

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los granos más antiguos que se conocen, se trata de una planta doméstica y altamente productiva. El maíz y sus parientes silvestres los teocintles, se clasifican dentro del género *Zea* perteneciente a la familia Graminea o Poaceae.

El forraje verde hidropónico no solo es una alternativa de producción de forraje para el alimento animal como el ganado de leche y de carne, cabras, cerdos, gallinas, caballos y conejos, sino que, al aprovechar el espacio vertical, libera terrenos para otro tipo de cultivo. Entre las ventajas del forraje verde hidropónico, figura la disminución de alteraciones digestivas, una menor incidencia de enfermedades, un aumento de la fertilidad y la producción de leche (Mera, 2018).

La producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) en invernadero, es considerado por la Food and Agriculture Organization (FAO) como una alternativa viable para los pequeños productores agropecuarios, obteniendo un forraje de alta calidad nutricional, palatable y con un bajo consumo de agua (Ruiz, 2010).

Un invernadero de FVH de 75m² equivale a 3 hectáreas para producción de forraje en campo abierto y la considerable relación de producción la cual tiene una conversión de aproximadamente de 6 a 8 kg de forraje por cada kilo de semilla, menciona Tarrillo (2006), citado por (Ruiz, 2010).

En Bolivia, la producción de forraje verde hidropónico, está más enfocado en los departamentos de La Paz (es el departamento que cuenta con más investigaciones realizadas en lo académico), Cochabamba, Santa Cruz, Oruro y Tarija, donde se tiene una producción pequeña.

En el departamento de La Paz, en un trabajo de investigación realizado en los predios de la FUNDACIÓN LA PAZ, con el objetivo de evaluar la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), donde se obtuvo un rendimiento de 26,12 kg/m² mediante una aplicación de abono orgánico de Biol (Tito, 2016).

En el departamento de Tarija, según Coope (2022), en su trabajo de investigación titulado: evaluación de la producción de forraje verde hidropónico con dos especies

sorgo (*Sorghum bicolor* L.) y maíz (*Zea mays* L.) con tres densidades, bajo invernadero en la Comunidad de Coimata, obtuvo un rendimiento de 0,91 kg de FVH de maíz en bandejas de producción cuya área fue de 0,13m² bajo una densidad de siembra de 0,550 kg/bandeja de maíz hidratado.

La comunidad de Chaguaya, al igual que muchas otras regiones, enfrenta desafíos relacionados con la producción de alimentos, como la escasez de agua y la degradación de los suelos. Evaluar la producción de tres variedades de maíz (*Zea mays* L.) para forraje verde hidropónico bajo condiciones de invernadero, podría contribuir a mitigar estos problemas y ofrecer a los agricultores una alternativa sostenible y rentable.

ANTECEDENTES

El estudio de la hidroponía tiene una larga trayectoria de la que se tiene conocimiento, pero la primera información escrita data de 1600, cuando el belga Jan van Helmont documentó su experiencia acerca de que las plantas obtienen sustancias nutritivas a partir del agua, en 1699 el inglés John Woodward cultivó plantas en agua conteniendo diversos sustratos y encontró que el crecimiento de las plantas era el resultado de ciertas sustancias en el agua obtenidas del suelo continuaron las investigaciones y es en 1804 cuando, De Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua suelo y aire (Hidroponia.org.mx, 2019).

En Bolivia el abastecimiento de alimentos durante la época de sequía es un gran inconveniente, por ello se emplean métodos de producción de forraje verde hidropónico (FVH), un forraje de alta calidad, además, no requiere una tecnología de producción compleja, solo se requieren de 10 a 15 días para producir hasta 4 kg de alimentos frescos sembrando 1 kg de semilla, sin gastar una gran cantidad de dinero, alimento que se puede producir en cualquier época del año, por el consumo mínimo de agua; la alimentación para animales domésticos, principalmente en periodos donde la producción de forrajes es insuficiente (Chambi & otros, 2022).

Las comunidades campesinas del municipio de Padcaya Provincia Arce, desarrollan sistemas productivos mixtos agrícola-ganaderos, bajo sistemas característicos de cada

ecosistema, es decir diversificada integral y multiespecie, cada familia cría diferentes tipos de animales de manera simultánea organizados en pequeños hatos. En algunos casos cada productor campesino tiene sus propios campos de pastoreo, en otros comparten campos de pastoreo de uso colectivo a nivel comunal, desarrollando también labores agrícolas con cultivos estacionales y frutales propios de la zona con características agroecológicas (Velásquez,2021).

Valverde & otros, (2018). En su trabajo realizado en Ecuador titulado: Producción de tres variedades de Forraje verde hidropónico con diferentes dosis de fertilizante nitrogenado, realiza la utilización de dos variedades de maíz (maíz amarillo variedad INIAP 542 y maíz blanco INIAP 528) y una variedad de sorgo forrajero, además realiza fertilización nitrogenada de 1, 2 y 3 g/L. En sus resultados determinaron que se presenta un mayor crecimiento del maíz blanco a 1 g de FN/L de agua y con una longitud de 36,40 cm. En peso, obtuvo mayor rendimiento el maíz amarillo a 1 g de FN/L de agua, con un peso de 6,60 kg por bandeja de 50 cm x 70 cm de FVH.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se tiene como problema central la escasez de forraje verde en invierno, problema que está afectando al rubro pecuario en nuestro departamento de Tarija, generalmente se da este problema por la presencia de heladas continuas que dificultan la producción de forraje verde, ya que generalmente se lo cultiva de manera tradicional (a campo abierto) y se ve afectada la producción, además los agricultores tienen poco conocimiento de alternativas de producción de forraje verde en temporada de invierno.

La suspensión temprana de lluvias, sumado a esto los aumentos de temperaturas extremas, afectan el crecimiento y desarrollo de las pasturas naturales, reduciendo de este modo la disponibilidad de forraje verde.

En el área pecuaria, el sobrepastoreo, falta de rotaciones y el inadecuado manejo del riego, deteriora las pasturas, empobrece los suelos y reduce su capacidad de producción de forraje.

Por otro lado también, los factores edáficos influyen en la disponibilidad de forraje verde, ya que, en suelos degradados, con baja fertilidad se limita el crecimiento de pasturas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los mayores problemas en el área pecuaria es la escasez de forraje verde fresco de buena calidad y de producción continua para la alimentación de los animales en la época de invierno o en épocas secas, que incide en el crecimiento y desarrollo de los mismos, limitando una producción eficiente.

Además, existe limitado conocimientos del productor ganadero en cuanto a alternativas de producción de forraje verde en temporada de invierno que es donde existen problemas de disminución de carne y leche por la falta de alimento de calidad.

Por este motivo, una alternativa para resolver la escasez de forraje en el valle central de Tarija, puede ser la producción de maíz utilizando el sistema hidropónico, que consiste en la germinación de semillas para generar un alimento verde con alto contenido de humedad y rico en vitaminas y minerales. En la actualidad los cultivos hidropónicos representan un gran avance técnico en medianas y pequeñas explotaciones y con ciertas ventajas sobre los cultivos extensivos, siempre y cuando se tomen todas las precauciones necesarias y se tenga un manejo adecuado de producción.

JUSTIFICACIÓN

El maíz en la alimentación animal puede aprovecharse como forraje verde o ensilaje, y de preferencia se lo realiza en la fase lechosa (cuando las hojas están todavía verdes y tiernas y el grano al presionarlo desprende un líquido lechoso), todas las variedades pueden cultivarse para forraje, pero las híbridas son las que dan mayor rendimiento y por lo tanto son las más utilizadas para la alimentación animal (Mera, 2018).

El forraje verde hidropónico (FVH) es una técnica de producción de alimento para el ganado que utiliza 30-50 veces menos agua para producir los mismos rendimientos que las de las principales especies forrajeras cultivadas en el suelo, pero en una superficie 100 veces menor y sin utilización de agroquímicos. El FVH posee el suficiente valor

nutricional como para considerarlo como un suplemento nutricional ideal para mantener al ganado vivo en temporadas de sequía severa, (Mera, 2018).

El presente trabajo de investigación se justifica por la importancia de poder dar una solución a la escasez de forraje en invierno, tal es la evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de tres variedades maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de invernadero. Este trabajo aportará información a los profesionales, estudiantes, productores y población interesada en resolver la escasez de forraje verde en invierno.

Con esta investigación también se ayudará a mejorar los sistemas de alimentación del ganado, mediante los cultivos hidropónicos de forraje e implementarlo en la explotación pecuaria en periodos de escasez de alimentos, supliendo las necesidades alimenticias de los animales.

Los beneficiarios de los resultados de este trabajo de investigación serán principalmente el rubro pecuario, ya que se está abordando como solucionar la escasez de forraje verde fresco de buena calidad en invierno, el cuál es crucial para mejorar la rentabilidad de las explotaciones ganaderas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la producción de tres variedades de maíz (*Zea mays* L.) para forraje verde hidropónico bajo condiciones de invernadero en la comunidad de Chaguaya.

Objetivos específicos

- Evaluar el rendimiento de biomasa forrajera en kg de materia verde como tal de las variedades de maíz (*Zea mays* L.).
- Determinar el tiempo óptimo de cosecha de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), de las variedades estudiadas.
- Identificar que variedad de maíz (*Zea mays* L.) presenta mayor altura de planta en la producción de forraje verde hidropónico.

HIPÓTESIS.

Hipótesis alternativa

- ✓ Existe diferencia en cuanto al rendimiento de materia verde en las variedades de maíz (*Zea mays* L.).

CAPÍTULO I
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Generalidades

El maíz, pertenece a la familia de las Poáceas o Gramíneas y es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen, es una planta domesticada y altamente productiva que no crece en forma salvaje por lo que es completamente dependiente de los cuidados del hombre, (Gob, 2018).

El maíz (*Zea mays* L.), es considerado el tercer cultivo más importante del mundo, después del trigo y del arroz, debido a que se adapta ampliamente a las diversas condiciones ecológicas y edáficas, se lo cultiva en casi todo el mundo y se constituye, en alimento básico para millones de personas, especialmente en América latina, (Ortigoza, et al. 2019).

1.2. Origen del maíz

El maíz se originó en una parte restringida de México y los tipos más desarrollados emigraron posteriormente hacia otros sitios de América. Hoy no hay dudas del origen americano del maíz, pero nunca fue mencionado en ningún tratado antiguo, ni en la Biblia, hasta el descubrimiento de América por Cristóbal Colón, quien lo vio por primera vez en la isla de Cuba en octubre de 1492, (Acosta, 2009).

1.3. Botánica

1.3.1 Tallo

El tallo es simple erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 metros de altura, es robusto y sin ramificaciones. Por su aspecto recuerda al de una caña, no presenta entrenudos y si una médula esponjosa si se realiza un corte transversal (Conahyt, 2023).

1.3.2. Inflorescencia

El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta (Conahyt, 2023).

En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula (vulgarmente denominadas espigón o penacho) de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla que compone la panícula se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio, la inflorescencia femenina marca un menor contenido en granos de polen, alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral (Conahyt, 2023).

1.3.3. Hojas

Las hojas, nacen de yemas que se encuentran en los nudos del tallo, su número total depende de la variedad y del número de nudos que conforman el tallo. Las Instituto Nacional de Innovación Agraria 36 hojas, se disponen de manera alterna a lo largo del tallo y cada hoja consiste en la lámina foliar de forma alargada y lanceolada, que posee una marcada nervadura central y venas delgadas paralelas; la vaina foliar, que rodea el entrenudo; y el cuello o lígula que une a la lámina y a la vaina (Barandiarán & DDTA, 2020).

1.3.4. Raíces

El sistema radicular presenta una parte de raíces adventicias seminales que constituye cerca del 52 % de la planta además de ser el principal sistema de fijación y absorción de la planta, mientras que el sistema nodular es el 48% de la masa total de raíces de la planta (Sánchez, 2014).

1.3.5. Mazorca

Se origina a partir de una yema axilar en el nudo, que desarrolla un pedúnculo o tallo modificado muy delgado con entrenudos cortos, de donde crecen las brácteas, que son hojas modificadas que protegen al grano en formación (Barandiarán & DDTA, 2020).

1.3.6. Estructura del Grano

Se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. Esta estructura puede contener de 300 a 1000 granos

según el número de hileras, el diámetro y longitud de la mazorca. El peso del grano puede variar, de aproximadamente 19 a 30 g por cada 100 granos. Durante la recolección, las panojas de maíz son arrancadas manual o mecánicamente de la planta. Se pelan las brácteas que envuelven la mazorca y luego se separan los granos a mano o, más a menudo, mecánicamente. El número de granos y de filas de la mazorca dependerá de la variedad y del vigor del maíz, (Ortigoza, et al. 2019).

1.4 Taxonomía del Maíz

| | |
|--------------------------|--------------------|
| Reino | Vegetal |
| Phylum | Telemophytae |
| División | Tracheophytae |
| Sub división | Anthophyta |
| Clase | Angiospermae |
| Sub clase | Monocotyledoneae |
| Orden | Poales |
| Familia | Poaceae |
| Sub Familia | Panicoideae |
| Tribu | Maydeae |
| Nombre científico | <i>Zea mays</i> L. |
| Nombre común | Maíz |

Fuente: (Herbario Regional de la U, 2023) **Responsable:** Ing. M.Sc. Ismael Acosta Galarza Ing. M.Sc. Edwin D. Florez Segovia.

1.5. ¿Qué es la hidroponía?

