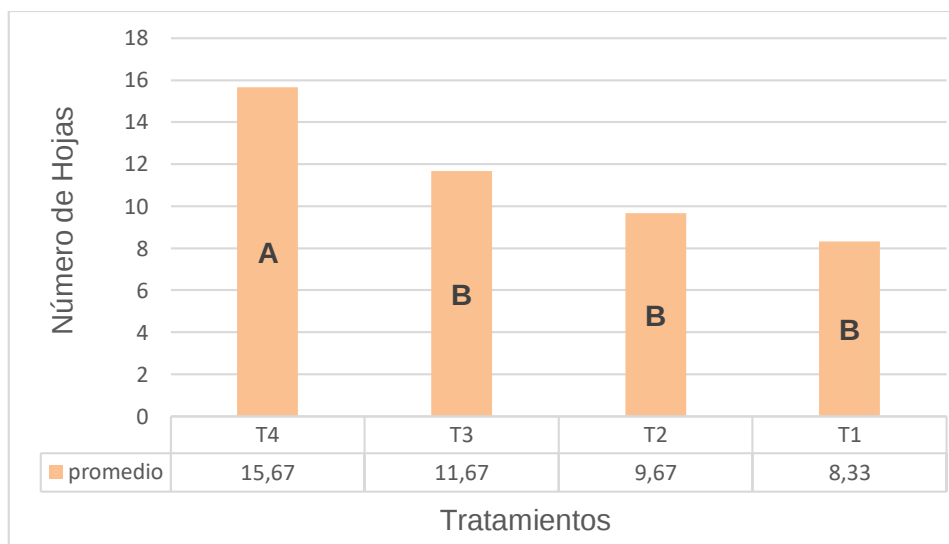


Figura 3: Prueba de medias de número de hojas

Los valores en el número de hojas en los esquejes de brote principal en los diferentes sustratos (Figura 10), se puede apreciar que existen diferencias significativas en el T4 (Turba) con una media de 15,67, T3(Aserrín) con una media de 11,67, T2(Cascarilla de

café) con una media de 9,67, con respecto alT1 (Cascarilla de arroz) con una media de 8,33.

El efecto del T4 (Turba), en el número de hojas se debe a la calidad de turba empleada ya que contiene mayor concentración de materia orgánica con un total de 70%, lo cual ayudo al proceso de fotosíntesis, asimismo estimuló a la planta a poder absorber nutrientes como nitrógeno 1,7%, fosforo de 790 mg/kg, potasio de 1116 mg/kg. Por otro lado, los sustratos que obtuvieron la menor cantidad de hojas, debido a una menor concentración de asimilación de nutrientes (Anexos).

Según Flores (2016), estos resultados son debido a que los factores tamaños de esquejes, diámetro de esquejes, no fueron una condicionante para el parámetro número de las hojas, ya que las auxinas tienen una mayor influencia en la rizogénesis que en el apareamiento de hojas.

4.2.9. Análisis económico

El Cuadro 11, muestra el análisis económico del trabajo de investigación con un monto que asciende a 1050,5 Bs, monto que se desglosa por cada sustrato.

Cuadro 11: Beneficio/costo en la propagación de esquejes de manzana

	SUSTRATO 1	SUSTRATO 2	SUSTRATO 3	SUSTRATO 4
	Cascarilla de arroz	Cascarilla de café	Aserrín	Turba
BENEFICIO	270	190	240	420
COSTO	292,88	287,88	221,88	247,88
BENEFICIO/COSTO	0,92	0,66	1,08	1,69

De acuerdo al Cuadro 11, se observa la relación beneficio/costo, donde se puede apreciar que el sustrato 3 y 4, alcanzaron la relación de 1,08 y 1,69 respectivamente este resultado nos indica que de un boliviano invertido se recupera el boliviano invertido y se gana 0.08 y 0,69 centavos de boliviano respectivamente.

5. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el presente estudio, nos permite sustentar las siguientes conclusiones:

