

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



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE DOS VARIEDADES DE APIO (*Apium graveolens* L.) EN TRES
DENSIDADES DE TRASPLANTE EN SISTEMA HIDROPÓNICO (NFT), EN EL
CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA - LA PAZ.**

CHOQUE CHOQUE DANIELA BEATRIZ

**La Paz- Bolivia
2021**

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**EVALUACIÓN DE DOS VARIEDADES DE APIO (*Apium graveolens* L.) EN TRES
DENSIDADES DE TRASPLANTE EN SISTEMA HIDROPÓNICO (NFT), EN EL
CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA - LA PAZ.**

*Tesis de Grado presentada como
Requisito Parcial para optar
El título de Ingeniero
Agrónomo*

CHOQUE CHOQUE DANIELA BEATRIZ

Asesores:

Ing. Willams Alex Murillo Oporto

Ing. Mike Jaimes Terceros

Revisores:

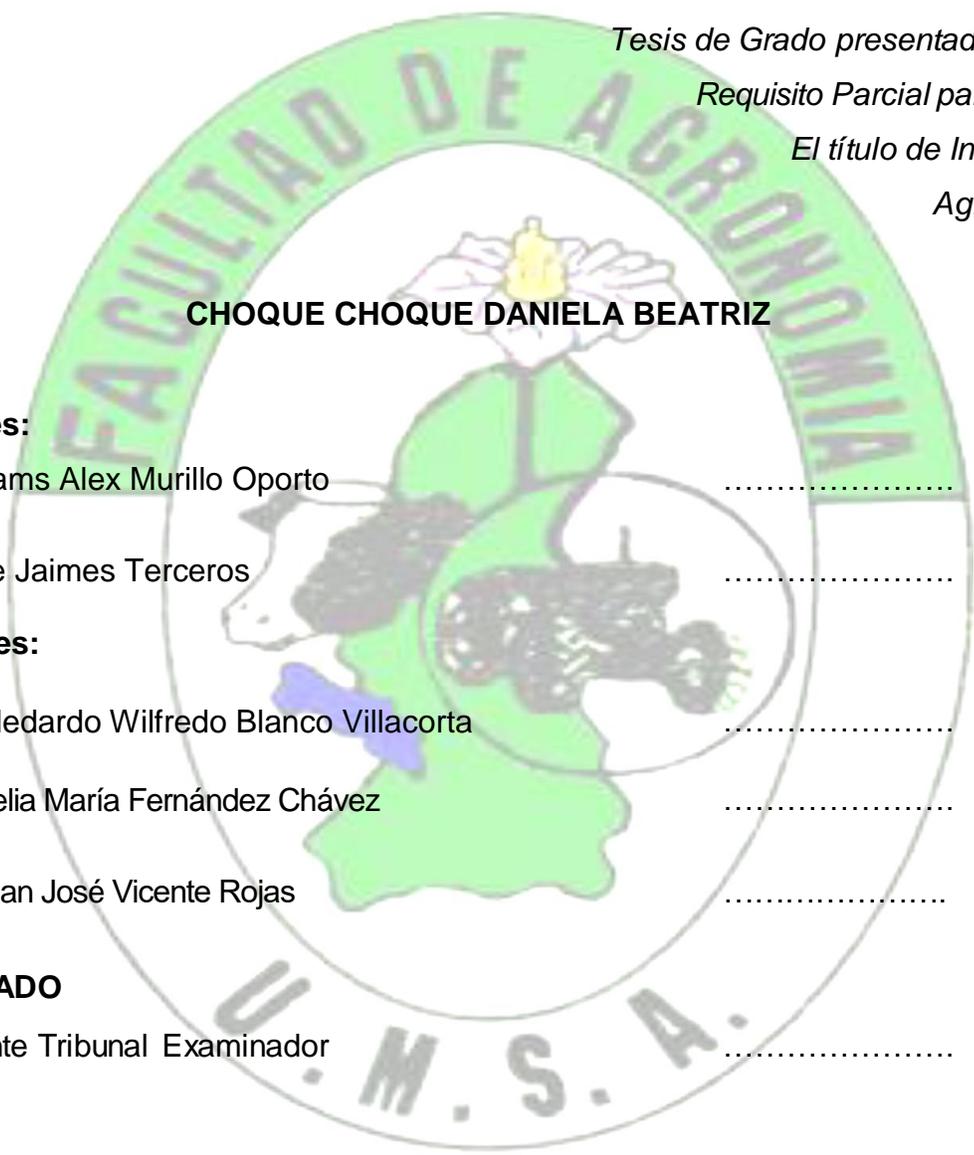
M. Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta

M. Sc. Celia María Fernández Chávez

M. Sc. Juan José Vicente Rojas

APROBADO

Presidente Tribunal Examinador



LA PAZ - BOLIVIA

DEDICATORIA

Ami hija, Arleth Jazmín la razón y amor de mi vida.

Amis padres, Moisés y Alicia por haber depositado toda su

Confianza en mí a lo largo de mis estudios.

Amis hermanos, Mariela e Iver.

Amis abuelos Marcelino (+), Feliciano (+) y Francisca (+)

Amistíos, Freddy y Lucy.

Ya toda mi familia y amigos.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios en primer lugar quien siempre me da fortaleza.

A la Facultad de Agronomía por acogerme en sus aulas y por todo el aprendizaje adquirido.

*A nuestra casa superior de estudios Universidad Mayor de San Andrés
Al Centro Experimental de Cota Cota por brindarme todo el apoyo
durante el proceso de mi tesis, al director de la C.E.C.C. Ing.
Humberto por todo su apoyo.*

*A mis padres Alicia y Moisés que siempre estuvieron dispuestos a
ayudarme en todo momento.*

*A mi hermana Mariela y mi hermano Iver que nunca me desampararon
en toda mi carrera universitaria, que siempre tuvieron confianza en
mí y me impulsaron a ser siempre mejor.*

*A mis abuelos ellos son los que me impulsaron a estudiar y ser una
mejor persona y a toda mi familia que siempre me impulso.*

*A mis Asesores Ing. Jaimes Terceros Mike y al Ing. Murillo Oporto
Willams Alex quienes siempre estuvieron predispuesto a ayudarme
incondicionalmente, con sus experiencias, consejos y dedicación para el
trabajo final.*

*Al tribunal revisor conformado por: M. Sc. Medardo Wilfredo Blanco
Villacorta, M. Sc. María Celia Fernández Chávez y M. Sc. Juan José
Vicente Rojas por las correcciones, disponibilidad de tiempo y aportes
para la presentación del trabajo final.*

*Y agradecer a todas aquellas personas que siempre me brindaron su
amistad: Keny, Adrián, Rodrigo, José, Israel, Percy, Jorge, Mariela,
Brenda y demás compañeros que hice durante mi carrera.*

CONTENIDO DE LA INVESTIGACIÓN

ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRAC.....	XV

ÍNDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 Antecedentes	- 2 -
1.2 Planteamiento del problema	- 3 -
1.3 Justificación	- 3 -
2 OBJETIVOS.....	- 4 -
2.1 Objetivo general.....	- 4 -
2.2 Objetivo específico	- 4 -
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	- 5 -
3.1 Cultivo del apio.....	- 5 -
3.1.1 Origen del apio.....	- 5 -
3.1.2 Importancia del cultivo de apio.....	- 5 -
3.1.3 Clasificación taxonómica.....	- 6 -
3.1.4 Características botánicas	- 7 -
3.1.5 Características del cultivo	- 8 -
3.1.6 Almacigo en sustrato.....	- 9 -
3.1.7 Variedad.....	- 10 -

3.1.8	Manejo del cultivo	- 12 -
3.1.9	Requerimientos nutricionales del apio	- 12 -
3.1.10	Requerimientos climáticos	- 12 -
3.1.11	El pH	- 16 -
3.1.12	Deficiencias de elementos nutricionales en el cultivo de apio.....	- 17 -
3.1.13	Plagas, enfermedades y fisiopatías del cultivo.....	- 18 -
3.1.14	Contenido nutricional del apio.....	- 21 -
3.1.15	Cosecha, Post-Cosecha	- 21 -
3.1.16	Indicadores	- 23 -
3.1.17	Rendimiento del cultivo de apio	- 24 -
3.2	Cultivo sin suelo	- 25 -
3.3	Origen de la hidroponía.....	- 25 -
3.4	Cultivo hidropónico.....	- 26 -
3.5	Técnica de la película nutritiva NFT	- 27 -
3.5.1	Ventajas y desventajas de la hidroponía (nft)	- 29 -
3.6	Elementos del sistema nft	- 31 -
3.7	Solución nutritiva.....	- 33 -
3.7.1	Cambio y duración de la solución	- 34 -
3.7.2	Oxigenación de la solución nutritiva.....	- 34 -
3.7.3	El pH de la solución nutritiva	- 35 -
3.7.4	Conductividad eléctrica de la solución nutritiva.....	- 36 -
3.7.5	Conductividad eléctrica por cultivo.....	- 36 -
3.8	Fertilizantes sintéticos.....	- 37 -
3.9	Factores ambientales que influyen en el cultivo hidropónico	- 38 -
3.9.1	Temperatura	- 38 -

3.9.2	Luz	- 38 -
3.9.3	Agua.....	- 39 -
3.10	Rendimiento en hidroponía	- 39 -
3.11	Modificación artificial del ambiente.....	- 40 -
3.11.1	Cultivos protegidos.....	- 40 -
3.11.2	Temperatura del aire.....	- 40 -
3.11.3	Dióxido de carbono	- 41 -
4	LOCALIZACIÓN	- 42 -
4.1	Ubicación geográfica.....	- 42 -
4.2	Características climáticas de la zona de estudio.....	- 42 -
5	MATERIALES Y METODOS	- 43 -
5.1	Materiales	- 43 -
5.1.1	Material biológico	- 43 -
5.1.2	Material fertilizante	- 43 -
5.1.3	Material químico.....	- 44 -
5.1.4	Material de almácigo	- 44 -
5.1.5	Material de piscina	- 45 -
5.1.6	Material soporte nft	- 45 -
5.1.7	Material de laboratorio	- 46 -
5.1.8	Material de gabinete.....	- 46 -
5.1.9	Material de campo.....	- 46 -
5.2	Métodos	- 47 -
5.2.1	Almácigo de semilla	- 47 -
5.2.2	Piscina	- 47 -
5.2.3	En pirámide.....	- 48 -

5.2.4	Proceso productivo o manejo del cultivo	- 49 -
5.2.5	Procedimiento de estudio experimental	- 52 -
6	RESULTADOS Y DISCUSIONES	- 58 -
6.1	Comportamiento de la temperatura del ambiente protegido	- 58 -
6.2	Variables de respuesta en almacigo	- 59 -
6.2.1	Porcentaje de germinación en almaciguera	- 59 -
6.3	Variable de respuesta en sistema de flujo laminar de nutrientes (NFT) ...	- 62 -
6.3.1	Porcentaje de prendimiento promedio en el sistema (NFT)	- 62 -
6.3.2	Número de pencas en la planta en el sistema (NFT)	- 63 -
6.3.3	Altura de la planta en el sistema (NFT)	- 67 -
6.3.4	Diámetro de la penca en el sistema (NFT)	- 69 -
6.3.5	Peso de la planta (sin raíz) al momento de la cosecha	- 72 -
6.4	Análisis económico	- 74 -
6.4.1	Rendimiento Ajustado	- 75 -
6.4.2	Beneficio	- 75 -
6.4.3	Costos variables	- 76 -
6.4.4	Los costos fijos	- 76 -
6.4.5	Costos Totales	- 77 -
6.4.6	Beneficio neto	- 77 -
6.4.7	Beneficio costo	- 77 -
7	CONCLUSIONES	- 78 -
8	RECOMENDACIONES	- 79 -
9	BIBLIOGRAFÍA	- 80 -

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica.	- 6 -
Cuadro 2. Características del cultivo de apio.	- 9 -
Cuadro 3. Requerimiento del cultivo del apio (ppm o mg/l).	- 12 -
Cuadro 4. Valor nutricional de apio (100 g).	- 21 -
Cuadro 5. Requerimientos de nutrientes para el cultivo del apio (ppm)	- 34 -
Cuadro 6. Conductividad eléctrica para el cultivo del apio (mmhos/cm)	- 37 -
Cuadro 7. Material variedades de semilla.	- 43 -
Cuadro 8. Material fertilizantes empleados.	- 43 -
Cuadro 9. Material químico.	- 44 -
Cuadro 10. Material almacigo de semilla.	- 44 -
Cuadro 11. Material para piscina.	- 45 -
Cuadro 12. Material soporte piramidal.	- 45 -
Cuadro 13. Material de laboratorio.	- 46 -
Cuadro 14. Material de gabinete.	- 46 -
Cuadro 15. Material de campo.	- 46 -
Cuadro 16. Detalle de la formulación nutricional en base al requerimiento.	- 50 -
Cuadro 17. Descripción de las combinaciones del tratamiento.	- 53 -
Cuadro 18. Descripción de la superficie utilizada de la carpa y el sistema NFT.	- 54 -
Cuadro 19. Porcentaje de germinación de las dos variedades de apio.	- 59 -
Cuadro 20. Análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento en sistema hidropónico (NFT)	- 62 -
Cuadro 21. Análisis de varianza para el número promedio de pencas del cultivo de apio.	- 63 -
Cuadro 22. Análisis de varianza para la altura de planta en el sistema (NFT) el día de la cosecha.	- 67 -
Cuadro 23. Análisis de varianza para el diámetro de la penca de cultivo de apio.	- 69 -
Cuadro 24. Análisis de varianza para el peso de la planta del cultivo de apio (sin raíz).	- 72 -
Cuadro 25. Rendimiento Ajustado.	- 75 -

