

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE DOS VARIETADES DE APIO**  
*(Apium graveolens L.)* **BAJO DIFERENTES TIEMPOS DE CORTE EN**  
**EL SISTEMA NFT EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE**  
**COTA COTA – LA PAZ**

**JORGE LUIS CALLE PINAYA**

**La Paz – Bolivia**

**2023**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCION DE DOS VARIEDADES DE APIO (*Apium graveolens L.*) BAJO DIFERENTES TIEMPOS DE CORTE EN EL SISTEMA NFT EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA – LA PAZ**

*Tesis de Grado presentada Como  
Requisito Parcial para obtener  
el título de Ingeniero  
Agrónomo*

**JORGE LUIS CALLE PINAYA**

**Asesores:**

Ing. M. Sc. Wily Marco Flores Mancilla

Ing. Williams Alex Murillo Oporto

**Revisores:**

M. Sc. Celia María Fernández Chavez

Lic. Cynthia Lara Pizarroso

Ing. Luis Humberto Ortuño Rojas

**Aprobado**

Presidente Tribunal Examinador

**La Paz - Bolivia**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis va dedicada a:

A mis padres Rodolfo e Isabel, por el apoyo y paciencia en todo momento durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A mi hermana Criselda por el apoyo, a todas las personas que me apoyaron durante mi etapa universitaria.

## **AGRADECIMIENTO**

A la universidad Mayor de San Andrés por abrirme las puertas de la institución para poder realizar mis estudios, prácticas y conocer la actividad agrícola.

A mi familia por su apoyo incondicional, comprensión durante mi etapa universitaria.

Al director del Centro Experimental Cota Cota el Ing. Luis Humberto Ortuño Rojas, por brindarme su amistad, por abrirme las puertas del campus, por la orientación en todo el desenvolvimiento de la redacción del trabajo de investigación.

Al Ing. Willams Alex Murillo Oporto, por brindarme su amistad, orientación e igualmente por su importante aporte y sugerencias en todo el desenvolvimiento en el presente estudio de investigación.

Al Ing. M. Sc. Wily Marco Flores Mancilla, por su confianza, su orientación y por compartir su conocimiento para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A mis amigos, que durante todos estos años fueron parte importante de mis años de estudio en la universidad haciendo más jovial el proceso de aprendizaje en la universidad.

## CONTENIDO DE LA INVESTIGACIÓN

INDICE GENERAL.....	I
INDICE DE CUADROS.....	IV
INDICE DE GRAFICOS.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
INDICE DE ANEXOS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo General .....	2
2.2. Objetivos Específicos .....	2
3. REVISION BIBLIOGRÁFICA .....	2
3.1. Cultivo de apio .....	2
3.1.1. Origen del apio.....	2
3.1.2. Importancia del cultivo de apio.....	3
3.1.3. Clasificación taxonómica.....	4
3.1.4. Características botánicas.....	4
3.2. Descripción del cultivo.....	6
3.3. Almacigo en sustrato.....	7
3.4. Variedad.....	8
3.5. Manejo del cultivo .....	9
3.5.1. Germinación.....	9

3.5.2.	Siembra.....	10
3.5.3.	Trasplante.....	10
3.5.4.	Reposición de fallas.....	10
3.5.5.	Requerimientos nutricionales del apio.....	11
3.5.6.	Requerimientos Climáticos.....	11
3.5.7.	El PH.....	12
3.5.8.	Deficiencias de elementos nutritivos en el cultivo de Apio.....	13
3.5.8.2.	Micronutrientes.....	14
3.5.9.	Plagas, enfermedades del apio.....	15
3.5.9.1.	Plagas.....	16
3.5.9.2.	Enfermedades.....	16
3.6.	Hidroponía.....	18
3.6.1.	Cultivo hidropónico.....	18
3.6.2.	Sistema de recirculación de solución nutritiva "NFT".....	19
3.6.3.	Ventajas y desventajas de la hidroponía (NFT).....	20
3.6.4.	Elementos del sistema (NFT).....	21
3.6.5.	Solución nutritiva.....	23
3.6.6.	Cambio y duración de la solución.....	24
3.6.7.	Oxigenación de la solución nutritiva.....	24
3.6.8.	Conductividad Eléctrica (CE).....	25
3.6.9.	Conductividad eléctrica por cultivo.....	26
3.6.10.	Temperatura de la solución.....	26
3.6.13.	Volumen de la solución nutritiva.....	28
3.6.14.	Dióxido de carbono.....	29
3.6.15.	Fertilizantes sintéticos.....	29

3.6.16.	Rendimiento en hidroponía.....	30
4.	LOCALIZACION .....	31
4.1.	Características climáticas de la zona .....	32
5.	MATERIALES Y METODOS .....	32
5.1.	Materiales.....	32
5.1.1.	Material biológico .....	32
5.1.2.	Material fertilizante.....	32
5.1.3.	Material de almácigo.....	33
5.1.4.	Material de Piscina.....	33
5.1.5.	Material de soporte NFT .....	34
5.1.6.	Material de laboratorio .....	34
5.1.7.	Material de gabinete .....	35
5.1.8.	Material de campo .....	35
5.2.	Método .....	35
5.3.	Almacigo de semilla .....	36
5.4.	Piscina.....	36
5.5.	Pirámide .....	36
5.6.	Proceso productivo.....	37
5.7.	Formulación de solución nutritiva.....	37
5.8.	Análisis del agua .....	37
5.9.	Formulación nutricional del cultivo .....	37
5.10.	Manejo del pH de la solución .....	38
5.11.	Manejo de la conductividad eléctrica de la solución .....	40
5.12.	Manejo de la temperatura .....	40
5.13.	Procedimiento de estudio experimental .....	40

5.13.1.	Diseño de investigación.....	40
5.13.2.	Modelo estadístico.....	41
5.13.2.1.	Tratamientos .....	41
5.13.3.	Superficie experimental .....	41
5.13.4.	Croquis experimental.....	42
5.13.5.	VARIABLES DE RESPUESTA .....	43
5.13.5.1.	Porcentaje de germinación (%) .....	43
5.13.5.2.	Porcentaje de prendimiento al trasplante a la pirámide.....	43
5.13.5.3.	Numero de pencas por planta (No.) .....	43
5.13.5.4.	Altura de planta (cm) .....	43
5.13.5.5.	Días a la cosecha (días).....	44
5.13.5.6.	Análisis económico.....	44
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	45
6.1.	Comportamiento de la temperatura del ambiente protegido .....	45
6.2.	Variable de respuesta en almacigo .....	46
6.2.1.	Porcentaje de germinación en almaciguera .....	46
6.3.	Variable de respuesta en sistema de flujo laminar de nutrientes (NFT) .....	47
6.3.1.	Porcentaje de prendimiento promedio en el sistema (NFT).....	47
6.4.	Número de pencas en la planta en el sistema (NFT) .....	48
6.5.	Altura de planta en el sistema (NFT).....	51
6.6.	Peso de planta al momento de la cosecha.....	54
6.7.	Días a la cosecha (días).....	57
6.8.	Análisis económico.....	57
6.8.1.	Rendimiento ajustado .....	57
6.8.2.	Beneficio bruto .....	58



6.8.3.	Costos variables .....	58
6.8.4.	Costos fijos .....	59
6.8.5.	Costos Totales .....	59
6.8.6.	Beneficio neto .....	60
6.8.7.	Beneficio costo.....	60
7.	CONCLUSIONES.....	61
8.	RECOMENDACIONES .....	62
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	63

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica.....	4
<b>Cuadro 2</b> Requerimiento nutricional del apio.....	11
<b>Cuadro 3.</b> . Conductividad eléctrica para el cultivo del apio (mmhos/cm).....	25
<b>Cuadro 4.</b> Material variedades de semilla.....	32
<b>Cuadro 5.</b> Fertilizantes empleados.....	32
<b>Cuadro 6.</b> Material para almacigo de semilla.....	33
<b>Cuadro 7.</b> Material de piscina.....	33
<b>Cuadro 8.</b> Material de soporte piramidal.....	34
<b>Cuadro 9.</b> Material de laboratorio.....	34
<b>Cuadro 10.</b> Material de gabinete.....	35
<b>Cuadro 11.</b> Material de campo.....	35
<b>Cuadro 12.</b> Detalle de la formulación nutricional en base al requerimiento.....	38
<b>Cuadro 13.</b> Descripción de la superficie utilizada de la carpa y el sistema (NFT).....	42
<b>Cuadro 14.</b> Porcentaje de germinación de las dos variedades de apio.....	46
<b>Cuadro 15.</b> Análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento en sistema hidropónico (NFT).....	47
<b>Cuadro 16.</b> Análisis de varianza para el número promedio de pencas del cultivo de apio.....	48
<b>Cuadro 17.</b> Test Duncan al 5% para el Factor “A” Variedades.....	49
<b>Cuadro 18.</b> Test Duncan al 5% para el Factor tiempo.....	50

<b>Cuadro 19.</b> Análisis de varianza para la altura de planta en el sistema (NFT) el día de la cosecha.....	52
<b>Cuadro 20.</b> Test Duncan al 5% para el Factor “A” Variedades.....	53
<b>Cuadro 21.</b> Test Duncan al 5% para el Factor tiempo.....	53
<b>Cuadro 22.</b> Análisis de varianza para el peso de la planta del cultivo de apio.....	54
<b>Cuadro 23.</b> Test Duncan al 5% para el Factor “A” Variedades.....	55
<b>Cuadro 24.</b> Test Duncan al 5% para el Factor corte.....	56
<b>Cuadro 25.</b> Rendimiento ajustado.....	58
<b>Cuadro 26.</b> Beneficio expresado en kilogramos.....	58
<b>Cuadro 27.</b> Costos Variables para un m <sup>2</sup> .....	58
<b>Cuadro 28.</b> Costos fijos para un m <sup>2</sup> .....	59
<b>Cuadro 29.</b> Costos Totales para un m <sup>2</sup> .....	59
<b>Cuadro 30.</b> Beneficio neto para un m <sup>2</sup> .....	60
<b>Cuadro 31.</b> Relación beneficio/costo (Bs).....	60

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama de flujo de la producción de fertilizantes.....	30
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica del trabajo de investigación.....	31
<b>Figura 3.</b> Presencia de formas químicas de carbonatos, bicarbonatos a ácido carbónico en función del pH del agua.....	42
<b>Figura 4.</b> Croquis experimental.....	45
<b>Figura 5.</b> Medidas de la estructura para el sistema hidropónico (NFT).....	45

## INDICE DE GRAFICA

<b>Grafica 1.</b> Temperaturas máximas, mininas y promedio.....	45
<b>Gráfica 2.</b> Interacción factor tiempo y variedad.....	51
<b>Gráfica 3.</b> Interacción variedad y tiempos de corte.....	54
<b>Gráfica 4.</b> Test Duncan al 5% para el Factor tiempo.....	56

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Apio ( <i>Apium graveolens L.</i> ).....	68
<b>Anexo 2.</b> Acondicionamiento de pirámide y producción.....	68
<b>Anexo 3.</b> Análisis químico del agua. ....	77
<b>Anexo 4.</b> Temperaturas máximas y mínimas durante el ciclo del cultivo.....	78

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental de Cota Cota, perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. Con la finalidad de investigar el cultivo de Apio (*Apium graveolens L.*), producido en forma intensiva y en espacios reducidos haciendo uso de la técnica hidropónica (NFT) de forma piramidal, con la que se obtiene productos finales de alta calidad. El objetivo principal es evaluar cortes posibles en dos variedades de Apio (*Apium graveolens L.*), los objetivos específicos a determinar fueron comparar el crecimiento de las dos variedades, identificar la variedad con mayor rendimiento y realizar un análisis preliminar de la producción de apio con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes.

El estudio se realizó en un sistema de pirámides, iniciando con el almacigo, piscina y pirámide en cada etapa de crecimiento se realizó un trabajo diferente para la adaptación del cultivo con fertilizantes y en pirámide se trasplanto las plántulas al canal de cultivo para ver su desarrollo y tomar mediciones de las variables de respuesta; Para el diseño se optó por usar un diseño de bloques al azar (DBA), en el transcurso del ciclo del cultivo se realizaron mediciones de las variables de respuesta: altura de planta, número de pencas diámetro de la penca, peso de la planta a la cosecha, rendimiento y calidad del cultivo.

Obteniendo los resultados de acuerdo a la evaluación en los tres cortes se obtuvo en peso es para el I-G=12,1 kg/m<sup>2</sup> (primer bloque con la variedad *Golden self*), y I-T=10,05kg/m<sup>2</sup> (primer bloque con la variedad *Tall utah 52-70*). Para altura de planta los tratamientos pertenecientes a la variedad *Golden self* son los que más desarrollaron en altura de planta con respecto a la variedad *Tall utah 52-70*.

La diferencia de las variedades en altura de planta es debido a las características morfológicas (largo del peciolo) que mostro la variedad *Tall utah 52-70* durante todo el ensayo.

El análisis económico que se realizó en el cultivo muestra que I-G con un B/C= 3,7 Bs. Y I-T con un B/C=2,8 proporcionando un mayor costo/beneficio siendo rentable con tres cortes realizados en el estudio de investigación.

## ABSTRACT

The present research work was carried out at the Experimental Center of Cota Cota, belonging to the Faculty of Agronomy of the Universidad Mayor de San Andres. In order to investigate the cultivation of Celery (*Apium graveolens L*), produced intensively and in small spaces using the hydroponic technique (NFT) of pyramidal shape, with which it is possible to obtain final products with high quality. The main objective is to evaluate the number of possible cuts in two varieties of Celery (*Apium graveolens L*), the specific objectives to be determined were to compare the growth of the two varieties, identify the variety with the highest yield, perform a preliminary analysis of celery production with the hydroponic technique of laminar flow of nutrients.

The study was carried out in a system of pyramids, warehouse, pool and pyramid at each stage of growth a different work was carried out for the adaptation of the crop with fertilizers and in pyramid the seedlings were transplanted to the crop channel to see their development and take measurements of the response variables; For the design it was decided to use a random block design (DBA), in the course of the crop cycle measurements were made of the response variables: plant height, number of stalks, diameter of the stalk, weight of the plant to the harvest, yield and quality of the crop.

Obtaining the results according to the evaluation in the three cuts was obtained in weight is for I-G = 12.1 kg / m<sup>2</sup> (first block with the Golden self variety), and

I-T=10.05kg/m<sup>2</sup> (first block with the variety *Tall utah 52-70*). For plant height, the treatments belonging to the *Golden self* variety are the ones that developed the most in plant height with respect to the *Tall utah 52-70* variety.

The difference of the varieties in plant height is due to the morphological characteristics (length of the petiole) that showed the variety *Tall utah 52-70* throughout the trial.

The economic analysis that was carried out in the crop shows that I-G with a B / C = 3.7 Bs. And I-T with a B/C=2.8 Bs. providing a higher cost/benefit being profitable with three cuts made in the research study.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en Bolivia el cultivo de apio tiene un mercado amplio y muchas familias lo tienen como parte de la canasta familiar debido a sus buenas propiedades vitamínicas, medicinales y culinarias. En esta investigación se propone establecer mejores condiciones para el cultivo de apio alternativas para que el producto sea de buena calidad y apetecible en el mercado. Y un apio de gran calidad tiene tallos bien formados, pecíolos gruesos, compactos, poco curvados, una apariencia fresca y color verde claro. Otros índices de calidad son el largo de los tallos y de la nervadura central de la hoja, ausencia de defectos.

Hoy en día la técnica de producción del cultivo de plantas, sin suelo es el método más intensivo de producción hortícola; generalmente es de alta tecnología y de fuerte capital. Con esta técnica se obtienen hortalizas de excelente calidad y sanidad, y se asegura un uso más eficiente del agua y fertilizantes. Los rendimientos por unidad de área cultivada son altos, por la mayor diversidad y elevada productividad por planta y en menor tiempo.

El sistema de recirculación de solución nutritiva "NFT" Nutrient Film Technique, fue desarrollado en el Glasshouse Crop Research Institute, Inglaterra, en la década de los sesenta. El principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado. La técnica de película de nutriente (NFT), se destaca en relación a otras técnicas hidropónicas, es la alta calidad obtenida de diferentes productos hortícolas, en un corto período de cultivo como también de rendimiento Carrasco (2006).

En hidroponía no se utiliza sustrato como en la agricultura tradicional. En su lugar, se utiliza unos contenedores especiales y un sistema de riego con el fin de trabajar solo con agua para mantener plantas saludables. Mediante la adición de un poco de solución nutritiva al agua, y de una bomba para recircular el agua, se da a las plantas todo lo que necesitan sin tener que luchar con el suelo y otros temas que están presentes Ross (2016).



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Evaluar la producción de dos variedades de apio (*Tall utah 52-70* y *Golden self*), bajo diferentes tiempos de corte en sistema hidropónico NFT en la estación experimental de Cota Cota – La Paz.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Comparar el crecimiento de la etapa productiva de dos variedades de cultivo de apio.
- Identificar la variedad que tiene mayor rendimiento con la técnica hidropónica recirculante NFT.
- Realizar un análisis económico preliminar de la producción de apio con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes.

## **3. REVISION BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Cultivo de apio**

#### **3.1.1. Origen del apio**

El apio (*Apium graveolens L.*) fue utilizado por egipcios, romanos y griegos desde el año 1000 A.C. Se lo usaba en ceremonias deportivas y religiosas (en coronas y trofeos) y también como medicinal. En el año 1623 en Francia, se lo comenzó a consumir como condimento, y recién en 1686, en fresco. El apio posee múltiples propiedades culinarias, nutritivas y nutraceuticas Pino (2015).

Según Zohary y Hopf (2000), las hojas de apio y las inflorescencias fueron parte de las guiraldas encontradas en la tumba de Tutankamón, faraón del antiguo Egipto. Sin embargo, los griegos los consagraban a las divinidades, los Romanos lo consumían en banquetes funerarios, en la edad media se potenciaron sus propiedades culinarias y curativas, dado que *Apium graveolens* crece silvestre en estas áreas, es difícil decidir si estos restos representan formas silvestres o cultivadas. Solo en tiempos clásicos es cierto que se cultivó el apio.

### **3.1.2. Importancia del cultivo de apio**

Según Lessico (2017), la planta de apio se usa en todo el mundo como vegetal, por su peciolo crujiente (tallo de la hoja) o la raíz pivotante carnosa. En países templados, el apio también se cultiva por sus semillas, que producen un valioso aceite volátil utilizado en las industrias farmacéuticas y de perfumes.

El mismo autor describe que la planta entera es suavemente estimulante, nutritiva y reparadora; puede licuarse y tomarse jugo para inflamaciones de las articulaciones y del tracto urinario, como la artritis reumatoide, la cistitis o la uretritis, en condiciones débiles y agotamiento nervioso y la raíz es un diurético efectivo y se ha tomado para cálculos urinarios. En la nutrición el apio sigue siendo valioso en las dietas, ya que proporciona una masa de fibra baja en calorías.

Según Kimura (2015), el apio es una hortaliza muy saludable con grandes propiedades nutricionales y medicinales. Se utiliza para preparar platos nutritivos y tradicionales como las sopas. Hipócrates lo utilizaba por sus propiedades medicinales y los romanos y griegos lo utilizaban tanto por sus usos culinarios como curativos. Es una verdura importante para adelgazar y perder peso de forma saludable.