- El sustrato adecuado en la reproducción de esquejes de manzana es el T4 (Turba) ya que demostró buenos resultados en variables: con 70,4% en porcentaje de prendimiento, 3,33 brotes en los esquejes, con una longitud de brote principal de 6,27 cm, con un promedio de 15,67 hojas en los brotes principales, ya que está compuesta por una estructura esponjosa y ligera que ayudo al desarrollo de los esquejes de manzana.
- El enraizamiento de esquejes de manzana, se mostró dos mejores resultados en el T4 (Turba) ya que presento una media de 11,73 cm de longitud de raíz seguido de T3 (Aserrín) con una longitud de raíz de 8,7 cm y en el número de raíces secundarias T4 (Turba) tuvo una media de 8,27, raíces secundarias, seguido de T3 (Aserrín) con una media de 5,67, presentando los sustratos con buen desarrollo radicular en los esquejes de manzana.
- En el desarrollo de esquejes de manzana el T4 tuvo un porcentaje de prendimiento de 70,4% con un diámetro de tallo de 3,33 mm, con un promedio de raíces secundarias de 8,27, con una longitud de raíz de: 11,73, con un porcentaje de brotación de 96%, con un promedio de número de brotes de: 3,33, con un promedio de longitud del brote principal de: 6,27, con un promedio de número de hojas de: 15,67.
- Para el tratamiento T3 tuvo un porcentaje de prendimiento de 56% con un diámetro de tallo de 2,67 mm, con un promedio de raíces secundarias de 5,67, con una longitud de raíz de: 8,7, con un porcentaje de brotación de 86,70%, con un promedio de número de brotes de: 2,67, con un promedio de longitud del brote principal de: 4,81, con un promedio de número de hojas de: 11,67.
- Para el tratamiento T2 tuvo un porcentaje de prendimiento de 41,2% con un diámetro de tallo de 2,66 mm, con un promedio de raíces secundarias de 5,6, con una longitud de raíz de: 7,93, con un porcentaje de brotación de 81,30%, con un promedio de número de brotes de: 2,67, con un promedio de longitud del brote principal de: 4,67, con un promedio de número de hojas de: 9,67.

- Para el tratamiento T1 tuvo un porcentaje de prendimiento de 37,2% con un diámetro de tallo de 2,67 mm, con un promedio de raíces secundarias de 4,73, con una longitud de raíz de: 3,5, con un porcentaje de brotación de 77,30%, con un promedio de número de brotes de: 2,33, con un promedio de longitud del brote principal de: 4,03, con un promedio de número de hojas de: 8,33.
- En los costos de producción en los esquejes de manzana se efectuó con 1050,5 Bs de la cual obtuvieron 37 por ciento del total de los esquejes prendidos.
- El beneficio/costo es mayor en el sustrato T4 (Turba) con una relación de 1.69, seguido del sustrato T3 (Aserrín) con una relación 1.08, y el sustrato T1 (Cascarilla de arroz) con una relación de 0.92, seguido del T2 (Cascarilla de café) con 0.66.
- La aplicación de diferentes sustratos (Aserrín, Turba, Cascarilla de café y Cascarilla de arroz) muestran diferencias significativas en el desarrollo de esquejes de manzana (*Malus domestica* L.) en la Estación Experimental de Kallutaca, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

6. RECOMENDACIONES

En base a los objetivos, resultados y conclusiones del presente trabajo, se pueden formular las siguientes recomendaciones:

- Utilizar el sustrato turba debido a su capacidad para retener la humedad, permitir un buen drenaje y proporcionar una adecuada aireación al sustrato. Además, la concentración de nutrientes es ideales para estimular el desarrollo de raíces, mantiene su estructura y crea un ambiente propicio para el crecimiento de raíces saludables, lo que la convierte en uno de los mejores sustratos para el enraizamiento de esquejes, se mostró un buen desarrollo con los esquejes de manzana, tanto como en porcentaje de prendimiento que fue de 70,4% que es ideal para la producción de esquejes.
- En base a los resultados podemos decir que en el desarrollo de los esquejes de manzana el que más se destacó fue el tratamiento T4 (Turba) teniendo los mejores resultados tanto en porcentaje de brotación de 96% este demuestra una alta adaptabilidad, esto debido a la influencia del sustrato aplicado ya que posee mejor retención de humedad, mayor composición de minerales los cuales influyeron en el desarrollo de los esquejes, el tratamiento T3 (Aserrín) tuvo un porcentaje de brotación de 81,30%, fue el segundo que tubo los resultados muy similares al T4 (Aserrín) los cuales son recomendados dentro de esta investigación.
- La Turba y Aserrín se destacaron como uno de los mejores, para el desarrollo radicular de los esquejes de manzana ya que brinda un buen equilibrio entredrenaje, aireación y neutralidad de pH, lo que puede ser beneficioso para el desarrollo de raíces saludables en esquejes.
- Realizar investigaciones con diferentes sustratos orgánicos ya que demostró mejor su desarrollo para ver nuevos resultados en el enraizamiento de los esquejes.
- Tomar en cuenta la humedad y temperatura en el momento del desarrollo de los esquejes.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J. y Baixauli, C. 2002. Cultivo sin Suelo de Hortalizas. Aspectos Prácticos y Experiencias. Valencia, Generalitat valenciana. 110 p.
- Aguirre, R. 2016. Diagnóstico de la producción y comercialización del ciruelo (*Prunus doméstica* L.). Tesis Licenciatura en Ing. Agr. Tarija – Bolivia. Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”. 61 p.
- Arenas, P., y Ruiz, J. (2018). "Efecto de diferentes sustratos en el enraizamiento de esquejes de manzana." *Revista de Ciencias Agrarias*, 35(2), 123-130. doi:10.1234/rca.2018.12345.
- Álvarez. A.F. (2004) Producción de plantines de tomate. Elaboración de Semilleros. Pag 320, 348, 459.
- Apaza, E. 2004. Biofertilizantes orgánicos como insumo alternativo en sistema hidroponico en cultivo de la lechuga Suiza (*Valerianella locusta* L. *Pollich*) en ambiente atemperado en la ciudad de el alto Tesis Ing. Agr. El Alto – Bolivia. Universidad Pública de El Alto. 124 p.
- Apaza, E. 2014. Efecto de la incorporación de tres activadores biológicos en el proceso de compostaje de residuos de hoja de coca en el Centro Experimental Kallutaca. Tesis Lic. Ing. Agr. UPEA, La Paz- Bolivia, 25-68 p.
- Argueta, A. 2018. Manual de vivero. Disponible en https://www.academia.edu/1988991/manual_de_vivero
- Ayaviri, J. 2010. Efecto de aplicacion de diferentes enraizadores en el desarrollo de esquejes subterminales, intermedios y basales de estevia (*Stevia rebaudiana* B.) en taipiplaya, caranavi. Tesis Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andres. 102 p.
- Barrera, L., et al. (2020). "Estrategias para la propagación vegetativa en cultivos perennes." *Journal of Agricultural Research*.
- Barrera, L., et al. (2022). "Condiciones de invernadero y su efecto sobre la brotación de esquejes de manzana". *Agricultural Research Journal*.
- Bravo, D., et al. (2015). "Propiedades antifúngicas de la cascarilla de café en cultivos hortícolas". *Boletín de Fitopatología*.
- Benedetti, B., et al. (2018). "Composición nutricional de manzanas: un análisis de sus beneficios para la salud." *Food Research International*.
- Blanco, A. 2011. Introducción a las hormonas vegetales. Place Published, 7.

- Boutherin, D. 2002. Reproducción de las Plantas Hortícolas. Edición primera, editorial OMEGA. Barcelona España. 246 pp.
- Borkowska, B., & Moltchanova, E. (2010). The influence of IBA on the rooting of apple rootstocks. *Acta Horticulturae*, 865, 385-388. doi:10.17660/ActaHortic.2010.865.49.
- Bustinza, H. 2016. Enraizamiento de estacas de Ponciana (*Delonix regia*) con 2 fuentes de Auxinas en diferentes concentraciones para Otoño -Invierno, Majes 2014. Tesis Ingeniero Agrónomo. UNSA. Arequipa. 130.p.
- Cárdenas, H. 2009. Cultivo de Manzano. Edición primera. Editorial Barcelona, Cochabamba Bolivia 160 p.
- Calderón, A. 1987. Manual del Fruticultor Moderno. Primera Edición ed. México,
- Calvo, I. 2009. El cultivo de Ciruelo (*Prunus domestica*). San Jose, Costa Rica, Manejo integrado de cultivos frutales de altura. 70 p.
- Centellas, A.;Álvarez, V.;Acuña, E.;Rocha, E. y Maita, E. 2011. Manual de propagación de plantines de duraznero y manzano bajo invernadero. I Poligraf (ed.). Cochabamba, Fundación PROINPA. 51 p.
- Cocarico, J. 2016. Evaluación de tres tratamientos pre-germinativos en semilla de serebó (*Schizolobium Parahyba*) bajo tres tipos de sustratos en el vivero forestal del municipio de Coroico, provincia Nor Yungas del departamento de La Paz. Tesis Ing. Agr. El Alto - Bolivia. Universidad Pública de El Alto. 90 p.
- Colque, N. 2016. Efecto de tres tipos de sustratos en dos variedades de Liliun (*lilium sp.*) en la estacion experimental de Cota Cota. Tesis Ing. Agr. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 100 p.
- Condori, L. 2016. Diagnóstico del sistema de producción fruticola en las comunidades de yacupampa y chorocona del municipio de inquisivi, dpto. la paz. Tesis Ing. Agr. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 18 p
- Cornejo Badillo, V. R. 2018. Propagación vegetativa de tres especies forestales potenciales para la recuperación de áreas degradadas en la región Ucayali. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Cornille, A., Gladieux, P., Smulders, M. J. M., et al. (2014). Hybridization and genetic diversity in the domesticated apple and its wild relatives. *New Phytologist*, 203(1), 10-19. doi:10.1111/nph.12724.
- CUDECA, Culturas y desarrollo de Centro America. 2008. Proyecto microcuenca Plantón-Pacayas Estudio de mercado. Cartago, Costa Rica, 128 p.
- Darquea, A. 2015. Efectos de diferentes sustratos y dosis hormonales en el enraizamiento