Cuadro 26. Beneficio bruto	- 75 -
Cuadro 27. Costos Variables para un m2.....	- 76 -
Cuadro 28. Costos fijos para un m2	- 76 -
Cuadro 29. Costos Totales para un metro cuadrado.....	- 77 -
Cuadro 30. Beneficio neto para un m2	- 77 -
Cuadro 31. Relación beneficio/costo (Bs)	- 77 -

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	- 42 -
Figura 2. Croquis experimental.....	- 54 -
Figura 3. Medidas del sistema hidropónico NFT	- 55 -

INDICE DE GRAFICA

Grafica 1. Temperaturas máximas, mínimas y promedio	- 58 -
Grafica 2. Comparación de medias para el porcentaje de germinación en almacigo entre las dos variedades.	- 60 -
Grafica 3. Comparación de medias para número de pencas entre variedades ...	- 65 -
Grafica 4. Comparación de medias Duncan para el diámetro de la penca entre variedades.....	- 71 -

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1. Preparación para el almacigo.....	- 85 -
Anexos 2. El proceso de siembra en las almacigueras para ambas variedades -	85 -
Anexos 3. Emergencia del apio.....	86
Anexos 4. Trasplante a piscina del cultivo de apio.....	86
Anexos 5. Fumigación preventiva y desarrollo en la preface o adaptación en piscina	87
Anexos 6. Trasplante al sistema NFT del cultivo de apio.....	87
Anexos 7. Crecimiento y desarrollo del cultivo de apio en todas sus etapas hasta la cosecha.....	88
Anexos 8. Cosecha, selección y embolsado del cultivo de apio.....	88
Anexos 9. Toma de datos de todas las variables de estudio	89
Anexos 10. Fotos de la toma de datos del diámetro de la penca en el cultivo de apio	89
Anexos 11. Fotos de la toma de datos de la altura de planta en el cultivo de apio .	90
Anexos 12. Fotos de la toma de datos del peso de la planta en el cultivo de apio..	90
Anexos 13. Verificación del correcto funcionamiento de todo el sistema	91
Anexos 14. Material utilizado en todo el proceso de desarrollo dela tesis	91
Anexos 15. Fotos Variedad Tall utah 52-70	92
Anexos 16. Variedad Golden self.	93
Anexos 17. Análisis químico del agua potable de la Estación Experimental de Cota Cota.....	94
Anexos 18. Se muestra los costos variables de insumos y fertilizantes utilizados en una campaña productiva en 1800 L.	95
Anexos 19. Se muestra los costos fijos de alquiler de carpa y alquiler de soporte piramidal utilizados durante la investigación.	95
Anexos 20. Se muestran los costos fijos incurridos en el transporte de la cosecha durante el periodo de la investigación.	95
Anexos 21. Se describe los costos fijos referentes a los servicios básicos utilizados durante el periodo de la investigación.	95
Anexos 22. Temperaturas máximas y mínimas tomadas todo el ciclo del cultivo ...	96

Anexos 23.	Datos con los que se izó correr el análisis de varianza bloque I	97
Anexos 24.	Datos con los que se izó correr el análisis de varianza bloque II.	98
Anexos 25.	Datos con los que se izó correr el análisis de varianza bloque III.	99
Anexos 26.	Datos con los que se izó correr el análisis de varianza bloque IV.	100

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 producido en forma intensiva y en espacios reducidos haciendo uso de la técnica hidropónica (NFT), con la que se hace posible obtener productos finales de alta calidad. El objetivo principal evaluar dos variedades de apio (*Apium graveolens* L), en tres densidades de trasplante en un sistema hidropónico NFT piramidal, objetivos específicos determinar la densidad adecuada y la mejor variedad. Materiales como ser semilla, fertilizantes, pH metro, conductivímetro, etc. El estudio se dividió en almacigo, piscina y pirámide en cada área se realizó un trabajo diferente como en almacigo la siembra del cultivo, piscina la adaptación del cultivo con fertilizantes y en pirámide se trasplanto las plántulas a las respectivas densidades con cada variedad para ver su desarrollo y tomar las respectivas mediciones de las variables de respuesta; para el experimento se empleó un diseño de bloques azar (DBA), durante el ciclo de cultivo se realizaron mediciones de las variables de respuesta en altura de la planta, número de pencas, diámetro de la penca y peso sin raíz de la planta a la cosecha, rendimiento y calidad del cultivo. Llegando a los resultados de acuerdo a la evaluación se obtuvo en altura de la planta que los tratamientos T1 = 39,69 cm y T4 = 39,4, para diámetro de la penca que los tratamientos T2= 1,76 cm y T6= 1,82 cm, peso de la planta (sin raíz) que los tratamientos T1 = 183.00 g y T6 = 183.30 g, y la diferencia de las variedades en altura de la 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 el T1 con un B/C= 0,34 Bs. y T4 con un B/C= 0,34 Bs, proporcionando un mayor costo/beneficio pero no siendo rentable.

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 Andrés. In order to investigate the cultivation of celery produced intensively and in confined spaces using the hydroponic technique (NFT), with which it is possible to obtain high quality final products. The main objective to evaluate two varieties of celery (*Apium graveolens* L), in three transplant densities in a pyramidal NFT hydroponic system, specific objectives to determine the appropriate density and the best variety. Materials such as seed, fertilizers, pH meter, and conductivity meter, etc. The study was divided into a storehouse, a pool and a pyramid in each area, a different work was carried out, such as the planting of the crop in the storehouse, the adaptation of the crop with fertilizers in the pool, and the seedlings were transplanted to the respective densities with each variety in a pyramid to see their development and take the respective measurements of the response variables; For the experiment, a random block design (DBA) was used, during the cultivation cycle measurements of the response variables in plant height, number of leaves, diameter of the leaves and weight without root of the plant were made at the harvest, yield and crop quality. Reaching the results according to the evaluation, it was obtained in plant height that the treatments T1 = 39.69 cm and T4 = 39.4, for the diameter of the leaf that the treatments T2 = 1.76 cm and T6 = 1,82 cm, weight of the plant (without root) than the treatments T1 = 183.00 g and T6 = 183.30 g, and the difference of the varieties in plant height, is due to the morphological characteristics (length of the petiole) that the Tall utah variety 52-70 throughout the trial.

The economic analysis carried out in the crop shows that T1 with a B / C = 0.34 bs. And T4 with a B / C = 0.34 bs, providing a higher cost / benefit but not being profitable.

1 INTRODUCCIÓN

El apio es una hortaliza muy apreciada en la dieta humana, atribuida a sus múltiples beneficios; dado a su alto valor nutritivo, hasta el descubrimiento de propiedades afrodisíacas el apio se deriva de una planta que todavía se encuentra silvestre en algunos lugares de Europa y del Mediterráneo; su primer uso fue por sus propiedades medicinales que se le atribuían en la antigüedad, existiendo otros centros secundarios como el Cáucaso y la zona del Himalaya. Se conocía además en el antiguo Egipto. Su uso como hortaliza se comenzó a desarrollar en la Edad Media y actualmente es consumido tanto en Europa como en América del Norte. (Casaca, 2005)

Según Ine (2015), se obtuvo datos del censo agropecuario 2013 a nivel Bolivia el cultivo de apio tuvo una producción de 1.276,6 (toneladas métrica) en una superficie de 204,2 (hectáreas).

Segun Stibbe (2002), recomienda que en la búsqueda de la densidad más apropiada no solo se deben tener en cuenta el marco de plantación.

El modo de producir alimentos en el mundo está cambiando, esto se debe a una necesidad por los agricultores de mejorar los sistemas de producción que hoy en día son más intensivos. Estos esfuerzos dieron resultados vertiginosos en el desarrollo de las ciencias y tecnologías agrarias, ante una sociedad muy dinámica y creciente población mundial demandante cada día de mayor cantidad y calidad de alimentos. (Raviv y Leith, 2008)

La hidroponía está presente como referente en los sistemas de producción que ha conseguido destacar por sus innumerables bondades. Se estima que los cultivos hidropónicos a nivel mundial generaron un ingreso económico por 821 millones de dólares con un crecimiento anual promedio de 4.5 % de 2011 a 2016, de acuerdo al informe de IBIS World en Norteamérica. El desafío de producir más alimentos con menor superficie ha incentivado la adopción de la agricultura protegida en muchas regiones del mundo. (intagri, 2017)

Hoy en día la técnica más usada para producir hortalizas en regiones no aptas para su cultivo es la hidroponía, si a éste se añade la técnica de película nutritiva o Nutrient Film Technique (NFT) el rendimiento se eleva de sobremanera puesto que, la disponibilidad de nutrientes para plantas es abundante, la densidad de plantación es alta y se consigue cosechas en menor tiempo con mayor calidad que en un cultivo en suelo. (Murillo, 2010)

1.1 Antecedentes

El apio se deriva de una planta que todavía se encuentra silvestre en algunos lugares de Europa y del Mediterráneo; su primer uso fue por sus propiedades medicinales que se le atribuían en la antigüedad, existiendo otros centros secundarios como el Cáucaso y la zona del Himalaya. Se conocía además en el antiguo Egipto. Su uso como hortaliza se comenzó a desarrollar en la Edad Media y actualmente es consumido tanto en Europa como en América del Norte. (Casaca, 2005)

Entre los años 1920 y 1930 un profesor norteamericano de la Universidad de California. William Frederick Gericke, puso ensayos de laboratorio de nutrición vegetal a escala comercial, estableciendo los primeros pasos de la hidroponía comercial, denominando a este sistema como hidroponicos, palabra derivada de las griegas, hydro que significa agua y ponos que significa trabajo. (Arano, 2007)

El pionero de esta técnica fue Allen Cooper, en el Glasshuose Crop Research Institute, en el Little Hampton (Inglaterra) en 1965. El termino Nutrient Film Technique (NFT) 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 de oxígeno necesario. (Resh, 1997)

1.2 Planteamiento del problema

Como problema principal la variación en las densidades de siembra utilizadas, las cuales pueden repercutir en la calidad y rendimientos en la producción de la misma. Las densidades de siembra para una máxima producción no se han experimentado en el municipio o no están apoyadas con investigaciones conclusivas. Factores como la densidad de siembra pueden ser determinantes al momento de la cosecha, dado que, una alta densidad puede resultar en la no capacidad de cada planta en crecer y desarrollar de forma adecuada debido al efecto competitivo por luz, agua, nutrimentos y espacio físico. (Hollé, 1985)

Debido a la importancia alimenticia que representa el apio de acuerdo a sus distintas variedades en la dieta de la humanidad, generada por sus propiedades nutritivas y medicinales, aparte de otras bondades y la necesidad de hacer un uso más eficiente del espacio urbano y rural disponible, incorporando nuevas técnicas ecológicas de producción, para que las familias se integren para que adopten y adapten cultivos de protección natural superando prácticas de agricultura insostenible, mal uso y degradación del recurso suelo, agua, desechos bióticos y abióticos, y produzcan en pequeñas áreas cultivos Hortícolas más nutritivos, frescos y no contaminados, tan importantes e indispensables en nuestro país. (Fusades, 1991).

1.3 Justificación

La presente investigación mostrara las alternativas de utilizar diferentes variedades de apio y determinar la mejor respuesta para su producción, además conocer la adaptabilidad y los rendimientos de este cultivo.

También se ha visto por conveniente la utilización de tres densidades de trasplante, según Cruz Carrillo J. (2003) citando a Van de Vooren et al. (1986) explica que a partir de un determinado nivel de densidad de siembra, la producción por planta disminuye y la producción por unidad de superficie crece; un nuevo incremento de densidad

permite alcanzar la cosecha máxima, mientras que excesivas densidades disminuyen la misma.

Hoy en día la agricultura es manejada bajo condiciones geográficas, severas y agravadas entre muchas cosas, todo esto trae como consecuencia los bajos rendimientos de los cultivos procedentes de una agricultura tradicional dentro de muchos inconvenientes como el envejecimiento del suelo por la práctica de los monocultivos aplicación excesiva de fertilizantes y uso indiscriminado de pesticidas. (Hidalgo, 2018).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar dos variedades de apio con tres densidades de trasplante en sistema hidropónico (NFT), en invernadero del centro experimental de Cota Cota – La Paz.

2.2 Objetivo específico

- Determinar la variedad de apio con mayor rendimiento en el sistema hidropónico (NFT).
- Determinar la densidad adecuada para el cultivo de apio en el sistema hidropónico (NFT).
- Realizar un análisis económico preliminar de la producción de apio con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes.

3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cultivo del 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 nutraceúticas. (Pino, 2015)

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 los 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 en jugos para inflamaciones de las articulaciones y del tracto urinario, como la artritis reumatoide, la cistitis o la uretritis, en condiciones débiles y agotamiento. En la nutrición el apio sigue siendo valioso en las dietas, ya que proporciona una masa de fibra baja en calorías.

Según Ecoagricultor (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, 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, inmunoestimulante, analgésico.

Del Pino (2018), afirma que el apio se utilizó como planta medicinal desde la antigüedad por sus propiedades diuréticas, carminativas y depuradoras de la sangre debido a la presencia de un glucósido llamado apiina y un aceite esencial compuesto principalmente por apiol y limoneno. La composición nutricional está compuesta por la vitamina A, vitamina B1, B2 y C.

3.1.3 Clasificación taxonómica

Según Linneo, citado por Carrillo (2002), el apio se clasifica desde el punto de vista taxonómico como se describe en la tabla 1, 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: Unknown (2013).