Hidroponía, es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en un medio libre de suelo. La hidroponía permite en estructuras simples o complejas producir plantas principalmente de tipo herbáceo aprovechando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados o no, etc. A partir de este concepto se desarrollaron técnicas que se apoyan en sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o

circulantes, sin perder de vistas las necesidades de la planta como la temperatura, humedad, agua y nutrientes, (Belgrano & Gimenez, 2015).

La palabra hidroponía deriva del griego HIDRO (agua) y PONOS (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. Sin embargo, en la actualidad se utiliza para referirse al cultivo sin suelo. La hidroponía es una herramienta que permite el cultivo de plantas sin suelo, es decir sin tierra. Un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídrico nutricionales, a través del agua y solución nutritiva (Belgrano & Gimenez, 2015).

1.6. ¿Qué es Forraje Verde Hidropónico?

El forraje verde hidropónico es un tipo de pasto que sirve para la alimentación de animales como cuyes, vacunos, ovinos y otros herbívoros. Su producción es el resultado de un proceso de germinación de granos sobre bandejas o mantas plásticas, que se da luego de proveer a las semillas de condiciones adecuadas como humedad, períodos de oscuridad y de luz tenue que hacen que las semillas inicien su desarrollo y crecimiento transformándose en pequeñas plantitas (Alvarez, 2011).

1.6.1. Ventajas del FVH

- **Sostenibilidad Ambiental:** Primero y principal, el FVH es una práctica excepcionalmente amigable con el medio ambiente. Al utilizar menos agua y no requerir suelo, se convierte en una opción ideal para la agricultura urbana, especialmente en zonas donde los recursos son limitados o en áreas con restricciones de espacio (HUG, 2024).
- **Menor costo de producción y eficiencia en el uso del espacio:** Aunque la inversión inicial puede ser más alta comparada con la agricultura tradicional, el FVH reduce significativamente los costos operativos a largo plazo. Esto incluye ahorros en agua, fertilizantes y pesticidas, además de una menor necesidad de maquinaria agrícola. Perfecto para huertos pequeños o urbanos, el FVH maximiza el uso del espacio disponible (HUG, 2024).

- **Calidad y Nutrición:** Una de las ventajas más significativas del forraje producido hidropónicamente es su alta calidad nutricional. Rico en vitaminas y minerales, el FVH proporciona una fuente de alimento densa en nutrientes para los animales, lo que se traduce en una mejor salud y mayor productividad (HUG, 2024).

| Variada Semilla | Fertilizante | MS (%) | Proteína Bruta (%) | FDN (%) | FB (%) |
|--|------------------|--------------|--------------------|---------|-------------|
| Maíz (<i>Zea mays</i>) | 12-30-10 | 24.30 | 15.31 | 53.18 | - |
| | Urea | 23.84 | 16.20 | 45.52 | - |
| | 15-15-15 | 27.89 | 17.83 | 42.53 | - |
| | Agua | 26.50 | 16.08 | 48.35 | - |
| Sorgo (<i>Sorghum bicolor L.</i>) | 12-30-10 | 20.59 | 22.13 | - | 17.59 |
| | Urea | 16.77 | 19.20 | - | 16.54 |
| | 15-15-15 | 12.61- 17.44 | 15.71- 20.94 | - | 17.20-18.02 |
| | Agua | 11.38- 19.34 | 17.55- 19.08 | - | 20.10-20.40 |
| | Biosólidos | 12.34 | 17.01 | - | 14.44 |
| | Foliar comercial | 14.60 | 15.70 | - | 18.22 |

Fuente: (Vivas & Mejía, 2022).

- **Eficiencia en el tiempo de producción.** La producción de FVH tiene un ciclo de 10 a 14 días. En algunos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza después de los 14 días, a pesar de que el óptimo definido por varios estudios ha mostrado que la cosecha no debería extenderse más allá del día 12, debido a que a partir de ese día el valor nutricional del FVH disminuye, (Juárez & otros, 2013).

- **Dosis recomendadas de FVH en función de la especie animal**

| Especie animal | Dosis de FVH (kg por cada 100 kg de peso) | Observaciones |
|------------------|---|--|
| Vaca lechera | 1.0 – 2.0 | Suplementar con paja de cebada y otras fibras. |
| Vacunos de carne | 0.5 – 2.0 | Suplementar con fibra normal. |
| Cerdos | 2.0 | Crece más rápido y se reproducen mejor. |
| Aves | 25 kg de FVH por cada 100 kilos de alimento seco. | Mejoran el factor de conversión. |
| Caballos | 1.0 | Agregar fibra y comida completa. |
| Ovejas | 1.0 – 2.0 | Agregar fibra. |
| Conejos | Conejos en engorde, de 180 a 300 g de FVH por día. Conejos madre en lactancia, hasta 500 g de FVH por día. | Suplementar con fibra y balanceados. |

Fuente: (FAO, 2001).

1.6.2. Desventajas del FVH

Las principales desventajas de producción de FVH son las siguientes:

- **Desinformación y falta de capacitación.** Es laborioso y requiere de cuidados especiales, se necesita capacitación para hacer el germinado. Se tiene que establecer rutina de trabajo (Carballo, 2005).
- **Costos de instalación.** Se tiene que hacer una pequeña inversión en los utensilios necesarios para hacer el germinado. En caso de grandes productores se tiene que construir invernaderos costosos (Carballo, 2005).
- **Bajo contenido de Fibra.** El contenido en fibra de este forraje es bajo, aunque el resto de su valor nutritivo sea muy alto (Angulo, 2022), esto se lo soluciona agregando alimento concentrado o rastrojos para complementar la dieta del ganado.

1.7. Construcción de invernadero

Para la construcción del invernadero se toma en cuenta propiciar un ambiente semi-cerrado tipo rectangular a fin de que el forraje obtenga excelente iluminación y una buena ventilación. Las dimensiones de un invernadero no tradicional pueden ser de 2.8

m de altura, por 3 m de ancho por 5 m de largo, abarcando en su interior 16 bandejas, según el diseño de los bancos para alojar el forraje hidropónico, (Vivas & Mejía, 2022).

1.7.1. Orientación del invernadero

La orientación del invernadero debe ser en lo posible de este a oeste (la luz emitida por el sol es captada de mejor forma). Sin embargo, la orientación podría cambiar y ser de norte a sur o de este a oeste, considerando la dirección de vientos dominantes que puedan poner en riesgo la infraestructura, es decir, tratando de oponer la menor superficie de resistencia frente a estos vientos (Durán & otros, 2016).

1.7.2. Dimensión del invernadero no convencional.

Las dimensiones del invernadero no convencional dependen de la cantidad de forraje que deseamos obtener para la alimentación de los animales. De acuerdo con Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA, sf) recomienda un ancho de 3 m como mínimo y 9 m máximo con una longitud que no sobrepase los 30 m. La altura del invernadero de 3 a 4 m en el centro y en la parte lateral de 2 a 2.6 m. Esto permita el desarrollo de las plantas, (Vivas & Mejía, 2022).

1.7.3. Limpieza y Nivelado del terreno

Es importante dejar el terreno previamente limpio, antes de proceder a nivelar el área para luego poder tener un riego homogéneo; para ello, se puede utilizar máquinas para la nivelación o bien utilizar azadones, picos y palas. La pendiente que debe tener un invernadero de producción hortícola es por lo general de 2 a 4% para facilitar el escurrimiento del agua de lluvia (Durán & otros, 2016).

1.7.4. Invernadero tipo capilla con doble caída:

El invernadero tipo capilla con doble caída tiene la caída del techo a los dos lados, es decir dos naves yuxtapuestas. Puede ser simétrico (cuando tiene las dos caídas del techo iguales) o asimétrico (cuando uno de los lados del techo es más grande que el otro). En el invernadero tipo capilla con doble caída existe una buena ventilación, que es mejor que en otros tipos de invernaderos, debido a la ventilación cenital que tienen en cumbre de los dos escalones que forma la yuxtaposición de las dos naves; estas

aberturas de ventilación, suelen permanecer abiertas constantemente y suele ponerse en ellas malla mosquitera. Además, también poseen ventilación vertical en las paredes frontales y laterales (Durán & otros, 2016).

1.8. Estructura de Soporte

Puede ser de metal (puedes utilizar perfil sujetador y alambre zig zag para fijar los plásticos o mallas), PVC y madera, aunque no es tan recomendable para sitios húmedos porque puede generar la presencia de hongos (Chavarria & otros, 2018).

1.9. Modulación

Generalmente, para sostener las charolas de forraje, se construyen anaqueles de 4 a 6 niveles, separados entre si por pasillos de 1 metro de ancho, para facilitar las labores de siembra, cosecha y aseo. La altura que debe de existir, entre cada nivel debe ser de cincuenta centímetros y el primer nivel distar del suelo aproximadamente unos 30cm, cada nivel debe tener una pendiente de 10° para drenar la solución sobrante de las bandejas (Chavarria & otros, 2018).

1.10. Factores que influyen en la producción de FVH

1.10.1. Calidad de la Semilla.

El éxito del FVH inicia con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Si bien todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación de 90% para evitar pérdidas en rendimiento (Juárez & otros, 2013).

1.10.2. Iluminación.

En ausencia de luz la fotosíntesis se ve afectada negativamente, por lo que la radiación solar es básica para el crecimiento vegetal, y en consecuencia, en el rendimiento final. En términos generales, un invernadero con cubierta plástica que proporcione 50 % de sombreo es suficiente para la producción de FVH (Juárez & otros, 2013).

1.10.3. Temperatura.

La temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH, por lo que se debe efectuar un adecuado control de la temperatura. La producción óptima del FVH de maíz se sitúa entre los 21 y 28 centígrados (Juárez & otros, 2013).

1.10.4. Humedad.

La regulación de la humedad relativa del espacio, la cual en lo posible no puede ser inferior, en promedio, a 85%, pero al mismo tiempo, valores sobre el 85% y sitios sin aireación pueden dar paso a infección por hongos, por consiguiente, es necesario un recinto con buena ventilación, pero no excesiva, para asegurar intercambio gaseoso (Castro et al, 2023).

1.10.5. Calidad del agua de riego

Al respecto, la FAO (2001), citado por (Vivas & Mejía, 2022), menciona que la calidad de riego es crucial para el desarrollo del FVH, las condiciones básicas que debe presentar el agua usada para el sistema hidropónico son de carácter de potabilidad, cuyo origen puede ser de pozo, lluvia o agua corriente de cañería. Por lo que si el agua no es potable se tendría problemas sanitarios y nutricionales con el FVH. Es por ello que se recomienda un análisis químico de agua y reformular las porciones nutritivas que se empleé.

1.10.6. pH

Según (Vivas & Mejía, 2022), al respecto del pH del agua, menciona que este debe oscilar entre 5.2 y 7 salvo excepciones para las leguminosas, las cuales pueden desarrollarse hasta un pH 7.5. Para el resto de semilla de cereales usadas en FVH, no se comportan eficientemente por encima del valor de 7.

1.10.7. Conductividad eléctrica del agua y de la solución nutritiva.

La conductividad eléctrica (CE) del agua indica cual es la concentración de sales en una solución. Su valor se expresa en deciSiemens por metro ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y se mide con un conductímetro previamente calibrado. Un rango óptimo de conductividad eléctrica

(CE) de una solución nutritiva estaría en torno a 1.5 a 2.0 dS·m⁻¹. Por lo tanto, aguas con CE menores a 1.0 dS·m⁻¹ serían aptas para preparar la solución nutritiva (Juárez & otros, 2013).

1.11. Métodos de producción del Forraje Hidropónico

1.11.1. Selección de las especies de granos utilizados en FVH.

La elección del grano a utilizar para la producción de FVH depende, principalmente, de la disponibilidad de la semilla en la zona y también del precio de mercado, el cual varía según la especie y temporada. Las especies vegetales más empleadas son gramíneas, principalmente los cereales, entre las cuales se destacan el maíz (*Zea mays*), la avena (*Avena sativa*), la cebada (*Hordeum Vulgare L.*), el sorgo (*Sorghum bicolor L.*), el trigo (*Triticum aestivum L.*), y los pastos como el raigrás (*Lolium multiflorum Lam.*) (Castro et al, 2023).

1.11.2. Selección de la Semilla.

En términos ideales, se debería usar semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. Sin embargo, por una razón de eficiencia y costos, el productor puede igualmente producir FVH con simiente de menor calidad, pero manteniendo un porcentaje de germinación adecuado. Si los costos son adecuados, se deben utilizar las semillas de los cultivos de grano que se producen a nivel local. Es muy conveniente también que las semillas elegidas para nuestra producción de forraje, se encuentren libres de piedras, paja, tierra, semillas partidas las que son luego fuente de contaminación, semillas de otras plantas y fundamentalmente saber que no hayan sido tratadas con curasemillas, agentes pre emergentes o algún otro pesticida tóxico (FAO, 2001).

1.11.3. Lavado de la semilla

Las semillas deben lavarse y desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio al 1% (“solución de lejía”, preparada diluyendo 10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua). El lavado tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes,

liberarlas de residuos y dejarlas bien limpias (FAO, 2001). El desinfectado con el hipoclorito elimina prácticamente los ataques de microorganismos patógenos al cultivo de FVH. El tiempo que dejamos las semillas en la solución de hipoclorito o “lejía”, no debe ser menor a 30 segundos ni exceder de los tres minutos. El dejar las semillas mucho más tiempo puede perjudicar la viabilidad de las mismas causando importantes pérdidas de tiempo y dinero. Finalizado el lavado procedemos a un enjuague riguroso de las semillas con agua limpia (FAO, 2001).