El mismo autor señala que el apio contiene vitaminas A, B1, B2, B6, B9, C y E, minerales como el potasio, sodio, calcio, zinc, magnesio, hierro, azufre, fósforo, cobre y silicio, aceite esencial y fibra. El apio es una verdura con acción antioxidante, cardio protector, antibacteriana, diurética, antiinflamatorio, expectorante, depurativa, sedante, digestiva, inmune estimulante, analgésico. Entre los beneficios del apio para la salud tenemos lo siguiente:

- a) Es uno de los diuréticos más potentes.
- b) Aumenta nuestras defensas naturales.
- c) Ayuda a depurar el organismo.
- d) Contribuye el buen funcionamiento del sistema nervioso y muscular.
- e) El apio ayuda a reducir la tensión arterial.
- f) Favorece la reducción de los niveles de glucemia.

- g) Está recomendada en dolencias articulares y reumatismo.
- h) La fibra de apio ayuda a reducir el colesterol en sangre.
- i) Puede aliviar los dolores articulares.
- j) Puede contribuir a eliminar los cálculos renales y biliares.
- k) Acelera la cicatrización de heridas.

### 3.1.3. Clasificación taxonómica

Según Linneo, citado por (Carrillo Romero, 2002), el apio se clasifica desde el punto de vista taxonómico como se describe en cuadro 2, muestra la clasificación taxonómica del apio.

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica

Taxonomía	
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Apiales
Familia:	Apiacea
Género:	Apium
Especie:	Apium graveolens var. Dulce Mill Golden self Apium graveolens var. Dulce Mill Tall-utah 52-70

**Fuente:** Rojas, (2013)

### 3.1.4. Características botánicas

Según Del Pino, (2020), el apio es una planta herbácea bianual o perenne, posee una raíz pivotante que en condiciones adecuadas puede alcanzar unos 60 cm; el tallo es un eje corto del que salen una roseta de hojas alternas que poseen un pecíolo carnoso con la base en forma de cuña. Del cuello de la raíz brotan tallos herbáceos que pueden alcanzar hasta unos 80 cm de altura y forman una penca (tallo) muy gruesa y carnosa con numerosas hojas que constituye la parte comestible.

Así mismo describe que las pencas presentan hojas raramente enteras pinnadas o pluripinnadas y de color verde; forman un tallo floral, las flores son blancas o violetas según la variedad con inflorescencia en umbelas simples o compuestas, formada por flores perfectas con 5 pétalos. Los frutos son diaquenios y comercialmente son considerados semillas; las semillas están dentro del fruto formado por dos carpelos y tienen un tamaño muy pequeño. El peso de 1000 semillas de apio es aproximadamente de 0.5 g.

- **Raíz.** Tiene raíz pivotante, potente y profunda, con raíces secundarias superficiales. Del cuello de la raíz brotan tallos herbáceos que alcanzan de 30 a 80 cm. de altura (Casaca, 2005).
- **Tallo.** Los mismos autores describen que los tallos son de color blanco a verde intenso, ensanchados en la base, con largo y ancho variables: usualmente entre 30 a 50cm y 2 a 5cm respectivamente, en las hojas más externas, hasta hacerse insignificantes en los primordios foliares que rodean la yema apical. Son estructuras glabras, con la cara adaxial cóncava y la cara adaxial convexa, surcada por estrías longitudinales. La naturaleza carnosa, succulenta y crocante del tallo está dada por la predominancia de células parénquima ticas, con grandes espacios intercelulares en el córtex, en el que se encuentra inmerso los haces vasculares, rodeados de colénquima angular. Estas estructuras surcan los pecíolos en toda su extensión y resultan en las “fibras” sacadas al pelar el apio Casaca (2005).
- **Hoja o Penca.** Pino, (2015) Nos señala que las hojas son grandes que brotan en forma de corona; el pecíolo es una penca muy gruesa y carnosa que se prolonga en gran parte del limbo. Las hojas centrales (más jóvenes) tienen escaso crecimiento, están apretadas y forman juntos con los peciolos el “corazón del apio”. El mismo autor señala que las hojas son bipinnadas o tripinnadas, de color verde claro u oscuro. En condiciones normales, la parte aérea alcanza los 40 - 60 cm de altura. Al segundo año, el tallo se estira alcanzando los 80 - 100 cm, terminando en una inflorescencia (umbelas) blanquecina. Los frutos o semillas son diaquenios, de tamaño muy pequeño, de

forma aplanada ventralmente, con surcos en toda su longitud, con alto contenidos de aceites esenciales.

- **Flor** El mismo autor indica, que la floración en el apio se motiva principalmente, por la acción de temperaturas vernalizantes, durante un cierto tiempo (normalmente temperaturas por debajo de 7° a 10°C, actuando por un periodo comprendido entre 14 y 28 días), cuando la planta ya tiene un cierto tamaño, momento en que es capaz de recibir el estímulo vernalizador. Desde que se planta, hasta que se recolecta, tiene una duración aproximada de unos 4 meses.
- **Semilla** La semilla tiene una facultad germinativa media de 5 años; en un grano de semilla entran aproximadamente 2.500 unidades. Según Thompson y Kelly, la floración en el Apio se motiva principalmente por la acción de temperaturas vernalizantes durante un cierto tiempo (normalmente temperaturas por debajo de 7°C a 10°C, actuando por un período comprendido entre 14 y 28 días), cuando la planta ya tiene un cierto tamaño, momento en que es capaz de recibir el estímulo vernalizador. Desde que se planta hasta que se recolecta tiene una duración aproximadamente de unos 4 meses.

### 3.2. Descripción del cultivo

Según Mendoza, (2019), sostiene que el apio común, es una planta bienal que posee tallos estriados, hojas pinnadas y una raíz pivotante y profunda. La inflorescencia es una umbela compuesta y el fruto es un esquizocarpo; la raíz es pivotante y puede destruirse con el trasplante, dando lugar a un sistema radical relativamente profundo, pudiendo llegar a 60 - 70 cm de profundidad. El primer año da una roseta de hojas esta es la parte comestible.

Del Pino, (2020), indica que el apio es una planta herbácea bianual o perenne, posee una raíz pivotante que en condiciones adecuadas puede alcanzar unos 60 cm; el tallo es un eje corto del que salen una roseta de hojas alternas que poseen un pecíolo carnoso con la base en forma de cuña. Del cuello de la raíz brotan tallos herbáceos que pueden alcanzar hasta unos 80 cm de altura y forman una penca (tallo) muy gruesa y carnosa con numerosas hojas que constituye la parte comestible.

Así mismo describe que las pencas presentan hojas raramente enteras pinnadas o pluripinnadas y de color verde; forman un tallo floral, las flores son blancas o violetas según la variedad con inflorescencia en umbelas simples o compuestas, formada por flores perfectas con 5 pétalos. Los frutos son diaquenos y comercialmente son considerados semillas; las semillas están dentro del fruto formado por dos carpelos y tienen un tamaño muy pequeño. El peso de 1000 semillas de apio es aproximadamente de 0.5 g.

Leaño, citado por Mendoza (2019), conceptualiza que el apio es una planta herbácea bienal, de cultivo anual, y de no gran desarrollo, es una planta de tallo y peciolo largos y estriados longitudinalmente. Del cuello de la raíz parten una serie de hojas erectas, dotadas de un largo y sólido peciolo, que constituye su parte comestible; el limbo está dividido en 5 - 10 segmentos que, se caracterizan por su intenso olor aromático.

Leaño también informa que en el segundo año de vida, o en condiciones especiales en el primer año, se forma el tallo portador de unas pequeñas flores reunidas, en umbelas compuestas, dando lugar a unas pequeñísimas semillas que, a su vez, desprenden un intenso aroma.

### **3.3. Almacigo en sustrato**

Según (Beltrano & Gimenez, 2015), el sustrato es material sólido distinto del suelo natural que colocado en un contenedor en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema radicular, está formado por tres fases:

- Fase sólida, constituida por las partículas del sustrato propiamente dicha.
- Fase líquida, constituida por el agua o solución que contiene sustancias disueltas.
- Fase gaseosa, que es el aire en los poros del sustrato.

El mismo autor indica que la fase líquida depende la disponibilidad de agua para las plantas y es el soporte y transporte de los nutrientes. Un sustrato se puede definir por una serie de características físicas, químicas y biológicas, que determinan su comportamiento como medio de cultivo. De un sustrato se espera que sea el medio de cultivo ideal, mediante el cual obtenemos el máximo rendimiento potencial de un

cultivo. Entre los factores corrientes que determinan el comportamiento del sustrato, se pueden mencionar: el manejo del riego, condiciones climáticas, material vegetal a cultivar (semillas, plantines, estacas, etc.). Lo ideal sería tener un sustrato para cada condición y cultivo o para cada combinación de factores participantes.

La espuma de poliuretano es un polímero orgánico sólido producido mediante síntesis química. No es biodegradable y tiene una disponibilidad y un precio bastante consistentes. Es necesario determinar qué sustrato producirá las características promedio de dureza, elasticidad y humedad que no afectarán el crecimiento de la planta Porta, (2015).

### **3.4. Variedad**

- **Variedad *Tall-utah 52-70***

Este tipo se caracteriza, por resultar en un producto de pecíolos de color verde intenso, casi hasta el centro de la planta. Este es el tipo dominante en América y en la producción nacional. Esta variedad es mediana de color verde. La planta puede alcanzar un tamaño de 55 cm. El tallo tiene muy buen color y excelente grosor, suavidad y nivel de fibra, alcanzando una longitud de 28 cm antes del primer nodo, Campos (2022).

Variedad de maduración medio tardía de crecimiento vigoroso y alto rendimiento. Follaje verde oscuro y de porte medianamente alto. Ramas de unos 25 -- 30 cm de longitud, lisos, verdes, carnosos y de excelente sabor. Se puede consumir tanto crudo como cocido Hornerwald (2022).

Del Pino, Horticultura (2018), concluye que la variedad de apio *Tall-utah 52-70* pertenece al grupo de apios verdes y a los cultivares de la variedad dulce de apio o apio acostillado, presenta pecíolos carnosos, gruesos, largos (pencas), que constituyen el principal aprovechamiento. Los cultivos de apios verdes son más aptos para el cultivo al aire libre y requieren ser blanqueados.

Casseres, citado por Choque (2021), menciona que las normas de calidad dan mayor mérito al grosor del peciolo, a la succulencia y resistencia a las enfermedades; por esa

razón indica que tipo verde se considera superior al tipo amarillo. Normalmente el tipo verde no se somete a blanqueamiento, pero un grupo de sus variedades que son un tono verde claro, pueden blanquearse y así son aceptados en el mercado. Los cultivares representativos del apio verde son Pascal, Utah y Fordhook.

- **Variedad *Golden Self***

Variedad de hojas con disposición de color verde oscuro, estrechas y largas. Sobrepasando los 30 cms. Limbos partidos cubriendo el nervio central, que en su base toma un color violáceo. Para el blanqueo se atan de 15 a 20 días antes de la recolección. Sabor dulce Villaverde (2022).

Punto (2022), asegura que el apio tiene un alto contenido de fibra, vitaminas (C), ácido fólico y minerales (potasio, sodio y calcio). Es considerado un buen diurético debido al alto porcentaje de agua y ayuda a eliminar impurezas. También contiene sustancias anticancerígenas. Además, disminuye las enfermedades hepáticas, combate las infecciones y mejora la memoria. En uso externo se comporta como cicatrizante.

Carrillos, citado por Choque (2021), indica que cultivares Dorados o Amarillos: el cultivo de estas variedades es más complejo que el de las verdes. Las variedades amarillas son susceptibles a la floración precoz y al ataque de hongos. El tipo dorado lo forman las variedades que las partes centrales de la planta se auto blanquean (el blanqueado consiste en frenar el desarrollo de la clorofila en las plantas), al excluir la luz solar de los peciolos.

### **3.5. Manejo del cultivo**

#### **3.5.1. Germinación**

La germinación se tiene lugar a las tres semanas de la siembra, si durante este periodo se mantiene una temperatura en torno a 10 a 15 °C, a medida que incrementa la temperatura se inhibe la germinación. Si la temperatura es mayor de 26 °C se produce la inhibición de la germinación Choque (2021).



Las semillas de todas las especies requieren por lo menos de tres factores ambientales para que la germinación pueda ocurrir: 1) agua, 2) oxígeno y 3) temperatura. Un cuarto factor, luz, parece ser esencial para la germinación de algunas semillas de especies silvestres. Agua. La absorción de agua por la semilla, inicia la serie de procesos físico-químicos para que se lleve a cabo la germinación. Oxígeno. Durante el proceso de germinación se acelera la respiración y, por tanto, se incrementa el requerimiento de oxígeno, especialmente en la fase de degradación de los almidones contenidos en los cotiledones. Temperatura. En ausencia de otro factor limitante, las semillas de cualquier especie germinan en un cierto rango de temperatura Zarate (2014).

### **3.5.2. Siembra**

Al respecto, Rubatzi y Yamaguchi, citado por Choque (2021), para este sistema no tenemos fechas establecidas de siembra como lo es en un cultivo de suelo son ventajas que nos trae el sistema hidropónico.

Se usa esponja para que sea el sustento de la plántula así la raíz flotara en el sistema y tendrá contacto con el agua por capilaridad, absorbe el agua al igual que la esponja.

### **3.5.3. Trasplante**

El trasplante al contenedor se hace cuando la planta tiene cinco o seis semanas de crecimiento, o bien, si ya alcanzó 3 - 4 centímetros de altura o presenta cuatro o cinco hojas verdaderas. Cualquiera de estas tres condiciones determina el momento del trasplante. Dependiendo de la especie, en el contenedor se dejará la distancia suficiente entre plantas para permitir su crecimiento Zarate (2014).

### **3.5.4. Reposición de fallas**

Dada su rusticidad y buena reacción al trasplante, la reposición de las plantas de apio se puede efectuar durante la primera semana posterior al trasplante; las pérdidas que ocurren son escasas. Al realizar la reposición de fallas se debe reemplazar todas las plantas secas o en malas condiciones y que es normal reponer hasta el 10 % del cultivo.

Durante el ciclo del cultivo pasados entre 7 a 10 días luego del trasplante es necesario realizar la reposición de fallas, no conviene que pase mucho tiempo para que no haya diferencia entre las plantas Rios (2022).

### 3.5.5. Requerimientos nutricionales del apio

Según Murillo y Jaimes (2020) para la producción de Apio, se tiene la siguiente relación:

**Cuadro 3.** Requerimiento nutricional del apio

<b>N-NO3</b>	<b>N-NH4</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>Fe</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Mo</b>
220	10	50	240	180	45	70	4	0,5	0,15	0,15	0,05	0,1

**Fuente:** (Choque, 2021) en base a (Resh, 2002) y (Cabezas, 2012)

### 3.5.6. Requerimientos Climáticos

- **Clima**

El apio de tallo, es un cultivo de clima templado, que al aire libre no soporta los fríos de invierno, cuando la planta está en el periodo de desarrollo, si ocurre una disminución fuerte de temperatura durante algunos días, puede dar lugar a que la planta florezca antes de tiempo; este problema se va disminuyendo cuando el suelo este acolchado con lámina de plástico. Necesita luminosidad, para su crecimiento, Belletti, citado por Machaca S. (2007).

- **Temperatura**

La temperatura para la germinación de la semilla es de 10 a 15 °C, con la cual emergen a los 10 días después de la siembra. Para la producción de plántulas en almácigo son necesarias temperaturas por encima de los 15 °C. Algunos productores recomiendan el aporte de estiércol para poder proporcionar calor a las camas de germinación. El apio es una hortaliza de clima templado, que puede llegar a tolerar heladas muy ligeras. Debe contar con una temperatura media mensual de 16 a 21 °C para un buen crecimiento y desarrollo del apio. Cuando las temperaturas son mayores a los 25 °C y la planta se encuentra cerca de la madurez, esta detendrá su crecimiento y se producirá un sabor fuerte y amargo en la parte comestible Blanco (2017).

- **Luminosidad**

La luminosidad es considerada uno de los factores más importantes del medio, ya que es parte integrante del proceso de fotosíntesis de la clorofila en las plantas, el crecimiento, el fototropismo, la morfogénesis, fotoperiodismo, la formación de pigmentos y vitaminas. El anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) junto a la luz más la temperatura ayudan a la fotosíntesis, para obtener mayores resultados cuantitativos precocidad y buena calidad, Flores (1999) citado por Choque (2021).

En cultivos de hoja la luminosidad es muy importante para el correcto desarrollo del producto final, tiene una alta incidencia el manejo y así poder tener mejor desarrollo de tallos y hojas para una cosecha aceptable.

- **Requerimiento Hídrico**

Casaca (2005), Indica que, por las condiciones de su ambiente de origen, el apio requiere abundante cantidad de agua especialmente en los periodos de alta temperatura y al final del ciclo de cultivo. Se estima que el requisito mínimo está en una lámina total de alrededor de 800 mm de agua con una demanda baja al inicio (salvo luego del trasplante). Uno de los problemas asociados con la alta demanda de agua lo representa una enfermedad fisio génica conocida como corazón negro que se ve favorecida con periodos de alta transpiración. Así mismo, periodos de estrés hídrico pueden provocar la aparición de un ahuecamiento en los pecíolos que también afecta la calidad comercial.

Este cultivo es exigente en humedad del suelo, pero sin que llegue a ser exagerada; los riegos deben permitir que el suelo esté en un estado perfecto de humedad. Si el suelo sufre sequedad da lugar a un embastecimiento de los tejidos y, por tanto, a una pérdida de calidad. Cuando está en las primeras fases de su desarrollo, el riego debe ser abundante y regular, ya que la plántula debe tener un crecimiento continuo. En todo su ciclo, este cultivo sufre estrés si hay escasez de agua en el suelo.

### **3.5.7. El PH**

El tercer factor a tener en cuenta en una solución nutritiva es el pH. Este parámetro juega un papel fundamental en la disponibilidad de los elementos para la planta, bien

por la insolubilización de éstos, bien por el paso a una forma no asimilable por las raíces. En determinados casos, los dos procesos se dan a la par. Por otra parte, los pH extremos dañan directamente las raíces Santos (2016).

Se define el pH como el índice, que permite valorar la concentración de iones hidrogeno contenidos en una solución. Las soluciones con pH menor que 4 o pH mayor que 9, no deben emplearse para la producción vegetal, porque son muy ácidas o muy alcalinas respectivamente. De esta forma es posible determinar el pH de los suelos agrícolas, que son más apropiados, para un determinado cultivo. Y por extensión, es posible determinar el pH para cultivos. El pH recomendado para obtener una producción de calidad en cultivo de apio, oscila entre valores pH de 6,7 a 7,0. Maroto (2000), citado por Choque (2021).

### **3.5.8. Deficiencias de elementos nutritivos en el cultivo de Apio**

(Del Pino, Horticultura, 2018), afirma que para el cultivo de apio es conveniente mantener un elevado nivel de nitrógeno disponible en las últimas semanas del ciclo del cultivo. Es una planta sensible al déficit de calcio, magnesio y boro, carencias que provocan fisiopatías características:

#### **3.5.8.1. Macronutrientes**

- La carencia de calcio produce una alteración fisiológica llamada "corazón negro" o "black heart", que consiste en un desorden de tipo fisiológico que afecta los tejidos jóvenes en activo crecimiento, nombre que deriva de la coloración negra que adquieren las hojas interiores de la planta por la necrosis de los tejidos.
- La carencia de magnesio produce clorosis foliar en las hojas más viejas y un menor desarrollo.