3.1.4 Características botánicas

Según Unknown (2013), cita la siguiente característica morfológica.

- **Raíz.** Tiene raíz pivotante (primaria o central), potente y profunda, con raíces secundarias superficiales. Del cuello de la raíz brotan tallos herbáceos que alcanzan de 30 a 80 cm de altura. (Infoagro, 2015)
- **Tallo.** Los mismos autores describen que los tallos son de color blanco a verde intenso, ensanchados en la base, con largo y ancho variable: usualmente entre 30 a 50 cm y 2 a 5 cm respectivamente, en las hojas más externas, hasta hacerse insignificantes en los primordios foliares que rodean la yema apical. Son estructuras glabras, con la cara abaxial cóncava y la cara abaxial convexa, surcada por estrías longitudinales. La naturaleza carnosa, succulenta y crocante del tallo está dada por la predominancia de células parénquimáticas, 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.

Posee tallos estriados que forman una gruesa penca con hojas acuñaadas. Toda la planta tiene un fuerte sabor acre, aunque el blanqueo de los tallos en el cultivo hace que pierdan estas cualidades, adquiriendo un sabor más dulce y el característico aroma que lo convierte en un buen ingrediente de ensaladas y sopas. (Intagri, 2017)

- **Hoja o Penca.** 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. En el segundo año emite el tallo floral, con flores blancas o moradas; el fruto es un aquenio.

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. (Infoagro, 2015)

- **Flor.** 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. (Infoagro,2015).

El mismo autor indica en el segundo año emite el tallo floral, con flores blancas o moradas; el fruto es un aquenio.

- **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.

3.1.5 Características del cultivo

Leano (1973), señala que el apio 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. Necesita luminosidad para su crecimiento. Requiere un suelo profundo, ya que el sistema radicular alcanza gran longitud vertical.

Del Pino (2018), informa que el apio al ser una especie naturalmente de comportamiento bianual, durante el primer año desarrolla el sistema foliar y al segundo año desarrolla la inflorescencia.

Torres (2012), menciona que el apio es una planta herbácea cuyo ciclo vegetativo es de 4 meses en general. El cultivo necesita abundante luminosidad para su

crecimiento, la altitud adecuada para obtener buenos resultados oscila entre 2000 y 3000 m.s.n.m.

Según Cendra (2011), en el cultivo de apio en invernaderos el período de trasplante a cosecha es de 90 - 110 días y a campo de 120 días. En los de tipo verde el ciclo es mayor que en los de tipo amarillo.

Cuadro 2.Características del cultivo de apio.

Días de germinación	20-30
Distancia entre plantas	30 cm
Duración de la primera cosecha	70 a 150 Días
Ciclo de vida	Bianual
Numero de cosechas	3 a 5

Fuente: Porco (2009).

3.1.6 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 obtengamos 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.

Por lo tanto el objetivo es establecer cuál será el sustrato que tenga las características medias que no condicionen el éxito del cultivo. En la elección del sustrato, el precio, la uniformidad y la disponibilidad continua son también criterios muy fuertes al momento de elegir como la espuma de poliuretano que es polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química. (infoagro, 2015)

3.1.7 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, (Rubatzki & Yamaguchi, 2003).

Vigliola (1992), concluye que esta variedad posee hojas verdes oscuras y pecíolos gruesos. Son tardíos, de buena calidad. Se los blanquea al final del ciclo. Este es el tipo dominante de apio en América y en la producción nacional.

Según Naturnoa (2015), el Apio Tall-utah 52-70 es una variedad de apio con tallos redondeados altos, verde intenso y sin hebras. El corazón es compacto y grueso. Planta vigorosa vertical, 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. Además, se puede cosechar en cualquier época, por lo que es una buena opción para cosechas tempranas.

Del Pino (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.

Según Casseres (1980), 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**

Características de la Variedad alta de tallos largos muy carnosos, de color amarillo dorado tierno y sabroso.

Este grupo se cultiva, para obtener una planta de pecíolos de color blanco a amarillo verdoso, para lo cual incluso se recomienda el aporque de las plantas, para inhibir la formación de clorofila. Este tipo es de mayor preferencia en los países europeos y su producción es más delicada y engorrosa que la del tipo verde. (Rubatzki & Yamaguchi, 2003)

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 autoblanquean (el blanqueado consiste en frenar el desarrollo de la clorofila en las plantas), al excluir la luz solar de los pecíolos. (Carrillos, 2002)

3.1.8 Manejo del cultivo

3.1.8.1 Geminación

La germinación tiene lugar a las tres semanas de la siembra si durante este periodo se mantiene una temperatura en torno a 10 a 15 °C, ya que a medida que se incrementa la temperatura se inhibe la germinación. Si la temperatura es mayor de 26 °C se produce la inhibición total de la germinación. (Copyright, 2015)

3.1.8.2 Siembra

Al respecto, Harrington & Mingües (1954), citados por Rubatzki & Yamaguchi (1997), estudiaron el efecto de la temperatura en la semilla de esta especie. Ellos determinaron que la mejor razón porcentual de germinación está dada con temperaturas entre 10 a 15 °C, sin embargo, el rango de temperatura considerado como óptimo se sitúa entre 15 °C a 25 °C, esto debido a que se obtiene una buena relación entre el periodo a emergencia y germinación.

3.1.9 Requerimientos nutricionales del apio

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

Cuadro 3. Requerimiento del cultivo del apio (ppm o mg/l).

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

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a Murillo y Jaimes (2020) en base a Resh (2001) y Cabezas (2012)

3.1.10 Requerimientos climáticos

Porco & Terrazas (2009), Reportaron los siguientes requerimientos climáticos.

➤ **Clima**

El desarrollo del apio está claramente condicionado por el ambiente climático; de hecho y especialmente en las primeras fases de crecimiento, las plantas son extraordinariamente sensibles a las bajas temperaturas. (Carrillo, 2002)

Los efectos del frío no solamente se evidencian con lesiones y daños directos en los órganos aéreos sino también en un fenómeno gravísimo: la prefloración en el primer año de cultivo, con la siguiente pérdida de las plantas, que resultan improductivas e incomedibles. (Leano, 1973)

El mismo autor menciona que cuando las plantas en las primeras fases de su desarrollo, se hallan sometidas a temperaturas de 5 – 10 °C durante algunos días, florecen regular y constantemente ya en el primer año. Si la temperatura ha sido un poco más alta, entre 10 – 15 °C, entonces solamente una parte reducida de las plantas forman el escapo floral durante el primer año 13.

Según Del Pino (2018), la temperatura óptima para el desarrollo vegetativo oscila entre 15 y 21 °C, y si bien requiere una intensidad moderada de luminosidad, los días largos favorecen el largo de hoja. Si existen temperaturas de 0 °C (heladas) durante la fase vegetativa, con un crecimiento avanzado de la planta, pueden ocurrir ciertos defectos de calidad como desprendimiento de la epidermis de la parte superior de la penca, ahuecamiento de las pencas, necrosis en el cuello de la plántula.

Vigliola (1992), describe que las temperaturas bajas en los primeros estadios de su crecimiento, determinan la floración prematura. Durante la germinación las temperaturas de 30 °C o superiores, provocan dormición en la semilla. Los fríos intensos durante el ciclo del cultivo retrasan el crecimiento.

Leano (1973), indica que las plantas pequeñas son sensibles al calor; en general se considera un cultivo de clima fresco y húmedo. La temperatura media óptima es de 15 – 18 °C, la máxima de 24 °C y la mínima de 7 °C.

Según Torres (2012), En la fase de semillero la temperatura debe variar entre 17 y 20 °C y se debe garantizar una temperatura mínima de 13 a 15 °C para evitar la inducción floral prematura. En la fase de campo durante el primer tercio de cultivo la temperatura ideal está en torno a 16 – 20 °C. Posteriormente se acomoda a temperaturas inferiores a estas, pero superiores siempre a 8 – 10 °C. Temperaturas mínimas frecuentes próximas a 5 °C producen pecíolos quebradizos.

Infoagro (2000), confirma que el apio es un cultivo de clima templado, es una planta suculenta que requiere de un clima fresco, suelos orgánicos bien drenados y bastante agua de lluvia o riego que le permita crecer continuamente, aunque a un ritmo lento. Si cuando la planta esta pequeña ocurre temperaturas de 4 a 10 °C por 10 días o más, se induce un florecimiento que da como resultado la pérdida del producto como hortaliza.

➤ **Temperatura**

Las temperaturas dependen de la fase de cultivo. Fase de semillero: siembra entre 17 y 20°C. Se debe garantizar una temperatura mínima de 13-15°C para evitar la inducción floral prematura. Fase de campo: durante el primer tercio del cultivo la temperatura ideal está en torno a 16-20°C. Posteriormente se acomoda a temperaturas inferiores a éstas, pero superiores siempre a 8-10°C. Temperaturas mínimas frecuentes próximas a 5°C producen pecíolos quebradizos, T° Optimas 15°C / 21°C (Min 4,5 – Max 29,5). (Gamboa, 2020)

➤ **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 (CO₂) junto a la luz más la temperatura ayudan a la fotosíntesis, para obtener mayores resultados cuantitativos, precocidad y buena calidad. (Flores, 1999)

➤ **Requerimiento hídrico**

Maroto (2000), 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 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 fisiogenica 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. (Maroto, 2000)

➤ **Humedad elativa**

Las plantas se desarrollan bien donde la humedad relativa fluctúa entre 30 a 70% por debajo del 30% las hojas y tallos se marchitan, por encima del 70% la incidencia de enfermedades es un problema. (Serrano, 1979 citado por Estrada, 2003)

Por otra parte, un ambiente seco dentro de las carpas solares, influye en la duración del agro film lo cual llega a deteriorarse rápidamente. Escribe que este cultivo es exigente en humedad del suelo, pero sin que llegue a ser exagerada; los riegos deben permitir que el suelo este en un estado perfecto de humedad de tempero. Si

el suelo sufre sequedad da lugar a un embastecimiento de los tejidos y por tanto, a una pérdida de calidad. (Flores, 1999)

Fao (2006), afirma que el apio en América Latina y el Caribe es producido mayormente en tierras bajas, en zonas que tiene buena capacidad de retención de humedad, con suelos franco arcillosos que su pH varía entre 6 - 7,5 y su porcentaje de Materia orgánica 3,4 % o más, muchas veces el cultivo también es producido en invernaderos y carpas solares; se realiza fertilización NPK, se cosecha de 120 - 180 días después de trasplante, la época de siembra va desde junio a octubre y en invernaderos.

➤ **Ventilación**

Una mala ventilación trae consigo problemas de asfixia miento, debilitamiento de las plantas y como también la proliferación de plagas y enfermedades. (Flores, 1996).

La mayor parte de los ambientes protegidos requieren de un eficiente sistema de ventilación por tres razones: a) para abastecimiento de CO₂, utilizado por las plantas para la fotosíntesis, b) para limitar y controlar la elevación de temperatura en el ambiente; c) para reducir la humedad procedente de la transpiración de las plantas. (Guzmán, 1993)

3.1.11 El pH

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)

3.1.12 Deficiencias de elementos nutricionales en el cultivo de apio

Del Pino (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:

- 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 boro en estados avanzados del cultivo, produce a aparición de líneas pardas necróticas y rajaduras en los pecíolos y coloración parda en los tejidos de la planta. Esta deficiencia se da en suelos ricos en calcio o en cultivos escasamente regados.
- La carencia de magnesio produce clorosis foliar en las hojas más viejas y un menor desarrollo.

Casseres (1980), 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 deficiencia de boro da lugar a la fractura de las fibras vasculares en los pecíolos, dando la apariencia de grietas transversales. La deficiencia de magnesio resulta en clorosis.

Infoagro (2000), expone la sintomatología de carencias de macro elementos en el apio:

- Nitrógeno.- los primeros síntomas son una reducción del crecimiento vegetativo, amarillos y decaimientos de las hojas. Si la deficiencia es muy acusada el crecimiento se paraliza, tiene lugar un amarilleamiento en toda la planta y se pueden observar manchas cloróticas interne viales en los limbos que evolucionan a moteado necrótico.
- Fosforo.- al principio provoca una disminución del vigor de la planta, las hojas jóvenes se debilitan y las muy desarrolladas tienen un crecimiento muy erguido. Si la deficiencia es muy acusada los limbos foliares se reducen, apareciendo necrosados el borde de algunos foliolos.
- Potasio.- se manifiesta inicialmente por una reducción del crecimiento vegetativo y la aparición de amarilleamiento ocre en las hojas más adultas, especialmente en la periferia de los foliolos. También pueden aparecer en los foliolos puntos de color marrón rojizo.
- Calcio.- los síntomas iniciales son reducción del crecimiento, clorosis en la periferia de foliolos y nervios, color marrón de las hojas del centro de la planta y zonas necróticas en el peciolo. Cuando la carencia es severa las hojas centrales evolucionan a necrosis “corazón negro” o black heart.
- Magnesio.- se manifiesta inicialmente con la aparición de clorosis interne vial que va desde el centro del foliolo hacia los bordes. Si la deficiencia es acusada la mayoría de los foliolos se tornan amarillos con el nervio central de color verde claro y desecación de los bordes del foliolo.

3.1.13 Plagas, enfermedades y fisiopatías del cultivo

Agroes (2015), cita las siguientes plagas y enfermedades del apio de la siguiente manera:

3.1.13.1 Plagas del cultivo

- **Gusanos grises (*Agrotis* spp.)**

Las orugas, de color grisáceo y en muchas ocasiones enrolladas, devoran las partes aéreas de las plantas durante la noche, en tanto que permanecen en suelo o bajo las hojas secas durante el día. Cuando las plantas están recién trasplantadas destrozan el cuello de la raíz. Su mayor incidencia en este cultivo tiene lugar en el mes de abril.