1.11.4. Remojo y germinación de las semillas

Esta fase es muy sencilla. Consiste en sumergir las semillas en un recipiente de plástico y agua limpia durante 12 horas. Una vez pasadas las 12 horas, tendrás que sacar las semillas del recipiente para que se escurran y oxigenen, y cambiar el agua (de nuevo, utilizando agua limpia). Tras otras 12 horas ya puedes sacar las semillas, que deberían haber germinado. Si hay algunas en las que no se ha dado la germinación, puedes retirarlas de la muestra (Angulo, 2022).

1.11.5. Dosis de Siembra

Las dosis óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2,2 kilos a 3,4 kilos considerando que la disposición de las semillas o "siembra" no debe superar los 1,5 cm de altura en la bandeja (FAO, 2001).

1.11.6. Siembra en las Bandejas

Según Hernández (2024), menciona una vez pasado el tiempo de pre-germinación de las semillas, la producción del forraje se llevará a cabo sobre las charolas para FVH. Para prevenir hongos y enfermedades el forraje, se recomienda desinfectar previamente las charolas para FVH. Por lo que se tendrá que sumergir al menos 15 minutos cada charola en un contenedor con una mezcla de 1 ml de cloro por cada litro de agua, para después enjuagarlas con agua natural y así no mantener ningún rastro de cloro. Se debe colocar las semillas en el interior de cada charola para forraje y distribuirla de manera uniforme.

1.11.7. Sistema de riego y drenaje

El riego puede realizarse en forma automática o en forma manual. Cuando el riego es automático se requiere una bomba, un tanque de almacenamiento, tubos y mangueras de distribución, ya sea para regar por microaspersores o con atomizadores por aspersión. Cuando no hay recursos se hará con una manguera o con un balde con hoyos en el fondo. Cuando se van a regar varias cajas puede servir una bomba de mochila (Carballo, 2005).

1.11.8. Cosecha y rendimientos

En términos generales, entre los días 12 a 14, se realiza la cosecha del FVH. Sin embargo, si estamos necesitados de forraje, podemos efectuar una cosecha anticipada a los 8 o 9 días. Trabajos de validación de tecnología sobre FVH realizados en Rincón de la Bolsa, Uruguay en 1996 y 1997, han obtenido cosechas de FVH con una altura promedio de 30 cm y una productividad de 12 a 18 kilos de FVH producidos por cada kilo de semilla utilizada a los 15 días de instalado el cultivo y en una situación climática favorable para el desarrollo del mismo. La mayor riqueza nutricional de un FVH se alcanza entre los días 7° y 8° por lo que un mayor volumen y peso de cosecha debe ser compatibilizado con la calidad dado que el factor tiempo pasaría a convertirse en un elemento negativo para la eficiencia de la producción (FAO, 2001).

1.11.9. Elementos básicos del Sistema de riego:

➤ El Tanque

Allí es donde se prepara la solución nutritiva para el riego del cultivo; el tamaño del tanque varía de acuerdo al tamaño del invernadero y las necesidades de riego, el parámetro que sirve para determinar el tamaño del tanque es que, para producir un kilogramo de forraje, se necesitan 2 litros de agua. El tanque debe ser inerte con la solución nutritiva, de fácil mantenimiento, para proteger la solución de la acción de la luz y de elementos extraños a la solución (López, 2005).

➤ **Motobomba**

El equipo de riego consta de una motobomba apta para el uso propuesto. En el mercado hay numerosas marcas y tipos, que deben seleccionarse de acuerdo a los siguientes factores: capacidad necesaria (litros / hora); potencia requerida en caballos de fuerza (H.P.); material de construcción; conexión eléctrica disponible entre otros (López, 2005).

➤ **Tubería y Mangueras**

Para la distribución de la solución nutritiva se utilizan tuberías de PVC o mangueras de polietileno; éstas últimas son las más usadas. El diámetro de la manguera deberá calcularse de acuerdo con el caudal y la longitud del tramo a regar (López, 2005).

➤ **Aspersores y Filtros**

Según López (2005), los aspersores son pequeños dispositivos mediante los cuales se realiza la aspersion del agua o en algunos casos la nebulización. Constan de una o varias piezas plásticas con un orificio de salida de poco diámetro; cuando el agua sale, generalmente choca contra una placa deflectora, la cual hace que el agua se disperse en innumerables gotitas. Van conectados a la tubería de riego y cada aspersor riega 4 bandejas; este concepto puede variar de acuerdo con el tamaño de las bandejas; también hay aspersores de diferentes referencias, que mojan diferentes diámetros de cultivo. Los filtros son para evitar que se obstruyan los aspersores se debe tener un adecuado sistema de filtros, que pueden ser de arena o de malta.

1.12. Variedades de Maíz

1.12.1. Pisankalla criollo

Cuadro N°1 Características del maíz variedad Pisankalla criollo.

| CARACTERISTICAS DE LA PLANTA | |
|-------------------------------------|----|
| Días Floración Masculina. | 76 |
| Días Floración Femenina. | 80 |
| Índice de macollamiento. | 0 |

| | |
|--|---------------------|
| Color de tallo. | Café |
| Pubescencia foliar. | Denso |
| Longitud de la hoja. (cm) | 71 |
| Ancho de la hoja. (cm) | 7 |
| Orientación de la hoja. | Colgantes |
| No. total de hojas por planta. | 12 |
| Altura Planta. (cm). | 170 |
| Altura Mazorca. (cm). | 110 |
| Nro. de hojas arriba de la mazorca más alta. | 6 |
| Tipo de espiga. | Primaria-secundaria |

CARACTERÍSTICAS DE LA MAZORCA

| | |
|-------------------------------|------------|
| Tamaño de mazorca (cm) | 16 |
| Nro. de hileras | 10 |
| Diámetro (cm) | 5,43 |
| Nro. de granos por hilera | 30 |
| Peso de grano con mazorca (g) | 230 |
| Peso de grano sin mazorca (g) | 198 |
| Peso de mazorca (g) | 32 |
| Forma de la mazorca | Cilíndrica |
| Disposición de las Hileras | Regular |

CARACTERÍSTICAS DEL GRANO

| | |
|----------------------------------|----------------|
| Longitud (cm) | 1 |
| Ancho (cm) | 1,3 |
| Grosor (cm) | 0,5 |
| Tipo de grano | Semicristalino |
| Forma de la superficie del grano | Plano |
| Color de grano | Blanco cremoso |

Fuente: (Molina, 2020).

1.12.2. Romanito

Cuadro N°2 Características del maíz variedad Romanito

| CARACTERÍSTICAS DE LAPLANTAS | |
|--|---------------------|
| Días Floración Masculina. | 76 |
| Días Floración Femenina. | 80 |
| Índice de macollamiento. | 0 |
| Color de tallo. | Morado |
| Pubescencia foliar. | Densa |
| Longitud de la hoja. (cm) | 60 |
| Ancho de la hoja. (cm) | 6 |
| Orientación de la hoja. | Colgantes |
| No. total de hojas por planta. | 13 |
| Altura Planta. (cm). | 180 |
| Altura Mazorca. (cm). | 80 |
| Nro. de hojas arriba de la mazorca más alta. | 7 |
| Tipo de espiga. | Primaria-secundaria |
| CARACTERÍSTICAS DE LA MAZORCA | |
| Tamaño de mazorca (cm) | 9,92 |
| Nro. de hileras | 8 |
| Diámetro (cm) | 3,85 |
| Nro. de granos por hilera | 24 |
| Peso de grano con mazorca (g) | 85,6 |
| Peso de grano sin mazorca (g) | 80,3 |
| Peso de mazorca (g) | 5 |
| Forma de la mazorca | Cilíndrica - cónica |
| Disposición de las Hileras | Regular |
| CARACTERÍSTICAS DEL GRANO | |

| | |
|----------------------------------|----------------|
| Longitud (cm) | 1,38 |
| Ancho (cm) | 1,2 |
| Grosor (cm) | 0,4 |
| Tipo de grano | Dentado |
| Forma de la superficie del grano | Redondo |
| Color de grano | Amarillo claro |

Fuente: (Molina, 2020).

1.12.3. IBTA Algarrobal 102

Cuadro N°3 Características del maíz variedad IBTA Algarrobal 102

| CARACTERÍSTICAS | |
|-----------------------------|------------------------------|
| Altura de la planta | 250 cm |
| Altura de la mazorca | 160 cm |
| Días de madurez fisiológica | 150 días |
| Color y Tipo de grano | Amarillo anaranjado, Dentado |
| Número de hileras de granos | 12 - 14 |

Fuente: INIAF-Tarija, (2024)

1.13. La Germinación

La germinación, es el conjunto de cambios que experimenta la semilla. Durante este periodo el embrión rompe la cutícula de la semilla y emerge la radícula. Las semillas poseen sustancias que inhiben la germinación y que en el remojo quedan disueltas en el agua pudiendo ser extraídas: entonces conviene cambiar el agua repetidas veces. El tiempo de germinación varía entre 24 y 48 horas, es cuando el grano alcanzado estructuras radicales notorias formando tres de cuatro raicillas. Se puede considerar que el proceso de la germinación ha terminado cuando los cotiledones han salido del tegumento de la semilla (Machaca, 2018).

1.14. Absorción de Agua

Durante la fase de absorción de agua se inicia la actividad de la semilla, es decir, se reanuda el metabolismo, para lo cual se necesitan condiciones adecuadas de humedad, temperatura y oxígeno. Una vez reunidos estos factores la semilla va aumentando de volumen por la absorción del agua, el embrión se hincha, se reblandecen las cubiertas y las reservas alimenticias principian una serie de reacciones químicas y biológicas que hacen que el embrión se desarrolle (Machaca, 2018).

1.15. Movilización de nutrientes

Una vez remojadas, se produce un incremento del volumen en las semillas (se hinchan); el embrión entra en actividad, las sustancias de reserva alimenticia (el almidón), por procesos bioquímicos, se convertirá progresivamente en las siguientes horas en azúcares, los que servirán de fuente energética al proceso de germinación. Esta es una etapa importante en la que hay que tener cuidado de algunos factores: las semillas deben estar en oscuridad para que por procesos fisiológicos se produzca el desarrollo de las raíces; y no se debe regar en exceso, ya que durante la germinación se produce un activo intercambio gaseoso en el que el oxígeno juega un papel importante, por lo que los riegos deben limitarse a humedecer las semillas (Alvarez, 2011).

1.16. Fisiología del germinado para forraje

Al respecto, Hidalgo (1985), citado por (Machaca, 2018), en el proceso de germinación de una semilla se produce una serie de transformaciones cualitativas y cuantitativas muy importantes. El germen del embrión de la futura planta, a partir de un almacén de energía en forma de carbohidratos y lípidos, es capaz de transformarse en pocos días en una plántula con capacidad para captar energía del sol y absorber elementos minerales de la solución nutritiva. En este estado de la planta tanto en su parte aérea como en la zona radicular, se encuentra en un crecimiento acelerado poseyendo poco contenido de fibra y un alto contenido en proteína, parte de la cual se encuentra en estado de nueva formación, por lo que gran parte de los aminoácidos están en forma libre y son aprovechables fácilmente por los animales que los consumen.

CAPÍTULO II
MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La zona del proyecto se desarrolló en la comunidad de Chaguaya, del distrito 3 subcentral de Chaguaya, del Municipio de Padcaya de la Provincia Arce, del departamento de Tarija- Bolivia, ubicada al suroeste de la ciudad de Tarija a 67,5 km. y a 15 km. de Padcaya.

2.2. Ubicación

La comunidad de Chaguaya, se ubica en las coordenadas 21°52'21"S 64°48'38"O.

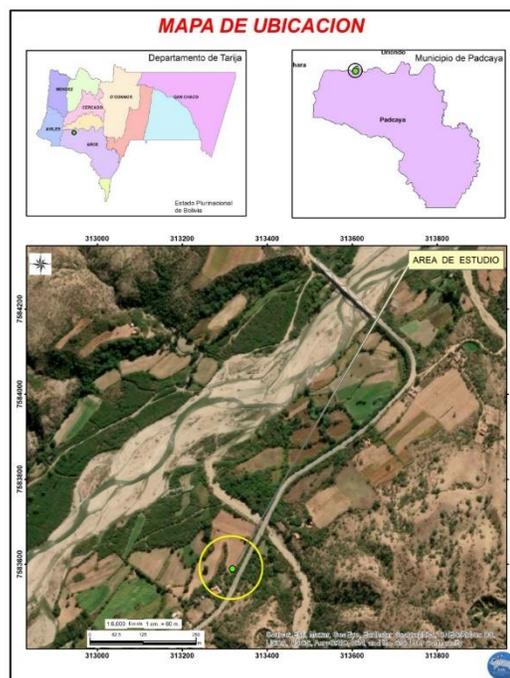
Limita al sur con las comunidades de la Abra de San Miguel y Cañas, al norte con las comunidades de San José de Chaguaya y la comunidad del Mollar, al este con la comunidad de Cabildo y al oeste con la comunidad de Tacuara.

2.3. Descripción económica de la zona

La actividad económica de la zona se basa en actividades de turismo y agropecuaria la producción se da en terrenos de pequeña escala menores a 10 hectáreas se cultivan especies rotativamente de acuerdo a la estación cómo ser: papá (*Solanum tuberosum* L.), maíz (*Zea mays* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) y forrajes como alfalfa (*Medicago sativa* L),avena (*Avena* sp.) especialmente para la cría del ganado vacuno lechero, también en la zona se puede observar en plantaciones nuevas de vid (*Vitis vinífera* L.), el lugar cuenta con canales de riego cubriendo aproximadamente el 60% de la zona (Molina, 2020).