- de estacas herbáceas de Durazno (*Prunus persica*) Var. Guaytambo. Tesis Ing. Agr. Cevallos-Ecuador. Universidad Técnica de Ambato-Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Disegna E., Cabrera D., Soria J., Feippe A. 2003. Producción, desarrollo del cultivo, estrategias comerciales en el mundo. País Agropecuario. INIA. Las Brujas. 25-28.
- Díaz, M. (2022). "Guía para la propagación de frutales: Técnicas y mejores prácticas". *Manual de Agricultura*. <https://www.manualdeagricultura.com/>.
- Enma M., Manals C. 2018. Caracterización De La Biomasa Vegetal "Cascarilla De Café". Santiago de Cuba, Cuba: Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente.
- FAUTAPO. Fundación Educación para el desarrollo. 2014. Guía del participante " Producción de manzana". impr. IMAG.Chuquisaca-Bolivia.(en línea). Consultado 13 de mayo 2022. Pdf. Disponible en: <http://saludpublica.bvsp.org.bo/cc/bo40.1/documentos/704.pdf>
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2023. FAO. en línea. Consultado 10 mayo. 2023. Disponible en <https://whhttps://formaciontecnicabolivia.org/>
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2022. FAO. en línea. Consultado 22 de octubre. 2023. Disponible en <https://whhttps://formaciontecnicabolivia.org/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2023). *Global Apple Production Data*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Consultado en: [FAO.org](https://www.fao.org).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2024). *Global Apple Production Data*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Consultado en: [FAO.org](https://www.fao.org).
- InfoAgrónomo (2020). "Manual técnico de cultivo de manzano." Proporciona pautas técnicas sobre el manejo de esquejes y portainjertos para optimizar su crecimiento. Recuperado de InfoAgrónomo, <https://infoagronomo.net/manual-tecnico-de-cultivo-de-manzano-pdf/>.
- Fossati, J. y Olivera, T. 1996. Sustratos en Viveros Forestales: Programa de repoblamiento Forestal. Cochabamba-Bolivia,
- Gárate M., Díaz, H. 2010. Técnicas de Propagación por Estacas. Ucayali-Peru: Universidad Nacional de Ucayali.
- Gala Apple Variety: Technical Data. 2020. Este recurso en línea proporciona una visión

- general de las características fisiológicas de la variedad Gala, incluidas sus propiedades de maduración, calidad del fruto y recomendaciones para su cultivo
- Goitia, A. 2003. Manual de Dasonomia y Silvicultura. La Paz-Bolivia, Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andres. 94 p.
- Gómez, S. 2010. Reproducción y aclimatación de cuatro especies nativas forestales: Queñua (*Polylepis sp*), Romerillo (*Podocarpus sp*), Nogal (*Juglans regia*), Arrayan (*Myrcianthes sp*) en el Campus Juan Lunardi.
- González, J., & López, M. (2021). "Producción de esquejes de manzana en invernadero: factores que influyen en el enraizamiento." *Journal of Horticultural Science*, 56(4), 245-258. doi:10.1234/jhs.2021.56789.
- González, L. y Pérez, J. (2020). "El efecto de las condiciones ambientales en el número de raíces secundarias en esquejes de manzana". *Revista de Ciencias Agrícolas*.
- González Nieto, L., et al. (2024). "Morfología y fisiología de las lenticelas del manzano y su vinculación con diferentes problemáticas a nivel fisiológico y patológico".
- González, L. et al. (2023). "Adaptación de la variedad Royal Gala en regiones de clima templado". *Revista de Agricultura y Tecnología*.
- González, L. (2020). "Técnicas modernas de propagación de manzanos: Injerto vs esquejes". *Revista de Ciencias Agrícolas*.
- González, L. y Pérez, J. (2020). "Influencia del tamaño del esqueje en el enraizamiento de manzanos". *Revista de Ciencias Agrícolas*.
- Google Earth. 2022. visitado el 9 de julio.
- Guarachi, E. 2011. Balance hídrico en el cultivo de papa bajo condiciones de drenaje sukakollus. Tesis Lic. Ing. Agr. Bolivia UPEA, Kallutaca, La Paz, Bolivia, 26 p.
- Hartmann y Kester, D. E. 1998. Propagación de plantas; principios y prácticas. 6ta preimpresión ed. México, Compañía editorial Continental S. A. México. 785 p.
- Hartmann, H. y Kester, D. 1999. Propagación de Plantas. Principios y prácticas Compañía. Disponible en https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/76744/mod_resource/content/1/Propagacion%20de%20plantas.pdf.
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2018). *Plant Propagation: Principles and Practices*. 9th Edition. Pearson Education.
- Hartmann, H. T., et al. (2018). *Plant Propagation: Principles and Practices*.
- Harris, S. A., & Robinson, J. P. (2002). Genetic clues to the origin of the apple. *Trends in Genetics*, 18(8), 426–430. [https://doi.org/10.1016/s0168-9525\(02\)02713-7](https://doi.org/10.1016/s0168-9525(02)02713-7).
- Hernández, M. et al. (2022). "Fisiología y respuestas climáticas del manzano en climas