Mendoza (2019), menciona las deficiencias de calcio aparentemente causa en el apio un trastorno fisiológico en la planta, el cual se manifiesta en un ennegrecimiento del cogollo, con necrosis marginal de la hoja.

- La falta de Nitrógeno, los primeros síntomas son la reducción del crecimiento vegetativo, amarilleo y decaimientos de la hoja. Si la deficiencia es muy acusada

el crecimiento se paraliza, tiene lugar un amarillamiento en toda la planta y se observan manchas cloróticas interne viales en los limbos que evolucionan a moteado necrótico.

- Los síntomas de la carencia de Azufre son muy similares a los del Nitrógeno, ya que las plantas manifiestan una clorosis generalizada, pero a diferencia del Nitrógeno, los síntomas aparecen primero en las hojas jóvenes debido a que es un compuesto con escasa movilidad.
- La carencia de Potasio presenta síntomas característicos de la carencia son observados en las hojas basales, con un amarillamiento en bordes y posterior necrosis conforme avance la carencia. Se observa un acortamiento de los entrenudos pudiendo llegar a producir defoliación de las hojas viejas.
- Las elevadas necesidades de Fosforo en estos tejidos obligan, en caso de carencias, a la movilización del mismo desde otras partes de la planta. Este traslado se realiza desde las hojas viejas, donde se visualizarán los primeros síntomas de deficiencia. El diagnóstico foliar muestra decoloraciones irregulares marrones en algunas especies y coloración purpuras en las nervaduras, en el envés de las hojas y peciolo debido a la acumulación de pigmentos antociánicos. Se reduce significativamente el crecimiento de la planta y si la carencia es severa se observan claros síntomas de enanismo, Beltrano y Gimenez (2015).

#### **3.5.8.2. Micronutrientes**

- La carencia de Hierro en las plantas se manifiesta con clorosis internerval en las hojas jóvenes, debido a que este elemento no se moviliza rápidamente desde las hojas más viejas. En condiciones extremas o severas de carencia de clorosis en la zona apical se intensifica, la división celular se inhibe y consecuentemente se detiene el crecimiento, Beltrano & Gimenez (2015).
- La carencia de Manganeso aparece la zona media de la planta con clorosis internerval pudiendo llegar a observarse necrosis en caso que la deficiencia sea severa.

- La deficiencia de Cobre está dada por la aparición de hojas color verde oscuro, seguido de posterior necrosis y torsión de la hoja hacia el envés. Las manchas necróticas aparecen primero en los extremos de las hojas jóvenes que se extienden hacia la base a lo largo de los márgenes foliares. Este elemento posee escasa movilidad e las plantas una vez que fue absorbido.
- La deficiencia de Boro da lugar a la fractura de las fibras vasculares en los peciolo, dando la apariencia de grietas transversales.
- Carencia de Molibdeno el primer síntoma de carencia es una clorosis general internerval y posterior necrosis de las hojas más maduras. El aporte de pequeñas cantidades de Molibdeno mejora de manera notable el crecimiento de los cultivos.
- Este elemento se absorbe como  $Cl^{-1}$ , y se requiere en pequeñas cantidades. Está relacionado con la liberación de  $O_2$  en el proceso fotosintético. Su carencia produce deterioro de los cloroplastos, disminuyendo el crecimiento aéreo y radicular del vegetal.
- La ureasa es la única enzima conocida en las plantas que contenga Ni, aunque los microorganismos fijadores de Nitrógeno requieren de Níquel para activar la enzima que reincorpora parte de Hidrogeno gaseoso generando durante la fijación. Las plantas con carencia de Níquel acumulan urea en sus hojas y en consecuencia manifiestan necrosis en sus extremos.

### **3.5.9. Plagas, enfermedades del apio**

Los métodos hidropónicos de producción de hortalizas aumentan la productividad y la inocuidad de los productos obtenidos al mismo tiempo que, por la aplicación de técnicas apropiadas, reducen las plagas y enfermedades. Sin embargo, estos cultivos no escapan a la necesidad de controlar plagas y enfermedades a través de métodos de bajo impacto para la salud humana y el ambiente. Los sistemas hidropónicos son mucho menos propensos a tener ninguno de los problemas de enfermedades transmitidas por la tierra que afectan a las plantas de producción tradicional. Los hongos e insectos que viven en la tierra no estarán presentes en el medio de cultivo

de un sistema hidropónico, lo que reduce la cantidad de productos químicos necesarios para una planta saludable y hace que sea menos probable que se pierda el cultivo debido a la interferencia de enfermedades y plagas del suelo. En plantas hidropónicas que crecen en interiores, es más fácil de identificar los problemas de plagas antes de que se conviertan en un problema grave Beltrano & Gimenez (2015).

### 3.5.9.1. Plagas

- **Mosca del Apio** (*Phylophyllo heraclei* L.)

Esta segunda especie se diferencia de la anterior en que la hembra pone sus huevos en las hojas de los apios y también en otras umbelíferas. Las larvas excavan galerías en el interior de las hojas, entre la epidermis, con lo que pueden secarse los tejidos. En primavera los daños pueden ser más graves en las plantaciones más jóvenes. En otoño, los apios ya están suficientemente desarrollados para que las larvas diseminadas ocasionen estragos Porta (2015).

- **Pulgones** (*Aphis spp.*, *Myzus persicae*)

Además del daño directo que ocasionan, los pulgones son vectores de enfermedades viroticas, por tanto son doblemente peligrosos. Se alimentan picando la epidermis, por lo que producen fuertes abarquillamientos en las hojas que toman un color amarillento, existen diferentes depredadores de pulgones como *Coccinella Septempuncta*, *Chrysopa* y algunos parásitos himenópteros que desarrollan sus larvas en el interior del pulgón.

### 3.5.9.2. Enfermedades

La invasión más común en las hojas de apio es la Septoriosis, que provoca en las hojas y el peciolo unas manchas de color claro que después toman una coloración roja y parda, la humedad favorece esta enfermedad, por lo que es fácil que los planteles presenten sus síntomas en los años muy lluviosos. Las plantas afectadas no se desarrollan como debieran, las hojas pierden su color, amarillean y acaban por secarse (Leaño), citado por Mendoza (2019).

Así mismo Leañó menciona que las invasiones se originan muy especialmente, cuando las plantas han alcanzado su total desarrollo; el producto se desprecia y se valora poco en el mercado.

- **Sclerotinia sclerotiorum (Lib) de By**

Hongo que provoca problemas muy graves a este cultivo. Produce un micelio blanco-violáceo que da lugar a una podredumbre blanca de olor muy desagradable en la base de la planta Del Pino (2018).

- **Fusarium**

La enfermedad se caracteriza por un amarillamiento y marchitamiento gradual del tallo y follaje del apio. La enfermedad se inicia desde la base del tallo y raíz en forma de secamiento que va avanzando de abajo hacia arriba, hasta cubrir toda la planta y esta muere.

- **Tizon tardío (*Septoria apii*)**

Esta enfermedad afecta al apio, se manifiesta por manchas amarillas en los tallos y hojas, al avanzar la enfermedad las manchas se tornan de un color gris oscuro salpicados de puntitos negros. esta causada por el hongo *septoria* que vive en el suelo por años en restos de cultivos. Es uno de los principales problemas que acompañado de lluvias ocasiona un 40% de pérdida de las pencas y aunque no se pierda la planta afecta la venta en peso y en pie.

- **Phytium**

Afecta raíces, especialmente las de las plántulas. El crecimiento de las plantas infectadas se retrasa y las plántulas empiezan a caerse. En plantas algo más viejas, las hojas pierden su turgencia o sus puntas amarillean, por ejemplo, en los bulbos florales. Al principio, las plantas se recuperan por la noche, pero al final las plantas se marchitan irreversiblemente. Las raíces secundarias se pudren y solo una pequeña parte del sistema radicular sobrevive. En el límite entre el aire y suelo o sustrato la planta se vuelve marrón. Un síntoma típico de una infección de *Pythium* es que la corteza radicular se elimina fácilmente usando las uñas.



### **3.6. Hidroponía**

Douglas e Izquierdo, citado por Delgado (2016), indican que el término “Hidropónico” deriva de dos palabras griegas. Hydro = Agua y Ponos = Trabajo o cultivo, que al conjuncionarse significan trabajo en agua y fertilizantes químicos u orgánicos para el cultivo de plantas sin tierra.

Delgado (2016), define a la hidroponía como la ciencia del crecimiento de las plantas, sin utilizar el suelo en su lugar se utiliza un medio inerte, como grava, arena, turba, piedra pómez o aserrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesitados por la planta, para su normal crecimiento y desarrollo. Puesto que muchos de estos métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio de cultivo, se los denomina a menudo “cultivos sin suelo”, mientras que el cultivo solamente en agua será el verdadero hidropónico.

#### **3.6.1. Cultivo hidropónico**

La Hidroponía es una técnica de cultivar plantas en agua. Los nutrientes que necesita la planta para crecer, florecer y fructificar se añaden directamente en el agua en forma de sales minerales o fertilizantes, las cuales son formuladas y balanceadas en base al análisis químico del agua y de acuerdo al requerimiento y etapa de crecimiento de cada cultivo Cabezas (2012).

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. La palabra hidroponía deriva del griego HIDRO (agua) y PONOS (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. Un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídricos nutricionales, a través del agua y solución nutritiva. No es una metodología moderna

para el cultivo de plantas, sino una técnica ancestral; en la antigüedad hubo culturas y civilizaciones que utilizaron esta metodología como medio de subsistencia Beltrano & Gimenez (2015).

Resh (2002), el gran incremento de las cosechas con el cultivo hidropónico frente a las normales es producido normalmente por diversos factores. En algunos casos el suelo puede ser excepcionalmente pobre, por tanto, el cultivo hidropónico sería en este caso muy beneficioso. La presencia de insectos o enfermedades en el suelo reduce considerablemente la producción en forma natural.

### **3.6.2. Sistema de recirculación de solución nutritiva "NFT"**

El pionero de esta técnica fue Allen Cooper, en el Glass House Crops Reserch Institute, en Little Hampton (Inglaterra), 1965. El término Nutrient Film Technique fue utilizado en dicho Instituto para remarcar que la profundidad del flujo del líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre pudieran disponer del oxígeno necesario Resh (2002).

El sistema de recirculación de solución nutritiva "NFT" Nutrient Film Technique, fue desarrollado en el Glasshuose Crop Research Institute, Inglaterra, en la década de los sesenta. El principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado. La técnica de película de nutriente (NFT), se destaca en relación a otras técnicas hidropónicas, es la alta calidad obtenida de diferentes productos hortícolas, en un corto período de cultivo como también de rendimiento Ross (2016).

En los sistemas hidropónicos en NFT los cultivos crecen en líneas de producción de sección circular o recta lugar de material plástico, en ellos se perforan los orificios necesarios para anclar los plantines a la línea, a través de las cuales se entregan a las plantas una lámina de solución nutritiva que suministra todos los nutrientes necesarios para el desarrollo y crecimientos de las mismas. Además, hay que destacar que dicha lámina de nutrientes es poco profunda en esta técnica, lo que favorece la oxigenación de la solución y la diferencia de otros sistemas hidropónicos Blanco (2017).

Sistema con solución recirculante, la solución nutritiva puede circular de forma continua o intermitente. Se utiliza en los sistemas de canales profundos o semiprofundos, el aporte de oxígeno no es necesario, ya que la solución se encuentra en movimiento. El sistema más conocido es el denominado NTF, desarrollado por Cooper en los años 1970. El oxígeno es aportado por la solución y por el aire que rodea a gran parte de las raíces, que se dificulta con el aumento de la temperatura, ya que el consumo se duplica con el aumento de 10°C, mientras que la disolución del oxígeno en la solución baja de 9,6 a 7,8 mg/L para 20 y 30°C respectivamente Beltrano y Gimenez (2015).

### **3.6.3. Ventajas y desventajas de la hidroponía (NFT)**

#### **3.6.3.1. Ventajas de la hidroponía (NFT)**

Domenech (2021), menciona lo siguiente:

- **Ahorro de agua**

A pesar de que el agua es la base para los cultivos, ella se utiliza de manera eficiente en la hidroponía. Esto ayuda a que no se desperdicie y a que incluso se pueda recircular. En el caso de la agricultura tradicional, el agua que se usa para el riego de las plantas no se utiliza al cien por ciento.

- **Condiciones ambientales limitantes**

La hidroponía permite cultivar en lugares donde hay condiciones ambientales limitantes tales como escasez de agua, regulación de temperatura y aumenta la humedad relativa del ambiente o falta de suelos aptos para cultivos.

- **No se usan herbicidas**

En la hidroponía se elimina la necesidad de utilizar herbicidas ya que no hay tierra donde puedan crecer hierbas intrusas y con ello se ahorra dinero, tiempo y esfuerzo.

- **Cultivos de alta calidad**

Puesto que la hidroponía te permite controlar con mayor precisión la cantidad de agua y nutrientes que se utilizan en los cultivos, esto redundará en productos de mayor calidad en comparación con aquellos cultivados en campo abierto sin perder de vista las necesidades de la planta.

- **Ahorro en abonos y fertilizantes**

La hidroponía permite que ahorres en abonos y fertilizantes pues su tecnología está diseñada para distribuirlos de manera precisa.

### 3.6.3.2. Desventajas de la hidroponía (NFT)

Domenech (2021), menciona lo siguiente:

- **Inversión inicial alta**

Esta es la desventaja principal de la hidroponía. Al comenzar un sistema hidropónico será necesario que hagas una inversión alta pues supone comprar muchos materiales muy importantes como bombas, contenedores, sustratos, tubería, filtros y llaves de paso, entre otros.

- **Cuidado indispensable de la planta**

La hidroponía es una tecnología agrícola que requiere muchos detalles y atenciones particulares que se minimizan en la agricultura en tierra. De esto también dependerá el éxito o fracaso de los cultivos.

- **No es apta para todas las especies**

La hidroponía no está disponible para todas las especies de plantas, como por ejemplo los árboles frutales o los vegetales de fruto subterráneo como las papas, las zanahorias y otros tubérculos.

- **Las plantas son susceptibles a los cambios**

En los diferentes sistemas hidropónicos las plantas no cuentan con el suelo, que en la agricultura tradicional funciona como amortiguador en momentos de cambios bruscos. Además, hay que ser muy cuidadoso con la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica y la concentración de nutrientes.

### 3.6.4. Elementos del sistema (NFT)

Carrasco Izquierdo (1996), sostiene que los componentes de un sistema hidropónico NFT son:

- **Tanque de almacenamiento.** El estanque colector tiene por función almacenar la solución nutritiva a través del período de cultivo, su elección debiera estar basada en el tipo de material, tamaño y aislación. Es necesario previamente

realizar alguna prueba para evaluar la reacción química en el estanque o cambio de color en la solución.

El volumen del estanque está en función directa del número de plantas y especies a cultivar. Con un estanque de pequeña capacidad, el volumen de la solución disminuirá rápidamente por lo que las correcciones de la solución serán más frecuentes a su vez, si se cuenta con un estanque colector de gran volumen, los cambios de temperatura de la solución nutritiva serán más graduales en relación a la temperatura ambiental.

- **Canal de cultivo.** El sistema NFT se caracteriza por no utilizar ningún tipo de sustrato, es un sistema estrictamente hidropónico, se cultiva directamente en agua con sales minerales disueltas. Así, al no contar con un medio sólido de sostén, éste es brindado a las plantas por el canal de cultivo, el cual permite la sujeción de las plantas. La función de los canales, es permitir que la solución nutritiva pase en forma expedita a través de ellos. Es recomendable utilizar canales de sección rectangular, ya que ésta permite mantener la fina lámina de solución circulante en la sección transversal a lo largo de canal. También se requiere que la superficie de los canales sea lisa para facilitar el desplazamiento.
- **Electro-bomba.** Corresponde a uno de los componentes claves del sistema, el cual requiere una preocupación especial no sólo en cuanto a su elección, sino también a su operación. Su función es impulsar permanentemente la solución nutritiva desde el estanque colector hasta la parte alta de los canales de cultivo. Para la selección de la bomba deben considerarse los siguientes aspectos:
  - a) Resistencia de la bomba a la acción corrosiva de la solución nutritiva a través del tiempo. Si la bomba no es resistente a la corrosión, la vida útil de esta disminuirá rápidamente, por lo cual se deberán reponer frecuentemente los elementos.
  - b) La bomba debe impulsar eficientemente un caudal máximo equivalente al producto del caudal que se maneja para cada canal de cultivo (2 – 3 litros por minuto) multiplicado por el número de canales de cultivo.

- **Red de distribución de riego.** La solución es distribuida a través de una red compuesta por tuberías y mangueras de PVC que por lo general no supera 1 pulgada de diámetro, desde la bomba impulsora hacia la parte superior de los canales de cultivo. En la actualidad se utiliza este tipo de materiales que han desplazado los de aleación metálica, ya que éstos interactúan con los elementos minerales que componen la solución nutritiva.
- **Timer.** Un temporizador o Timer es un pequeño aparato que abre y cierra un circuito eléctrico de forma automática y durante un tiempo determinado. De forma breve, podemos decir que nos permite programar el encendido y apagado de diferentes dispositivos de forma sencilla.

### 3.6.5. Solución nutritiva

Una solución nutritiva es, por definición, una solución acuosa que contiene oxígeno disuelto y todos los nutrientes minerales esenciales, necesarios para el normal crecimiento de las plantas, totalmente disociados. El éxito del cultivo hidropónico está determinado por la constitución de dicha solución nutritiva, la relación existente entre los diferentes iones minerales, la conductividad eléctrica y el pH Beltrano Gimenez (2015).

Al preparar la solución nutritiva, tomar en cuenta la concentración de nutrientes en el agua; normalmente el agua ya contiene en soluciones nutrientes como el Ca, Mg, sulfatos y boro, es más frecuente encontrar sodio y cloro. Es recomendable hacer el análisis químico del agua” Resh (2006) mencionado por Esquivel (2017). “La cantidad de nutrimentos que requieren las plantas depende de la especie, la variedad, la etapa fenológica y las condiciones ambientales. Cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere de una solución nutritiva con características específicas Favela, Preciado, Benavides (2006).

Resh (2002), el gran incremento de las cosechas con el cultivo hidropónico frente a las normales es producido normalmente por diversos factores. En algunos casos el suelo puede ser excepcionalmente pobre, por tanto, el cultivo hidropónico sería en este caso muy beneficioso. La presencia de insectos o enfermedades en el suelo reduce considerablemente la producción en forma natural.

### **3.6.6. Cambio y duración de la solución**

Resh (2002), la conductividad eléctrica está muy relacionado con la cantidad de sólidos disueltos en la solución, lo que permite determinar la vida útil de la solución que depende principalmente del porcentaje de acumulación de los iones extraños que no son utilizados por las plantas.

La duración y el cambio de la solución nutritiva dependen principalmente del contenido de iones que no son utilizados por las plantas. La medida de la conductividad eléctrica indicará el nivel de concentración de la solución. La vida media de una solución nutritiva que haya sido ajustada por medio de análisis semanales suele ser de dos meses Chang (2000).