2.3.1. Clima de la región

Con datos de la estación meteorológica Cañas dependiente del servicio nacional de meteorología e hidrología SENAMHI Se elaboró un resumen climatológico de los



Fuente: SIG, 2024

últimos 20 años según la clasificación climática de Koppen el área se describe como climas de latitudes medias templado con invierno secos (Molina, 2020).

Cuadro N°4 Resumen climatológico de los últimos 20 años, estación meteorológica Cañas

| | | | |
|--|---------|--|-----------------|
| Temperatura media anual | 17,1° C | Precipitación anual media | 746 mm |
| Temperatura mínima media anual | 9,3°C | Precipitación invernal (abril-septiembre) | 53,8 mm (7,21%) |
| Temperatura máxima media anual | 24,8°C | Diferencia entre el mes con mayor precipitación y el mes con menor precipitación 160,6mm (enero)- 0,5mm (junio) | 160.1 mm |
| Diferencia entre el mes cálido y mes más frío 25,8° C (diciembre) – 29° C (junio) | 22,9°C | Dirección del viento (en todo el año con mayor intensidad es julio y agosto) | Este |

Fuente: SENAMHI 2017, citado por (Molina, 2020).

2.3.2. Descripción del suelo

Geológicamente el área presenta un piso ecológico Valle que presenta un suelo de edad cuaternaria litología de pósitos aluvial-fluvio la costra sueldos asociación calcisol lixisol vegetación áreas agrícolas y pasturas sembradas y de sucesión secundaria hidrográficamente sus ríos pertenecen a la cuenca del Río Camacho (Molina, 2020).

2.3.3. Vegetación

2.3.3.1. Vegetación Natural

Se caracteriza por estar ubicada entre dos provincias fisiográficas: la cordillera oriental que está cubierta por 5 tipos de vegetación: pastizales, arbustales alto andinos, pajonales-arbustales, y matorrales-pastizales, bosques montanos nublados, matorrales

xerofíticos de los valles interandinos y matorrales y bosques del Chaco serrano y el subandino, caracterizado por vegetación comprendida entre bosques, matorrales y pastizales que cubren una secuencia de serranías y colinas subparalelas y alargadas en dirección norte-sur (Molina, 2020).

Cuadro N°5 Vegetación natural de la comunidad de Chaguaya

| Clasificación | Nombre | | Familia |
|-------------------------|---------------|---|---------------|
| | Común | Nombre Científico | |
| Herbáceas | Cadillo | <i>Cenchrus</i> sp. | Poaceae |
| | Celosa | <i>Mimosa</i> sp. | Leguminosae |
| | Moco -moco | <i>Gomphrena</i> sp. | Amaranthaceae |
| Pastizales | Cola de zorro | <i>Setaria</i> sp. | Poaceae |
| | Gramma | <i>Cynodon</i> sp. | Poaceae |
| Arbustales o matorrales | Chilca | <i>Baccharis</i> sp. | Compositae |
| | Churqui | <i>Acacia caven</i> (Molina) Molina | Leguminosae |
| | Hediondilla | <i>Cestrum parqui</i> L'Heritier. | Solanaceae |
| | Romerillo | <i>Baccharis</i> sp. | Compositae |
| | Thola | <i>Baccharis</i> sp. | Compositae |
| Árboles o bosques | Ceibo | <i>Erythrina falcata</i> Benth. | Leguminosae |
| | Molle | <i>Schinus molle</i> L. | Anacardiaceae |
| | Jarca | <i>Acacia visco</i> Griseb. | Leguminosae |
| | Tipa Blanca | <i>Tipuana tipu</i> (Benth.) Kuntze. | Leguminosae |

Fuente: (Herbario Regional de la U, 2024) **Responsable:** Ing. M.Sc. Ismael Acosta Galarza Ing. M.Sc. Edwin D. Florez Segovia.

2.3.3.2. Vegetación cultivada

Cuadro N°6 Vegetación cultivada en la comunidad de Chaguaya

| Clasificación | Nombre | Nombre Científico | Familia |
|-------------------|-----------|-------------------------------------|-------------|
| | Común | | |
| Frutales | Duraznero | <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch | Rosaceae |
| | Vid | <i>Vitis vinífera</i> L. | Vitaceae |
| | Higuera | <i>Ficus carica</i> L. | Moraceae |
| Cultivos anuales | Cebolla | <i>Allium cepa</i> L. | Liliaceae |
| | Maíz | <i>Zea mays</i> L. | Poaceae |
| | Papa | <i>Solanum tuberosum</i> L. | Solanaceae |
| | Tomate | <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill | Solanaceae |
| Cultivos perennes | Alfalfa | <i>Medicago sativa</i> L | Leguminosae |

Fuente: (Herbario Regional de la U, 2024) **Responsable:** Ing. M.Sc. Ismael Acosta Galarza Ing. M.Sc. Edwin D. Florez Segovia.

2.4. Materiales

2.4.1. Material Vegetal

- Semilla de maíz (*Zea mays* L.) variedades: Romanito, Pisankalla e IBTA Algarrobal 102.

2.4.2. Material de Campo

- Pala.
- Azadón.
- Rastrillo.
- Barreta.

2.4.3. Para Invernadero

- Agrofílm para invernadero.

- Madera dura.
- Madera blanda.
- Clavos.
- Tenaza.
- Clavos.
- Sierra.
- Serrucho.
- Alambre.
- Escalera de madera.

2.4.4. Insumos

- Hipoclorito de sodio.
- Bandejas para FVH.
- Ángulos de hierro.
- Soldadora.
- Nebulizadores.
- Tubería de riego 16mm.
- Baldes.
- Tacho Plástico.
- Papel toalla.
- Bomba eléctrica.
- Alargador para corriente eléctrica.

2.4.5. Material de gabinete

- Computadora.
- Calculadora.
- Hojas bond.
- Libreta.
- Lapiceros.
- Impresora.

2.5. Metodología

2.5.1. Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarca dentro del enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para responder a variables específicas relacionadas con el desarrollo del cultivo. El estudio es de tipo experimental, puesto que se manipularon deliberadamente una o más variables independientes con el fin de observar sus efectos sobre variables dependientes previamente definidas.

2.5.2. Diseño experimental

Para este trabajo de investigación, se utilizó el diseño experimental de “bloques al azar” con tres tratamientos y tres repeticiones, haciendo un total de 9 unidades experimentales, cada unidad experimental está conformada por 4 bandejas y 1 nebulizador, el factor de estudio son las variedades de maíz *Zea mays* L. (Romanito, Pisankalla e IBTA Algarrobal 102).

2.5.3. Descripción de los tratamientos

T1 = maíz Romanito.

T2 = maíz Pisankalla.

T3 = maíz IBTA Algarrobal 102.

2.5.4. Modelo lineal del diseño

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Son las observaciones obtenidas la j-ésima vez que se repite el experimento, con el tratamiento i-ésimo.

μ = Media general.

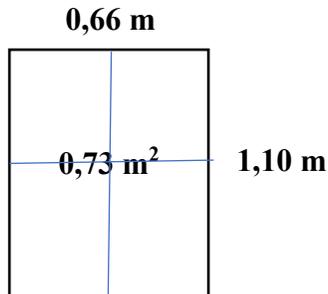
t_i = Efecto del tratamiento i.

β_j = Efecto del Bloqueo j.

ε_{ij} = Efecto del error experimental que se presenta al efectuar la j-ésima observación del i-ésimo tratamiento.

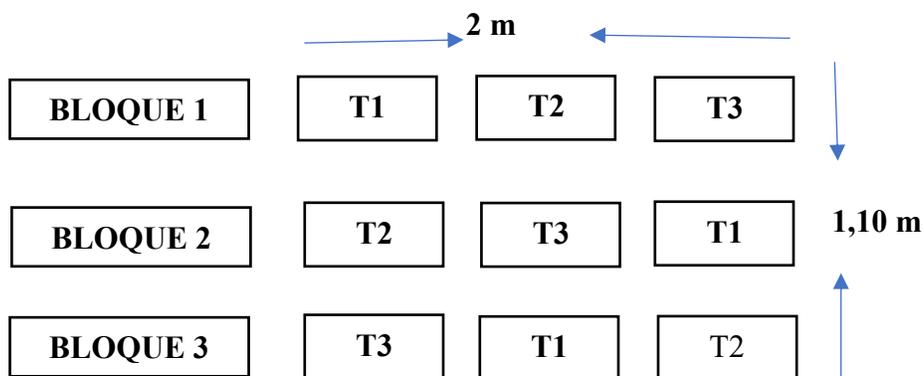
2.5.5. Tamaño de la Unidad Experimental

Cada unidad experimental tiene las siguientes dimensiones:



Una unidad experimental, está compuesta por cuatro bandejas, las cuales son de 30 cm de ancho por 50 cm de largo y 3 cm de alto.

2.5.6. Diseño de campo



2.6. Descripción del Experimento

2.6.1. Limpieza de la superficie para invernadero

Primeramente, se limpió toda la superficie la cuál fue destinada para la implementación del invernadero (5,6 metros de ancho por 9 metros de largo), se tomó en cuenta la orientación de esta superficie (orientarlo de Norte a Sur, ya que así se permitirá tener una radiación más uniforme dentro del invernadero).

2.6.2. Nivelación de la superficie para la construcción del invernadero

Se realizó una nivelación de la superficie, esto debido a que se contó con un terreno con pendiente.

2.6.3. Construcción del Invernadero

Una vez realizado la limpieza y nivelado, se procedió a la construcción del invernadero. Para esto, se utilizaron postes de urundel de grosor 3"x3" y madera blanda 3"x2" para la palizada del techo, entretapas y puerta.

Primeramente, se sacó escuadra, teniendo como largo del invernadero de 9 metros y 5,6 metros de ancho, se estaqueó a los laterales cada 3 metros para ubicar los postes, en el medio de la parte frontal del invernadero (2.8m) se ubica de igual manera hacia lo largo (9m) las estacas separadas cada 3 metros.

La profundidad que se enterraron los postes fue de 0.5m en tierra dura, quedando así los laterales de 2 metros de altura y la zona céntrica del invernadero 3 metros de altura para formar la capilla (modelo del invernadero).

Se realizó el armado del techo con la madera blanda, luego se procedió a colocar el agrofilm (200 micrones) y se aseguró con entretapas de 1 cm de grosor, con clavos de 1 ".

2.6.4. Construcción del estante para producción de FVH

Se realizó un estante de tres niveles (inferior, medio y superior), soldando ángulos de hierro, este estante tiene dos metros de alto, 2 metros de largo y 1,10 metros de ancho, separado un nivel de otro a 0,45 metros.

Una vez terminado se procedió a pintar con un barniz antióxido.

2.6.5. Instalación del sistema de riego al estante para FVH

Primeramente, a un costado del estante se ubicó un tacho plástico (como depósito de agua), al lado del mismo se ubicó una bomba eléctrica de ½ hp y se conectar una tubería de ¾ " de succionamiento al tacho, otra de expulsión del agua en forma vertical, la misma que nos sirvió como matriz de distribución del riego.

Se utilizó T y codos de ¾ " en la matriz de riego para distribuir el agua en los tres niveles. Se colocó un adaptador de ¾ " a 16 mm, para luego colocar una llave de paso en cada nivel y extender la manguera de riego de 16mm en cada nivel, se aseguró la

misma con precintos. Se realizó la colocación de los nebulizadores a los diferentes niveles.

2.6.6. Instalación del sistema eléctrico

Mediante un alargador, se hizo llegar la electricidad al pie del tacho para poder conectar nuestra bomba.

2.6.7. Producción del forraje hidropónico

- **Selección de la semilla**

Se utilizó semillas de maíz criollo sin certificar (Romanito, Pisankalla e IBTA Algarrobal 102), cuyo origen era conocido, adaptada a las condiciones locales, libre de impurezas y productos tóxicos.

- **Lavado de la semilla**

Las semillas se lavaron y desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1% (“solución de lejía”, preparada diluyendo 10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua). El lavado tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberarlas de residuos y dejarlas bien limpias. El tiempo que se dejaron las semillas en la solución de hipoclorito fue de 2 a 3 minutos. Una vez finalizado el lavado se procedió a enjuagarles de manera precisa las semillas.

- **Hidratación o Pre-germinación germinación de las semillas**

Esta etapa consistió en colocar las semillas en una fuente plástica, sumergiéndolas completamente en agua por un periodo de 12 horas, luego de este tiempo se procedió a sacarlas y escurrirlas durante una hora, seguidamente se dejó sumergidas nuevamente en agua por 12 horas.

- **Dosis de siembra**

De acuerdo a la FAO (2001), se recomienda una dosis de 2,2 kg a 3,4 kg por metros cuadrado, por lo que se optó por utilizar una media de 2,8 kg por m², se calculó la dosis por bandeja del siguiente modo:

1 bandeja (50x30cm)

Si 1m² → 2.8 kg.

0.15 m² → X= **0.420 kg o 420 gr.**

Entonces, para cada bandeja se utilizó una dosis de siembra de 420 gramos.

- **Siembra en las Bandejas e Inicio de los Riegos**

Realizados los pasos previos, se procedió a la siembra definitiva de las semillas en las bandejas de producción. Para ello se distribuyó una delgada capa de semillas pregerminadas, la cual no deberá sobrepasar los 1,5 cm de altura o espesor. Luego de la siembra se colocó por encima de las semillas una capa de papel toalla (servilletas), la cual también se moja. Posteriormente tapamos todo con un plástico negro recordando que las semillas deben estar en semi oscuridad en el lapso de tiempo que transcurre desde la siembra hasta su germinación o brotación. Mediante esta técnica le estamos proporcionando a las semillas condiciones de alta humedad y una óptima temperatura para favorecer la completa germinación y crecimiento inicial. Una vez detectada la brotación completa de las semillas retiramos el plástico negro y el papel.