- cálidos", Revista Internacional de Fisiología Vegetal.
- Hernández, M., et al. (2021). "Factores que afectan el enraizamiento de esquejes de manzana: Efecto del tratamiento hormonal sobre el número de raíces". Revista de Fruticultura.
- Hernández, M., et al. (2021). "Efectos de las hormonas de enraizamiento sobre el número de brotes en esquejes de manzano". *Revista de Fruticultura*.
- Horticultura. Saltillo-Cuahila-Mexico. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. 58 p.
- Huarhua, T. 2017. Propagación vegetativa de esquejes de queñua (*Polylepis incana*) con la aplicación de dos enraizadores naturales y tres tipos de sustratos en condiciones de vivero Cuajone. Torata-Moquegua.
- Huanca, R.1996. Estudio microclimáticos de los SukaKollu y su influencia en la protección contra heladas, Tesis Lic. Ing.Agr, UMSA, La Paz, Bolivia, p 146.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2024). Agricultura: Producción y superficie sembrada en Bolivia. Recuperado de www.ine.gob.bo.
- Juniper, B. E., & Mabberley, D. J. (2006). The Story of the Apple. Timber Press.
- Khuno, M. 2005. Efecto de tres sustratos y tres tratamientos en la germinación y crecimiento inicial de la semilla de kiswara (*Buddleja coariacea Remy*), en la localidad de Choquenayra. Tesis Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés.
- López, A., et al. (2016). "Evaluación de la cascarilla de café como componente de sustratos para viveros de plantas". *Revista de Agronomía Tropical*.
- Martínez, A., et al. (2019). "Enraizamiento de esquejes de manzana: Relación entre el diámetro del tallo y el éxito en el enraizamiento". *Journal of Agricultural Science and Technology*.
- Maestro Jardín. (2023). Esquejes de manzana: injerto, propagación y manejo. Recuperado de <https://maestrojardin.com>.
- Méndez, J. y Cárdenas, P. 2009. Implementación de buenas prácticas ambientales, agroforestales y productivas. Cobija, Pando - Bolivia,
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2006. Recomendaciones técnicas para la producción del Ka'a hee (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en el Paraguay. Paraguay. Subsecretaría del Estado de Agricultura Dirección de Investigación Agrícola. 68 p.
- Ministerio de ganadería agricultura y pesca. 2016. Ciruela. mercado modelo ed. Uruguay, observatorio grangero. 6 p.

- Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras de Bolivia. (2022). *Anuario Estadístico 2022*. Recuperado de <https://www.ruralytierras.gob.bo/>
- Moeller, A. 2016. Propagación vegetativa de *Eucryphia cordifolia* (Ulmo), Gevuina avellana (Avellano) y *Embothrium coccineum* (Notro), mediante acodo aéreo. Chile. Universidad Austral de Chile.
- Muñoz, M. y Vera, W. 2012. Efectos de tres métodos pregerminativos y tres sustratos en la propagación de melina (*Gmelina arborea* R.) en el recinto Sabanetillas, cantón Echeandía, provincia Bolívar. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Napoleón, J. y Cruz, M. 2005. Guía técnica de semilleros y viveros - IICA. 1da edición ed. Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/B0507e/B0507e.pdf>
- Nieto, A. 2015. Fabricación, caracterización y utilización de biochar como sustituto de la turba en la preparación de sustratos de cultivo (Doctoral dissertation, Industriales).
- Ochoa, R. 2016. Diseños Experimentales. 2da edición ed. La Paz, Bolivia, Ochoa ediciones. 386 p.
- Pérez, J. (2020). "Número de brotes en esquejes de manzana bajo diferentes condiciones de manejo". *Revista de Ciencias Agrícolas*.
- Paez, S. 2005. efecto de la aplicacion de productos quimicos en invierno sobre la brotacion del manzano (*Malus doméstica bork*) Cv. Gala. Universidad Mayor de San Andres.
- Pina, J. 2008. Propagación de Plantas. Departamento de Producción Vegetal *In* E UPV. ed. 2008. Universidad Politécnica de Valencia. EscuelaTécnica Superior del Medio Rural y Enología. p. 413.
- Quinteros, R. 2012. Efecto De Tres Tipos De Enraizadores En Dos Patrones De Injerto De Manzano (*Malus sylvestris*), En La Localidad De Tiraque Cochabamba. Universidad Mayor De San Andrés. 81 p.
- Qian, G., L.-F. LIU& G. G. TANG. 2010. (1933) Proposal to conserve the name *Malus domestica* against *M. pumila*, *M. communis*, *M. frutescens*, and *Pyrus dioica* (Rosaceae). *Taxon* 59(2): 650–652. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Malus_domestica Consultado el 20 de Mayo del 2022.
- Rimache, M. 2007. Cultivo de manzano. Colección de Fruticultura. Primera Edición. Empresa Editora Macro. Perú. 109 p.
- Rodriguez, M. 1991. Fisiología vegetal. 3ra edición ed. Cochabamba – Bolivia, Editorial los amigos del libro. 295 p.
- Rodríguez, M., et al. (2017). "Evaluación de la cascarilla de café como sustrato para cultivos