### **3.6.7. Oxigenación de la solución nutritiva**

Gabino, Martinez, Lopez (2012), indica que, cuando no se da una buena oxigenación, se produce la fermentación de la solución y como resultado la pudrición de la raíz, originada por la aparición de microorganismos. La demanda de oxígeno para una raíz sana y blanquecina se encuentra entre 7.5 mg/l a 9 mg/l de lo contrario ésta se torna oscura, debido a muerte del tejido radicular. La oxigenación puede ser manual (agitando la solución manualmente por algunos segundos, por lo menos dos veces al día). Cuando las temperaturas son altas, se requiere mayor oxigenación, mediante una compresora, inyectando aire durante todo el día.

El pH de la solución nutritiva se determina por la concentración de los ácidos y de las bases, este parámetro se debe de controlar para mantener disponibles los elementos nutritivos de la solución nutritiva. En la siguiente figura se muestra el rango de pH en el cual todos los nutrientes se encuentran disponibles, es por eso la importancia de mantener un registro de los valores de pH de la solución nutritiva Sanchez & Urrutia (2001).

Cabezas (2012), sostiene que, el pH nunca permanecerá constante en la solución nutritiva, las plantas en pleno desarrollo absorben más aniones que cationes, es decir, nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ) y absorben menos potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y el pH tiende a subir, plantas en plena producción absorben más cationes que aniones, por tanto, el pH bajará.

El pH objetivo de la solución nutritiva en los sistemas hidropónicos es similar al pH sugerido para la zona radicular en la producción por medio de recipientes: alrededor del 5.5 al 6.5, dependiendo del cultivo. Para asegurar la disponibilidad de micronutrientes en los sistemas hidropónicos, con frecuencia se utiliza el nivel más bajo de esos valores recomendados, es decir un pH de 5.5. Cuando se requiere hacer ajustes al pH, se utilizan básicamente las mismas herramientas que en la producción en recipientes o macetas: ajustar la forma de nitrógeno en el fertilizante, o añadir un ácido o una base. El amonio y la urea son formas ácidas de nitrógeno; mientras que el nitrato aumentará el pH. Se puede controlar el pH al ajustar la relación de las fuentes de nitrógeno en la solución fertilizante Rizo (2016).

### **3.6.8. Conductividad Eléctrica (CE)**

La medición de la conductividad eléctrica de una solución nutritiva tiene una relación directa con la cantidad de materiales sólidos disueltos en ella. Este parámetro dependerá del cultivo y el estado de crecimiento, por ejemplo, la lechuga tiene márgenes bajos para su desarrollo (entre 2–2.5 mS/cm) Chang, Falcon, y Hoyos (2000).

Los instrumentos para el cálculo de sólidos solubles (TDS), que determinan los Sólidos disueltos en agua, están basados en instrumentos de medida de la conductividad de ésta. La cantidad de sólidos disueltos con partes por millón (ppm) o mg/l por peso es directamente proporcional a la conductividad con mmho por unidad de volumen. Sin embargo, la conductividad eléctrica (CE) crece no solamente por las concentraciones de sales presentes, sino también por la propia composición química de la solución de los nutrientes, algunas sales fertilizantes conducen la electricidad mejor que otras.

Por ejemplo, el sulfato de amonio conduce dos veces más la electricidad que el nitrato de calcio y más de tres veces que el sulfato de magnesio, mientras que la urea no es conductora en absoluto Resh (2002).

La CE de la solución nutritiva hidropónica es una medida de todas las sales disueltas en el agua, incluyendo las que se agregan con el fertilizante y las que se encuentran



presentes en forma de impurezas en la fuente de agua. Cuando la fuente de agua es relativamente pura, la CE es un buen indicador de la cantidad de fertilizante disponible para la planta. Los objetivos de CE varían con los distintos cultivos, pero se encuentran con frecuencia dentro del rango de 1.0 a 2.0 mS/cm en el fertilizante; además de la CE proveniente de la fuente de agua. Una CE baja indica que no se está suministrando suficiente fertilizante para satisfacer las necesidades de las plantas. La CE elevada es un problema más frecuente en los sistemas hidropónicos cerrados en los que se captura y reutiliza el agua de riego. Este problema se presenta cuando las sales que no provienen del fertilizante y los iones del fertilizante exceden las necesidades de las plantas y se van acumulando en la solución nutritiva. Muchos productores se han visto en la necesidad de filtrar el agua de la llave antes de utilizarla en sus sistemas hidropónicos cerrados Rizo (2016).

### 3.6.9. Conductividad eléctrica por cultivo

En el siguiente cuadro se presenta el requerimiento de la conductividad eléctrica que requiere el apio, expresado en (mmhos/cm).

**Cuadro 3.** Conductividad eléctrica para el cultivo del apio (mmhos/cm).

<b>Cultivo</b>	<b>Conductividad eléctrica (mmhos/cm)</b>	<b>Tolerancia a la salinidad</b>
Apio	1,2	Moderadamente sensible

**Fuente:** Centro de investigación de la hidroponía y nutrición mineral (2010).

### 3.6.10. Temperatura de la solución

La temperatura radicular es muy importante para la mayoría de cultivos, ya que si no se encuentra en su temperatura ideal, la planta detendrá su crecimiento y en algunos casos, se puede manifestar deficiencias nutrimentales. De manera general, la temperatura de las raíces no debe bajar de 13°C ni estar sobre los 30°C, puede variar dependiendo del cultivo. La temperatura óptima para la mayoría de las plantas es de aproximadamente 22°C; en la medida que la temperatura disminuye, la absorción y asimilación de nutrimentos también lo hace Favela, Preciado, & Benavides (2006).

La temperatura influye por una parte en la capacidad de absorción de agua y nutrientes. Temperaturas muy altas o muy bajas provocan un menor crecimiento de las raíces. Por debajo de 12 °C, la absorción de iones por las raíces de tomate o de pepino se ve muy limitada. Por encima de 29 °C, la absorción se vuelve a ver limitada. En cultivos sensibles, temperaturas de la raíz por debajo de 8 °C dificultan incluso el flujo de agua hacia el resto de la planta Santos & Rios (2016).

### **3.6.11. Luz**

Siguiendo la regla de 14-16 horas de luz por 10-12 de oscuridad, la mayor parte de las plantas se desarrollarán sin problema y generarán frutos. Sin embargo, como puedes imaginar no todas las plantas son iguales y algunas se desarrollan mejor con más o menos luz al día y más o menos oscuridad.

Mucha oscuridad: Son las plantas que necesitan periodos de oscuridad mayores para poder hacer la fotosíntesis y lograr producir flores si expones estas plantas a más de 12 horas de luz no florecerán y olvídate de generar alimento de ellas.

Mucha luz: contrariamente a las plantas anteriores, este tipo de planta necesita al menos 18 horas de luz, son plantas como trigo, lechuga, papas, espinacas y nabos.

Las plantas pueden funcionar normalmente si sus raíces están expuestas a la luz del día, siempre que podamos conseguir un 100% de humedad relativa en esta, no obstante, la luz dará lugar al crecimiento de las algas, lo cual interferirá con el crecimiento de las plantas, puesto que dará lugar a una competencia en la toma de nutrientes, Resh (2002).

### **3.6.12. Agua**

El agua es uno de los elementos que más nos puede limitar en la hidroponía cuando la calidad no es buena. principalmente porque en la hidroponía utilizamos sustratos inertes (sin nutrientes) y/o una solución nutritiva que proporciona todos los minerales necesarios para el desarrollo de las plantas, pero estos deben ser disueltos en agua de calidad para que no cambie la composición química de la solución y todos los nutrientes se encuentren disponibles para las plantas en todo momento Rizo E. (2022). El agua juega un rol muy importante en la vida de los seres vivos y, en consecuencia también, de las plantas. La fotosíntesis, uno de los principales procesos fisiológicos de los vegetales, requiere que las plantas tomen CO<sub>2</sub> del aire a través de los estomas y

simultáneamente pierdan agua por transpiración, llevándolas a un estado de deshidratación. La deshidratación de las plantas puede causar un estrés hídrico que, según su intensidad y duración, puede repercutir en el crecimiento y en el rendimiento, e incluso producir la muerte. De todos los recursos que la planta necesita para crecer, el agua es el más abundante y muy frecuentemente el más limitante. El agua es el componente mayoritario de las plantas, puede representar entre un 60 y 90% del peso fresco, según el tejido que se considere. En las plantas el agua cumple funciones de sostén, permite el crecimiento de las células, facilita el enfriamiento de las hojas, es el vehículo para el traslado de nutrientes por el xilema y de foto asimilados por el floema y principalmente es el medio en el que se desarrollan todas las reacciones químicas Beltrano & Gimenez (2015).

### **3.6.13. Volumen de la solución nutritiva**

“Normalmente las plantas absorben más agua conjuntamente con los minerales, lo que ocasiona un incremento en la conductividad eléctrica (CE), se recomienda añadir agua pura hasta alcanzar valores de conductividad eléctrica apropiados para la planta” Sanz (2007).

El fenómeno de evapotranspiración ocasiona que las plantas tomen proporcionalmente mucha más agua que elementos nutritivos de la solución nutritiva, haciendo que con el paso del tiempo se vaya haciendo más concentrada, lo que hace que progresivamente se incremente el pH y la presión osmótica de la solución dificultando con esto la absorción de agua por las raíces. Generalmente las soluciones nutritivas se elaboran con un rango de 0.5 a 2 atmósferas. Si la concentración de sales es muy alta, el crecimiento de las plantas se detiene e incluso pueden morir por desecación al salir agua de la raíz Oasis (2016).

Para mantener la presión osmótica adecuada y los niveles correctos de nutrimentos en la solución basta restituirle periódicamente el agua perdida por la evapotranspiración, esto puede hacerse semanalmente y renovarse periódicamente. La solución que se desecha puede usarse para regar y fertilizar plantas del jardín. El uso de solución nutritiva por tiempo indefinido solo se realiza en unidades de

producción comercial con un control de la concentración y el monitoreo adecuado de acumulación de ciertos iones para no tener problemas de toxicidad Oasis (2016).

#### **3.6.14. Dióxido de carbono**

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un requisito esencial para la fotosíntesis, que los productores pueden pasar por alto fácilmente. Inodoro, invisible y solo una pequeña fracción de nuestra atmósfera, el CO<sub>2</sub> generalmente no recibe la misma atención que los nutrientes, la luz y otros factores de crecimiento de las plantas.

Sin embargo, el uso de enriquecimiento de CO<sub>2</sub> para aumentar la productividad, la calidad y las tasas de crecimiento en la producción hidropónica se usa ampliamente en la horticultura de invernadero comercial y tiene un potencial aún mayor en los espacios cerrados de cultivo. Si bien el bombeo de CO<sub>2</sub> adicional puede parecer una opción sencilla, el uso de esta tecnología es un poco más complejo para maximizar su potencial y minimizar los problemas.

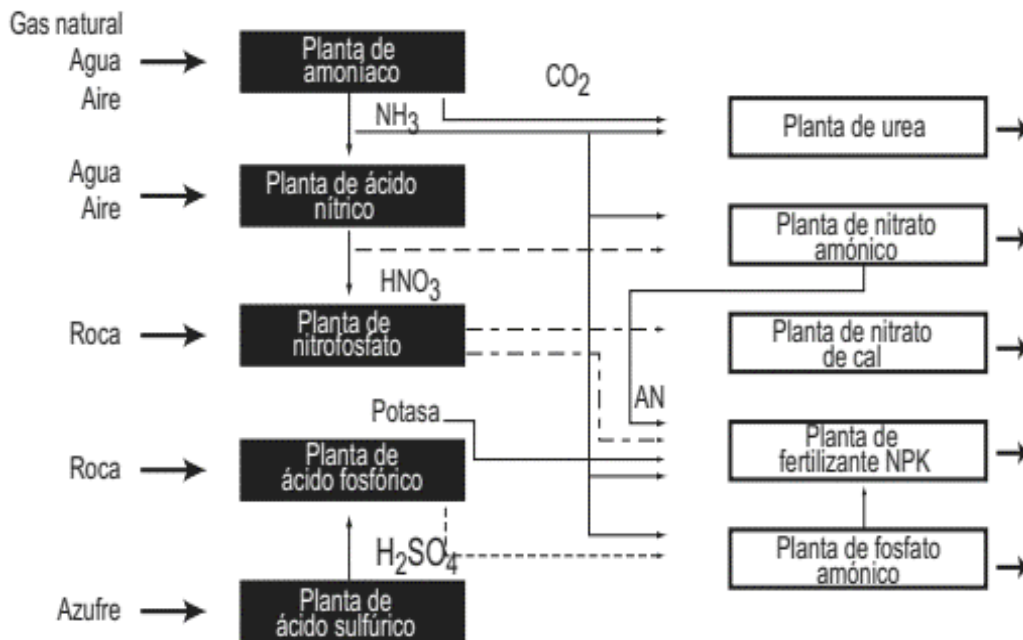
#### **3.6.15. Fertilizantes sintéticos**

Cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O), puede ser llamado fertilizante. Fertilizantes fabricados industrialmente (Figura 1) son llamados fertilizantes minerales. La presentación de los fertilizantes minerales es muy variada. Dependiendo del proceso de fabricación, las partículas de los fertilizantes minerales pueden ser de muy diferentes tamaños y formas: gránulos, píldoras, «perlados», cristales, polvo de grano grueso / compactado o fino. La mayoría de los fertilizantes es provista en forma sólida. Los fertilizantes líquidos y de suspensión son importantes principalmente en América del Norte.

Además de su contenido nutritivo específico, la calidad física de un fertilizante es determinada por el rango del tamaño de sus partículas (productos tamizados), su densidad/dureza, su resistencia a la humedad y al daño físico, y su libertad de apelmazarse los fertilizantes de alta calidad gozan de un tratamiento especial de la superficie recubrimiento. Respecto al transporte, almacenamiento y aplicación en el campo, la densidad peso específico de un fertilizante es también importante. Normalmente la urea tiene un volumen más grande por unidad de peso que la mayoría

de los otros fertilizantes. Debido a su simplicidad, flexibilidad y seguridad (contra la intemperie y grandes pérdidas, así como adulteración) la bolsa de 50 kg es el principal método de distribución para los pequeños agricultores.

**Fuente:** Fertilizer use Manual, 1992 IFA, Paris, 632p



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la producción de fertilizantes.

### 3.6.16. Rendimiento en hidroponía

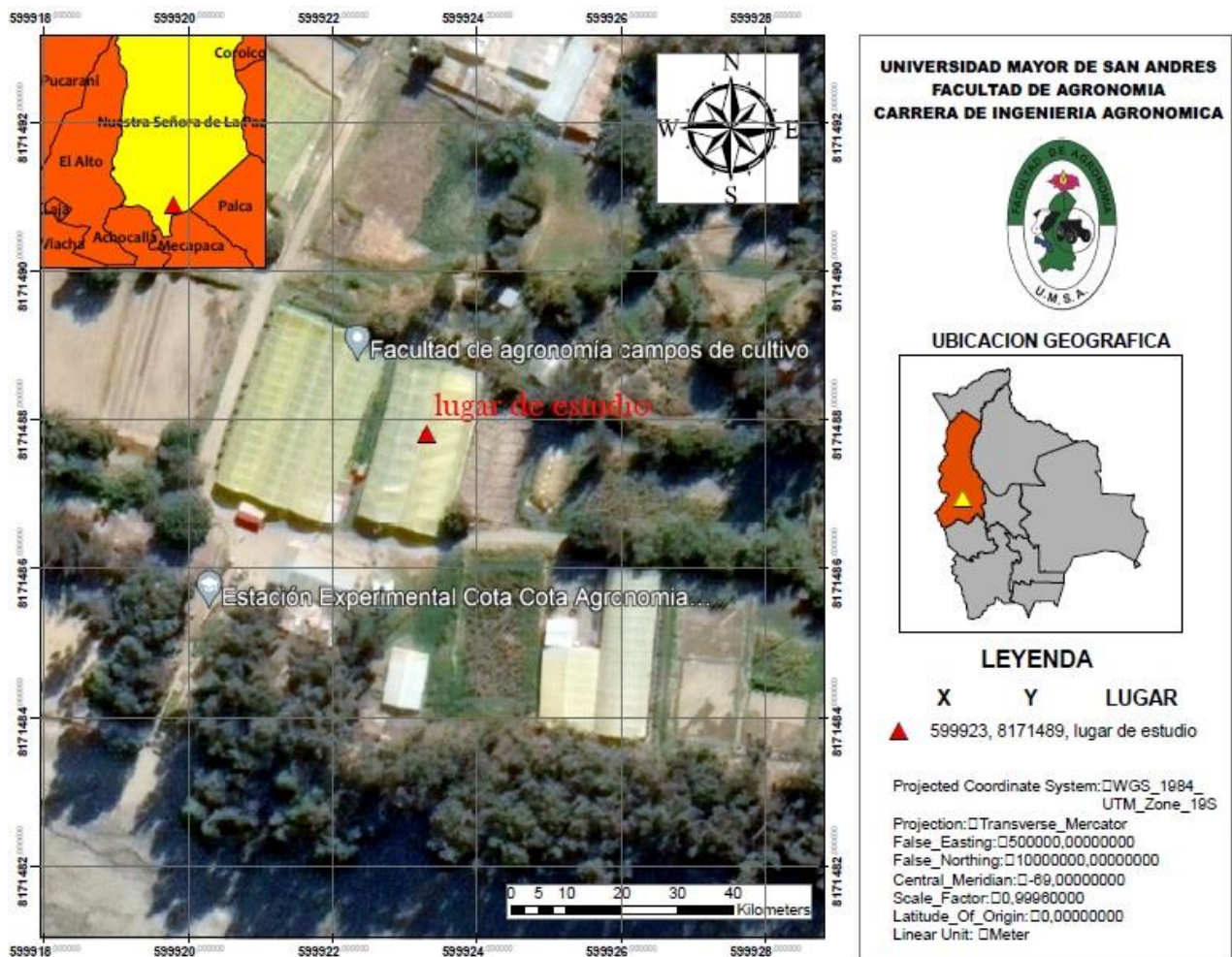
Se menciona que la competencia de producir mayor cantidad de alimentos con menor espacio ha estimulado el acogimiento de las hortalizas que se cultivan en sistemas hidropónicos son: tomate, pepino, pimiento, lechuga, fresa entre otras.

A nivel mundial se estima que los cultivos hidropónicos producen ingresos por 821 millones de dólares con un crecimiento anual de 4.5 % de 2011 a 2016, con relación al informe de IBIS World. En Norteamérica, el tomate representa el 56% de la superficie hidropónica, mientras que en Sudamérica es la lechuga con el 49% de la superficie de cultivos hidropónicos INE (2013).

#### 4. LOCALIZACION

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el centro experimental de Cota Cota, dependiente de la facultad de Agronomía (Universidad Mayor de San Andrés), ubicado en la zona sur de La paz, Cota Cota C/30, geográficamente está localizada entre 16°32' de latitud Sur, y 68°30' de Latitud Oeste, con una altitud de 3445 msnm, temperatura media de 11,5°C Instituto Geografico Militar (2018).

En la siguiente (figura 2), se muestra la ubicación geográfica del trabajo de investigación.



**Figura 2.** Ubicación geográfica del trabajo de investigación

**Fuente:** Sanchez (2022)

#### 4.1. Características climáticas de la zona

Las condiciones agroclimáticas a esta elevación, La Paz tiene un clima subtropical de altura, con veranos lluviosos la temperatura es de 21°C, incluso llega a 1°C, en el mes de Agosto y Noviembre se presentan vientos con dirección Este, la temperatura media es de 13,5°C con una precipitación media de 400 mm, las heladas se manifiestan por debajo de 0°C, la humedad relativa del lugar es de 46% Senamhi (2022).