- **Riego de las bandejas**

Durante los primeros días del cultivo, el riego se realizó con el objetivo de mantener constantemente húmedo el papel toalla, que servía como base para la germinación. Para ello, se aplicaron riegos tres veces al día (a las 9:00 a.m., 1:00 p.m. y 5:00 p.m.), con una duración de 0.5 minutos cada uno. En días con temperaturas elevadas, la frecuencia de riego se incrementó ocasionalmente a 4 o 5 veces por día, con el fin de evitar el secado de las semillas.

Una vez completado el proceso de germinación y retirado el papel toalla (6 días después de la siembra en la producción de invierno y 4.5 días en la producción de verano), se

aumentó la frecuencia de riego a 4 a 6 veces por día, extendiendo la duración de cada riego a 1 minuto.

- **Problemas de enfermedades fungosas**

En la producción que se realizó en invierno como en verano entre los días 9 y 11 días post germinación, se empezó a evidenciar en algunas bandejas la presencia del signo de un hongo, luego de un análisis de laboratorio se confirmó que se trata de *Penicillium* sp. Con una mayor presencia del hongo en la variedad Pisankalla y en menor presencia en algunas bandejas de la variedad Romanito e IBTA Algarrobal 102.

2.7. Toma de datos

La toma de datos se realizó mediante planillas (una para cada variable respuesta), para esto se realizó un muestreo de manera aleatoria, descartando 4 cm de los extremos de la bandeja para evitar el efecto orilla, se tomó tres puntos de muestreo para cada bandeja, como se muestra en la imagen.

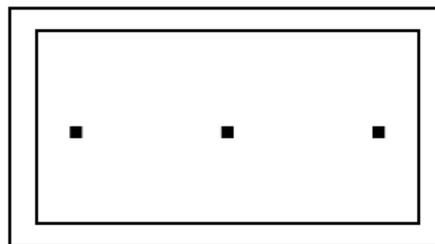


Imagen de una bandeja, con puntos del muestreo, fuente: Elaboración propia

2.8. Variables respuesta

2.8.1 Porcentaje de germinación

Se realizó esta prueba para determinar el porcentaje de germinación que tenía cada variedad de semilla utilizada.

En una bandeja se colocaron en 300 semillas remojadas; 100 semillas de cada variedad (Romanito, Pisankalla e IBTA Algarrobal 102), se lo cubrió con papel toalla y se aplicó riego para mantener una humedad constante. Una vez ya germinadas, se contó el número de plántulas normales (plántulas con raíz y tallo) y se determinó el % de germinación de la siguiente manera:

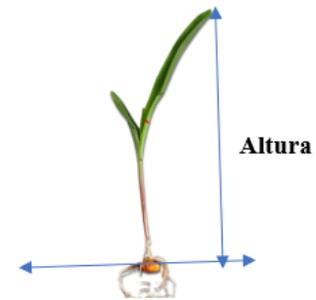
$$\text{Porcentaje de germinación \%} = \frac{\text{Cantidad de semillas germinadas}}{\text{Cantidad total de semillas}} \times 100$$

2.8.2. Tiempo de Germinación

Se determinó el tiempo de cada variedad de maíz utilizado en días. Se contabilizaron los días desde que se colocaron las semillas a las bandejas previamente hidratadas, hasta que se observó un color blanco amarillento, pasando a verde en el ápice de las plántulas (cómo un signo de que las plántulas requieren luz).

2.8.3. Altura de planta a los 8 días.

Se midió la altura de planta pasado los 8 días luego de que se destaparon las plántulas o germinación, se midió desde la base del tallo hasta la parte máxima que alcanza la última hoja.



Fuente: Elaboración propia

2.8.4. Peso en verde de FVH a los 8 días.

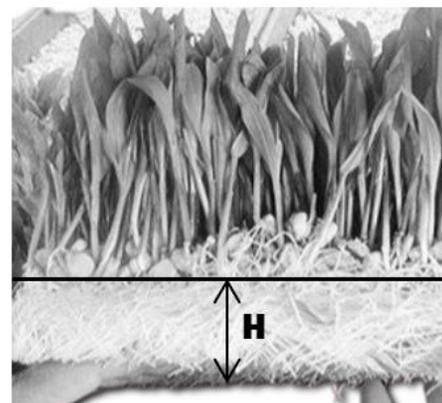
Una vez transcurridos los 8 días luego de que se destaparon las plántulas, se procedió a pesar las bandejas.

2.8.5. Peso en seco de FVH a los 8 días.

Pasado los 8 días luego de que se destaparon las plántulas o germinación, se separó una bandeja de cada unidad experimental, para someterles a un secado al sol por un lapso de 15 días, y se registró este dato como peso en seco.

2.8.6. Altura del tapete de raíz a los 8 días

Se realizó la medida una vez transcurridos los 8 días luego de que se destaparon las plántulas o pots germinación, se midió desde a base de la bandeja, hasta el extremo superior de toda masa radicular que formaron las plántulas.



Fuente: Elaboración propia

2.8.7. Altura de la planta a los 12 días.

Se midió la altura de planta pasado los 12 días, luego de que se destaparon las plántulas o germinación, se midió desde la base del tallo hasta la parte máxima que alcanza la última hoja.

2.8.8. Peso en verde de FVH a los 12 días.

Una vez transcurridos los 12 días luego de que se destaparon las plántulas o post germinación, se procedió a pesar las bandejas.

2.8.9. Peso en seco de FVH a los 12 días.

Pasado los 12 días luego de que se destaparon las plántulas o germinación, se separó las 3 bandejas restantes de cada unidad experimental, para someterles a un secado al sol por un lapso de 15 días y se registró este dato como peso en seco.

2.8.10. Altura del tapete de raíz a los 12 días

Se realizó la medida una vez transcurridos los 12 días luego de que se destaparon las plántulas o germinación, se midió desde a base de la bandeja, hasta el extremo superior de toda masa radicular que formaron las plántulas.

2.8.11. Índice de cosecha

Se determinó en base al peso en verde de las bandejas y en base a la dosis de siembra.

Para poder hacer la siguiente relación:

Dosis de siembra/m² ---- Peso en verde/m²

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Porcentaje de Germinación

Se realizó esta prueba para determinar el porcentaje de germinación que tenía cada variedad de semilla utilizada.

Cuadro N°7 Datos del % de Germinación

| Descripción | % de Germinación |
|-------------|------------------|
| T1 | 86% |
| T2 | 93% |
| T3 | 88% |

En cuadro N°7, se muestran los resultados de esta prueba de germinación, donde el T2 (maíz Pisankalla) obtuvo el mayor porcentaje 93% y como menor porcentaje se tiene al T1 (maíz Romanito) con 86%.

También en base al cuadro N°7 donde se obtuvieron resultados a promedio de germinación entre 86 % a 93 % y según Gallardo (2000), citado por (Machaca, 2018), menciona que la semilla no debe tener un porcentaje inferior al 75% para evitar pérdidas en los tratamientos de FVH, y que por lo tanto se deben utilizar semillas de alto porcentaje de germinación, se podría decir que se utilizó semillas con un % de germinación óptimo para la producción de forraje verde hidropónico.

3.2. Tiempo de Germinación

Cuadro N°8 Datos del tiempo de germinación

| Variedad | Tiempo (días) de Germinación | |
|----------|------------------------------|----------------------|
| | Producción en Invierno | Producción en Verano |
| T1 | 6 | 4.5 |
| T2 | 6 | 4.5 |
| T3 | 6 | 4.5 |

En el cuadro N°8, se observa que el tiempo de germinación es constante por variedad ya que las tres variedades (T1, T2 y T3) muestran el mismo tiempo de germinación tanto en invierno (6días) como en verano (4.5 días).

El tiempo de germinación es más corto en verano que en invierno, por lo que se puede decir que las condiciones más cálidas aceleran el proceso.

3.3. Producción en invierno

A continuación, se presentan las siguientes variables sobre la producción de Forraje Verde Hidropónico en época de invierno:

3.3.1. Peso en verde

3.3.1.1. Peso en verde a los 8 días (kg)

Cuadro N°9 Datos de peso en verde a los 8 días (kg)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|----------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 1,195 | 1,143 | 1,161 | 3,499 | 1,166 |
| T2 | 1,100 | 1,132 | 1,012 | 3,244 | 1,081 |
| T3 | 1,145 | 1,178 | 1,107 | 3,430 | 1,143 |
| Σ | 3,440 | 3,453 | 3,280 | 10,173 | |

Los datos del cuadro N°9 de peso en verde, se puede afirmar que el T1 (maíz Romanito) obtuvo el mayor valor promedio de 1,166 kg, seguido el T3 (maíz IBTA Algarrobal 102) con un valor promedio de 1,143 kg y como tercer lugar el T2 (maíz Pisankalla) con un valor promedio de 1,081 kg.

Cuadro N°10 ANOVA de peso en verde (kg) a los 8 días

| Fuentes de Variación | de GL | Suma de Cuadrados | de Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|-------|-------------------|-------------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,023 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,006 | 0,003 | 2,27 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,012 | 0,006 | 4,25 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,006 | 0,001 | | | |

CV= 3.27

En el cuadro N°10, se observan los resultados de análisis de varianza, se afirma que tanto para los tratamientos y bloques la Fc es menor que la Ft al 5% y 1%, lo que nos dice que no existen diferencias significativas en estos aspectos, esto indica que trabajar con maíz variedad Romanito, Pisankalla o IBTA Algarrobal 102 no influirá en cuanto a su rendimiento en peso en verde a los 8 días.

3.3.1.2. Peso en verde a los 12 días (kg)

Cuadro N°11 datos de peso en verde a los 12 días (kg)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 1,127 | 1,086 | 1,081 | 3,294 | 1,098 |
| T2 | 1,075 | 1,087 | 0,989 | 3,151 | 1,050 |
| T3 | 1,036 | 1,085 | 1,024 | 3,145 | 1,048 |
| Σ | 3,238 | 3,258 | 3,094 | 9,590 | |

En el cuadro N°11, se refleja los datos de peso en verde a los 12 días, donde el T1 (maíz Romanito) obtuvo el mayor valor promedio de 1,098 kg, como segundo lugar el T2 (maíz Pisankalla) con un valor promedio de 1,050 kg y con un menor promedio el T3 (maíz IBTA algarrobal 102) con 1,048 kg.

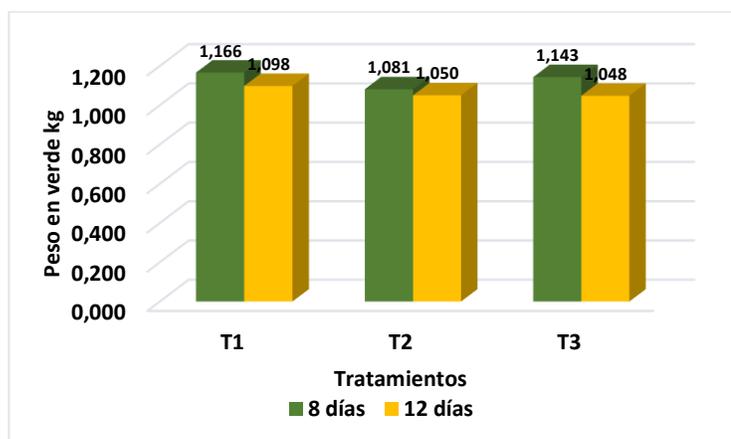
Cuadro N°12 ANOVA de los datos de peso (kg) en verde a los 12 días.

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,0138 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,0053 | 0,0027 | 2,85 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,0047 | 0,0024 | 2,54 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,0037 | 0,0009 | | | |

CV=1.06

En el cuadro N°12, se observan los resultados de análisis de varianza, donde se llegó a determinar que en los tratamientos y bloques la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, lo que nos dice que no existen diferencias significativas en estos aspectos.

Figura 1. Relación promedio de los tratamientos del peso en verde 8 y 12 días



En la figura 1 se puede observar que los rendimientos de peso en verde a los 8 días oscilan entre 1.166 kg a 1.143 kg en 0.15 m², mientras que a los 12 días se tienen valores entre 1.098 kg a 1.050 kg en 0.15 m², por lo que se puede observar que el FVH en cuanto a su peso disminuyó en la segunda medición (12 días).

Sin embargo, a pesar de estas diferencias numéricas entre los tratamientos, el análisis de varianza (ANOVA) mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en la variable peso en verde a los 8 y 12 días. Esto indica que

bajo las condiciones del presente estudio, ninguna de las variedades evaluadas presentó una superioridad estadísticamente comprobada en la producción de biomasa verde, por lo que todas podrían considerarse como alternativas viables para la producción de FVH, al menos desde el punto de vista del rendimiento en peso.

Se puede afirmar que este rendimiento de materia verde a los 8 días (1.166 kg a 1.143 kg) y 12 días (1.098 kg a 1.050 kg) fue similar a la investigación de (Coope, 2022) quien realizó la toma de datos a los 20 días, donde sacando una relación de su rendimiento salió un promedio de 1.050 kg de peso verde en 0.15m².