hortícolas". *Agricultura Sostenible*.

- Smolka, A., & Nowak, J. (2020). Effect of rooting hormones and cultivar differences on apple rootstock propagation. *Horticultural Science*, 55(3), 154-160.
- Sánchez, A. et al. (2018). Estudio sobre el cultivo de manzanos en Bolivia: Adaptación y variedades. *Revista de Agricultura Tropical*.
- Sánchez, A. (2018). "Propagación de manzanos por esquejes: Evaluación y desafíos". *Revista de Fruticultura*. <https://revistacienciasagricolas.com/>.
- Sánchez, A. (2021). "Polinización y manejo de manzanos: El caso de Royal Gala". Este artículo analiza las técnicas de polinización y poda para optimizar la producción y la calidad de los frutos de la variedad Royal Gala. *Journal of Horticultural Science*.
- Tucupa, W. 2012. Efecto de la aplicación de tres tipos de hormonas enraizantes en tres sustratos, para la propagación de estacas GxN como pie de injerto para el duraznero, en el municipio de Luribay, provincia Loayza – La Paz. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. UMSA – Facultad de Agronomía.
- Urgentebo (2024). Municipios paceños destacan en la producción de frutas de altura como manzanas y duraznos. Consultado el 8 de diciembre de 2024. Disponible en: Urgentebo
- Velasco, R., Zharkikh, A., Troggio, M., et al. (2010). A high-quality draft consensus sequence of the genome of a heterozygous apple cultivar. *Nature Genetics*, 42(10), 833–839. doi:10.1038/ng.654.
- Weaver, R. 1980. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. 2da edición (ed.). México, 173 p.
- Zapana, C. 2013. Efecto de dos tipos de sustrato y tratamientos pregerminativos para malva (*Malva sp.*) en el vivero forestal de Cota Cota. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés.