### 5. MATERIALES Y METODOS

#### 5.1. Materiales

##### 5.1.1. Material biológico

Las semillas empleadas para la investigación fueron dos:

**Cuadro 4.** Material variedades de semilla

Semilla
Semilla de la variedad Tall-utah 50-70
Semilla de la variedad Golden self

##### 5.1.2. Material fertilizante

Los fertilizantes empleados para la formación de la solución, se detalla a continuación:

**Cuadro 5.** Fertilizantes empleados.

Fertilizante	Formula
Nitrato de calcio	(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>
Fosfato mono amonio	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
Sulfato de magnesio	SO <sub>4</sub> Mg
Quelato de hierro EDDDHA	EDTA- Fe.
Cosmoquel menores	S, B, Co, Cu, Mn, Mo, Zn.

### 5.1.3. Material de almacigo

El material utilizado para implementar el área de almacigo de semilla se detalla en el siguiente cuadro.

**Cuadro 6.** Material para almacigo de semilla

<b>Material</b>
Poliuretano
Bandejas planas
Nylon negro
Mesa de trabajo
Pinza
Flexómetro
Escuadra

### 5.1.4. Material de Piscina

El material utilizado para la raíz flotante, luego del almacigo.

**Cuadro 7.** Material de piscina.

<b>Ítem</b>
Nylon negro
Plastoformo 30 mm grosor
Contenedor
Oxigenadores



### 5.1.5. Material de soporte NFT

El material para los soportes verticales (estructura de reposo del sistema NFT), se muestra a continuación.

**Cuadro 8.** Material de soporte piramidal.

Ítem
Estructura Soporte de fierro
Tubo de pvc 2 " ( canal )
Tubería de pvc de 3
Micro tubo 6 mm
Emisores
Electrobomba 2 hp
Tanque de agua 1200 L
Equipo Taimer
Grumet

### 5.1.6. Material de laboratorio

Para los materiales de laboratorio se utilizó lo siguiente.

**Cuadro 9.** Material de laboratorio.

Ítem
Balanza analítica de 1 kg
PH metro
Conductivimetro

### 5.1.7. Material de gabinete

Para materiales de gabinete se utilizó lo siguiente.

**Cuadro 10.** Material de gabinete

Ítem
Cuaderno de apuntes
Calculadora
Cámara fotográfica
Computadora

### 5.1.8. Material de campo

Para material de campo se utilizó lo siguiente.

**Cuadro 11.** Material de campo.

Ítem
Regla
Flexo
Martillo
Aguja
Hilo cáñamo
Cámara

## 5.2. Método

Para el estudio de la investigación el Centro experimental de Cota Cota, proporciono un ambiente protegido o carpa solar en la cual utilizamos un espacio de 16 m<sup>2</sup>, donde existe un sistema hidropónico piramidal (NFT).

### **5.3. Almacigo de semilla**

- Se cortó la espuma de poliuretano en cubos de 3 cm<sup>3</sup>, se procedió a lavar con vinagre para eliminar cualquier resto químico que trae durante su fabricación, se enjuaga con abundante agua hasta eliminar cualquier resto de olor a vinagre.
- Se acomoda los cubos de esponja en el poliuretano perforado anteriormente, son 3 bandejas que median 37 cm de largo por 33 cm de ancho.
- Una vez instalado la esponja en el plastoformo se introduce las semillas, 3 por cada cubo.
- Una vez sembrado las semillas humedecemos las esponjas para una correcta emergencia que duro aproximadamente 19 días, para luego llevar a piscina.

### **5.4. Piscina**

El invernadero al igual que las pirámides con su sistema re-circulatorio, ya existía una piscina con sistema re-circulatorio con dimensiones de 2,0 m x 1,45 m x 0,35 m con forma rectangular, que es específicamente para almacigos, el armazón de la piscina es de metal y el material envolvente es lona azul.

En el área de piscina, las plántulas tienen su raíz flotando en el medio acuoso cual favoreció el crecimiento para la raíz para el trasplante definitivo, las plántulas permanecieron hasta obtener hojas verdaderas y mínimamente una altura de 5 cm.

En esta piscina las bandejas de plastoformo flotan y permiten a las plántulas tener su raíz dentro de la solución y las hojas fuera de ella. La piscina mantiene una lámina de solución nutritiva a 7 cm de altura y un pH de 6.8.

### **5.5. Pirámide**

- La pendiente según Choque (2021) citando a Resh (2002), en el sistema de NFT la pendiente debe tener entre 1,5% a 2,5%, dependiendo al tipo de cultivo y al largo de la carpa. El tránsito y circulación de la solución debe ser lo más favorable posible para obtener buenos rendimientos, no debe ser muy rápida pues afectaría en la asimilación rápida de nutrientes de las raíces; no debe de ser muy lenta pues provocaría el encharcamiento y precipitación de la solución, lo cual tendría como consecuencia la falta de oxigenación de las raíces y la

presencia de enfermedades y algas en los cultivos.

Nuestra estructura terminada uso una pendiente de 2% para un largo de 6.96 m.

- El trasplante se realizó luego de 42 días de haber almacigado la semilla y que los plantines tuvieron 3 a 4 hojas verdaderas en la piscina, se trasladó cada plantin en los diferentes canales, tomando cuidado de que toda la raíz entre en el sistema y que tenga contacto con la solución re circulante que permanecerá hasta la cosecha.

## **5.6. Proceso productivo**

### **5.7. Formulación de solución nutritiva**

Para una eficiente formulación de sales en cualquier cultivo, se debe determinar algunas características, tanto del agua como del cultivo, específicamente se debe conocer los requerimientos nutricionales del cultivo, como el contenido de sales del agua y la disponibilidad de sales con la que se cuenta.

### **5.8. Análisis del agua**

Se recomienda usar aguas de consumo humano para cultivos hidropónicos, teniendo cuidado que este no tenga altas concentraciones de hipoclorito de sodio que será perjudicial para el cultivo.

### **5.9. Formulación nutricional del cultivo**

Para el requerimiento del cultivo se utilizó una formula generada para cultivos de hoja de acuerdo a Murillo y Jaimes (2019) en Base a Resh y Cabezas (2012).

La capacidad del tanque es de 1200 litros, pero solo se utilizó 900 litros para evitar revales de solución nutritiva y así no perder cantidades grandes de solución al momento del apagado del sistema de recirculación de los nutrientes con las siguientes cantidades de cada fertilizante:

En el cuadro 12, se detalla la formulación nutricional en base al requerimiento de cultivos de hoja.

**Cuadro 12.** Detalle de la formulación nutricional en base al requerimiento

<b>Composición</b>	<b>Fertilizante</b>	<b>Requerimiento en g</b>
Solución Concentrada "A"	Nitrato de potasio	670
	Fosfato mono amónico	200
	Sulfato de magnesio	490
Solución Concentrada "B"	quelato de hierro	10
	EDDDHA	
	Cosmoquel menores	38
Solución Concentrada "C"	nitrato de calcio	1030

Una vez realizado los cálculos, se preparó la solución nutritiva, que se muestra a continuación:

- Se realizó el llenado del tanque, hasta una capacidad de 900 litros.
- Se pesó los fertilizantes de la solución "A" como también los fertilizantes de la solución "B".
- Se disolvió de manera individual cada fertilizante, considerando que no se deben de mezclar sulfatos con nitratos, de lo contrario se precipita los fertilizantes.
- Ya disuelto las soluciones, se pesó al cierre de las llaves de retorno disolviendo de manera general ambas soluciones nutritivas.
- Una vez controlado el pH y la conductividad eléctrica se mandó a la circulación de la solución nutritiva.

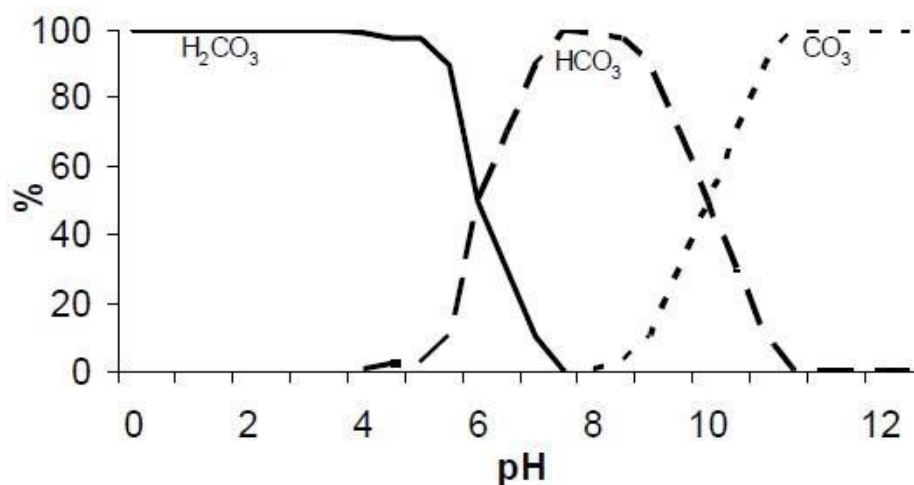
### **5.10. Manejo del pH de la solución**

El rango óptimo de pH para la solución nutritiva es 5.8-6.3. Los micro-nutrientes están más disponibles en un pH más bajo, pero cuando el pH se cae por debajo de 5.5, se corre el riesgo de toxicidad de los micro-nutrientes, así como problemas de

disponibilidad del calcio y del magnesio. Productos adecuados para la acidificación de la solución nutritiva son el ácido sulfúrico, ácido fosfórico y el ácido nítrico. El preferido es el ácido sulfúrico, ya que el control de la conductividad eléctrica y el control del pH se mantienen separados. Esto hace el trabajo del agricultor mucho más fácil Esquivel B. (2017).

Resh (2002) citado por Rodriguez (2021), indica que el rango de pH en el cual los nutrientes se encuentran disponibles ocurre entre 5,5 y 7. Si la solución nutritiva se encuentra fuera de estos rangos es necesario realizar un ajuste utilizando una mezcla de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) en una proporción 3:1 para acidificar la solución nutritiva, por el contrario si la solución nutritiva se encuentra muy ácida se puede utilizar una solución al 10% de hidróxido de potasio (KOH).

Para Esquivel (2017), el pH de la solución nutritiva no es estático, ya que depende del  $\text{CO}_2$  en el ambiente, de que la solución nutritiva se encuentre en un contenedor cubierto o descubierto. Así, por ejemplo, la solución nutritiva de Steiner contiene solamente  $\text{N-NO}^{-3}$ , el cual ocasiona un pH fisiológicamente alcalino; a medida que las plantas absorben el  $\text{N-NO}^{-3}$ , la solución nutritiva tiende a alcalinizarse, debido a que a la absorción del  $\text{N-NO}^{-3}$  la acompaña una liberación de  $\text{HCO}^{-3}$  u  $\text{OH}^-$ . Cuando se adiciona el  $\text{N-NH}^{+4}$  el pH se amortigua, ya que al absorberlo el  $\text{N-NH}^{+4}$ , al  $\text{H}^+$  lo liberan las raíces y la solución nutritiva se acidifica.



**Figura 3.** Presencia de formas químicas de carbonatos, bicarbonatos a ácido carbónico en función del pH del agua

### **5.11. Manejo de la conductividad eléctrica de la solución**

Según Choque (2021), cuando la conductividad bajaba a menos de 800 ds/cm, empiezan a presentarse deficiencias nutricionales, como moteamientos, quemaduras en las puntas de raíces y otras. Por tanto, se debe recambiar el nutriente al llegar la conductividad eléctrica a los 800 a 900 ds/cm.

En el presente trabajo, la conductividad eléctrica de la solución, al inicio de la preparación fue de ds/cm 1876, a una temperatura de solución de 18,7°C medidos en el tanque, después de circularlo la conductividad baja cada día 1717 ds/cm y al onceavo o treceavo día la conductividad llega a 800 ds/cm. En días de mayor temperatura ambiente (septiembre a noviembre) se alcanzaba los ds/cm más rápidamente en unos días lo cual muestra que las plantas consumen las sales rápidamente y el cambio de solución se hará con frecuencias más cortas.

### **5.12. Manejo de la temperatura**

Se registró datos de temperatura cada día considerando máximas y mínimas, de tal manera se pudo observar que las temperaturas en el interior de la carpa eran diferentes a comparación de la parte externa de la carpa, alcanzando una máxima de 32°C entre los meses de Marzo y una mínima de 15°C.

Mas sin embargo, las temperaturas para finales del mes de Mayo fueron una mínima de 5°C y una máxima de 30°C, considerando que el cultivo de apio no es tolerante a temperaturas arriba de los 30°C.

El promedio de la temperatura de la solución nutritiva fue de 18°C, esto no afecto el correcto aprovechamiento de los nutrientes.

### **5.13. Procedimiento de estudio experimental**

#### **5.13.1. Diseño de investigación**

En el presente trabajo de investigación, se utilizó un diseño de bloques al azar (DBA) con un arreglo bifactorial.

### 5.13.2. Modelo estadístico

Cuyo modelo aditivo lineal es el siguiente, proporcionado por (Arteaga, 2016).

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \lambda_j + \alpha\lambda_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  = Una observación cualquiera

$\mu$  = Media general

$\beta_k$  = Efecto aleatorio del k-esimo bloque

$\alpha_i$  = Efecto fijo del i-esimo variedades

$\lambda_j$  = Efecto fijo del j-esimo corte

$\alpha\lambda_{ij}$  = Efecto fijo de la interacción del i-esimo variedades y el j-esima cortes

$\varepsilon_{ijk}$  = Error experimental

#### 5.13.2.1. Tratamientos

La interacción de los dos factores, “variedad de cultivo” y “número de cultivos” haciendo un total de 80 unidades experimentales.

**Factor A:** Dos variedades de Apio *Tall Utah 52-70* y *Golden self*.

**Factor B:** Numero de corte

#### 5.13.3. Superficie experimental

En el siguiente cuadro 13., se describe la superficie utilizada en la carpa durante el periodo que ha durado la investigación, así mismo se menciona el área ocupada por la estructura piramidal (NFT).

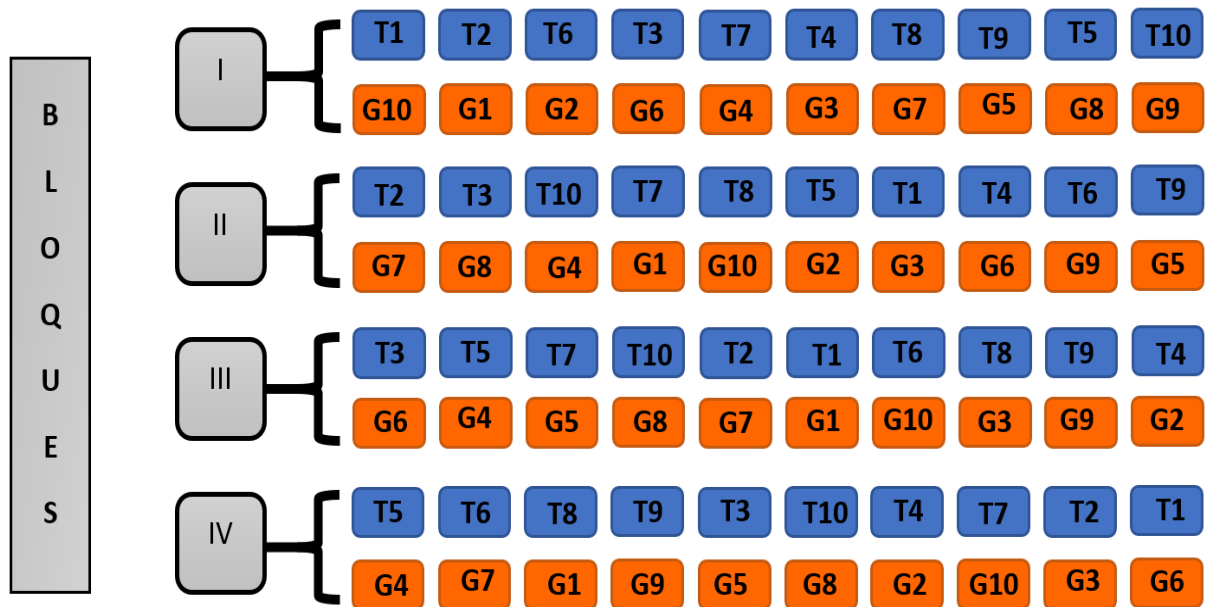


**Cuadro 13.** Descripción de la superficie utilizada de la carpa y el sistema (NFT).

Superficie utilizada dentro la carpa	9 m <sup>2</sup>
Largo del sistema NFT	6,96 m
Ancho del sistema NFT	2,20 m
Altura del sistema NFT	1,64 m
Arena utilizada del sistema NFT	8 m <sup>2</sup>

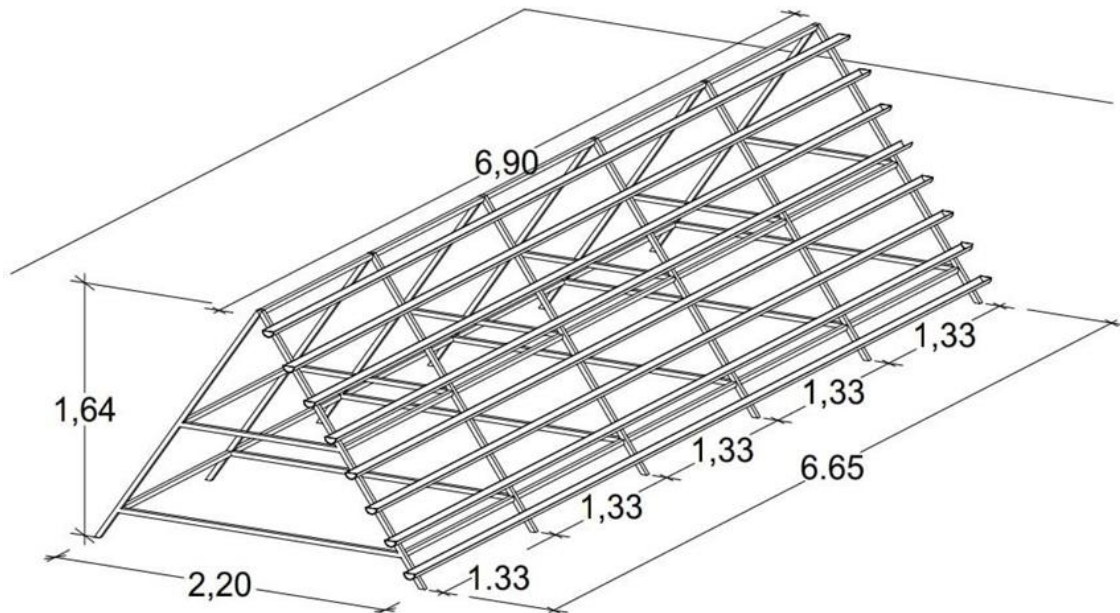
#### 5.13.4. Croquis experimental

En la figura 4. se señala el croquis experimental de 10 muestras de cada variedad en los 4 bloques, cada bloque cuenta con 2 variedades de apio.



**Figura 4.** Croquis experimental

En la siguiente figura 5, se muestra la infraestructura del sistema hidropónico (NFT) con sus respectivas medidas.