3.3.2. Peso en seco

3.3.2.1. Peso en seco a los 8 día (kg)

Cuadro N°13 Datos de peso en seco (kg) a los 8 días

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 0,433 | 0,414 | 0,434 | 1,281 | 0,427 |
| T2 | 0,409 | 0,414 | 0,389 | 1,212 | 0,404 |
| T3 | 0,426 | 0,429 | 0,408 | 1,263 | 0,421 |
| Σ | 1,268 | 1,257 | 1,231 | 3,756 | |

En el cuadro N°13, se reflejan los datos de peso en seco a los 8 días posterior a la germinación, donde se puede observar que el T1 (maíz Romanito) obtuvo el mayor valor promedio de 0,427 kg, seguido el T3 (maíz IBTA Algarrobal 102) con un valor promedio de 0,421 kg y con un menor valor promedio se tuvo al T2 (maíz Pisankalla) con 0,404 kg de peso en seco.

Cuadro N°14 ANOVA de peso en seco a los 8 días (kg)

| Fuentes de Variación | de GL | Suma de Cuadrados | de Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|-------|-------------------|-------------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,0017 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,0002 | 0,0001 | 0,77 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,0009 | 0,0004 | 2,75 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,0006 | 0,0002 | | | |

CV=2.99

En cuanto al cuadro N° 14, se puede afirmar que en los tratamientos y bloques la Fc es menor que la Ft lo que nos dice que no hay diferencias significativas en estos aspectos.

3.3.2.2. Peso en seco a los 12 día (kg)

Cuadro N°15 Datos de peso en seco a los 12 días (kg)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 0,367 | 0,400 | 0,381 | 1,148 | 0,383 |
| T2 | 0,385 | 0,392 | 0,399 | 1,176 | 0,392 |
| T3 | 0,411 | 0,394 | 0,413 | 1,218 | 0,406 |
| Σ | 1,163 | 1,186 | 1,193 | 3,542 | |

En el cuadro N°15, se puede afirmar que el T3 (maíz IBTA Algarrobal 102) obtuvo el mayor valor promedio de 0,406 kg y con un menor valor promedio el T1 (maíz Romanito) con 0,383 kg.

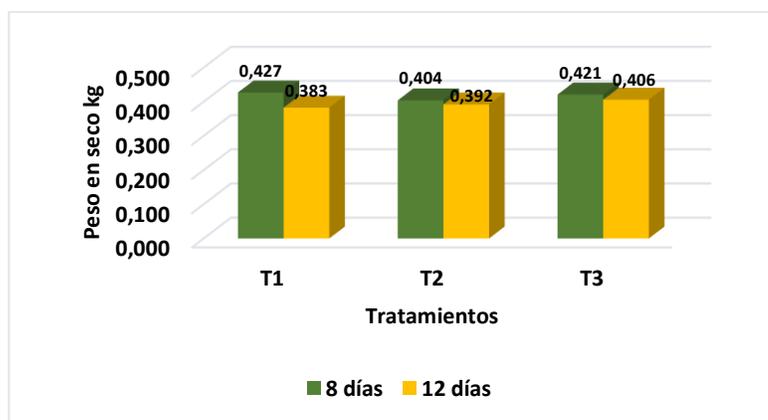
Cuadro N°16 ANOVA de los datos de peso en seco a los 12 días (kg)

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,0017 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,0002 | 0,0001 | 0,47 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,0008 | 0,0004 | 2,36 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,0007 | 0,0002 | | | |

CV= 3.36

En el cuadro N°16, se observan los datos de análisis de varianza de los datos de peso en seco a los 12 días, donde se puede afirmar que en los tratamientos y bloques la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, lo cual podemos decir que no existen diferencias significativas en estos aspectos.

Figura 2. Relación promedio de los tratamientos del peso en seco 8 y 12 días



En la figura 2 se puede observar que los rendimientos de peso en seco a los 8 días oscilan entre 0.427 kg a 0.404 kg en 0.15 m², mientras que a los 12 días se tienen valores entre 0.406 kg a 0.383 kg en 0.15 m², por lo que se puede observar que el FVH en cuanto a su peso en seco disminuyó en la segunda medición (12 días).

Sin embargo, a pesar de que en los valores numéricos obtenidos se observan diferencias visibles entre los tratamientos, el análisis de varianza (ANOVA) no evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en el peso seco del FVH de maíz

entre las tres variedades evaluadas. Esto indica que, bajo las condiciones del presente estudio y desde un punto de vista estadístico, las variedades evaluadas presentan un comportamiento similar en cuanto a la acumulación de biomasa seca.

En la figura 2, se tiene valores promedios que van desde 0.427 kg a 0.404 kg (a los 8 días) y desde 0.406 kg a 0.383 kg (a los 12 días), se puede decir que obtuvimos un rendimiento similar a la investigación de (Cooper, 2022), quien realizó la toma de datos a los 20 días, donde sacando una relación de su rendimiento obtuvo un promedio de 0.381 kg de peso seco en 0.15m².

3.3.3. Altura de planta

3.3.3.1. Altura de planta a los 8 días (cm)

Cuadro N° 17 Datos de altura de planta a los 8 días (cm)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 3,78 | 4,13 | 4,86 | 12,77 | 4,26 |
| T2 | 3,98 | 4,08 | 3,74 | 11,80 | 3,93 |
| T3 | 4,68 | 6,47 | 5,18 | 16,33 | 5,44 |
| Σ | 12,44 | 14,68 | 13,78 | 40,90 | |

En el cuadro N°17, se muestra la altura de plantas expresados en cm obtenidos en los diferentes tratamientos de estudio, donde el valor más alto se obtuvo en el T3 (maíz IBTA Algarrobal 102) con un promedio de 5,44 cm, seguido del T1 con un valor promedio de 4,26 y por último el T2 con un valor promedio de 3,93 cm.

Cuadro N°18 ANOVA de los datos de las alturas de plantas a los 8 días (cm)

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 6,1672 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,8470 | 0,4235 | 1,11 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 3,7928 | 1,8964 | 4,97 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 1,5274 | 0,3818 | | | |

CV=13.80

En el cuadro N°18 del análisis de varianza de altura de plantas a los 8 días, se afirma que tanto para los tratamientos y bloques la Fc es menor que la Ft al 5% y 1%, lo que indica que, no existen diferencias estadísticamente significativas en estos aspectos.

3.3.3.2. Altura de planta a los 12 días (cm)

Cuadro N°19 Datos de altura de planta a los 12 días (cm)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 7,64 | 7,32 | 9,28 | 24,24 | 8,08 |
| T2 | 8,63 | 8,94 | 9,38 | 26,95 | 8,98 |
| T3 | 8,61 | 9,24 | 8,56 | 26,41 | 8,80 |
| Σ | 24,88 | 25,50 | 27,22 | 77,60 | |

En el cuadro N°19, se refleja los datos de la altura de planta, donde se puede afirmar que el T2 (maíz Pisankalla) obtuvo el mayor valor promedio de 8,98 cm, y con un menor valor promedio de altura el T1 (maíz Romanito) con 8,08cm.

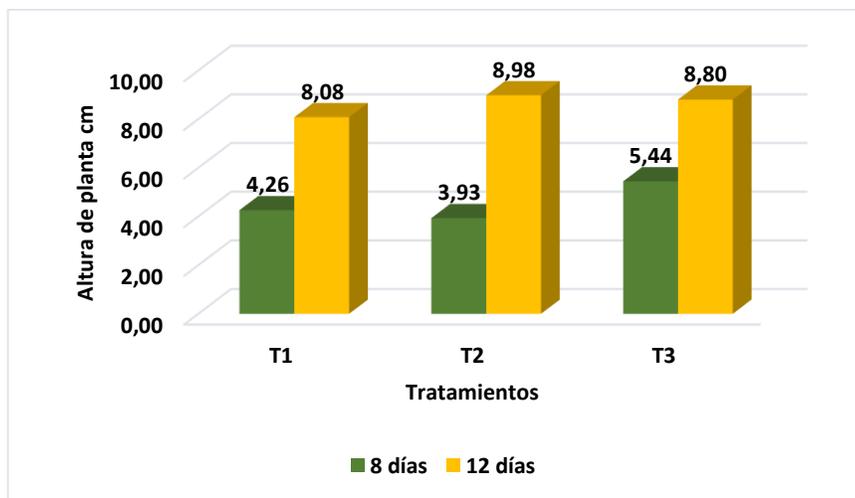
Cuadro N°20 ANOVA de los datos de altura de planta a los 12 días (cm)

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 4,1542 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,9798 | 0,4899 | 1,09 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 1,3716 | 0,6858 | 1,52 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 1,8027 | 0,4507 | | | |

CV= 7.81

En el cuadro N°20, se observan los resultados de análisis de varianza, donde se puede afirmar que tanto en los tratamientos como en los bloques la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, lo que nos dice que no existen diferencias significativas en estos aspectos.

Figura 3. Relación promedio de los tratamientos de altura de planta a los 8 y 12 días



En la figura 3, se puede afirmar que existió un mayor crecimiento en cuanto a los tratamientos en la medición de los 12 días.

Pese a estas diferencias numéricas visibles entre tratamientos y entre días, el análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$)

en la altura de planta. Esto indica que, aunque existen variaciones en el crecimiento de las plantas entre las distintas variedades de maíz utilizadas, estas diferencias no fueron lo suficientemente consistentes como para considerarse significativas desde el punto de vista estadístico bajo las condiciones del presente estudio, por lo que todas podrían considerarse como alternativas viables para la producción de FVH, al menos desde el punto de vista de la altura de planta.

En la figura 3, se tiene valores de: 3.93 como mínimo cm a los 8 días y 8.08 como mínimo cm a los 12 días, se puede decir que obtuvimos un rendimiento bajo en comparación a la investigación de (Coope, 2022), quien realizó la toma de datos a los 20 días, donde obtuvo promedios de altura de planta que van desde los 13.65cm hasta 16.03 cm manejando 3 densidades siembra (2.82 kg/m^2 , 2.31 kg/m^2 y 2.05 kg/m^2).

3.3.4. Altura del tapete radicular

3.3.4.1. Altura del tapete radicular a los 8 días (cm)

Cuadro N°21 Datos de altura del tapete radicular a los 8 días (cm)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|------|------|----------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 0,66 | 0,93 | 0,99 | 2,58 | 0,86 |
| T2 | 0,51 | 0,83 | 0,97 | 2,31 | 0,77 |
| T3 | 1,70 | 1,06 | 0,96 | 3,72 | 1,24 |
| Σ | 2,87 | 2,82 | 2,92 | 8,61 | |

En el cuadro N°21, se refleja los datos de altura del tapete radicular a los 8 días, en el cual el T3 (maíz IBTA Algarrobal 102) presentó mayor altura con 1,24 cm, sin embargo, así mismo se ve que el T2 (maíz Pisankalla) presentó la menor altura del tapete radicular con 0,77cm.

Cuadro N°22 ANOVA de los datos de altura del tapete radicular a los 8 días (cm)

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|--------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,8688 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,0017 | 0,0008 | 0,0068 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,3734 | 0,1867 | 1,51 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,4937 | 0,1234 | | | |

CV= 38

En el cuadro N°22, se puede afirmar que en los tratamientos y bloques la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, lo que nos dice que no existen diferencias significativas en estos aspectos, esto indica que trabajar con estas variedades (T1, T2 y T3) no influirá en cuanto a su altura de tapete radicular a los 8 días.

3.3.4.2. Altura del tapete radicular a los 12 días (cm)

Cuadro N°23 datos de altura del tapete radicular a los 12 días (cm)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|------|------|----------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 0,96 | 1,09 | 1,16 | 3,21 | 1,07 |
| T2 | 0,79 | 0,96 | 1,18 | 2,93 | 0,98 |
| T3 | 1,88 | 1,20 | 1,13 | 4,21 | 1,40 |
| Σ | 3,63 | 3,25 | 3,47 | 10,35 | |

En el cuadro N°23, se reflejan los datos de altura del tapete radicular a los 12 días, donde se tiene que el T2 (maíz Pisankalla) obtuvo el menor valor promedio con 0,98cm y que el T3 (maíz IBTA Algarrobal 102) obtuvo el mayor valor promedio de 1,40 cm de tapete radicular.

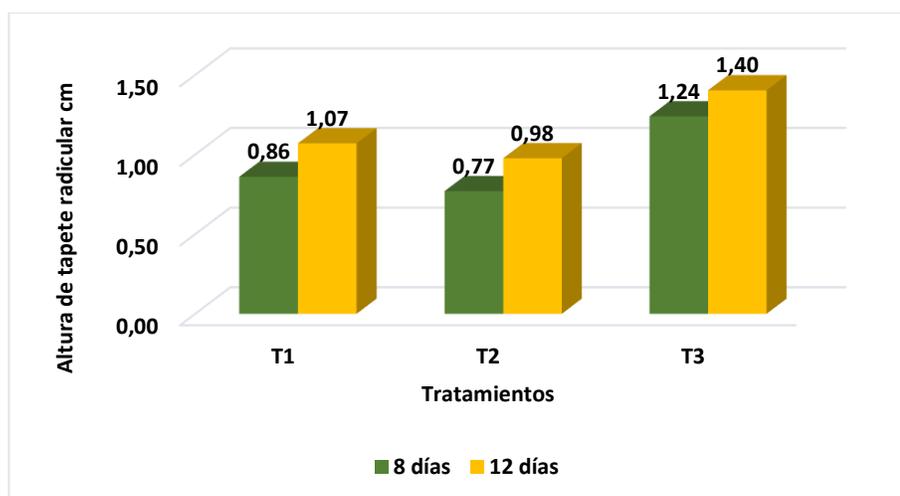
Cuadro N°24 ANOVA de los datos de altura del tapete radicular a los 12 días (cm)

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|--------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,7422 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,0243 | 0,0121 | 0,1166 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,3019 | 0,1509 | 1,45 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,4161 | 0,1040 | | | |

CV=28

En el cuadro N°24, se puede afirmar que en los tratamientos y bloques la Fc es menor que la Ft al 55 y 1% de probabilidad, lo que nos dice que no existen diferencias significativas en estos aspectos, esto indica que trabajar con maíz variedad Romanito, Pisankalla o IBTA Algarrobal 102, no influirá en cuanto a la altura del tapete radicular a los 12 días.

Figura 4. Relación promedio de los tratamientos de altura del tapete radicular a los 8 y 12 días.



En la figura 4, se puede afirmar que existió un mayor crecimiento del tapete radicular a los 12 días en comparación a los 8 días.

Sin embargo, a pesar de las diferencias numéricas entre tratamientos y entre los dos momentos de evaluación, el análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Esto indica que, aunque en el comportamiento del desarrollo radicular se aprecian pequeñas diferencias numéricas, estas diferencias no fueron lo suficientemente consistentes como para considerarse significativas desde el punto de vista estadístico bajo las condiciones del presente estudio, por lo tanto, las tres variedades podrían considerarse como una alternativa para la producción de FVH, al menos desde el punto de vista del tapete radicular.

En la figura 4, se tiene valores promedios que van desde 0.77 cm a 1.24 cm (a los 8 días) y desde 0.98 cm a 1.40 cm (a los 12 días), se puede decir que obtuvimos un rendimiento de la altura del tapete radicular bajo, en comparación a la investigación de (García,2021), quien obtuvo una altura de tapete radicular de 3.18 cm, cuya producción fue en verano en el Estado de México.

3.4. Producción en verano

3.4.1. Peso en verde

3.4.1.1. Peso en verde a los 8 días (kg)

Cuadro N°25 Datos de peso en verde a los 8 días (kg)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|----------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 1,141 | 1,404 | 1,238 | 3,783 | 1,261 |
| T2 | 1,060 | 1,376 | 1,155 | 3,591 | 1,197 |
| T3 | 1,257 | 1,387 | 1,104 | 3,748 | 1,249 |
| Σ | 3,458 | 4,167 | 3,497 | 11,122 | |

En el Cuadro N°25 se observa que el T1 (maíz Romanito) obtuvo un mayor valor promedio de 1.261kg/bandeja y como menor valor promedio se tiene al T2 (maíz Pisankalla) con un valor promedio de 1.197kg/bandeja de forraje verde.

Cuadro N°26 ANOVA de los datos de peso en verde a los 8 días (kg)

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,1351 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,1059 | 0,0530 | 9,55 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,0070 | 0,0035 | 0,63 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,0222 | 0,0055 | | | |

CV=6.06

En el cuadro N°26, se afirma que en los tratamientos la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, por lo que se puede decir que no existen diferencias significativas en cuanto a los tratamientos, esto quiere decir que el factor variedad no va influir en cuanto a esta variable.

3.4.1.2. Peso en verde a los 12 días (kg).

Cuadro N°27 Datos de peso en verde a los 12 días (kg)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|----------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 1,300 | 1,299 | 1,097 | 3,696 | 1,232 |
| T2 | 1,116 | 1,441 | 1,012 | 3,569 | 1,190 |
| T3 | 1,250 | 1,390 | 0,971 | 3,611 | 1,204 |
| Σ | 3,666 | 4,130 | 3,080 | 10,876 | |

En el Cuadro N°27 se observa que el T1 (maíz Romanito) obtuvo el mayor valor promedio de peso en verde con 1.232 kg/bandeja y como menor valor el T2 (maíz Pisankalla) con 1.190 kg/bandeja.

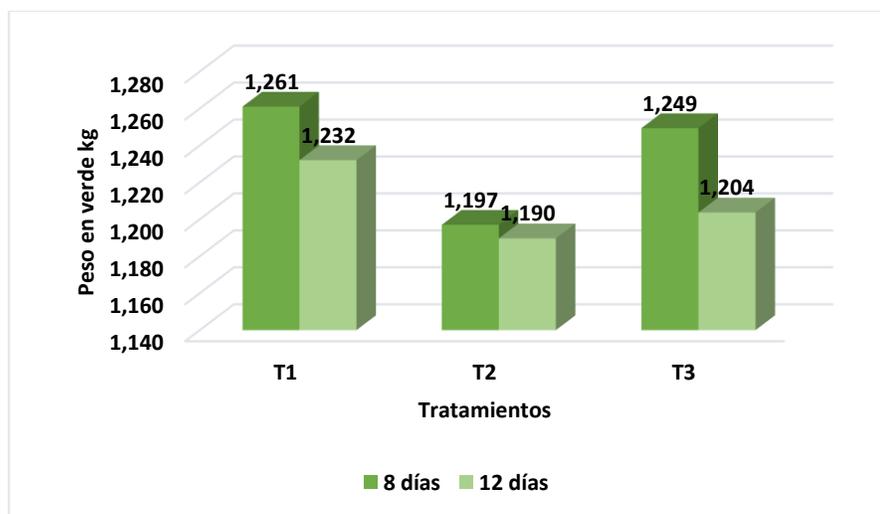
Cuadro N°28 ANOVA de los datos de peso en verde a los 12 días (kg)

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|-------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,2213 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,1846 | 0,0923 | 10,88 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,0028 | 0,0014 | 0,16 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,0339 | 0,0085 | | | |

CV=7.69

En el cuadro N°28, se afirma que en los tratamientos la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, por lo que se puede decir que no existen diferencias significativas en cuanto a los tratamientos, esto quiere decir que el factor variedad no va influir en cuanto a esta variable.

Figura 5. Relación promedio de los tratamientos del peso en verde a los 8 y 12 días.



En la figura 5 se puede apreciar que el peso disminuyó en nuestra segunda medición (12 días), al respecto del peso en verde en la producción de invierno donde sus valores promedios de los tratamientos oscilan entre 1.166 kg a 1.143 kg en 0.15 m² a los 8 días

y valores entre 1.098 kg a 1.050 kg en 0.15 m² a los 12 días (ver figura 1), se puede afirmar que se obtuvo promedios relativamente mayores.

Sin embargo, a pesar de estas diferencias numéricas entre los tratamientos, el análisis de varianza (ANOVA) mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en la variable peso en verde. Esto indica que, bajo las condiciones del presente estudio, ninguna de las variedades evaluadas presentó una superioridad estadísticamente comprobada en la producción de biomasa verde, por lo que todas podrían considerarse como alternativas viables para la producción de FVH, al menos desde el punto de vista del rendimiento en peso.

En la figura 5, se tiene valores promedios que van desde 1.197 kg a 1.261 kg (a los 8 días) y desde 1.190 kg a 1.232 kg (a los 12 días), se puede decir que obtuvimos un rendimiento algo mayor a la investigación de (Coope, 2022) quien realizó la toma de datos a los 20 días, donde sacando una relación de su rendimiento salió un promedio de 1.050 kg de peso verde en 0.15m².

3.4.2. Peso en seco

3.4.2.1 Peso en seco a los 8 día (kg)

Cuadro N°29 Datos de peso en seco a los 8 días (kg).

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|----------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 0,407 | 0,499 | 0,417 | 1,323 | 0,441 |
| T2 | 0,384 | 0,487 | 0,402 | 1,273 | 0,424 |
| T3 | 0,438 | 0,469 | 0,377 | 1,284 | 0,428 |
| Σ | 1,229 | 1,455 | 1,196 | 3,880 | |

En el cuadro N°29, se puede afirmar que el T1 (maíz Romanito) obtuvo el mayor valor promedio de 0,441 kg y con un menor valor promedio el T2 (maíz Pisankalla) con 0,424 kg.

Cuadro N°30 ANOVA de los datos de peso en seco a los 8 días (kg).

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|-------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,0160 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,0132 | 0,0066 | 11,62 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,0005 | 0,0002 | 0,40 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,0023 | 0,0006 | | | |

CV=5.57

En el cuadro N°30, se afirma que en los tratamientos la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, por lo que se puede decir que no existen diferencias significativas en cuanto a los tratamientos.

3.4.2.2. Peso en seco a los 12 día (kg)

Cuadro N°31 Datos de peso en seco a los 12 días (kg).

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|----------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 0,459 | 0,455 | 0,388 | 1,302 | 0,434 |
| T2 | 0,383 | 0,496 | 0,361 | 1,240 | 0,413 |
| T3 | 0,433 | 0,491 | 0,343 | 1,267 | 0,422 |
| Σ | 1,275 | 1,442 | 1,092 | 3,809 | |

En el Cuadro N°31 se observa que el T1 (maíz Romanito) obtuvo el mayor valor promedio de peso en seco con 0.434 kg/bandeja y como menor valor el T2 (maíz Pisankalla) con 0.413 kg/bandeja.

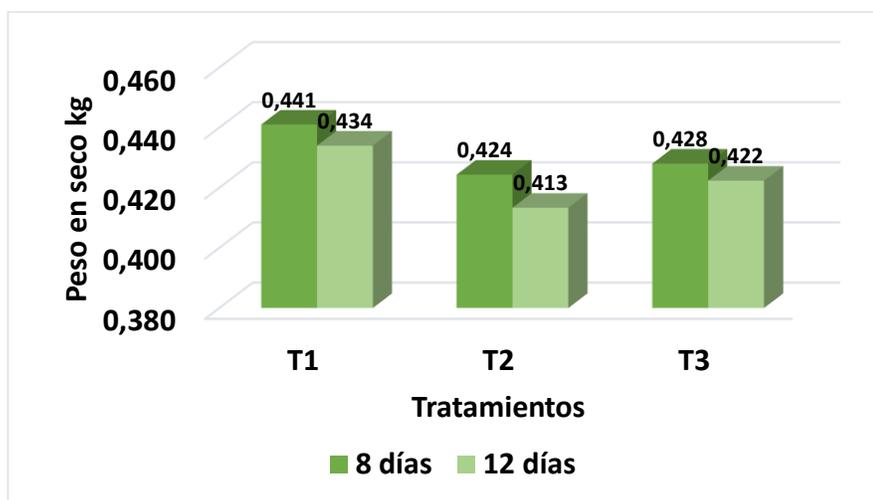
Cuadro N°32 ANOVA de los datos de peso en seco a los 12 días (kg).

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,0254 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,0204 | 0,0102 | 9,36 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,0006 | 0,0003 | 0,30 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,0044 | 0,0011 | | | |

CV=7.87

En el cuadro N°31, se afirma que en los tratamientos la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, por lo que se puede decir que no existen diferencias significativas en cuanto a los tratamientos.

Figura 6. Relación promedio de los tratamientos del peso en verde a los 8 y 12 días.



A pesar de que en los valores numérico obtenidos en la figura 6 se observan diferencias visibles entre los tratamientos, el análisis de varianza (ANOVA) no se evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en el peso seco del FVH de maíz entre las tres variedades evaluadas. Esto indica que, bajo las condiciones del presente estudio y desde un punto de vista estadístico, las variedades evaluadas presentan un comportamiento similar en cuanto a la acumulación de biomasa seca.

En la figura 6, se tiene valores promedios que van desde 0.441 kg a 0.413 kg (a los 8 días) y desde 0.434 kg a 0.413 kg (a los 12 días), se puede decir que obtuvimos un rendimiento ligeramente superior a la investigación de (Coope, 2022), quien realizó la toma de datos a los 20 días, donde sacando una relación de su rendimiento obtuvo un promedio de 0.381 kg de peso seco en 0.15m² y también estos valores fueron superior respecto al peso en seco de nuestra producción de invierno.

3.4.3. Altura de planta

3.4.3.1. Altura de planta a los 8 días (cm)

Cuadro N°33 Datos de la altura de planta a los 8 días (cm)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 6,31 | 7,43 | 7,75 | 21,49 | 7,16 |
| T2 | 6,33 | 8,44 | 6,35 | 21,12 | 7,04 |
| T3 | 7,43 | 8,55 | 7,17 | 23,15 | 7,72 |
| Σ | 20,07 | 24,42 | 21,27 | 65,76 | |

En el cuadro N°33, se puede observar que, en cuanto a altura de planta, se tiene que el T3 (maíz IBTA Algarrobal 102) obtuvo el mayor valor promedio de 7.72 cm y como menor valor promedio se tiene al T2 (maíz Pisankalla) con 7.04 cm.

Cuadro N°34 ANOVA de los datos de la altura de planta a los 8 días (cm)

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 5,9384 | | | | |
| Bloques | 2 | 3,3650 | 1,6825 | 3,75 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,7793 | 0,3896 | 0,87 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 1,7941 | 0,4485 | | | |

CV=9.22

En el cuadro N°34, se afirma que en los tratamientos la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, por lo que se puede decir que no existen diferencias significativas en cuanto a los tratamientos, esto quiere decir que el factor variedad no va influir en cuanto a esta variable.

3.4.3.2. Altura de planta a los 12 días (cm)

Cuadro N°35 Datos de la altura de planta a los 12 días (cm)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|-------|-------|----------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 9,98 | 11,66 | 11,62 | 33,26 | 11,09 |
| T2 | 10,09 | 12,10 | 10,53 | 32,72 | 10,91 |
| T3 | 11,18 | 12,47 | 11,19 | 34,84 | 11,61 |
| Σ | 31,25 | 36,23 | 33,34 | 100,82 | |

En el cuadro N°35, se puede observar que, en cuanto a altura de planta, se tiene que el T3 (maíz IBTA Algarrobal 102) obtuvo el mayor valor promedio de 11.61 cm y como menor valor promedio se tiene al T2 (maíz Pisankalla) con 10.91 cm.