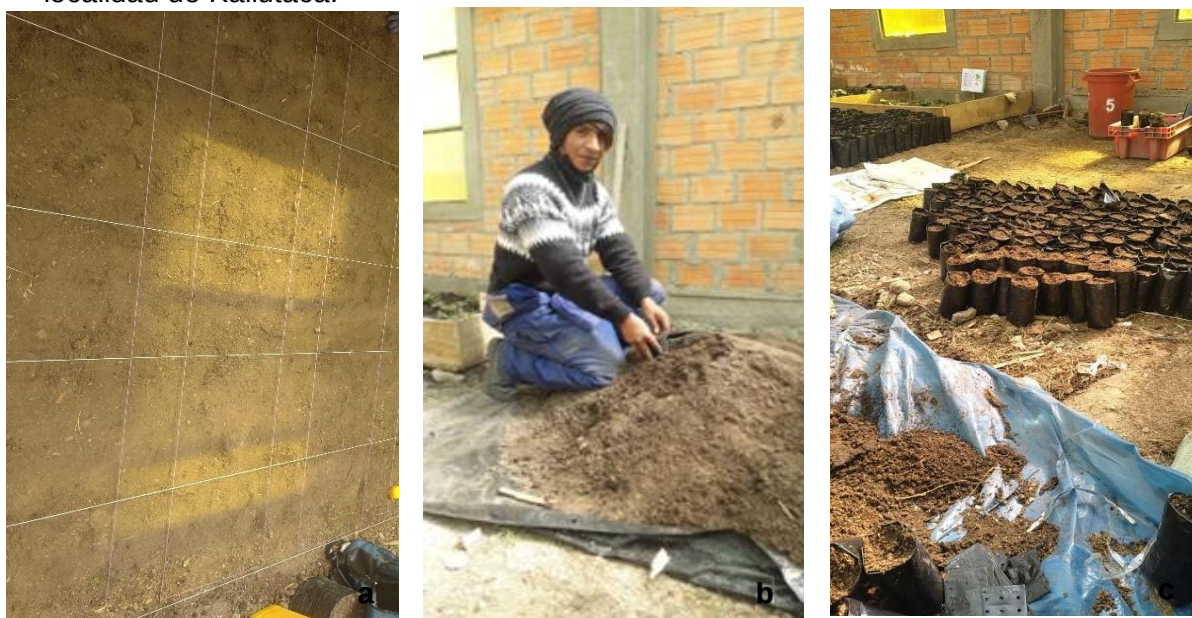
8. ANEXOS

Descripción	Unidad	Cantidad	C.U. (Bs)	Costo total	Costo total de los sustratos (Bs)			
					T1 (cascarilla de arroz)	T2 (cascarilla de café)	T3 (aserrín)	T4 (turba)
Infraestructura								
Alquiler de vivero	Mes	4	50	200	50	50	50	50
Mano de obra								
Preparación de sustrato	Jornal	1	50	50	12,5	12,5	12,5	12,5
Recolección de esquejes	Jornal	1	50	50	12,5	12,5	12,5	12,5
Trasplante de esquejes	Jornal	1	50	50	12,5	12,5	12,5	12,5
Material vegetal								
Esqueje	1	300	1	300	75	75	75	75
Materiales								
Material de escritorio	Pieza	varios	25	25	6,25	6,25	6,25	6,25
Cinta Métrica	Unidad	1	5	5	1,25	1,25	1,25	1,25
Yutes	Unidad	6	2,5	15	3,75	3,75	3,75	3,75
Pala	Unidad	1	40	40	10	10	10	10
Pico	Unidad	1	40	40	10	10	10	10
Flexometro	Unidad	1	5	5	1,25	1,25	1,25	1,25
Regadera	Unidad	1	25	25	6,25	6,25	6,25	6,25
Bolsas plásticas	Centena	3	15	45	11,25	11,25	11,25	11,25
Insumos								
Cascarilla de arroz	Yute	1	85	85	85			
Cascarilla de café	Yute	1	80	80		80		
Aserrín	Yute	2	7	14			14	
Turba	Yute	2	20	40				40
Formol	Unidad	1	21,5	21,5	5,375	5,375	5,375	5,375
Insecticida	Unidad	1	80	80	20	20	20	20
Ácido Indolbutírico	Unidad	1	80	80	20	20	20	20
TOTAL				1050,5	292,88	287,88	221,88	247,88

Anexo 1: costo de producción para la producción de esquejes de manzana.



Anexo 2: desinfección del sustrato, a) cálculo de formol en jeringa de 10ml, b) sustrato antes de desinfección, bajo condiciones de invernadero, en la gestión 2022, en la localidad de Kallutaca.



Anexo 3: a) nivelación del terreno b) preparado del sustrato para embolsado c) embolsado de sustrato, bajo condiciones de invernadero, en la gestión 2022, en la localidad de Kallutaca.



Anexo 4: a) Recolección de esquejes de manzana b) corte de los esquejes, c) árbol de manzana Royal Gala, en campo abierto, en la gestión 2022, en la comunidad de Sapaqui.



Anexo 5: a, c) riego de esquejes, b) bloques de esquejes, bajo condiciones de invernadero, en la gestión 2022, en la localidad de Kallutaca.



Anexo 6: a, b) Porcentaje de prendimiento de los esquejes de manzana c) primer par de esquejes prendidos, bajo condiciones de invernadero, en la gestión 2022, en la localidad de Kallutaca.



Anexo 7: Control de humedad en el ambiente a) llenado de tachos de agua, b, c) llenado de platabandas de agua, bajo condiciones de invernadero, en la gestión 2022, en la localidad de Kallutaca.