**Figura 5.** Medidas de la estructura para el sistema hidropónico (NFT)

### **5.13.5. Variables de respuesta**

#### **5.13.5.1. Porcentaje de germinación (%)**

Este dato se obtuvo desde el día 15 luego de la siembra, hasta los 20 días después de la misma, estos datos se tomaron de la almaciguera preparada, la cual contaba con 658 semillas. Se utilizó 3 almacigueras para las dos variedades de estudio.

#### **5.13.5.2. Porcentaje de prendimiento al trasplante a la pirámide.**

Se obtuvo el dato desde el día 7 luego del trasplante para determinar el porcentaje de prendimiento al sistema hidropónico, se realizó esto de manera visual.

#### **5.13.5.3. Numero de pencas por planta (No.)**

La determinación del número de pencas por planta se realizó al momento de la cosecha en cada uno de los cortes que se llevó a cabo.

#### **5.13.5.4. Altura de planta (cm)**

Este dato a consideración fue tomado a las pencas con un desarrollo completo y de buen porte, 10 muestras por variedad en cada bloque , datos que se obtuvieron al momento de cada cosecha.

#### **5.13.5.5. Días a la cosecha (días)**

Estos datos se tomaron a partir del día de trasplante de piscina a el sistema hidropónico hasta el corte de cada variedad.

#### **5.13.5.6. Análisis económico**

El análisis económico es considerado de mucha importancia porque proporciona información económica, procurando siempre hacer desde la perspectiva del agricultor, para poder informar los beneficios que podría obtener en términos de rentabilidad.

Para poder realizar este análisis económico se consideraron las siguientes variables:

Costos de Producción, Ingresos de la producción y Relación beneficio/costo. Se realizó el análisis económico para determinar el mejor tratamiento del experimento.

- **Beneficio**

Es llamado también in bruto, es el rendimiento ajustado, multiplicado por el precio del producto.

- **Costos Variables**

Los costos variables son los costos relacionados con los insumos comprados para cada ciclo productivo, los cuales varían con los tratamientos de una variedad a otra.

- **Costos Fijos**

Los costos fijos son aquellos costos que se incurren solo una vez durante varios ciclos de producción.

- **Costos totales**

Es la suma del costo variable más el costo fijo, para conocer cuánto de dinero se utilizó en total en la producción de apio hidropónico.

- **Beneficio neto**

Es aquel valor de los ingresos monetarios descontando el ingreso bruto de la producción, es decir descontando todos los gastos que se ha generado durante el proceso productivo.

- **Beneficio costo (B/C)**

La relación de beneficio/costo, es la comparación sistemática entre el beneficio o resultado de una actividad y el costo de realizar esa actividad.

La regla básica del beneficio/costo B/C, es que una inversión será rentable, si los beneficios son mayores que la unidad ( $B/C > 1$ ), aceptable si es igual a la unidad ( $B/C = 1$ ) y no es rentable si es menor a la unidad ( $B/C < 1$ ) Chuquimia (2018).

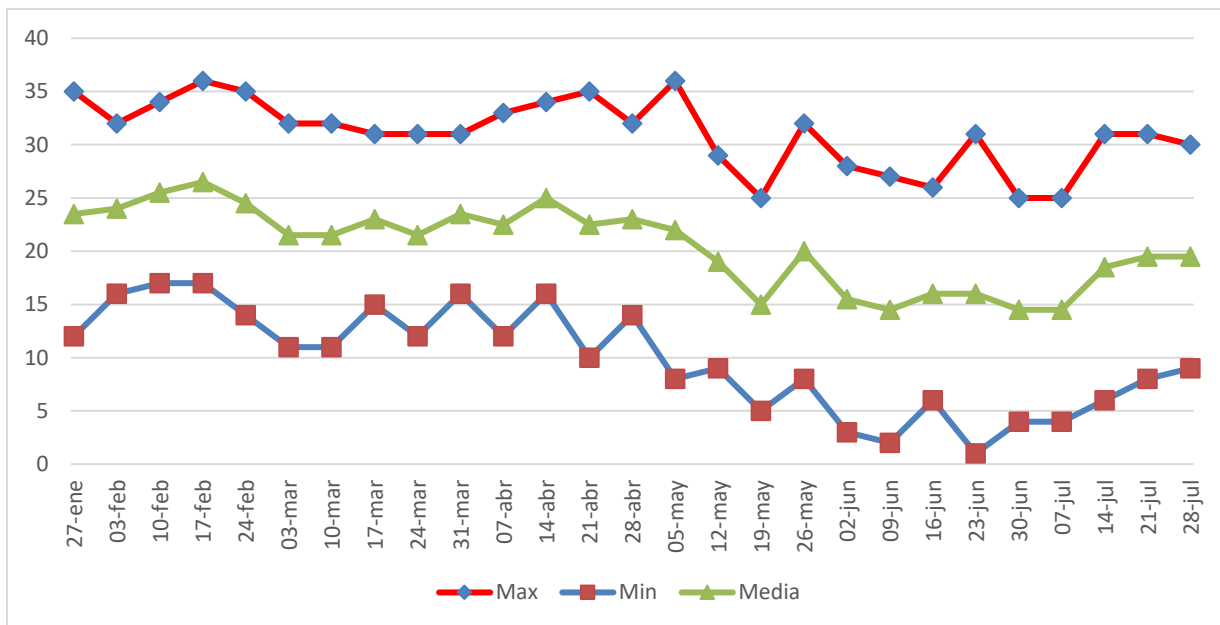
## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados que se muestran a continuación, reflejan el efecto de los factores estudiados en el presente trabajo de investigación.

### 6.1. Comportamiento de la temperatura del ambiente protegido

Las temperaturas que se registraron en el ambiente cerrado, fueron tomadas a partir del almacigo de las semillas de Apio hasta la cosecha final, durante los meses de Febrero hasta Agosto.

En la gráfica 1, se observa las fluctuaciones existentes durante la investigación en desarrollo productivo al interior de la carpa solar tomada en el mes de Febrero hasta el mes de Julio.



**Grafica 1.** Temperaturas máximas, mininas y promedio

Durante el desarrollo de la investigación se observó efectos negativos de la temperatura tanto máximas y mínimas, es decir que el factor climático no se mantuvo dentro de los rangos que el cultivo necesita. Un efecto negativo influye en el estrés de la planta provocando amarillamiento de las hojas

El cultivo de apio requiere para un desarrollo fisiológico adecuado, las temperaturas medias óptimas que deben ser de 8 a 15°C, la máxima de 24°C y mínima que deben ser de 7°C Choque (2021).

## 6.2. Variable de respuesta en almacigo

### 6.2.1. Porcentaje de germinación en almaciguera

El porcentaje de germinación se determinó contando el total de semillas germinadas a los 23 días después de la siembra del cultivo de apio en el almacigo de sustrato esponja las dos variedades, estos datos se muestran a continuación.

**Cuadro 14.** Porcentaje de germinación de las dos variedades de apio

<b>Almacigo</b>	<b>Variedades de Apio (%)</b>	
Sustrato inerte (esponja)	Tall utah 52-70 90,89%	Golden self 77,93%

De acuerdo al porcentaje de germinación, se encontró que la variedad Tall Utah 52-70, obtuvo un 90.89% de emergencia, por otra parte, la variedad Golden self con un valor de 77.93 % en promedio.

En el (Cuadro 14.) podemos afirmar que la variedad con mayor porcentaje de emergencia es la variedad Tall Utah 52-70.

Esta diferencia en el porcentaje de emergencia se puede atribuir al potencial genético de las variedades en estudio de la presente investigación (Cuadro 14), se muestra la comparación de medias para las dos variedades de apio (*Tall Utah 52-70*) y (*Golden self*), en la variable porcentaje de germinación en almacigo.

Según Suxo (2019), se observa que la variedad Tall Utah 50-72, que alcanzo un porcentaje de emergencia de 85,73%, en razón de su metabolismo es más acelerada,

además de tener las condiciones de humedad necesarias para el desarrollo de la emergencia.

El mismo autor indica que la variedad Golden self presentó un porcentaje de emergencia a los 16 días posteriormente a la siembra y al momento de lograr más del 50% de emergencia de toda la población alcanzando un porcentaje de emergencia 83,71%, debido a su fisiología y metabolismo sería menos acelerada.

La germinación de la semilla de apio es lo suficientemente difícil como para complicar el uso de diversos sistemas de implantación del cultivo. Entre las posibles causas de la pobre germinación de las semillas, se menciona la presencia de semillas sin embriones, o con un escaso desarrollo de los mismos y la dormancia relacionada con factores térmicos y lumínicos.

### 6.3. Variable de respuesta en sistema de flujo laminar de nutrientes (NFT)

Para esta investigación se tomó en cuenta las siguientes variables de respuesta.

#### 6.3.1. Porcentaje de prendimiento promedio en el sistema (NFT)

En el cuadro 15. se puntualiza el análisis de varianza correspondiente para el porcentaje de prendimiento promedio en el sistema (NFT).

**Cuadro 15.** Análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento en sistema hidropónico (NFT)

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	nivel de significancia
Bloque	3	0,04	0,01	0,04	0,9885	NS
"A" Variedad	1	0,01	0,01	0,04	0,8386	NS
"B" Corte	0	0	0	0	0	-
"A*B" Variedad *	4	0,05	0,01	0,04	0,9966	NS
Corte						
"EE" Error Experimental	75	22,4	0,30	-		
Total	79	22,4	-			

No significativo (NS)  
Significativo (\*)  
Altamente significativo (\*\*)

**CV = 19,80%**

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que no hay diferencias en el prendimiento entre variedades, dando como resultado no significativo esto nos indica que las variedades no influyeron de ninguna manera en el prendimiento del cultivo en el sistema NFT. Esto es debido a que el manejo del cultivo fue de manera adecuada, en tiempos de trasplante, si no fuera así tendríamos mucha diferencia.

Con respecto a la interacción el prendimiento fue igual para todas las muestras, deduciendo que el tiempo aun no es determinante para este resultado.

Unas pocas plantas pueden en poco tiempo producir muchas hojas y pencas que aprovechen los recursos del agua; es decir las plántulas no tienen que estar espaciadas uniformemente, pues al estar en desarrollo estas se adecuan de forma perfecta.

#### 6.4. Número de pencas en la planta en el sistema (NFT)

En el cuadro 16, se detalla los resultados del análisis de varianza para el número de pencas del cultivo de apio por efecto de los tres tiempos de corte y dos variedades (Tall-utah 52-70 y Golden self).

**Cuadro 16.** Análisis de varianza para el número promedio de pencas del cultivo de apio.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	nivel de significancia
Bloque	3	8,91	2,97	29,4	<0,0001	**
"A" Variedad	1	19,4	19,4	192,7	<0,0001	**
"B" Corte	2	0,31	0,15	1,52	0,2477	**
"A*B" Variedad * Corte	6	28,6	4,78	47,3	<0,0001	**
"EE" Error Experimental	17	1,71	0,10	-		
Total	23	37,3	-			

No significativo (NS)  
Significativo (\*)  
Altamente significativo (\*\*)

**CV = 9,08**

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que en los bloques el resultado fue altamente significativo, lo que nos indica que hubo diferencia entre bloques debido a que cada bloque se encuentra a una altura distinta con respecto al suelo, por consiguiente, la luz solar influyo directamente en el cultivo de apio.

Según Hdlr (2018) informa las plantas necesitan de luz solar para un excelente crecimiento, desarrollo y calidad de las plantas, la luz es un factor de gran importancia en estos cultivos en especial si este sistema de hidroponía.

Según (Montero Torrez, 2022), la radiación solar, es fundamental para la vida; por cada canal de cultivo y en este caso, para la producción de plantas hortícolas. Por tanto, es importante, considerar datos de la radiación solar y el clima en general, para el manejo agronómico, innovación tecnológica, para producir vegetales bajo invernadero.

Para las variedades tenemos un resultado altamente significativo, lo que nos indica que las variedades son genéticamente diferentes, ya que la variedad Tall utah 52-70 es una variedad muy vigorosa, con alto rendimiento en pencas a comparación de la Golden self.

Para el primer, segundo y tercer tiempo de corte se obtuvo un resultado altamente significativo, esto indica que las tres cosechas tuvieron impacto en cada uno de los cortes, esto porque cada corte se diferenciaba del otro.

En cuanto a la interacción de variedad y los tiempos de corte dio como resultado altamente significativo, lo cual nos indica que los actores se manejan de forma conjunta. Esto es un indicador de que ambas variedades respondieron a los distintos cortes. comparación número de pencas.

**Cuadro 17.** Test Duncan al 5% para el Factor “A” Variedades

<b>Factor “A” Variedad</b>			
<b>Variedad</b>	<b>Promedio (cm)</b>	<b>E.E.</b>	<b>Duncan <math>\alpha=5\%</math></b>
Golden self	8,68	0,09	A
Tall utah 52 - 70	6,88	0,09	B



En el (Cuadro 17), también nos reitera que entre variedades (*Golden self*) y (*Tall utah 52-70*) son significativamente diferentes. En este sentido se puede deducir que la diferencia de número de pencas, es visible que en promedio existe diferencias entre las variedades donde la variedad Golden Self mostro mayor número de pencas obteniendo 8,68 pencas en promedio siendo mayor con respecto a la variedad Golden self en los distintos cortes de cosecha, siendo la variedad *Tall utah 52-70* con menor número de pencas con 6,88 pencas.

Esta variedad (*Golden self*) por genética tiene mayor número de pencas con respecto a otras variedades.

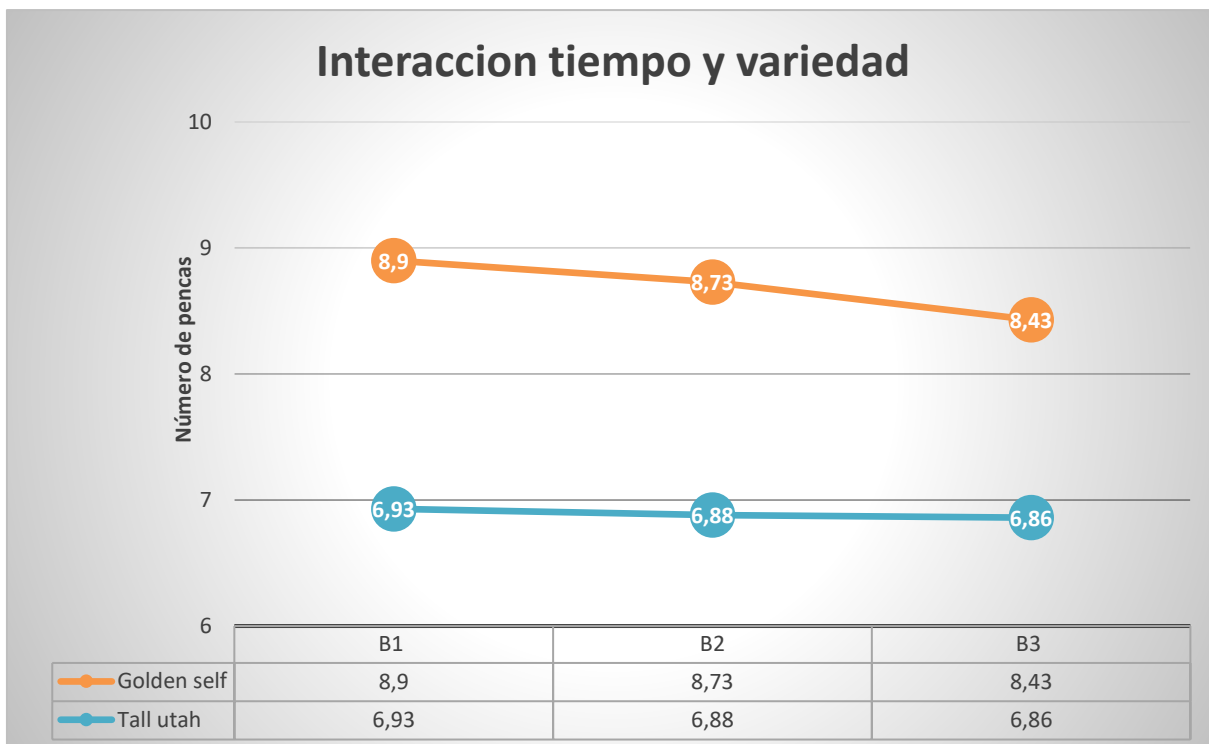
**Cuadro 18.** Test Duncan al 5% para el Factor tiempo.

<b>Tiempo (días)</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Duncan <math>\alpha=5\%</math></b>
B1	7,91	8	0,11	A
B2	7,80	8	0,11	A
B3	7,64	8	0,11	A

En el (cuadro 18), apreciamos que no hay variación entre los distintos tiempos de corte siendo que va disminuyendo, pero muy levemente el número de pencas en cada corte realizado.

Según Naturnoa (2018), el apio Tall utah es una variedad de apio con tallos redondeados altos, verde intenso y sin hebras. El corazón es compacto y grueso. Planta vigorosa erecta, las plantas crecen con una altura de 40-70 cm. Buen follaje cubriente. Es una variedad muy productiva y resistente a la mayoría de las enfermedades comunes del apio.

Las hojas brotan en forma de corona y son grandes, con el ápice del limbo dentado; el peciolo se denomina “penca”, siendo muy gruesa y carnosa; es la principal parte comestible. Al segundo año de cultivo el tallo crece más y salen las flores blancas o moradas.



**Gráfica 2.** Interacción factor tiempo y variedad

Para esta interacción se aprecia que la variedad Tall utah 52-70 se va manteniendo en sus tres tiempos de corte y no así la variedad Golden self que va disminuyendo así sea mínimo, pero ya tiene un efecto negativo en el número de pencas, tuvo estos resultados por su genética y características morfológicas que se adaptaron mejor en este sistema de producción.

A si también para variedades dio como resultado altamente significativo, lo que indica que las variedades son genéticamente diferentes, ya que la variedad Tall utah 52-70 es una variedad muy vigorosa, con alto rendimiento en pencas a comparación de la Golden self.

#### **6.5. Altura de planta en el sistema (NFT)**

En el cuadro 21, se detalla los resultados del análisis de varianza para la altura de planta del cultivo de apio por efecto de los tres cortes en las dos variedades.

**Cuadro 19.** Análisis de varianza para la altura de planta en el sistema (NFT) el día de la cosecha.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	nivel de significancia
Bloque	3	48,3	16,1	26,1	<0,0001	**
"A" Variedad	1	5,93	5,93	9,58	0,0066	*
"B" Cortes	2	25,2	12,6	20,4	<0,0001	**
"A*B" Variedad * Cortes	6	79,5	13,2	21,4	<0,0001	**
"EE" Error Experimental	17	10,5	0,62	-		
Total	23	90,1	-			

No significativo (NS)  
Significativo (\*)  
Altamente significativo (\*\*)

CV =4,32 %

De acuerdo al análisis de varianza realizado se llegó a determinar que en los bloques el resultado fue altamente significativo, lo que indica que hubo disimilitud entre bloques. El bloque I tuvo diferencia en relación a los tres bloques ya que el primer bloque se vio afectado por el tema de luz, al estar expuesto todo el día y no tener un tiempo de sombra este no desarrollo en altura.

Asi también para variedades, dio como resultado significativo, eso debido a la morfología y fisiología de las variedades de apio, siendo el apio (*Apium graveolens*) una variedad tiene mayor altura con respecto a la otra variedad.

Según el análisis de varianza el factor de variedad y tiempos de corte para la variable altura de planta la utilización de diferentes variedades de trasplante afecta estadísticamente a estas variables, por lo cual en lo posterior se determinará cual puede ser la mejor opción entre las variedades y tiempos de corte en estas variables.

**Cuadro 20.** Test Duncan al 5% para el Factor "A" Variedades

<b>Factor "A" Variedad</b>				
<b>Variedad</b>	<b>Promedio (cm)</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Duncan <math>\alpha=5\%</math></b>
Golden self	34,45	12	0,23	A
Tall utah 52 - 70	33,45	12	0,23	B

Así también para variedades, dio significativo lo que indica que hay una diferencia no muy significativa, pero existe.

Investigaciones efectuadas por Roman (2009), mencionan que la semilla de alta calidad influye directamente en el éxito del cultivo y contribuye significativamente para que se alcancen niveles de alta productividad. La rentabilidad de los agricultores es afectada debido al uso de semilla de mala calidad.

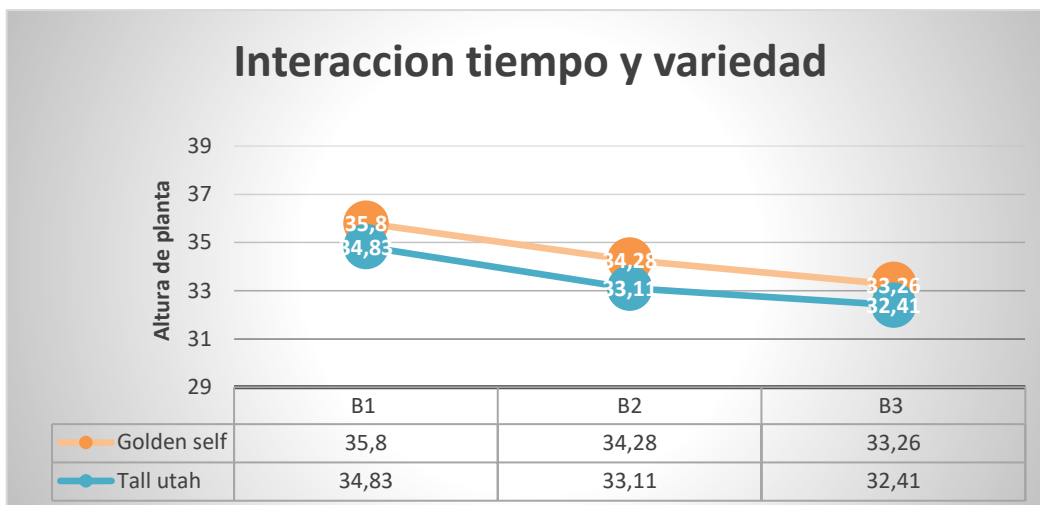
El apio verde Tall es un vegetal del cual se pueden comer tallos y las hojas jóvenes. La planta es rica en nutrientes, esta336 variedad que se desarrolla solo con luz suficiente. La germinación es lenta y puede tardar mas de tres semanas, también tiene mas vigor que otras variedades y no soporta bajas caídas de temperatura.

**Cuadro 21.** Test Duncan al 5% para el Factor tiempo

<b>Tiempo (días)</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Duncan <math>\alpha=5\%</math></b>
B1	35,31	8	0,28	A
B2	33,69	8	0,28	B
B3	32,84	8	0,28	C

Para el factor tiempo nos dio un resultado altamente significativo, en los distintos tiempos de corte, siendo el tiempo B1 con 37 días en el primer corte teniendo mejores resultados con una media de 35,31 cm de altura de planta, en el segundo corte 41 días nos dio una media de 33,69 cm en altura de la planta y el tiempo de corte B3 con 32,84 cm. Esto se debe a las características genéticas y las condiciones climáticas de las dos variedades que pudo afectar al tiempo de cosecha.

La poca diferencia entre días a la cosecha o tiempos de corte entre las variedades de apio es probablemente debido a la similitud en cantidad de luz.



**Gráfica 3.** Interacción variedad y tiempos de corte

Para la interacción variedad y los tiempos de corte dando como resultado altamente significativo. Lo que indica que entre ambos factores actuaron de manera adjunta para el desarrollo de la planta en los distintos tiempos de corte.

La variedad Golden self, por su genética es alta, de tallos largos y de color amarillo dorado, la base presenta aspecto tubular planta que se desarrolla mejor con temperaturas medias, tallos de auto blanqueo.

En los distintos cortes la interacción no fue muy distinto mostrando casi similitud entre ambas variedades.

#### 6.6. Peso de planta al momento de la cosecha

En el cuadro 24, se detalla los resultados del análisis de varianza para el peso de planta del cultivo de apio (sin raíz) por efecto de tres tiempos de corte y dos variedades.

**Cuadro 22.** Análisis de varianza para el peso de la planta del cultivo de apio.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	nivel de significancia
Bloque	3	1096,3	365,4	12,8	0,0001	**
"A" Variedad	1	5014,1	5014,1	176	<0,0001	**
"B" Corte	2	75,93	37,97	1,34	0,2891	*
"A*B" Variedad * Corte	6	6186,4	1031,1	36,3	<0,0001	**
"EE" Error Experimental	17	483,10	28,42	-		
Total	23	6669,5	-			

No significativo (NS)

Significativo (\*)

Altamente significativo (\*\*)

$$CV = 9,27 \%$$

De acuerdo al análisis de varianza realizado se determinó que para bloques el resultado fue altamente significativo, esto nos indica que hubo diferencia entre bloques, ya que cada bloque se encontraba a diferente altura con respecto al suelo, por lo tanto, la luz solar influyo directamente en el cultivo de apio.

Con respecto a los tres tiempos de corte se obtuvo un resultado significante, esto indica que los cortes tuvieron impacto para obtener menor peso en cada cosecha, debido a que disminuyo el peso en cada corte.

Con respecto a las variedades, dio como resultado altamente significativo, lo que indica que si tuvo consecuencia directa en el peso de la planta (sin raiz) del cultivo, se atribuye a las características genéticas, morfológicas y fisiológicas propias de cada variedad.

**Cuadro 23.** Test Duncan al 5% para el Factor "A" Variedades

<b>Factor "A" Variedad</b>				
<b>Variedad</b>	<b>Promedio (cm)</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Duncan <math>\alpha=5\%</math></b>
Tall utah 52 - 70	139,44	12	1,54	A
Golden self	110,53	12	1,54	B

El comportamiento de las variedades en los diferentes tiempos de corte del cultivo, posiblemente puede atribuirse a una mayor susceptibilidad de esta a la formación de follaje a temperaturas por encima de los 25°C, acelerando el crecimiento de las hojas que vienen a ser el primer indicador de madurez para las variedades de apio.

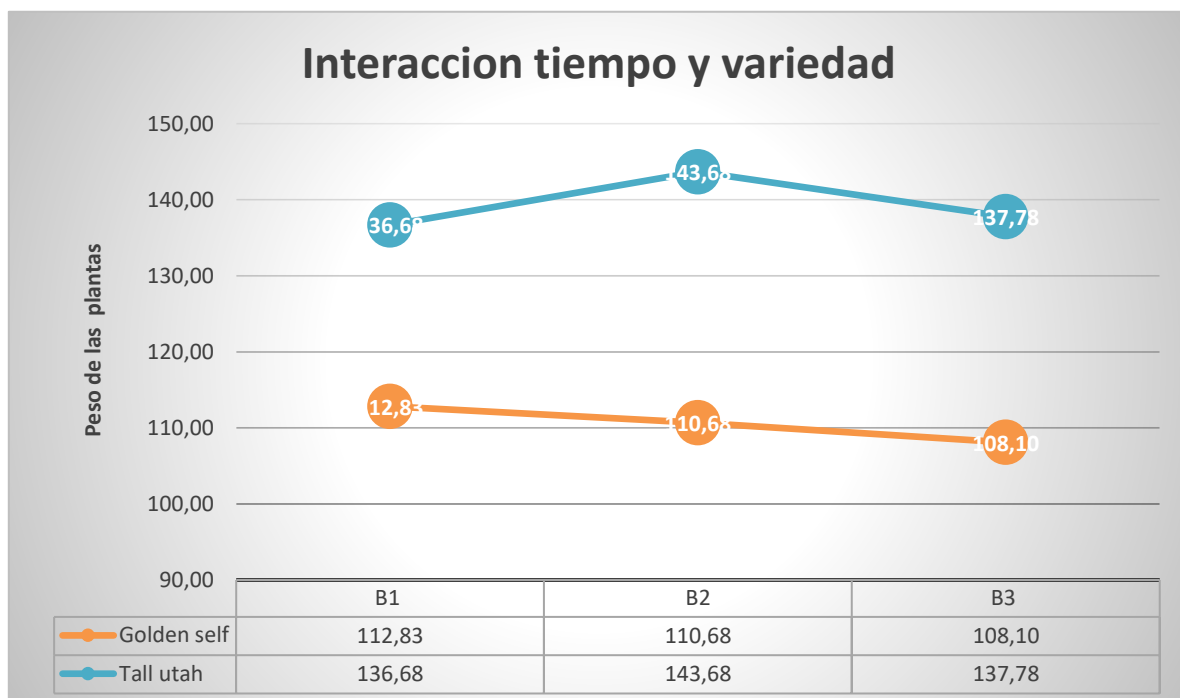
Para la cosecha del apio se debe evitar a la floración temprana y así mismo que los tallos presenten fibras no comestibles ya que no serán posible comercializarlas e interfiere negativamente sobre la productividad, existiendo diversos factores. La diferencia de peso entre una variedad y otra es muy importante debido a que comercializamos el apio por peso y no así por número de hojas o pencas.

**Cuadro 24.** Test Duncan al 5% para el Factor tiempo

Tiempo (días)	Medias	n	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
B2	127,28	8	1,88	A
B1	124,75	8	1,88	A
B3	122,94	8	1,88	A

No existe diferencias se pueden atribuir a la influencia por efectos ambientales como la temperatura y la diferencia de humedad debido a la época de la investigación, iniciamos en época de lluvias y temperatura regular ya para el segundo corte se presentó temperaturas mínimas correspondientes a la época esto incide en la amplitud térmica que puede resistir el cultivo, en el tercer corte las temperaturas se estabilizaron es por eso que el primer corte y el tercer corte son casi similares, todo esto no fue determinante entre las variedades.

La variedad (*Tall Utah 52-70*), requiere mucha agua; si este no tiene suficiente agua los tallos estarán secos y pequeños. Esta variedad por sus características del tallo tiende a pesar más con respecto a la otra variedad *Golden self*.



**Gráfica 4.** Test Duncan al 5% para el Factor tiempo

Para la interacción variedades y tiempos de corte dio como resultado altamente significativo lo que indica que entre ambos factores actúan de manera conjunta.

Para el peso de la planta sin raíz en los distintos cortes la variedad *Tall utah 52-70* obtuvo un promedio de 137,33 g con respecto al peso de la planta, para la variedad Golden self se obtuvo un promedio de 110,39 g respecto al peso de la planta, se puede observar que la variedad *Tall utah 52-70* tiene mejores resultados respecto al peso de la planta. Esta interacción es muy importante debido a que la comercialización del cultivo es por peso esto influye directamente en los costos de la producción del apio y la ganancia directa.

Según Arteaga (2016), indica que, para el manejo en ambientes atemperados, el coeficiente de varianza si se tiene un rango por encima del 15%, hubo un mal manejo de las unidades experimentales, si se encuentra por debajo del 15%, hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

#### **6.7. Días a la cosecha (días)**

Los días de cosecha en el primer corte es de 37 días a partir del trasplante a la pirámide, para el segundo corte tomo un tiempo de 41 días y para el tercer corte se tuvo que esperar 47 días.

#### **6.8. Análisis económico**

En el presente análisis económico describimos los parámetros relevantes para indicar la rentabilidad o no rentabilidad de la producción del cultivo de apio en dos variedades y tres tiempos de cortes.

##### **6.8.1. Rendimiento ajustado**

El rendimiento ajustado para cada tratamiento se determinó descontando el 10% al rendimiento total debido a que siempre existirán pérdidas en el rendimiento al momento de embolsar el producto para la venta.



**Cuadro 25.** Rendimiento ajustado

	<b>I T</b>	<b>I G</b>	<b>II T</b>	<b>II G</b>	<b>III T</b>	<b>III G</b>	<b>IV T</b>	<b>IV G</b>
Rendimiento Bruto (Kg/m <sup>2</sup> )	10,05	12,1	8,32	7,48	8,05	8,48	8,42	9,07
Rendimiento ajustado (-10%)	9,04	10,9	7,48	6,73	7,24	7,63	7,58	8,16

Fuente: Elaboración propia

**6.8.2. Beneficio bruto**

El beneficio se determinó multiplicarlo el número de bolsas por el precio de venta.

**Cuadro 26.** Beneficio expresado en kilogramos

	<b>I T</b>	<b>I G</b>	<b>II T</b>	<b>II G</b>	<b>III T</b>	<b>III G</b>	<b>IV T</b>	<b>IV G</b>
Rendimiento Bruto (Kg/m <sup>2</sup> )	10,05	12,1	8,32	7,48	8,05	8,48	8,42	9,07
Rendimiento ajustado (-10%)	9,05	10,89	7,49	6,73	7,25	7,63	7,58	8,16
N° plantas/m <sup>2</sup>	36	36	36	36	36	36	36	36
Peso promedio por P/G	250	250	250	250	250	250	250	250
N° Bolsas/m <sup>2</sup>	36	44	30	27	29	31	30	33
Precio (Bs/Bolsa)	4	4	4	4	4	4	4	4
Beneficio (kg/m <sup>2</sup> )	145	174	120	108	116	122	121	131
Beneficio (kg/8m <sup>2</sup> )	1157,8	1393,9	958,5	861,7	927,4	976,9	970,0	1044,9

Fuente: Elaboración propia

**6.8.3. Costos variables**

Los costos variables son los costos relacionados con los insumos comprados, utilizada para un ciclo productivo que varían con los tratamientos de una variedad a otra.

**Cuadro 27.** Costos Variables para un m<sup>2</sup>

	<b>I T</b>	<b>I G</b>	<b>II T</b>	<b>II G</b>	<b>III T</b>	<b>III G</b>	<b>IV T</b>	<b>IV G</b>
<b>Descripción</b>								
Semilla	0,3	0,24	0,3	0,24	0,3	0,24	0,3	0,24
Nutrientes	1,9	1,5	1,9	1,5	1,9	1,5	1,9	1,5
<b>Total</b>	<b>2,2</b>	<b>1,74</b>	<b>2,2</b>	<b>1,74</b>	<b>2,2</b>	<b>1,74</b>	<b>2,2</b>	<b>1,74</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 6.8.4. Costos fijos

Los costos fijos son aquellos que se mantienen para varios ciclos productivos, en los cuales se encuentran alquileres, servicios básicos, transporte y mano de obra.

**Cuadro 28.** Costos fijos para un m<sup>2</sup>

	<b>I T</b>	<b>I G</b>	<b>II T</b>	<b>II G</b>	<b>III T</b>	<b>III G</b>	<b>IV T</b>	<b>IV G</b>
<b>Descripción</b>								
Invernadero y pirámide	14	14	14	14	14	14	14	14
Luz	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54
Agua	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Almacigo	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Piscina	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Pirámide	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>Total</b>	<b>32,1</b>	<b>32,1</b>	<b>32,1</b>	<b>32,1</b>	<b>32,1</b>	<b>32,1</b>	<b>32,1</b>	<b>32,1</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 6.8.5. Costos Totales

Los costos totales se consideran la suma de los costos variables, los costos fijos y la adición de los imprevistos (+10%), dando así el total de gastos realizados para 1m<sup>2</sup>.<sup>1</sup>

**Cuadro 29.** Costos Totales para un m<sup>2</sup>

	<b>I T</b>	<b>I G</b>	<b>II T</b>	<b>II G</b>	<b>III T</b>	<b>III G</b>	<b>IV T</b>	<b>IV G</b>
Costo variable	2,2	1,74	2,2	1,74	2,2	1,74	2,2	1,74
Costo fijo	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1
Imprevistos (+10%)	3,43	3,38	3,43	3,38	3,43	3,38	3,43	3,38
<b>Costo total</b>	<b>37,73</b>	<b>37,224</b>	<b>37,73</b>	<b>37,224</b>	<b>37,73</b>	<b>37,224</b>	<b>37,73</b>	<b>37,224</b>

Fuente: Elaboración propia

### 6.8.6. Beneficio neto

El beneficio neto es el valor de todos los beneficios de una producción que se percibirá, menos el costo total de producción.

**Cuadro 30.** Beneficio neto para un m<sup>2</sup>

	<b>I T</b>	<b>I G</b>	<b>II T</b>	<b>II G</b>	<b>III T</b>	<b>III G</b>	<b>IV T</b>	<b>IV G</b>
Beneficio (m2)	145	174	120	108	116	122	121	131
Costo total	37,73	37,22	37,73	37,22	37,73	37,22	37,73	37,22
Beneficio Neto	107	137	82	70	78	85	84	93

**Fuente:** Elaboración propia

### 6.8.7. Beneficio costo

En el (cuadro 31), se observa los resultados del beneficio total por cada tratamiento estimado en 1 m<sup>2</sup> para la relación beneficio/costo.

**Cuadro 31.** Relación beneficio/costo (Bs)

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>
Beneficio Bruto (m <sup>2</sup> )	145	174	120	108	116	122	121	131
Costo Total	37,73	37,22	37,73	37,22	37,73	37,22	37,73	37,22
Relación B / C	3,84	4,68	3,18	2,89	3,07	3,28	3,21	3,51
Ganancia por unidad invertida (Bs)	2,84	3,68	2,18	1,89	2,07	2,28	2,21	2,51
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
	2,8	3,7	2,2	1,9	2,1	2,3	2,2	2,5

**Fuente:** Elaboración propia

## 7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos específicos, los resultados obtenidos de las variables de respuesta en la presente investigación, se llegó a las siguientes conclusiones.

- Bajo la técnica hidropónica NFT piramidal en el cultivo de apio en ambas variedades la que obtuvo mejores resultados es la variedad *Tall utah 52-70*, al ser una variedad con pencas más abultadas tienen mayor peso y es ese factor el que más nos interesa en comercialización.
- La variedad *Tall utah 52-70* resulta ser más óptima con un peso de 143,68 g con respecto a la variedad *Golden self* que obtuvo un peso de 112,83 g por su principal característica que es el peso, siendo esta variedad (*Tall utah 52-70*) la que más ventajas nos dio al momento de la oferta del producto. Al tener varios cortes en la producción eleva el rendimiento del apio en ambas variedades, en la presente investigación se sobrepasó el rendimiento de 10.05 kg/m<sup>2</sup>.
- De acuerdo al análisis económico realizado en el cultivo de apio y sus variedades, se demostró que para la variedad (*Golden self*) el bloque I fue el que mejor resultados obtuvo con una ganancia por unidad invertida de 3,7 Bs. Y para la variedad (*Tall utah 52-70*) de igual manera el bloque I fue el que mejor resultado obtuvo con 2,8 Bs. de ganancia por unidad invertida.