- **Mosca del apio (*Phylophyllo heraclei* L.).** Esta especie de mosca se caracteriza porque la hembra pone sus huevos en las hojas de los apios y también en otras umbelíferas. En primavera los daños pueden ser más graves en las plantaciones jóvenes. En otoño, los apios ya están suficientemente desarrollados para que las larvas diseminadas ocasionen estragos.

- **Pulgones. (*Aphis* spp., *Myzus persicae*).** Además del daño directo que ocasionan, los pulgones son vectores de enfermedades viróticas, por tanto, son doblemente peligrosos. Los pulgones se alimentan picando la epidermis, por lo que producen fuertes abarquillamientos en las hojas que toman un color amarillento.

3.1.13.2 Enfermedades del apio

Del Pino (2018), menciona las siguientes enfermedades del cultivo de apio:

- **Sclerotina sclerotiorum (Lib) De By.** Hongo que provoca problemas muy graves a este cultivo. Produce un micelio blanco-violáceo que da lugar a una podredumbre blanda de olor muy desagradable en la base de la planta.

- **Septoriosis.** Es una de las enfermedades más graves del apio, siendo necesarias determinadas operaciones destinadas a su control. Puede transmitirse por semillas. Produce manchas de color marrón claro en las hojas. Al poco tiempo las hojas se abarquillan y se desecan.

- **Hongos.** Carrillos (2002), reporta que entre las principales enfermedades que afectan al cultivo de apio están:

- **Pythium:** Afecta a las 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. En plantas en maceta las yemas florales se caen. Las raíces secundarias se pudren y solo una pequeña parte del sistema radicular sobrevive. En el límite entre 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.

- **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 ésta muere

3.1.13.3 Fisiopatías

Capdevilla (1981), indica las Fisiopatías que perjudican al cultivo son:

- **Amarilleamiento**

El apio es altamente sensible a etileno presente en el ambiente.

- **Daño mecánico**

La cosecha y el manejo posterior debe ser manejado con cuidado para prevenir daño a los pecíolos y hojas. Las gomas para amarrar los manojos no deben estar muy apretadas para evitar romper o quebrar los pecíolos, lo cual conducirá a una rápida pudrición.

3.1.14 Contenido nutricional del apio

Según Infoagro (2015), el apio es una verdura que tiene un alto contenido de agua (alrededor del 95%). Tiene un alto contenido de vitaminas y minerales dentro de los cuales destacan: vitamina C, folatos, potasio, calcio y vitaminas del complejo B. Infoagro (2000), menciona en el siguiente cuadro el valor nutricional que tiene el apio en 100 g de materia fresca.

Cuadro 4. Valor nutricional de apio (100 g).

	Unidad medida	Cantidad
Calorías	Cal	17
Proteínas	G	2
Grasa	G	0,14
Potasio	Mg	300
Calcio	Mg	40
Agua	%	92
Fosforo	Mg	25
Carbohidratos	G	3,65
Hierro	Mg	0,40
Vitamina C	Mg	12

Fuente: tomando de Infoagro, 2000

3.1.15 Cosecha, Post-Cosecha

3.1.15.1 Cosecha

Leano (1973), señala que, para la cosecha de variedades verdes de la planta de apio, el único indicio de evaluación del grado de desarrollo es la dimensión de la planta. Deberán estar completamente sanas, sin partes amarillentas ni lesiones, turgentes y sin tallo floral. Al arrancar las plantas, se les cortara la raíz por debajo del cuello,

eliminándose las hojas más externas defectuosas, después de lo cual, quedaran dispuestas para la venta y consumo.

El mismo autor indica que al momento de la cosecha se puede hacer una recolección gradual según las necesidades. Si los pecíolos están sucios de tierra deben lavarse, ya que es indispensable presentar en el mercado plantas perfectamente limpias.

Naturnoa (2018), indica que al momento de la cosecha podemos coger tallos sueltos exteriores en lugar de cosechar la planta entera, así se deja que los tallos interiores se desarrollen hasta que tengan el tamaño deseado. Para recogerlo entero tiramos hacia arriba de toda la planta y cortamos las raíces para que todos los tallos salgan unidos. Para un mejor sabor hay que regar la planta el día antes de la recolecta.

Vigliola (1992), indica que el momento de la cosecha está determinado esencialmente por el tamaño de la planta y por su precio en el mercado. Para cosechar las plantas de apio primero se procede a retirar la faja o desaporcar; luego se corta la planta al ras del suelo y se procede a lavarla. Se cosecha la roseta de hojas, de plantas de tamaño comerciable (0,8 a 1 kg de peso). El rendimiento promedio logrado en el apio es de 4000 atados por hectárea.

El mismo autor señala que el apio es cosechado cuando el cultivo en su totalidad alcanza el tamaño deseado para el mercado y antes que los pecíolos desarrollen esponjosidad. Los cultivos de apio presentan un crecimiento uniforme y son cosechados de una sola vez. Los tallos son empacados por tamaño después de eliminarse los pecíolos y hojas exteriores.

Casseres (1980), menciona que en los huertos caseros se pueden cosechar las hojas más desarrolladas de apio sin arrancar la planta, pero comercialmente se cosecha todo de una vez en un estado de desarrollo que puede variar de mediano a completo, según el precio del mercado. Las plantas grandes, succulentas y bien desarrolladas, sin enfermedades ni daños de insectos, se consideran de óptima calidad.

3.1.15.2 Post-Cosecha

El manejo post-cosecha que se le da, depende del mercado de destino. Algunas veces se cortan las plantas a ras del suelo, se elimina la parte superior de los limbos dejando las piezas con una longitud total de 30-40 cm, se colocan en cajas para transportarse al almacén de embalaje. En el almacén las piezas son lavadas, junto a este lavado, se adiciona desinfectante como lejía diluida o un fungicida. El lavado es por inmersión o ducha y algunos estudios señalan adicionar ácido giberelico a la concentración de 10 ppm (diez partes por millón) para evitar pérdidas durante el almacenamiento. (Cerdas, 2000)

3.1.16 Indicadores

3.1.16.1 Índice de cosecha preventiva

El apio es cosechado cuando el cultivo en su totalidad alcanza el tamaño deseado para el mercado y antes que los peciolos desarrollen esponjosidad (descomposición del tejido interno) que es una desorganización de la médula, iniciada por factores que inducen senescencia incluyendo estrés hídrico y frío y cambios de pre-inducción del tallo floral, infecciones radiculares. La desorganización de la médula se desarrolla después de la cosecha o en el campo. El peciolo se torna de color blanco esponjoso y vacuolado, con apariencia seca. (Maroto & Pascal, 1990)

3.1.16.2 Índice de calidad a la cosecha

Un apio de gran calidad tiene tallos bien formados, peciolos gruesos y compactos, apariencia fresca color verde-verde claro, otros índices de calidad son el largo del tallo y de la nervadura central de la hoja, ausencia de defectos (pencas no abultadas, no arqueadas, no enfermedades, no tallos florales, no partituras o rajaduras, ausencia de daño por insectos y pudriciones). (Cerdas, 2000)

En Bolivia el apio pierde su calidad por daños de hongos, gusanos; grosor, longitud y deformación de plantas. (Fusades, 1991)

3.1.16.3 Índice de calidad después de ser almacenado

El apio es almacenado por 5-7 semanas, para ello es rápidamente enfriado a 0-2° C (32-36° F) 98-100% HR para mantener una buena calidad visual y sensorial. Cierta crecimiento de los tallos interiores ocurre en post-cosecha a temperaturas mayores de 0° C (32° F), concentraciones de etileno de 10 ppm o mayores produce la pérdida de color verde en temperaturas de 5° C (41° F). (Cerdas, 2000)

3.1.16.4 Efectos de la atmósfera controlada

Retrasa la senescencia y pudriciones, con 2-4% O₂ y 3-5% CO₂ daños por bajo O₂ (<2%) o elevado CO₂ (10%) inducen a sabores y aromas extraños y a hojas internas pardas. (Sanchez & Urrutia, 2001)

Es una técnica de conservación que reduce los niveles de oxígeno y aumenta los niveles de CO₂. En la actualidad la conservación de los alimentos esta particularmente vinculada a los alimentos crudos e intenta no variar la forma, color, consistencia y textura entre otras muchas características del producto. (Industria Alimentaria, 2017)

El mismo autor señala que en condiciones de atmosfera controlada, se mantiene la calidad y frescura de las frutas y verduras sin necesidad de utilizar productos químicos. Esta técnica asociada al frio, acentúa el efecto de la refrigeración sobre la actividad vital de los tejidos, evitando ciertos problemas fisiológicos y disminuye las perdidas por podredumbres.

3.1.17 Rendimiento del cultivo de apio

La producción del cultivo de apio en invernaderos se ha obtenido un rendimiento de 13 TM/ha, equivale a 1.3 kg/m² y en lo hidropónico 3.5 kg/m², (Marulanda, 2008). Arreglar la producción del cultivo de apio en invernaderos se ha obtenido un rendimiento de 33 TM/ha, equivale a 3.3 kg/m² con la variedad Tall-utah 52-70. (Machaca, 2010)

3.2 Cultivo sin suelo

Según Burés (1997) citado por Gilsanz (2007) menciona que, la hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados cultivos sin suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Podemos ir desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa, a medios orgánicos realizados con mezclas que incluyen turbas o materiales orgánicos como corteza de árboles picada, cáscara de arroz etc. que interfieren en la nutrición mineral de las plantas.

El cultivo sin tierra, comenzó en la década de 1930 como resultado de las técnicas empleadas por los fisiólogos vegetales en experimentos de nutrición vegetal. Los métodos más recientes de cultivo sin tierra difieren en algunos detalles, pero tienen dos rasgos comunes: los nutrientes se aportan en soluciones líquidas y las plantas se sostienen sobre materiales porosos, como turba, arena, grava o fibra de vidrio, las cuales actúan como mecha y transportan la solución de nutrientes desde su lugar de almacenamiento hasta las raíces. (Inia, 2000)

3.3 Origen de la hidroponía

La hidroponía, se ha desarrollado con una mayor velocidad a partir de experimentos para determinar los elementos que intervienen en el crecimiento de las plantas. Los primeros trabajos formales sobre este sistema de producción comenzaron en fechas cercanas al año 1600. No obstante, el crecimiento de las plantas sin suelo es conocido desde la antigua babilonia, en los famosos jardines colgantes, los cuales se alimentaban del agua que corría por medio de canales. Asimismo, hace más de 1000 años ya se practicaba la hidroponía en China, India y Egipto (orillas del río Nilo), misma que se realizaba mediante esquemas rústicos. (Intagri, 2017)

3.4 Cultivo hidropónico

Cabezas (2015), sustenta que la Hidroponía es una técnica de cultivar plantas en agua. Los nutrientes que necesita la planta para crecer, florecer y fructificar se añade 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.

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)

La hidroponía resulta un concepto simple, la planta se coloca “suspendida” justo encima de la solución de nutrientes, mientras sus raíces cuelgan a través de agujeros y permanecen sumergidas todo el tiempo. Con la técnica de cultivo sin suelo es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad. (Beltrano & Gimenez, 2015)

Resh (1997), 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.

3.5 Técnica de la película 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, 1987)

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. (Fao, 1996)

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. (Inta, 2015)

Inia (2000), el NFT es apropiado para cultivos de poco crecimiento, como las lechugas, berros, rúcalas, acelga, endivias, etc.; al adecuar el espacio entre plantas y los canales de cultivo, se mejora las cosechas. La movilidad de los canales permite el libre movimiento de los trabajadores, pudiéndose mecanizar.

Duran (2000), agrega que, el sistema NFT se basa en el flujo permanente de una pequeña cantidad de solución a través de caños de los que el cultivo toma para su nutrición. En general este sistema está catalogado como de elevado costo, requiere del suministro de un volumen de agua constante, y para ello se gasta energía en el proceso de bombeo. El sistema consta de caños de distribución, un tanque de almacenamiento de la solución, tanques de formulación y una bomba que contemple las necesidades del sistema. En este sistema se instalan cultivos que por el largo de ciclo o por el consumo de solución no podrían realizarse de otra manera.

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 & Gimenez, 2015)

3.5.1 Ventajas y desventajas de la hidroponía (nft)

3.5.1.1 Ventajas de la hidroponía (NFT)

Según (Taxier, 2013) menciona lo siguiente:

- **Control de la nutrición.** Es de suma importancia poder controlar completamente los elementos que incorporamos en el agua, y si existiera alguna deficiencia o toxicidad podremos corregir de inmediato.
- **Mejor desarrollo radicular.** En medios artificiales como en agua, el órgano radicular se desarrolla mejor sin impedimentos físicos, comparados con los sistemas tradicionales donde suceden problemas de compactación, baja infiltración, condiciones de anaerobiosis para las raíces, que conspiran en su desarrollo.
- **Ahorro de agua.** toda el agua utilizada será transpirada por la planta, nada se desperdicia ni por evaporación. El ahorro de agua, comparado entre plantas similares cultivadas en tierra y las que crecen en hidroponía, es bastante espectacular, se estima que existe un ahorro sustancial de un 80 % hasta un 92 % de agua.
- **No se usa herbicida.** Esto es casi obvio en las bandejas o canales de plástico, no hay margen para que crezcan las malas hierbas. Tanto la no necesidad de herbicidas, como el hecho de que las plagas pueden matarse con cuidado, hacen del cultivo hidropónico una tecnología bastante limpia.
- **En el ámbito económico** estos sistemas se reduce la mano de obra y el uso de fertilizantes, pesticidas y maquinarias agrícolas. La hidroponía ofrece mejores precios en el mercado y esto permite que la inversión inicial se recupere con mayor rapidez. (Verdegen, 2017)

Forero, Parra, Luna & Rivera (2011), comentan en la hidroponía no es necesaria la rotación de cultivos debido a que es en agua su producción y la no existencia del suelo.