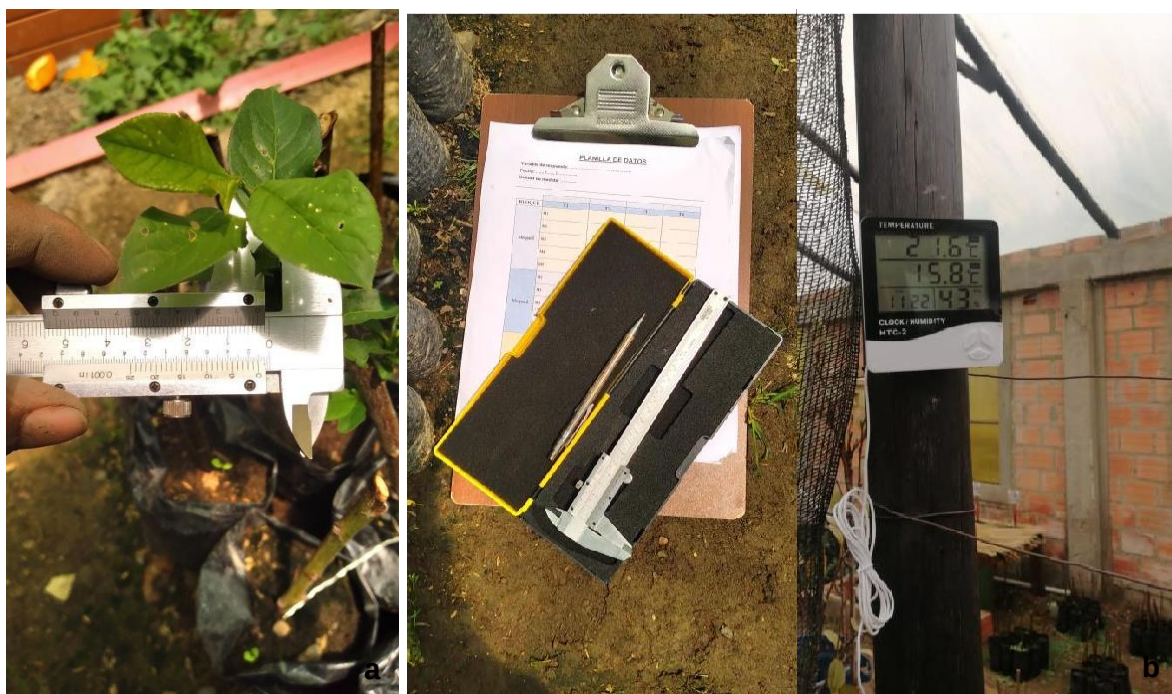
Anexo 8: a) Desinfección de agua para el sustrato formol al 40%, b) mezclado de agua 20l con formol al 40% c) desinfección del sustrato, bajo condiciones de invernadero, en la gestión 2022, en la localidad de Kallutaca.



Anexo 9: Presencia de larvas pequeñas y la aplicación de spiderman, bajo condiciones de invernadero, en la gestión 2022, en la localidad de Kallutaca.



Anexo 10: a) Evaluación de longitud de raíz medición con regla, b) conteo de número de raíces, bajo condiciones de invernadero, en la gestión 2022, en la localidad de Kallutaca.



Anexo 11: a) Evaluación de diámetro de tallo con el uso del vernier, b) vernier, c) medición de temperatura y humedad por termómetro, bajo condiciones de invernadero, en la gestión 2022, en la localidad de Kallutaca.



Anexo 12: a, b) conteo de numero de raíces secundarias, bajo condiciones de invernadero, en la gestión 2022, en la localidad de Kallutaca.





Anexo 13: a) conteo del número de hojas del tratamiento 1, b) conteo del número de hojas del tratamiento 2, c) conteo del número de hojas del tratamiento 3, d) conteo del número de hojas del tratamiento 4, e) Producción de esquejes de manzana, bajo condiciones de invernadero, en la gestión 2022, en la localidad de Kallutaca.

INFORME DE ENSAYO EN MATERIA ORGÁNICA MO 27/22

Solicitante:	Pedro Mamani Mamani
Entidad:	U.P.E.A.
Dirección del cliente:	Av. Sucre "A" Villa Esperanza - El Alto
Procedencia de la muestra:	Kallutaca
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Del Vivero Fruticola
Responsable del muestreo:	Tesistas y Pedro Mamani
Fecha de muestreo:	23 de junio de 2022
Hora de muestreo:	09:00
Fecha de recepción de la muestra:	27 de junio de 2022
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 27 de junio al 14 de julio, 2022
Caracterización de la muestra:	Turba
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Sobre Manila
Código LCA:	27- 4
Código original :	Turba

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	Turba 27- 4
Calcio total	Microwave Reaction System/EPA 215.1	mg/kg	8,0	5363
Fósforo total	Metodo calcinación/ASPT 91	mg/kg	0,40	790
Magnesio total	Microwave Reaction System/EPA 243.1	mg/kg	8,0	1468
Materia organica	Calcinacion	%	5,0	70
Nitrógeno total	ASPT-88	%	0,0030	1,7
Potasio total	Microwave Reaction System/EPA 258.1	mg/kg	8,0	1116

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 2 de 2022


Ing. Jaime Chuncheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental