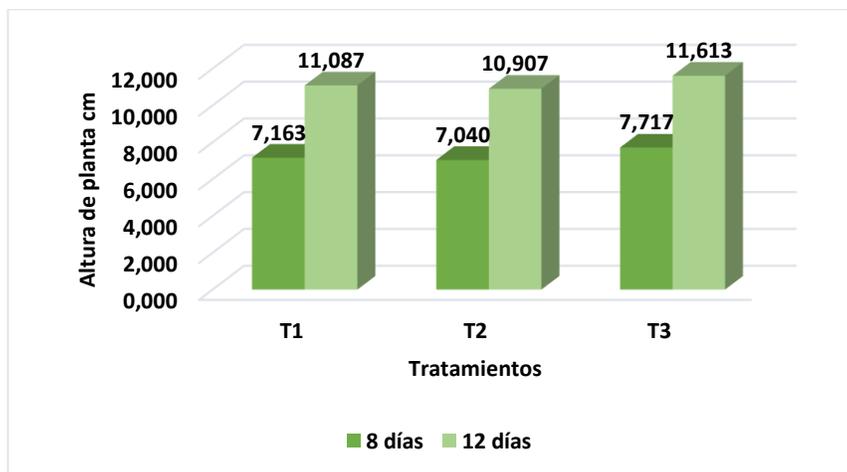
Cuadro N°36 ANOVA de los datos de la altura de planta a los 12 días (cm)

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 5,9808 | | | | |
| Bloques | 2 | 4,1690 | 2,0845 | 8,32 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,8092 | 0,4046 | 1,61 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 1,0026 | 0,2507 | | | |

CV=4.48

En el cuadro N°36, se afirma que en los tratamientos la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, por lo que se puede decir que no existen diferencias significativas en cuanto a los tratamientos, esto quiere decir que el factor variedad no va influir en cuanto a esta variable.

Figura 7. Relación promedio de los tratamientos de altura de planta a los 8 y 12 días.



En la figura 7 se puede observar que se produce un incremento en cuanto a la altura de planta a los 12 días, respecto a la producción de invierno donde sus valores promedios de altura en los tratamientos están entre 7.3 cm a los 8 días y 11.2 cm a los 12 días (ver figura 3), se puede afirmar que se obtuvo promedios relativamente mayores.

Pese a estas diferencias numéricas visibles entre tratamientos y entre días, el análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en la altura de planta. Esto indica que, aunque existen variaciones en el crecimiento de las plantas entre las distintas variedades de maíz utilizadas, estas diferencias no fueron lo suficientemente consistentes como para considerarse significativas desde el punto de vista estadístico bajo las condiciones del presente estudio, por lo que todas podrían considerarse como alternativas viables para la producción de FVH, al menos desde el punto de vista de la altura de planta.

En la figura 7, se tiene valores promedios que van desde 7.04 cm a 7.72 cm (a los 8 días) y desde 10.9 cm a 11.6 cm (a los 12 días), se puede decir que obtuvimos un rendimiento de altura de planta relativamente bajo en comparación a la investigación de (Coope, 2022), quien realizó la toma de datos a los 20 días, donde obtuvo promedios de altura de planta que van desde los 13.65 cm hasta 16.03 cm manejando 3 densidades siembra (2.82 kg/m^2 , 2.31 kg/m^2 y 2.05 kg/m^2).

3.4.4. Altura del tapete radicular

3.4.4.1. Altura del tapete radicular a los 8 días (cm)

Cuadro N°37 Datos de altura del tapete radicular a los 8 días (cm)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|------|------|----------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 0,73 | 0,88 | 0,99 | 2,60 | 0,87 |
| T2 | 0,83 | 0,98 | 0,84 | 2,65 | 0,88 |
| T3 | 0,82 | 1,01 | 0,92 | 2,75 | 0,92 |
| Σ | 2,38 | 2,87 | 2,75 | 8,00 | |

En el cuadro N°37, sobre la altura del tapete radicular a los 8 días, se puede observar que el T3 (maíz IBTA Algarrobal 102) obtuvo el mayor valor promedio con 0.92 cm y como menor valor promedio se tiene al T1 (maíz Romanito) con 0.87 cm.

Cuadro N°38 ANOVA de los datos de altura del tapete radicular a los 8 días (cm)

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,0701 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,0435 | 0,0217 | 3,83 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,0039 | 0,0019 | 0,34 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,0227 | 0,0057 | | | |

CV=8.52

En el cuadro N°38, se afirma que en los tratamientos la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, por lo que se puede decir que no existen diferencias significativas en cuanto a los tratamientos, esto quiere decir que el factor variedad no va influir en cuanto a esta variable.

3.4.4.2. Altura del tapete radicular a los 12 días (cm)

Cuadro N°39 Datos de altura del tapete radicular a los 12 días (cm)

| Variedad | Bloque | | | Σ | Media |
|----------|--------|------|------|----------|-------|
| | I | II | III | | |
| T1 | 0,93 | 1,04 | 1,12 | 3,09 | 1,03 |
| T2 | 1,00 | 1,10 | 1,04 | 3,14 | 1,05 |
| T3 | 1,07 | 1,18 | 1,11 | 3,36 | 1,12 |
| Σ | 3,00 | 3,32 | 3,27 | 9,59 | |

En el cuadro N°39, sobre la altura del tapete radicular a los 12 días, se puede observar que el T3 (maíz IBTA Algarrobal 102) obtuvo el mayor valor promedio con 1.12 cm y como menor valor promedio se tiene al T1 (maíz Romanito) con 1.03 cm.

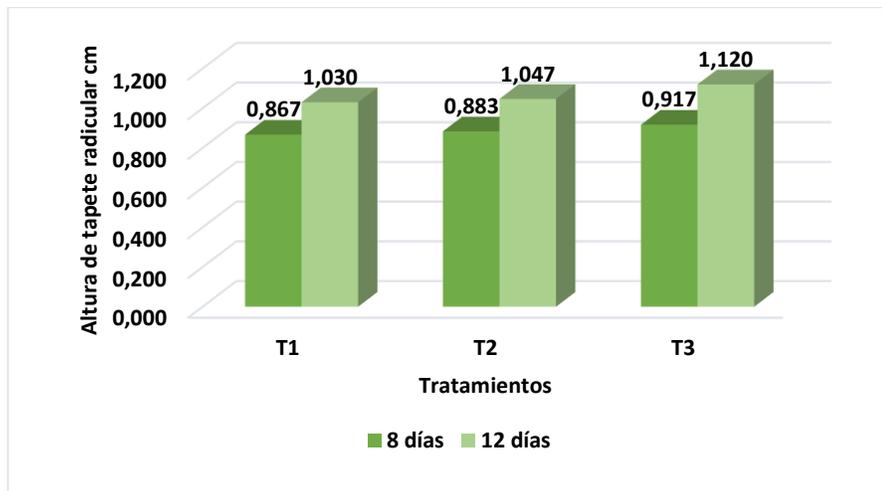
Cuadro N°40 ANOVA de los datos de altura del tapete radicular a los 12 días (cm)

| Fuentes de Variación | GL | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Fc | Ft | |
|----------------------|----|-------------------|----------------|------|------|----|
| | | | | | 5% | 1% |
| Total | 8 | 0,0432 | | | | |
| Bloques | 2 | 0,0198 | 0,0099 | 4,07 | 6,94 | 18 |
| Tratamiento | 2 | 0,0138 | 0,0069 | 2,83 | 6,94 | 18 |
| error | 4 | 0,0097 | 0,0024 | | | |

CV=4.63

En el cuadro N°40, se afirma que en los tratamientos la Fc es menor que la Ft al 5% y 1% de probabilidad, por lo que se puede decir que no existen diferencias significativas en cuanto a los tratamientos, esto quiere decir que el factor variedad no va influir en cuanto a esta variable.

Figura 8. Relación promedio de los tratamientos de altura del tapete radicular a los 8 y 12 días.



En la figura 8 se puede observar que se produce un incremento en cuanto a la altura del tapete radicular los 12 días. Respecto a la producción de invierno donde sus valores promedios de altura del tapete radicular en los tratamientos están entre 0.9 cm a los 8 días y 1.09 cm a los 12 días (ver figura 4), se puede afirmar que se obtuvieron valores similares.

Sin embargo, a pesar de las diferencias numéricas entre tratamientos y entre los dos momentos de evaluación, el análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Esto indica que, aunque en el comportamiento del desarrollo radicular se aprecian pequeñas diferencias numéricas, estas diferencias no fueron lo suficientemente consistentes como para considerarse significativas desde el punto de vista estadístico bajo las condiciones del presente estudio, por lo tanto, las tres variedades podrían considerarse como una alternativa para la producción de FVH, al menos desde el punto de vista del tapete radicular.

En la figura 8, se tienen valores promedios de: 0.86 cm a los 8 días y de 1.03 cm a los 12 días, se puede decir que obtuvimos un rendimiento de la altura del tapete radicular bajo, en comparación a la investigación de (García, 2021) quien obtuvo una altura de tapete radicular de 3.18 cm, cuya producción fue en verano en el Estado de México.

3.5. Índice de cosecha

Cuadro N°41 Datos del índice de cosecha

| Variedad | Índice de Cosecha kg/m ² | | | |
|----------|-------------------------------------|---------|--------|---------|
| | Invierno | | Verano | |
| | 8 días | 12 días | 8 días | 12 días |
| T1 | 7,8 | 7,3 | 8,4 | 8,2 |
| T2 | 7,2 | 7,0 | 8,0 | 7,9 |
| T3 | 7,6 | 7,0 | 8,3 | 8,0 |

En el cuadro N°41, se afirma que se obtuvo una mayor producción en temporada de verano, esto se dio manejando una dosis de siembra de 2.8 kg/m², lo quiere decir que por cada m² se logró un índice de cosecha de: 7 a 7.8 kg de FVH en invierno y 7.9 a 8.4 kg de FVH en verano. Se obtuvo un índice de cosecha ligeramente superior respecto a la investigación de (Cooper, 2022) quien realizó la toma de datos a los 20 días, donde sacando una relación de su rendimiento salió que obtuvo 7 kg/m² y respecto a la investigación de (Machaca, 2018) se obtuvo un índice de cosecha bajo, ya que el obtuvo 17.5 kg/m² utilizando una densidad de 3.5 kg/m².

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- En la evaluación de rendimiento de biomasa forrajera en kg de materia verde como tal, se tiene que, las variedades de maíz Romanito, IBTA Algarrobal 102 y Pisankalla no presentaron diferencias estadísticamente significativas, según el análisis de varianza realizado. A pesar de que el maíz Romanito mostró un mayor valor promedio de biomasa, seguido de las variedades IBTA Algarrobal 102 y Pisankalla, estos resultados no evidencian una superioridad estadística entre tratamientos. Por tanto, se concluye que las tres variedades evaluadas tienen un comportamiento productivo similar bajo condiciones hidropónicas, y pueden ser consideradas como opciones viables para la producción de forraje verde hidropónico.
- Sobre los dos tiempos de cosecha, 8 y 12 días post germinación, los resultados obtenidos demostraron que la cosecha a los 8 días post germinación alcanzó un mejor rendimiento en términos de peso, comparado con la cosecha realizada a los 12 días. En consecuencia, se concluye que, bajo las condiciones de este estudio (sin aporte adicional de nutrientes), la cosecha a los 8 días es la opción más eficiente para maximizar el rendimiento del FVH de maíz.
- En la identificación de la altura de planta, se obtuvo una mayor altura a los 12 días post germinación en comparación a la de los 8 días, en donde obtuvieron mejores valores de altura las variedades de maíz Pisankalla con 8.98 cm en invierno e IBTA Algarroba 102 con 11.61 cm en verano, estos resultados afirman que el crecimiento estructural del cultivo continúa y se acentúa a los 12 días. Concluyendo que, las variedades evaluadas presentan un comportamiento estructural similar en cuanto al desarrollo de la planta. Aunque no se detectaron diferencias estadísticas, los incrementos observados en las mediciones a los 12 días indican que el cultivo continúa su desarrollo activo durante este periodo.

- En la interpretación del índice de cosecha, donde la variedad de maíz Romanito con un rendimiento de 7.54 kg/m^2 en invierno y 8.31 kg/m^2 en verano e IBTA Algarrobal con un rendimiento de 7.30 kg/m^2 en invierno y 8.18 kg/m^2 en verano, alcanzando valores numéricos superiores al Pisankalla el cual mostró rendimientos de 7.10 kg/m^2 en invierno y 7.96 kg/m^2 en verano. Pero estas diferencias no fueron lo suficientemente consistentes como para considerarse significativas desde el punto de vista estadístico bajo las condiciones del presente estudio. Se concluye que las tres variedades de maíz evaluadas para la producción de FVH, son una alternativa viable para optimizar pequeñas áreas de producción y de este modo obtener un forraje verde, fresco y de mayor calidad nutricional en la alimentación animal.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda utilizar Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz como una alternativa estratégica de alimentación animal en zonas donde el acceso a agua y suelos fértiles es limitado, o donde las condiciones climáticas extremas dificultan el cultivo de forrajes tradicionales. El FVH de maíz ofrece alta producción de biomasa, excelente digestibilidad, buen aporte de energía y proteína.

Se recomienda realizar más estudios acerca de la producción de FVH en el departamento de Tarija, ya que este cuenta con un clima diverso y cambiante, y estos pueden modificar por completo la producción.

También se recomienda realizar un análisis bromatológico al FVH de cada una de las variedades utilizadas en el experimento para determinar su valor nutritivo y para su uso como alternativa en la alimentación animal.