3.5.1.2 Desventajas de la hidropónico (NFT)

El autor Texier (2013), menciona las siguientes desventajas:

- **Vulnerable al error del operador.** Las plantas cultivadas en hidroponía dependen totalmente del cuidado del operador, el funcionamiento de la bomba o haber elaborado una mala formulación nutritiva son algunos de los casos que pueden ocurrir para que todo el trabajo realizado se pierda en un par de días.
- **Desbalance nutricional inmediatos.** Al no existir suelo se pierde la capacidad amortiguadora a excesos o alteraciones en el suministro de nutrientes, es por ello que de forma inmediata se presentan los síntomas tanto de excesos como de déficits nutricionales.
- **Alto costo al empezar.** Estos sistemas presentan un costo inicial alto debido a las inversiones a realizar, de todos modos, esto varía dependiendo del sistema elegido y del control que se desee realizar del ambiente.
- **La temperatura de la solución.** Lo adecuado es mantener temperaturas que oscilen entre 18 °C a 22 °C en la zona de la raíz es el rango en el que las plantas crecen mejor en hidroponía. Pueden tolerar hasta alrededor de 26 °C, a partir de los 35 °C empieza la falta de oxígeno disuelto, las plantas comienzan a morir rápidamente.

3.6 Elementos del sistema nft

Carrasco (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. Este aspecto es de suma importancia en zonas donde se registran amplias fluctuaciones de temperaturas entre el día y la noche. Al trabajar en un estanque pequeño, la temperatura de la solución puede alcanzar cifras muy altas dañando irreversiblemente las raíces y por lo tanto al cultivo.

- **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 ésta 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 nutritiva 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.

3.7 Solución nutritiva

La nutrición de las plantas en hidroponía, se brinda a través de una solución nutritiva balanceada y equilibrada que se formula a partir de un análisis de agua, la especie vegetal a cultivar, su etapa fenológica y las condiciones ambientales que se tengan. La solución nutritiva es un conjunto de sales minerales disueltas en el agua, que puede variar su proporción dependiendo de la especie y la etapa fenológica de la planta. (Peralta, 2013)

Según Barrios (2004), hay que considerar a la planta como un laboratorio muy complejo que se sostiene y alimenta de la tierra a través de sus raíces, elaborando sus nutrientes en las hojas, ayudada por la luz solar. En el método hidropónico, la planta debe encontrar las mismas condiciones ambientales de la naturaleza, y en lo posible facilitar las reacciones químicas en el interior del tejido vegetal, es necesario destacar que no existe una única fórmula para nutrir los cultivos hidropónicos, la mejor fórmula es la que cada uno ensaye y le resulte aceptable.

La solución nutritiva es agua con nutrientes minerales, que se añaden a través de fertilizantes comerciales, en cantidades y proporciones adecuadas de manera que cubran las necesidades de la planta para su crecimiento y desarrollo. Una solución nutritiva consta de agua con oxígeno disuelto y de todos los nutrimentos de forma iónica, tenemos los macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y micronutrientes: boro, cloro, hierro, cobre, manganeso, molibdeno, zinc y níquel. Las necesidades de los elementos minerales de los cultivos dependen de la especie y del estado de desarrollo. (Inca, 2013)

Los requerimientos nutricionales derivan diferentes soluciones nutritivas que varían en función de la fenología, el tipo de cultivo (especie, cultivar) y las condiciones ambientales imperantes. (Lacarra & García 2011)

Según Penningsfield (1983), las soluciones deberán contener todos los elementos necesarios para las plantas, en las debidas condiciones y en la dosis conveniente, debiendo cumplir, junto a los elementos nutritivos, la que efectúan en el suelo los microorganismos y los coloides.

Cuadro 5. Requerimientos de nutrientes para el cultivo del apio (ppm)

Autor	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Mo
Cabezas(2018)	220	50	240	180	45	70	4	0,5	0,15	0,15	0,05	0,1
Resh(2001)	190	50	210	200	40	113	2,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,05

Fuente: Rodríguez (2002)

3.7.1 Cambio y duración de la solución

Resh (1987), 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.

Según Chang (2000), 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.

3.7.2 Oxigenación de la solución nutritiva

Chang (2000), 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.

3.7.3 El pH de la solución nutritiva

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. (Sánchez, 2013)

Cabeza (2015), sostiene que, el pH nunca permanecerá constante en la solución nutritiva, las plantas en pleno desarrollo absorben más aniones que cationes, es decir, nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^-), sulfatos (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.

Izquierdo (2005), argumenta que, para disminuir el valor de pH del agua se agrega una solución de ácido nítrico (HNO_3) y ácido ortofosfórico (H_3PO_4). Para la preparación de 1 litro de solución, se agrega 960 cc de agua en un contenedor, 30 cc de ácido nítrico (HNO_3) y 10 cc de ácido ortofosfórico (H_3PO_4). Si no se dispusiera de alguno de estos dos ácidos, se sugiere preparar la solución con el ácido existente. Si el pH es inferior a 5.5, lo más recomendable para subir el pH es hidróxido de sodio (NaOH). En las figuras 8 y 9 se observa el medidor portátil de pH y la disponibilidad de elementos según el nivel de pH.

3.7.4 Conductividad eléctrica de la solución nutritiva

Según Álvarez (1999), la conductividad eléctrica se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica, el agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica.

La conductividad eléctrica (CE) indica el contenido de sales de la solución nutritiva, por lo que a mayor CE mayor es el contenido de sales. La conductividad eléctrica está referida en decisiemens por metro (dS/m) y en hidroponía dependerá del cultivo establecido. A excepción de algunas especialidades, los valores de este parámetro generalmente están entre 1 a 2 dS/. (Intagri, 2017)

Según Resh (1987), la conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua; las sales en el agua se disuelven en iones con carga positiva e iones con carga negativa, que conducen electricidad.

Inia (2000), la conductividad eléctrica del agua también depende de la temperatura del agua: a más alta temperatura, más alta sería la conductividad eléctrica, la conductividad eléctrica del agua aumenta en un 2-3% para un aumento de 1 grado Celsius de la temperatura del agua, muchos medidores de conductividad eléctrica que existen en el mercado normalizan automáticamente las lecturas a 25°C.

3.7.5 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 6. Conductividad eléctrica para el cultivo del apio (mmhos/cm)

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

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

3.8 Fertilizantes sintéticos

Los fertilizantes provén nutrientes que los cultivos necesitan, con los fertilizantes químicos se pueden producir más alimentos y de mejor calidad, se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobre explotados. Éstos promoverán el bienestar de su pueblo, de su comunidad y de su país. (Delfín, 2001)

La composición de un fertilizante es la cantidad de nutriente que contiene. En los fertilizantes simples, las unidades que se consideran para el cálculo de su composición son las siguientes: N, P₂ O₅, K₂O, CaO y MgO. La composición de un fertilizante compuesto se indica por tres números que corresponden a los porcentajes de N, P₂O₅ y K₂O se denomina concentración a la suma de la riqueza de los tres elementos del fertilizante, un fertilizante ternario 15-15-15 tiene una concentración nutricional de 45% con contenidos de 15%, 15% y 15% de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, es decir, que en un quintal de 15-15-15 posee 15 libras de N, 15 libras de P₂O₅ y 15 libras de K₂O, el 55% restante de la composición del fertilizante es material inerte, si hay más números, corresponde a otros nutrientes: CaO, y MgO y S. Los fertilizantes se presentan en estado sólido o líquido, las principales propiedades químicas que poseen los fertilizantes son: solubilidad, reacción del fertilizante en el suelo sea ácida o básica está en función del efecto que tenga sobre el pH del suelo e higroscopicidad que es la propiedad de un fertilizante de absorber humedad del ambiente. (Inen, 1993)

3.9 Factores ambientales que influyen en el cultivo hidropónico

Uno de los aspectos más importantes es tomar en cuenta la temperatura de la solución.

3.9.1 Temperatura

La temperatura de la solución es un punto crítico, si la solución es muy fría, la tasa metabólica de la raíz baja y la absorción de nutrientes también, esto tiene un efecto de retardo en el crecimiento de la planta por debajo de lo deseado, también existen problemas cuando la temperatura es muy alta lo cual afecta la absorción mineral, el mejor rango de temperatura está entre 18 a 25 °C para la mayoría de los cultivos. (Barry, 2000)

Se recomienda llevar la solución a unos 20 °C, y que la temperatura misma no supere en mucho la del aire, una excesiva temperatura de la solución no supone ninguna inconveniente para las plantas, pero provoca fenómenos no deseados de precipitación de sales minerales en la solución. Por otra parte, la capacidad de un líquido para retener y absorber el oxígeno disminuye con el aumento de temperatura. Esto puede tener efectos negativos, sobre todo en substratos pobres en aire. (Fossati, 1986)

3.9.2 Luz

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 se va a cultivar dentro de casa. En estos cultivos se debe manejar de forma adecuada el uso de la luz, normalmente las plantas en hidroponía necesitan de 4 a 6 horas de luz directa del sol y de 10 a 12 de luz indirecta de sol.

Oasis (2017), comenta que cada especie necesita cierta cantidad de luz para poder desarrollar la fotosíntesis, la formación de la clorofila y expresar su alto potencial productivo. La falta de luz tiende a perder el cultivo su calidad y productividad, ya que las plantas empiezan a alargarse y sus tallos crecen débiles. Por el contrario, el

exceso de luz hace que el crecimiento de las plantas sea lento, los tallos crezcan duros, las hojas arroquetadas y el color de las flores sean pálidas.

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, 1987)

3.9.3 Agua

En los sistemas hidropónicos la calidad del agua es esencial tanto desde el punto de vista microbiológico como en su calidad química. El agua deberá estar exenta de contaminantes microbianos que de alguna manera puedan ser un perjuicio para la salud humana, ya que no debe Las aguas naturales contienen en general oligoelementos en 0cantidad tal como para no tener que preocuparse por estos minerales secundarios, esto no obstante, deberemos pensar siempre en la posibilidad de insuficiencia de hierro. Si se trata de aguas manantiales, ríos, lagos o pantanos es necesario, antes de usarlas, asegurarse de su composición. Generalmente no son deficitarias en oligoelementos, pero a veces se corre el riesgo de que no sean idóneas para el cultivo a causa de su alto contenido de elementos extraños y nocivos (Fossati, 1986). Sin olvidar que producimos hortalizas que van a ser consumidas en fresco. (Gilsanz, 2007)

En todos los casos se recomienda realizar análisis de agua, para cualquier implementación de un sistema hidropónico, ya que estas pueden contar con diferentes concentraciones de cualquier partícula o elemento. (Resh, 1997)

3.10 Rendimiento en hidroponía

Intagri (2017), menciona que la competencia de producir mayor cantidad de alimentos con menor espacio ha estimulado el acogimiento de la agricultura protegida en muchos países. Generalmente la producción de hortalizas tiene un alto porcentaje en

hidroponía. 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)

3.11 Modificación artificial del ambiente

3.11.1 Cultivos protegidos

Los sistemas de protección permanentes, que acompañan al cultivo durante todo su ciclo se denominan “forzados”, como es el caso de los distintos tipos de invernaderos. Un invernadero es toda construcción formada por una estructura que puede ser de materiales diversos y que soporta una cubierta de vidrio o plástico rígido o flexible. Posee suficiente solidez para soportar los embates del viento y dimensiones que permiten el desarrollo de las plantas y su manejo interior desde el inicio hasta la cosecha del cultivo. (Martinez & Garbi, 2015)

3.11.2 Temperatura del aire

El principal aporte de energía por parte de un invernadero proviene de la radiación solar que se transforma en energía térmica. El calor se transfiere de diversas maneras en la cobertura y estas formas de transferencias son las responsables de las variaciones de temperatura debajo de la cobertura. Es importante conocer estas formas de transferencia para actuar eficientemente sobre las pérdidas de energía que se produzcan y así tener cierto control de la temperatura interior. El balance térmico es el resultado de las ganancias y pérdidas de energía calórica, que se propaga por radiación, convección y conducción. (Martinez & Garbi, 2015)

3.11.3 Dióxido de carbono

El CO₂ es imprescindible en la fotosíntesis, su concentración normal en la atmósfera es de aproximadamente 0,035% (350 ppm), pudiendo variar entre 0,02 y 0,04%. En un invernadero cerrado, a la noche, como resultado del flujo de CO₂ del suelo y de las plantas, aumenta su concentración; en las primeras horas de la mañana las concentraciones son mayores que en la atmósfera. Al aumentar la intensidad luminosa, las concentraciones bajan rápidamente a niveles de 200 ppm. Este nivel se mantiene durante algunas horas, hasta que la intensidad luminosa comienza a disminuir; momento en que aumenta gradualmente la concentración para alcanzar los niveles iniciales. En invierno esta disminución del CO₂ puede ser más notoria ya que la ventilación se disminuye como consecuencia de la baja temperatura exterior.

4 LOCALIZACIÓN

4.1 Ubicación geográfica

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 Sud, y 68°30' de latitud Oeste, altitud de 3445 msnm, temperatura media es de 11,5 °C (Instituto Geográfico Militar, 2007).

En la siguiente figura 1, se muestra la ubicación geográfica del trabajo de investigación.



Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

4.2 Características climáticas de la zona de estudio

Las condiciones agroclimáticas a esta elevación, La Paz tiene un clima subtropical de altura, con veranos lluviosos la temperatura es de 21 °C, en la época de invierno son secos y con temperaturas que pueden bajar hasta 2 °C e incluso llegar a los 1 °C, en los meses de agosto y noviembre se presentan vientos fuertes con dirección Este, la temperatura media es de 13,5 °C con una precipitación media de 400 mm, las heladas se manifiestan en 15 días de los años con temperaturas por debajo de 0 °C, la humedad relativa media es 46%. (Senamhi, 2010).

5 MATERIALES Y METODOS

5.1 Materiales

5.1.1 Material biológico

Las semillas empleadas fueron dos:

Cuadro 7. Material variedades de semilla.

Semilla	Unidad	Cantidad
Semilla de la variedad Tall-utah 50-70	ONZAS	¼
Semilla de la variedad Golden self	ONZAS	¼

5.1.2 Material fertilizante

Los fertilizantes empleados para la formulación de la solución nutritiva se detallan a continuación.

Cuadro 8. Material fertilizantes empleados.

Fertilizante	Formula
Nitrato de calcio	$(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$
Nitrato de potasio	KNO_3
Fosfato mono amonio	$\text{NH}_4 \text{H}_2\text{PO}_4$
Sulfato de magnesio	SO_4Mg
Quelato de hierro EDDDHA	EDTA- Fe.
Cosmoquel menores	S, B, Co, Cu, Mn, Mo, Zn.

5.1.3 Material químico

Los reactivos químicos utilizados para el tratamiento del agua y calibrado del equipo PH metro se muestra a continuación.

Cuadro 9. Material químico.

Reactivo	Formula	Cantidad
Ácido nítrico	H ₃ PO ₄	1 L
Agua destilada	HNO ₃	1 L
pH buffer powder	pH 6.86 25 ⁰ C	1 sobre
pH buffer powder	pH 4.00 25 ⁰ C	1 sobre

5.1.4 Material de almacigo

El material utilizado para implementar el área de almacigo de semilla se detalla a continuación.

Cuadro 10. Material almacigo de semilla.

Material	Unidad	Cantidad
Poliuretano	M	1
Bandejas planas	Pza	6
Nylon negro	M	1
Mesa de trabajo	Pza	1
Cautín	Pza	1
Flexómetro	Pza	1
Escuadra	Pza	1

5.1.5 Material de piscina

El material utilizado para implementar al área de piscina (raíz flotante) se detalla a continuación.

Cuadro 11. Material para piscina.

Ítem	Unidad	Cantidad
Nylon negro	M	1
Plastoformo 25 mm grosor	M	1
Contenedor	Pza.	2
Oxigenadores	Pza.	2

5.1.6 Material soporte nft

El material utilizado para construir soportes verticales (reposito del sistema NFT) se detalla a continuación.

Cuadro 12. Material soporte piramidal.

Ítem	Unidad	Cantidad
Estructura Soporte de fierro	M	1
Tubo de pvc 2 " (canal)	Pza.	16
Tubería de pvc de 3 "(desagüe o retorno de la solución).	Pza.	6
Micro tubo 6 mm	M	2
Emisores	Pza.	16
Electrobomba 2 hp	Pza.	1
Tanque de agua 1200 L	L	1
Equipo Taimer	Pza.	1
Grumet	Pza.	16

5.1.7 Material de laboratorio

En materiales de laboratorio se utilizó:

Cuadro 13. Material de laboratorio.

Ítem	Unidad	Cantidad
Balanza analítica de 1 kg	Pza	1
PH metro	Pza	1
Conductivímetro	Pza	1

5.1.8 Material de gabinete

Para los materiales de gabinete se utilizaron los siguientes:

Cuadro 14. Material de gabinete.

Ítem	Unidad	Cantidad
Cuaderno de apuntes	Pza	1
Calculadora	Pza	1
Cámara fotográfica	Pza	1
Computadora	Pza	1

5.1.9 Material de campo

Para materiales de campo se utilizó los siguientes:

Cuadro 15. Material de campo.

Ítem	Unidad	Cantidad
Regla	Pza	1
Flexo	Pza	1
Martillo	Pza	1
Agujas	Pza	1
Hilo Cáñamo	M	50

5.2 Métodos

Para el desarrollo de la investigación el Centro Experimental de Cota Cota proporciono un ambiente protegido o carpa solar en la cual utilizamos un espacio de 16 metros cuadrados, en el cual ya existía un sistema hidropónico piramidal (NFT).

5.2.1 Almacigo de semilla

Para el área de almacigo de semilla de apio:

- Se cortó las esponjas obteniéndose cubos de 3 x 3 x 3 cm, luego se procedió a lavarlas con vinagre para eliminar los restos químicos propios de su fabricación, luego se enjuago con abundante agua para eliminar el vinagre quedando listo para la siembra.
- Se acomodaron los cubos de esponja lavadas y enjuagadas en 6 bandejas que median de 37cm largo y 27 cm de ancho
- En el sustrato ya húmedo se realizó la siembra dejando caer de 5 semillas en cada hoyo de cada cubo, el sustrato es poliuretano (esponja).
- Luego cubrimos con nylon negro durante 9 a 10 días hasta su emergencia, posterior se destapo el nylon germinaron y se llevó el trasplante en piscina, el periodo de almacigo duró 30 días. Ver anexos 2

5.2.2 Piscina

En el área de piscina, las plántulas tienen su raíz flotando en el medio cual favoreció el crecimiento de la raíz para el trasplante definitivo, las plántulas permanecieron 32 días más, obteniendo de 2 a 3 hojas verdaderas y 5 cm de largo de raíz.

Se tenía una bandeja ya construida, que simula en una mesa contenedor dos piscinas con dimensiones 1.05m*0.92m*0,20 m., con forma rectangular, su interior se forró con nylon negro y en el plasta formó se hizo perforaciones circulares de 3 cm diámetro, en el cual se introdujo los plantines desde el almacigo, donde el plasta formó permitió a las plántulas tener su raíz dentro la solución y las hojas fuera de ella. Se vertió en la piscina una lámina de solución nutritiva a 9 cm de altura y un PH de 6,8. Ver anexos figuras se observa el trasplante y una piscina con alta densidad de plantines.

5.2.3 En pirámide

5.2.3.1 Pendiente

De acuerdo a Resh (1987), 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.

Luego de terminar la adecuación y reparación de la infraestructura se terminó y uso una pendiente de 2% para un largo de 6,96 m.

5.2.3.2 Trasplante en pirámide

Se realizó el trasplante después de 62 días de haber almacigado la semilla y que los plantines tuvieron alrededor de 2 a 3 hojas verdaderas en piscina, se trasladó cada plantin en los diferentes canales, tomando cuidado de que toda la raíz entre y este en contacto con la solución recirculante aquí permanecerá hasta la cosecha.

5.2.4 Proceso productivo o manejo del cultivo

5.2.4.1 Formulación de las soluciones nutritivas

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

5.2.4.2 Análisis del agua

Según Resh (1987), se recomienda usar agua de consumo humano para cultivos hidropónicos, cuidando de que este no tenga concentraciones de hipoclorito de sodio que sean perjudicial para el cultivo. Para tal fin se realizó análisis químico del agua. Ver anexo 17

5.2.4.3 Formulación nutricional del cultivo del apio

En el requerimiento del cultivo de apio se utilizó una formula generalizada para cultivos de hoja de acuerdo a Murillo y Jaimes (2020) en base a Resh (2001) y Cabezas (2012). Ver cuadro 3

La capacidad del tanque fue de 1200 L, pero solo se usó 300 L de solución nutritiva con las siguientes cantidades de cada fertilizante:

En siguiente cuadro 16, se detalla la formulación nutricional en base al requerimiento del cultivo de apio.

Cuadro 16. Detalle de la formulación nutricional en base al requerimiento

Composición	Fertilizante	Requerimiento en g
Solución Concentrada	Nitrato de potasio	670
“A”	Fosfato mono amónico	200
	Sulfato de magnesio	490
Solución Concentrada	quelato de hierro	10
“B”	EDDDHA	
	Cosmoquel menores	38
Solución Concentrada		
“C”	nitrate de calcio	1030

Una vez realizado los cálculos, se procedió al preparado de la solución nutritiva, que se muestra a detalle a continuación:

- Se realizó el llenado del tanque, hasta una capacidad de 300 L
- 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 caso contrario se ocurriría la precipitación de los fertilizantes.
- Una vez ya disuelto las soluciones, se pasó al cierre de las llaves de retorno, disolviendo de manera general ambas soluciones nutritivas.
- Una vez controlado el pH y tomada la conductividad eléctrica se mandó a la circulación de la solución nutritiva

5.2.4.4 Manejo del PH de la solución

Según Resh (1987), el pH recomendado para la producción de hortalizas y “La Guía del Huerto Hidropónico” (2000), es de 6,0 a 6,5 valor adecuado para la absorción de nutrientes por las plantas, y para la absorción óptima del cultivo de apio es de 6,3 a 6,5 de pH.

En este ensayo el pH inicial después de preparar la solución de nutrientes en el tanque fue de 6.46, con respecto el manejo del pH, se tomó datos luego de preparar la solución nutritiva, donde se pudo apreciar que a partir de la segunda semana el pH fue bajando, alcanzando un PH de 5.5, se calibró el PH aumentado agua manteniendo en nivel de 300 ml, se realizó la misma practica cada vez que bajaba el pH manteniendo un rango de 6.0 a 5,5.

5.2.4.5 Manejo de la conductividad eléctrica de la solución

Según Resh (1987), cuando la conductividad bajaba a menos de 800 ds/cm, empiezan a presentarse deficiencias nutricionales, como mote amientos, 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 ensayo, 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.

5.2.4.6 Manejo de la temperatura

- **Temperatura en carpa.**

Se registraron datos de temperatura cada día considerando máximas, mínimas. De tal manera se pudo observar que las temperaturas en el interior de la carpa fueron diferentes a comparación de la parte externa de la carpa, alcanzando una máxima de 35 °C entre principios de agosto y una mínima de 5 °C.

Sin embargo, las temperaturas para finales del mes de octubre fueron una mínima de 6 °C y una máxima de 37°C, considerando que el cultivo de apio no es tolerante a temperaturas por encima de los 30 °C.

- **Temperatura en la solución.**

El promedio de la temperatura de la solución nutritiva fue de 18,7 °C, datos que fueron tomados a medio día, los mismos no afectaron al cultivo.

5.2.5 Procedimiento de estudio experimental

5.2.5.1 Diseño de investigación

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

5.2.5.2 Modelo estadístico

Cuyo modelo aditivo lineal es el siguiente, proporcionado por Arteaga (2003).

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

Donde:

Y_{ijk} = Una observación cualquiera

μ = Media general

β_k = Efecto aleatorio del k – esimo bloque

α_i = Efecto fijo del i- esimo densidades

λ_j = Efecto fijo del j – esimo variedades

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

ϵ_{ijk} = Error experimental

5.2.5.3 Tratamientos

La interacción de los dos factores, “tres densidades de plantación” y “dos variedades de cultivo de apio haciendo un total de 6 tratamientos, 24 unidades experimentales.

Factor A: Tres densidades de plantación (0,20 m, 0,25 y 0,30 m).

Factor B: Dos Variedades de Apio Tall utah 52-70 y Golden self.

En el cuadro 17, se explica las combinaciones de los tratamientos densidad (20,25 y 30) y variedad (Tall utah 52-70 y Golden self) del diseño experimental.

Cuadro 17. Descripción de las combinaciones del tratamiento.

Tratamientos	Densidades	Variedades
T1	D1(20cm)	Tall utah 52-70
T2	D1(25cm)	Golden self
T3	D2(30cm)	Tall utah 52-70
T4	D2(20cm)	Golden self
T5	D3(25cm)	Tall utah 52-70
T6	D3(30cm)	Golden self

5.2.5.4 Superficie experimental

En el siguiente cuadro 18, se describe la superficie utilizada en la carpa durante el periodo que ha durado la investigación, así mismo se menciona el área ocupada de la estructura piramidal NFT.

Cuadro 18. Descripción de la superficie utilizada de la carpa y el sistema NFT.

Superficie utilizada dentro la carpa	9 m ²
Largo del sistema NFT	6,96m
Ancho del sistema NFT	2,20 m
Altura del sistema NFT	1,64 m
Área utilizada del sistema NFT	8 m ²

5.2.5.5 Croquis experimental

En la figura 2, se señala el croquis experimental de los 6 tratamientos y los 4 bloques utilizados.



Figura 2. Croquis experimental.

En la siguiente figura 3, se muestra la infraestructura del sistema hidropónico (NFT) con sus respectivas medidas.