## 8. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se sugiere las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda usar canales de cultivo más profundos para evitar saturaciones y perdida de la solución nutritiva exclusivamente para este cultivo, debido a que la raíz se desarrolla de forma abundante.
- Desde el punto de vista de características agronómicas esperados, como la buena calidad y presentación, tamaño adecuado de las hojas y pencas, la obtención de mejores pesos, se sugiere utilizar la variedad de Apio (*Tall utah 52-70*).
- Debido a la alta proliferación de raíces del apio, este cultivo se recomienda en piscinas (raíz flotante), en este método, las plantas se encuentran en una lámina o balsa generalmente de unicel que flota sobre la solución nutritiva, de modo que sus raíces están sumergidas dentro de la solución. Una bomba de aire les proporciona a las raíces el oxígeno necesario para su óptimo desarrollo.
- Cambiar el tipo de oferta de penca entera más hojas y solo tallos, ya que se vio que el mercado requiere solo tallos.
- Si se comparte solución con otros cultivos el tema de nutrientes es una condicionante para el correcto desarrollo del apio, en la presente investigación se tuvo la condicionante del crecimiento del tallo, pero se soluciona con la sombra para que este busque luz solar y así poder tener plantas más altas.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Arteaga, J. (2016). *Apuntes de diseño experimentales*. La Paz.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en Hidroponia* (Primera Edición ed.). La Plata: Universidad de La Plata.
- Blanco. (2017). *www.intagri.com*. Recuperado el 10 de Junio de 2022, de Intagri: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>
- Cabezas, A. (2012). *Soluciones Nutritivas*.
- Campos. (2022). *tuagricola*. Recuperado el 19 de 07 de 2022, de tuagricola: <https://tuagricola.com/semillas/84-apio-tall-utah-52-70.html>
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidroponica de mediana escala: la tecnica de solucion nutritiva recirculante "NFT"*. Talca: Impresora Gutenberg - Talca.
- Carrillo Romero, C. (2002). *Evaluacion de tres densidades y dos arreglos especiales en producción orgánica hidropónica de Apio (Apu graveolens L.)*. San Salvador.
- Casaca, Á. (2005). *El cultivo del Apio*. Costa Rica: Promosta.
- Chang, Falcon, F., & Hoyos, M. (2000). *Manual práctico de hidroponia*. Recuperado el 08 de 07 de 2022, de <https://core.ac.uk/download/pdf/143458034.pdf>
- Choque, D. (2021). *Evaluación de dos variedades de apio (Apium graveolens L.) en tres densidades de transplante en sistema hidropónico (NFT), en el centro experimental de Cota Cota - La Paz*. La Paz, Bolivia.
- Chuquimia, H. (2018). *Economía Agrícola - Ingeniería Agronómica - UMSA*. La PAZ, Bolivia.
- Del Pino, M. (2018). *Horticultura*. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/66573/documento\\_completo.pdf-pdf.pdf?sequence=1&isallowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/66573/documento_completo.pdf-pdf.pdf?sequence=1&isallowed=y).
- Del Pino, M. (2020). Recuperado el 05 de 07 de 2022, de <file:///C:/Users/Gabriel/Downloads/Guia%20apio%20y%20lechuga%202020.pdf>

- Delgado, J. (2016). *Produccion de avena (Avena sativa) como forraje verde hidroponico con tres métodos de produccion, en el distrito 8 de la ciudad de El Alto* .
- Domenech, M. (2021). *www.prfarmcredit.com*. Recuperado el 04 de Julio de 2022, de Puerto Rico, Farm Credit: <https://prfarmcredit.com/ventajas-y-desventajas-de-los-hidroponicos/>
- Esquivel B., A. (2017). *Respuesta al estres salino por cloruro de Sodio y agua de mar en la fase de crecimiento de dos tipos de tomate en un sistema hidropónico de raiz flotante*. La Paz, Baja California.
- FAO. (1992). *Fertilizer*. Recuperado el 08 de 07 de 2022, de Fao: <http://www.fertilizer.org/>
- Favela, E., Preciado, P., & Benavides, A. (Abril de 2006). *Hidroponia Neptuno*. Recuperado el 08 de Junio de 2022, de Hidroponia Neptuno: [http://hidroponianeptuno.com.ar/PDF/Manual\\_Soln\\_Nutritivas-Coahuila-Mexico.pdf](http://hidroponianeptuno.com.ar/PDF/Manual_Soln_Nutritivas-Coahuila-Mexico.pdf)
- Gabino, A., Martinez, Y., & Lopez, R. (2012). Oxigenación de la solución Nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. *1Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Rural*, 52.
- Hornerwald, L. (2022). *reinsaat*. Recuperado el 19 de 07 de 2022, de [https://www.reinsaat.at/shop/ES/apio/apio\\_de\\_pencas\\_apio\\_acostillado/tall\\_uta\\_h\\_52\\_70/](https://www.reinsaat.at/shop/ES/apio/apio_de_pencas_apio_acostillado/tall_uta_h_52_70/)
- INE. (09 de 2013). *INE*. Recuperado el 08 de 07 de 2022, de INE: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/ess\\_test\\_folder/world\\_census\\_agriculture/country\\_info\\_2010/reports/reports\\_5/bol\\_spa\\_rep\\_2013.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/ess_test_folder/world_census_agriculture/country_info_2010/reports/reports_5/bol_spa_rep_2013.pdf)
- Jaimes Terceros, M. (2019). *Establecimiento de un sistema hidroponico con la tecnica de pelicula nutritiva (NFT) en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) en la Estacion Experimental Patacamaya La Paz*. La Paz, Bolivia.
- Kimura, Y. (2017 de 11 de 2015). *Agricultura Ecológica*. Recuperado el 27 de 02 de 2022, de <https://www.ecoagricultor.com/losbeneficios->

- Machaca S., F. M. (2007). *Efecto de niveles de estiércol de ovino en el rendimiento de variedades de Apio (Apium graveolens L.) bajo ambiente protegido en el municipio de El Alto*. La Paz, Bolivia.
- Mendoza, D. R. (2019). *Evaluación del efecto de tres dosis de lixiviado de humus de lombriz en el comportamiento productivo de apio (Apium graveolens), bajo ambiente protegido en la zona de Callapa - La Paz*. La Paz, Murillo, Bolivia.
- Montero Torrez, J. (Abril de 2022). *Relacion de la radiacion solar con la producción de plantas*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v9n1/2409-1618-riiarn-9-01-48.pdf>
- Murillo Oporto, W. A. (2010). *Optimización de la producción de tres especies de hortalizas bajo producción hidropónica en el sistema NFT en los invernaderos La huerta en la localidad de Chicani La Paz*. Chicani, Murillo, Bolivia.
- Naturnoa. (10 de Marzo de 2018). *Naturnoa*. Obtenido de <http://naturnoa.com/es/tallos-apios-ruibarbos-y-mas/132-apio-tall-utah-semillas-ecologicas.html>
- Pino, M. (2015). *Universidad Nacional de La Plata*. Recuperado el 05 de 07 de 2022, de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/66573/documento\\_completo.%20pdf-pdf.pdf?sequence=1&isallowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/66573/documento_completo.%20pdf-pdf.pdf?sequence=1&isallowed=y)
- Porta. (2015). *El cultivo del apio. Obtenido de valor nutricional*. Recuperado el 30 de 06 de 2022, de infoagro: <http://www.infoagro.com/hortalizas/apio.html>
- Punto, J. (2022). *Punto Jardin*. Recuperado el 19 de 07 de 2022, de <https://www.puntojardin.com/semillas-hortícolas/432-apio-chemin-lleño-dorado-gold-self-blanch.html>
- Resh, H. (2002). *Cultivos Hidropónicos* (Quinta ed., Vol. V). España: Mundi - Prensa.
- Rios, D. (2022). *Labores culturales generales*. Recuperado el 30 de 03 de 2022, de infogranja: [http://infogranja.com/labores\\_culturales.html](http://infogranja.com/labores_culturales.html)
- Rizo, E. (08 de 06 de 2016). *Hortalizas*. Recuperado el 08 de 07 de 2022, de Hortalizas: <https://www.hortalizas.com/nutricion-vegetal/obten-mejor-rendimiento-con-manejo-apropiado-de-ph-y-ce-en-sistemas-hidroponicos/>



- Rizo, E. (2022). *Hidro Enviroment*. Recuperado el 08 de 07 de 2022, de Hydroenv: [https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=148](https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=148)
- Rodriguez A., A. (2021). *Evaluación del efecto de Sodio en la producción de dos variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) bajo sistema hidropónico (NFT) en la ciudad de El Alto*. La Paz, La Paz, Bolivia.
- Ross, N. (2016). *Hidroponia: La Guia Completa de Hidroponia Para Principiantes*. Concepcion del Uruguay, Entre Rios, Argentina: Babelcube Books.
- Sanchez. (2022). *Efecto de la aplicación de tres niveles de citoquinina en el desarrollo y rendimiento productivo del cultivo hidropónico de berro (Nasturtium officinale) en el centro experimental de Cota Cota*. La Paz.
- Sanchez, L., & Urrutia, M. (2001). *La agricultura organica*. El Salvador.
- Santos, B., & Rios, D. (Diciembre de 2016). *Cabildo de Tenerife*. (S. d. Rural, Ed.) Recuperado el 08 de 07 de 2022, de Agrocabildo: [https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro\\_622\\_soluciones\\_nutritivas.pdf](https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf)
- Villaverde, J. (2022). *Plantamus*. Recuperado el 19 de 07 de 2022, de <https://plantamus.com/semilla-horticola-de-apio-golden-self-blanching-3-ba3f/>
- Zarate, M. (2014). *Manual Hidroponia* (Primera ed., Vol. I). (L. Lluvia Marquez , Ed.) Coyoacan, México.
- Zohary, D., & Hopf, M. (2000). *Domestication of plants in the Old World* (Tercera ed.). New York.

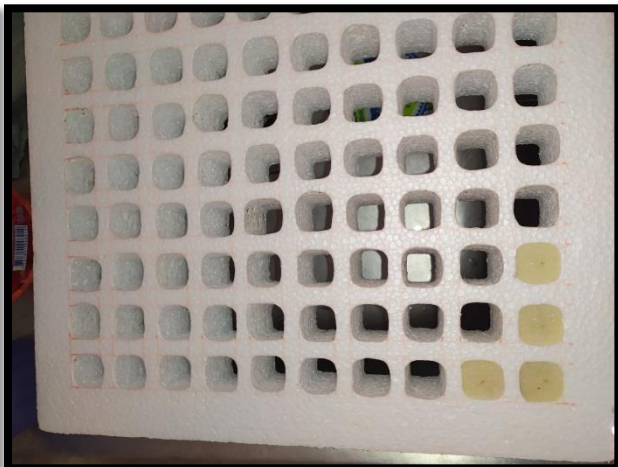
# **ANEXOS**

## Anexo 1. Apio (*Apium graveolens* L.).



## Anexo 2. Acondicionamiento de pirámide y producción

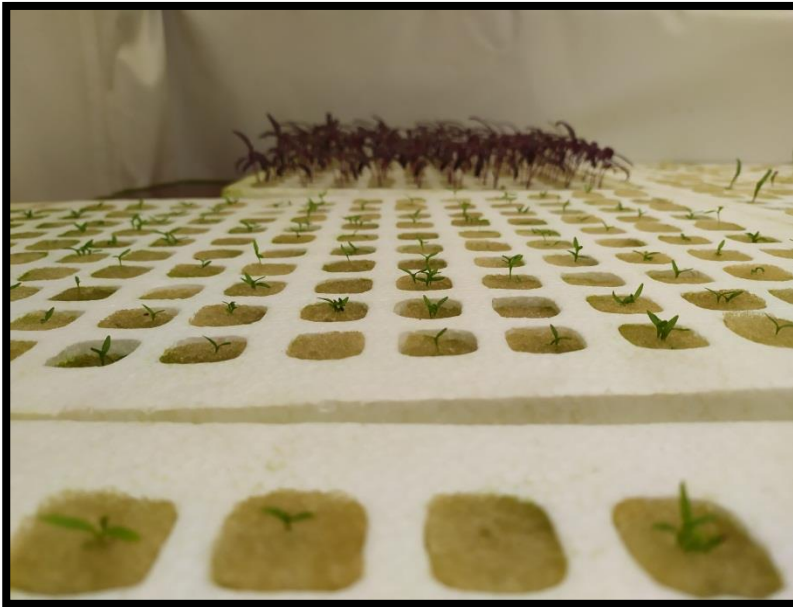




Emergencia de las dos variedades.







Adaptación en piscina.



Apio a los 25 días en piscina.



Trasplante a pirámide.







Desarrollo de ambas variedades.





Primer corte.



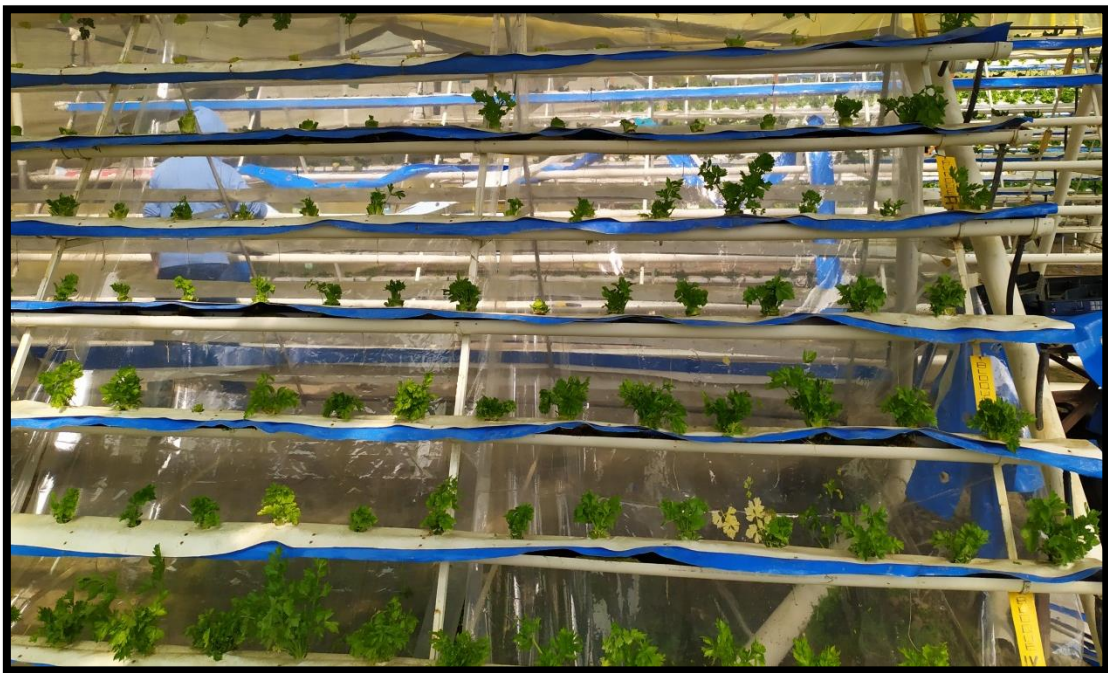
Desarrollo posterior al primer, segundo y tercer corte.







Desarrollo para nuevas cosechas



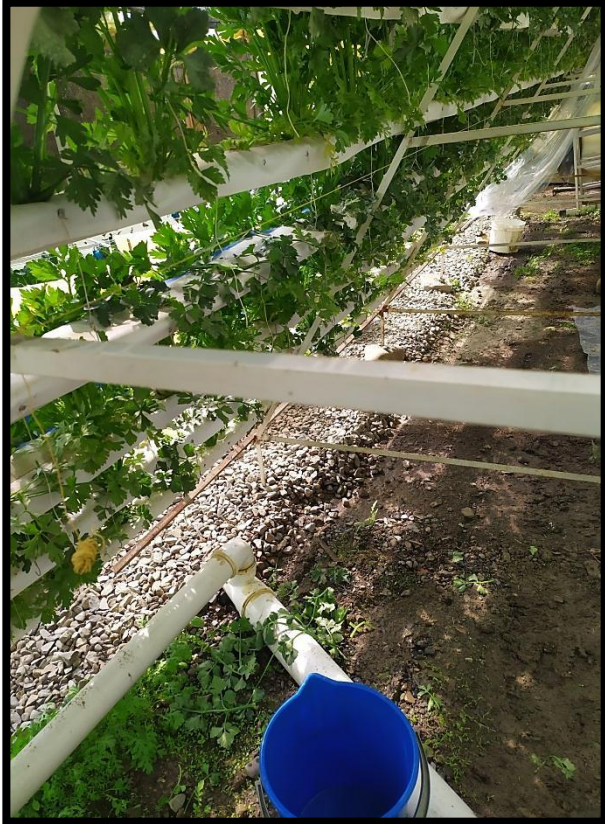
Enfermedades presentes



Problemas con los canales de cultivo, saturación y encharcamiento.







### Anexo 3. Análisis químico del agua.

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
Instituto de Ecología  
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 77/16

Página 1 de 1

#### INFORME DE ENSAYO DE AGUAS A77/16

Cliente:	FACULTAD DE AGRONOMIA - UMSA
Solicitante:	Srta. Roxana Ticona Quispe
Dirección del cliente:	Calle Araona # 9055, Zona Villa Ingenio
Procedencia de la muestra:	Centro Experimental de Cota Cota
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Grifo de Carga de Horticultura - Fac. Agronomía
Responsable del muestreo:	Srta. Roxana Ticona Quispe
Fecha de muestreo:	10 de mayo de 2016
Hora de muestreo:	10:55
Fecha de recepción de la muestra:	10 de mayo de 2016
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 10 al 26 de mayo 2016
Caracterización de la muestra:	agua de grifo
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Botella Pett
Código LCA:	77-1
Código original:	A-1

#### Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A-1 77-1
pH	EPA 150.1		1 - 14	8.3
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1.0	88
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0.020	1.1
Sulfatos	SM 4500-SO4-E	mg/l	1.0	16
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0.019	2.7
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0.21	0.65
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0.32	11
Magnesio	EPA 242.1	mg/l	0.18	2.5
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO <sub>3</sub> /l	2.0	38
Fósforo total	EPA 365.2	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l	0.010	< 0.010
Nitrógeno total	EPA 351.1	mg/l	0.30	< 0.30

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
EPA = Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

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

La Paz, junio 12 de 2016

  
Ing. Jaime Chincheros Paniagua  
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



CC: HDT  
JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522  
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



**Anexo 4.** Temperaturas máximas y mínimas durante el ciclo del cultivo

<b>Fecha</b>	<b>T° Máximas</b>	<b>T° Mínimas</b>	<b>T° Promedio</b>
27/01/2021	35	12	24
03/02/2021	32	16	25,5
10/02/2021	34	17	26,5
17/02/2021	36	17	24,5
24/02/2021	35	14	21,5
03/03/2021	32	11	21,5
10/03/2021	32	11	23
17/03/2021	31	15	21,5
24/03/2021	31	12	23,5
31/03/2021	31	16	22,5
07/04/2021	33	12	25
14/04/2021	34	16	22,5
21/04/2021	35	10	23
28/04/2021	32	14	22
05/05/2021	36	8	19
12/05/2021	29	9	15
19/05/2021	25	5	20
26/05/2021	32	8	15,5
02/06/2021	28	3	14,5
09/06/2021	27	2	16
16/06/2021	26	6	16
23/06/2021	31	1	14,5
30/06/2021	25	4	14,5
07/07/2021	25	4	18,5
14/07/2021	31	6	19,5
21/07/2021	31	8	19,5
28/07/2021	30	9	19,5