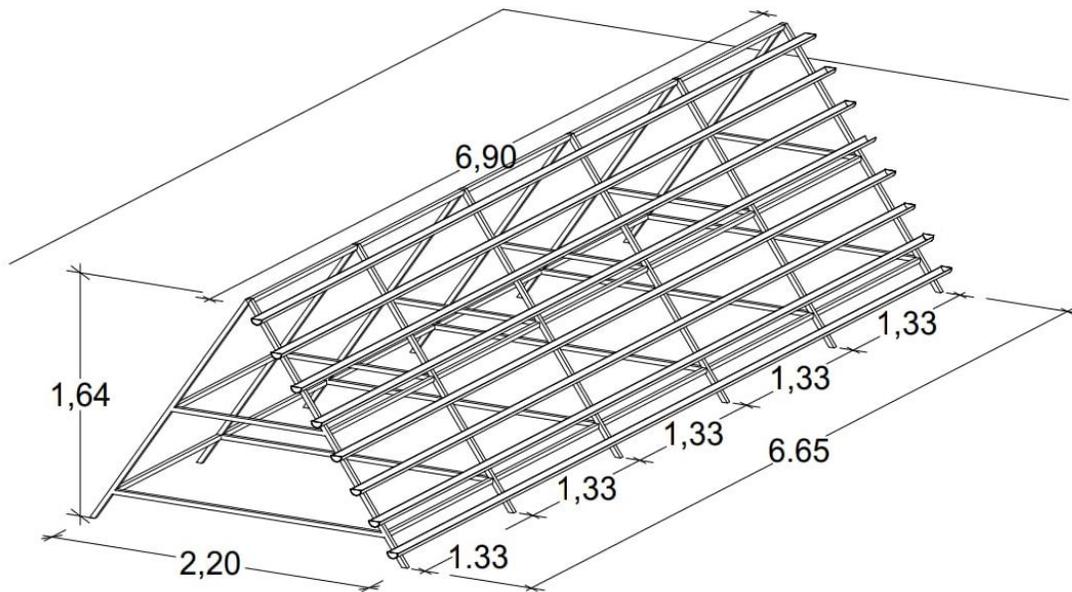


Figura 3. Medidas del sistema hidropónico NFT

5.2.5.6 Variables de respuesta

- **Porcentaje de germinación.** Este dato se obtuvo desde el día 10 de la siembra, hasta los 30 días después de la misma, datos tomados de la almaciguera preparada, la cual contaba con 658 semillas. Se utilizó 6 almacigueras para separar las dos variedades en estudio.
- **Porcentaje de prendimiento al trasplante a la pirámide.** Este dato se obtuvo desde el día 7 para determinar el porcentaje de prendimiento, se realizó el conteo por tratamiento de manera visual.
- **Número de pencas por planta.** La determinación del número de pencas por planta se realizó mediante el conteo desde la primera penca con desarrollo completo, los datos se tomaron con una frecuencia semanal.

- **Altura de planta.** Los datos fueron tomados considerando las pencas bien desarrolladas y de buen porte, 6 muestras por tratamiento, datos que fueron todos con frecuencia de 7 días luego del trasplante hasta los 63 días, antes de la cosecha.

- **Diámetro de la penca.** Los datos de la variable diámetro de la penca fueron tomados el día 63 de la cosecha, las muestras se midieron con ayuda de un vernier, 6 muestras por cada tratamiento.

- **Peso de planta (sin raíz).** Los valores obtenidos de cada planta se expresaron en gramos después de la cosecha, se procedió al pesado correspondiente de las muestras de cada variedad y por tratamiento utilizando la balanza, posteriormente estos datos se tabularon para sacar el promedio del peso de la planta por cada tratamiento.

- **Análisis económico**

La evaluación económica preliminar se realizará según la metodología propuesta por García (2014), que recomienda el análisis de beneficios netos y el cálculo de la tasa de retorno marginal de los tratamientos alternativos, para obtener los beneficios y costos marginales. Los rendimientos se ajustarán al menos 10% por efecto del nivel de manejo, puesto que el experimento estará sujeto a cuidados y seguimientos que normalmente no se dan en condiciones de producción comercial.

- **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 ($B/C < 1$). Proinpa (1995)

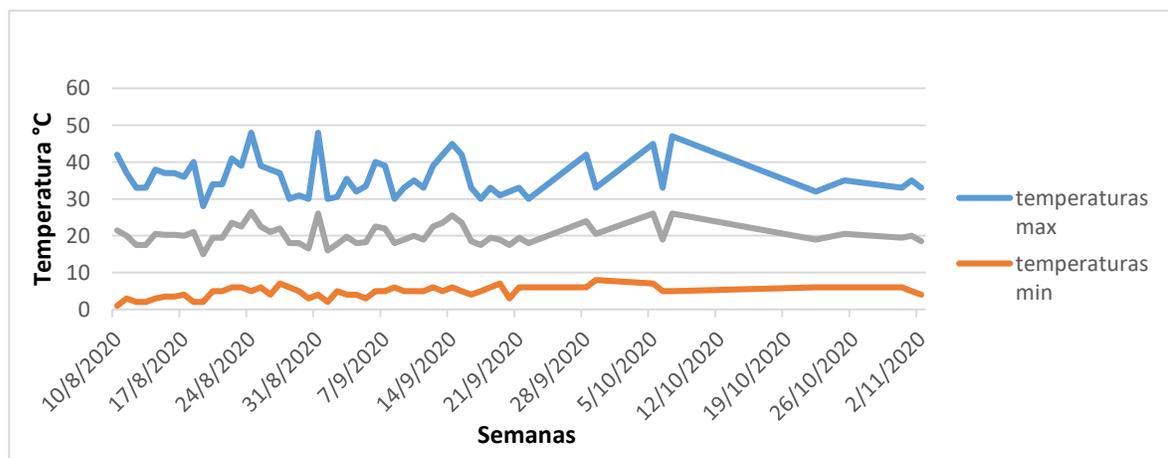
6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

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 registradas en el ambiente protegido, fueron tomadas a partir del almácigo de las semillas de apio hasta la cosecha, durante los meses del 10 agosto hasta el 3 de noviembre. Ver anexo

En la gráfica 1, se observa las fluctuaciones existentes durante la investigación en el desarrollo del cultivo al interior de la carpa solar tomada en el mes de agosto con una temperatura más baja durante el desarrollo del cultivo con 5°C, para el mes de octubre se muestra la temperatura más alta registrada con 36°C.



Gráfica 1. Temperaturas máximas, mínimas y promedio

Durante todo el desarrollo del experimento se observaron efectos negativos de las temperaturas mínimas y máximas, es decir, que este factor climático no se mantuvo dentro de los rangos que el cultivo de apio exige.

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. Vigliola (1992)

Según Flores (2005), menciona que la temperatura tiene mucha importancia en el desarrollo de las plantas, afecta a la intensidad y velocidad de los procesos fisiológicos, actúa en forma directa sobre la humedad y la evaporación incidiendo en la morfología vegetal.

6.2 Variables 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 10 días después de la siembra del cultivo de apio en el almacigo de sustrato esponja y las dos variedades, estos datos se muestran en el siguiente (cuadro 19).

En el cuadro 19, se muestra el porcentaje de germinación de las dos variedades del cultivo.

Cuadro 19. Porcentaje de germinación de las dos variedades de apio.

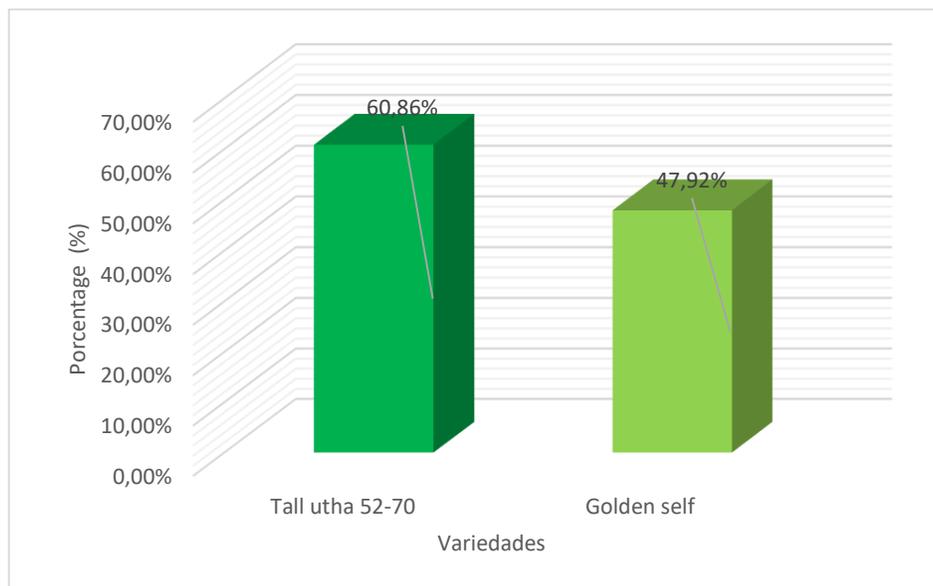
Almacigo	Variedades de Apio (%)	
Sustrato inerte (esponja)	Tall utah 52-70 60,86%	Golden self 47,92%

De acuerdo al porcentaje de germinación, se encontró que la variedad Tall utah 52-70, obtuvo 60,86% de emergencia, a su vez se diferencia con menor promedio la variedad Golden self con un valor de 47,92% en promedio.

En conclusión (Cuadro 19) se puede afirmar que la variedad con mayor porcentaje de emergencia es la variedad Tall utha 52-70

La diferencia en el porcentaje de emergencia se puede atribuir al potencial genético de las variedades en estudio de la presente investigación.

En la gráfica 2, se muestra la comparación de medias para las dos variedades de apio (Tall utha 52-70, Golden self) en la variable porcentaje de germinación en almacigo.



Grafica 2. Comparación de medias para el porcentaje de germinación en almacigo entre las dos variedades.

De acuerdo a la comparación para las dos variedades en almacigo en sustrato inerte (esponja), se llegó a determinar que existió diferencia teniendo un mayor porcentaje de germinación la variedad Tall utha 52-70 con un 60,86% de germinación, seguidamente con un 49,62% de la variedad Golden self.

Rivera (2015), argumenta que el porcentaje de germinación en apio variedad Tall utah, un factor importante es la temperatura, la germinación se considera que ha finalizado cuando la radícula la emerge a través de las cubiertas seminales. A partir de este momento su posterior desarrollo llevaría la aparición de la plántula sobre el suelo.

Según Suxo (2019), observa que la variedad Tall-utah 52-70, que alcanzó un porcentaje de emergencia de 85,73%, en razón que su fisiología y 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 blanching presento 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 de 83,71 %, debido a que su fisiología y metabolismo seria 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. (Favaro & Bouzo, 2017)

El mismo autor menciona que el fenómeno de dormancia y las condiciones de luz y temperatura para germinar estarían estrechamente relacionados con el tipo de cultivar. Las variedades comerciales que responden al tipo slow bolting (aquellas que requieren alta acumulación de horas de frio para florecer) serían las más exigentes en cuanto a la necesidad de luz, y la dormancia se induce a temperaturas más bajas, y se ha demostrado que cuanto mayor es el requerimiento de frio para inducir floración, mayores son los requisitos para la germinación.

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

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

6.3.1 Porcentaje de prendimiento promedio en el sistema (NFT)

En el cuadro 20, se puntualiza el Análisis de varianza correspondiente para el porcentaje de prendimiento promedio en el sistema (NFT).

Cuadro 20. Análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento en sistema hidropónico (NFT)

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	nivel de significancia
Bloque	3	1,13	0,38	5,00	0,0134	**
"A" Densidades	2	0,00	0,00	0,00	>0,9999	NS
"B" Variedades	1	0,04	0,04	0,56	0,4646	NS
"A*B" Densidades * Variedades	2	0,33	0,17	2,22	0,1428	NS
"EE" Error Experimental	15	1,13	0,13			
Total	23	2,63				

No significativo (NS)
Significativo al 5% (*)
Altamente significativo al 1% (**)

$$CV= 4,66\%$$

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que en los bloques, el resultado fue altamente significativo, esto indica hubo discrepancia entre bloques. Con respecto a densidades de siembra dio como resultado no significativo, esto indica que las densidades no influyeron de ninguna manera en el prendimiento del cultivo en el sistema NFT.

Para las variedades dio como resultado no significativo, deduciendo que el tipo de variedad no influye en el porcentaje de prendimiento.

Como también se puede apreciar en la interacción de las variedades y densidades dio como resultado no significativo, deduciendo que cada factor actuó de manera independiente.

Todo esto indica que los factores densidades, variedades y la interacción densidad*variedad no influyeron en la variable porcentaje de prendimiento según

Según Arteaga (2013), indica que para el manejo en ambientes atemperados, el coeficiente de variancia 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. En la presente investigación se obtuvo un coeficiente de variancia de un 4,66%, lo cual indica que si hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

6.3.2 Número de pencas en la planta en el sistema (NFT)

En el cuadro 21, se detalla los resultados del análisis de variancia para el número de pencas del cultivo de apio por efecto de tres densidades (20, 25 y 30) y dos variedades (Tall-utah 52-70 y Golden self).

Cuadro 21. Análisis de variancia para el número promedio de pencas del cultivo de apio.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	nivel de significancia
Bloque	3	32,94	10,98	5,26	0,0111	**
"A" Densidades	2	3,69	1,85	0,88	0,4335	NS
"B" Variedades	1	27,84	27,84	13,32	0,0024	**
"A*B" Densidades* Variedades	2	5,10	2,55	1,22	0,3222	NS
"EE" Error Experimental	15	31,31	2,09			
Total	23	100,89				

No significativo (NS)
Significativo al 5% (*)
Altamente significativo al 1% ()**

CV= 14,14%

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 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.

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.

Para densidades se obtuvo el resultado no significativo, esto indica que las densidades no tuvieron impacto para obtener mayor o menor número de pencas en el cultivo debido a que no influye a que densidad este se encuentre.

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 un variedad muy vigorosa, con alto rendimiento en pencas a comparación de la Golden self.

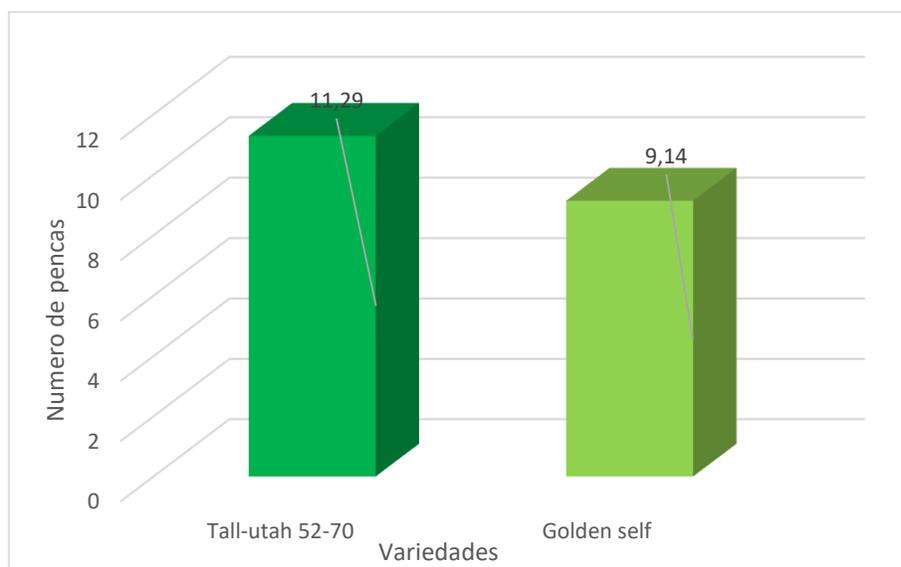
Para la interacción de densidades y variedades dio como resultado no significativo, lo cual indica que cada factor actuó de manera independiente.

Todo esto indica que los factores densidades e interacción de factores no influyeron en la variable número de pencas estas variables son independiente de estos factores.

Según Arteaga (2013), indica que para el manejo en ambientes atemperados, el coeficiente de variancia 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. En la presente investigación se obtuvo un coeficiente de variancia de un 14,14%, lo cual indica que si hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

6.3.2.1 Comparación de medias para el número de pencas

En la siguiente gráfica 3, se observa la comparación de medias del número de pencas entre las dos variedades utilizadas.



Grafica 3. Comparación de medias para número de pencas entre variedades

Se observar en la gráfica que en promedio existe diferencias entre las variedades donde la variedad Tall utah 52-70 mostró un excelente desarrollo y crecimiento con respecto al número de pencas obteniendo 11,29 pencas en promedio siendo superior con respecto a la variedad Golden self a los 102 días de la cosecha, se adaptado mejor al sistema de producción para el área de estudio, siendo así la variedad Golden self más delicado obteniendo un menor rendimiento con 9,14 pencas.

Según Medrano (2002), en el estudio de investigación que realizó en producción hidropónica de apio variedad Tall utah 52-70 obtuvo mejores resultados con respecto a las demás variedades en número de pencas. La variedad Tall utah 52-70 obtuvo en promedio 10.73 pencas, confirmando que la variedad Tall utah 52-70 tuvo estos resultados por su genética y características morfológicas que se adaptaron mejor en este sistema de producción.

En la investigación titulado evaluación de tres densidades y dos arreglos espaciales en producción orgánica hidropónica de apio (*Apium graveolens* L.), corrobora que la variable número de tallos a la cosecha la variedad Tall utah 52-70 (Triumph) logró obtener en promedio 7.50 pencas, sujeta que se aclimato de una manera adecuada al arreglo espacial utilizado de acuerdo a su peculiaridad con respecto a su genética hereditaria. (Carrillo, 2002)

Según Molina (2017), en el estudio titulado evaluación de dos variedades de apio (*Apium graveolens* L.) en tres soluciones nutritivas, el mejor tratamiento fue el T2 (Variedad Tall utah x Solución 1) con un promedio de número de pencas de 36.8, afirmando en el estudio que la variedad Tall utah fue mejor con respecto a la variedad Golden black chino, debido que la variedad Tall utah es vigorosa con respecto a su desarrollo morfológico, calidad y adaptabilidad.

6.3.3 Altura de la planta en el sistema (NFT)

En el cuadro 22, se detalla los resultados del análisis de varianza para la altura de planta del cultivo de apio por efecto de tres densidades y dos variedades.

Cuadro 22. 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	51,50	17,17	6,10	0,0064	**
"A" Densidades	2	5,64	2,82	1,00	0,3904	NS
"B" Variedades	1	0.09	0.09	0,03	0,8576	NS
"A*B" Densidades *Variedades	2	0.33	0.17	0,0	0,9430	NS
"EE" Error Experimental	15	42,22	2,81			
Total	23	99.79				

No significativo (NS)

Significativo al 5% (*)

Altamente significativo al 1% ()**

$$CV= 4,31\%$$

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.

Así también para variedades, dio como resultado no significativo, esto indica que no influyo la variedad para obtener mayor altura en la planta.

Con respecto a las densidades de siembra dio como resultado no significativo, esto indica que no contribuyo la densidad para obtener mayor altura en las plantas.

Para la interacción densidad y variedad dio como resultado no significativo, lo que indica que cada factor actuó de manera independiente.

Según Arteaga (2013), indica que para el manejo en ambientes atemperados, el coeficiente de variancia 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. En la presente investigación se obtuvo un coeficiente de varianza de un 4,31%, lo cual indica que si hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

Para altura de plantas según la variedad Tall utah 52-70 se obtuvo un promedio de 39,04 cm de altura de planta donde la otra variedad Golden self obtuvo un promedio de 38.94 cm en altura de planta así viendo en ambas variedades que no existe una diferencia significativa. Por lo cual a diferencia de las variedades en altura de la planta, es debido a las características morfológicas (largo del peciolo) que mostro la variedad Tall utah durante todo el ensayo. Pero las dos variedades fueron creciendo en altura de manera paulatina.

En el estudio realizado de producción hidropónica de apio en tres densidades la variedad Tall-utah 52-70 a diferentes densidades ha obtenido un promedio de altura de 73.9 cm, donde se realizó un solo corte, el T3 presentó mayor altura pero el grosor del tallo fue menor y esto no es requerido en el mercado. Por lo tanto esto corrobora que la variedad Tall utah 52-70 su desarrollo fisiológico es de acuerdo a la estación del año en cuanto a la altura de planta. (Medrano, 2002)

Según Carrillos (2002), en su investigación llega a los resultados para altura promedio de plantas (cm) al momento de la cosecha; en la evaluación de tres densidades y dos arreglos espaciales en producción orgánica hidropónica de apio (*Apium graveolens* L.) donde la variedad altura de (D1: 25 plantas/m² = 71.39), (D2: 50 plantas/m² = 67.61) y (D2: 75 plantas/m² = 66.29). (Carrillos, 2002)

Según la observación realizada se pudo establecer que el mejor tratamiento fue T2 (Variedad Tall utah y Solución Nutritiva 1) con un promedio de 48 cm de altura de penca, por lo tanto esto corrobora que la variedad Tall utah es mejor que la variedad Golden self para producción debido a la manifestación de sus características morfológicas y a la adaptabilidad del mismo. (Molina, 2017)

A medida que se aumenta el número de plantas por área la altura tiende a disminuir, esto posiblemente se debe al efecto competitivo por luz, agua, nutrientes y espacio físico, tanto aéreo como subterráneamente. Esta competencia se refleja en la altura y en otros aspectos tales como la calidad de la planta. (Montoya, 1991)

6.3.4 Diámetro de la penca en el sistema (NFT)

Esta variable adquiere relevancia ya que el apio para uso industrial se cosecha mecanizada mente, con una altura de 40 ,50 y 60 cm desde el nivel del suelo razón por cual se desea obtener plantas altas pero con una proporción mayor de grosor respecto del penca. (Motes, 2006)

En el cuadro 23, se detalla los resultados del análisis de varianza para el diámetro de la penca del cultivo de apio por efecto de tres densidades y dos variedades.

Cuadro 23. Análisis de varianza para el diámetro de la penca de cultivo de apio.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	nivel de significancia
Bloque	3	0,15	0,05	1,58	0,2366	NS
"A" Densidades	2	0,01	0,3	0,08	0,9238	NS
"B" Variedades	1	0,45	0,45	14,12	0,0019	**
"A*B" Densidades *Variedades	2	0,04	0,02	0,56	0,5819	NS
"EE" Error Experimental	15	0,47	0,03			
Total	23	1,11				

No significativo (NS)
Significativo al 5% (*)
Altamente significativo al 1% ()**

CV= 10,84%

Para bloques se obtuvo como resultado no significativo, esto indica que los bloques no tuvieron semejanza para obtener un mayor grosor del diámetro de la penca del cultivo debido a la característica genética que tiene cada variedad.

Para densidades dio como resultado no significativo, lo que indica que las densidades no tuvieron impacto en el incremento o grosor del diámetro de la penca en el cultivo debido a que no influye a que densidad este se encuentre.

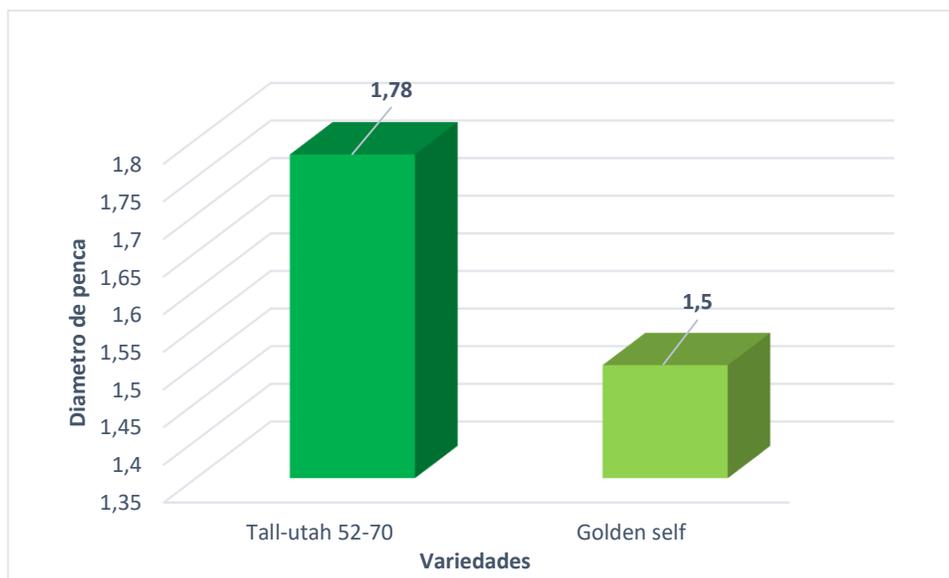
A si también para variedades dio como resultado altamente significativo, esto indica que si influyo la variedad para obtener mayor grosor del diámetro de la penca.

Con respecto a la interacción densidades y variedades dio como resultado no significativo lo que indica que los factores actuaron de manera independiente con respecto al diámetro de la penca de la planta del cultivo.

Según Arteaga (2013), indica que para el manejo en ambientes atemperados, el coeficiente de variancia 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. En la presente investigación se obtuvo un coeficiente de varianza de un 10,84%, lo cual indica que si hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

6.3.4.1 Comparación de medias para el diámetro de pencas

En la gráfica 4, se muestra las medias de las dos variedades (Tall utah y Golden self), en la variable diámetro de la penca.



Grafica 4. Comparación de medias Duncan para el diámetro de la penca entre variedades.

Según la comparación de medias Duncan, la mejor variedad fue la variedad Tall utah 52-70, alcanzando un diámetro promedio de 1,78 cm seguidamente de la variedad Golden self alcanzado un promedio de 1,5 cm. de grosor del diámetro de la penca donde la variedad Tall-utah 52-70 fue superior a la variedad Golden, se atribuye a las características genéticas, morfológicas y fisiológicas propias de cada variedad.

Según Medrano (2002) en la investigación realizada titulada producción hidropónica del cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) en tres densidades se han obtenido los siguientes resultados para el diámetro del cuello de la raíz que la variedad Tall utah 52-70 tuvo un promedio 7.03 cm, esto se atribuye características genéticas y morfológicas propias de esta variedad.

En estudio realizado en el análisis de varianza para la variable diámetro de macolla (cm), a la cosecha; en la evaluación de tres densidades y dos arreglos espaciales en producción orgánica hidropónica de apio (*Apium graveolens* L.) variedad Tall utah (Triumph) muestra un promedio del diámetro de la penca de 4,29 cm siendo adecuado para el arreglo espacial tres bolillos debido a la adaptabilidad de producción de esta variedad. (Carrillos, 2002)

6.3.5 Peso de la planta (sin raíz) 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 densidades y dos variedades.

Cuadro 24. Análisis de varianza para el peso de la planta del cultivo de apio (sin raíz).

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	nivel de significancia
Bloque	3	7101,47	2367,18	4,95	0,0139	**
"A" Densidades	2	1189,83	594,91	1,24	0,3164	NS
"B" Variedades	1	786,16	786,16	1,64	0,2193	NS
"A*B" Densidades* Variedades	2	1148,34	574,17	1,20	0,3184	NS
"EE" Error Experimental	15	7173,95	478,26			
Total	23	17399,75				

No significativo (NS)
Significativo al 5% (*)
Altamente significativo al 1% ()**

CV= 12,60%

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

Así también para densidades de siembra se obtuvo un resultado no significativo, esto indica que las densidades no tuvieron impacto para obtener un mayor o menor peso de la planta (sin raíz) en el cultivo debido a que no predomina a que densidad esta se encuentre.

Con respecto a las variedades, dio como resultado no significativo lo que indica que no tuvo una consecuencia directa en el peso de la planta (sin raíz) del cultivo, se atribuye a las características genéticas, morfológicas y fisiológicas propias de cada variedad.

Para la interacción densidad y variedades dio como resultado no significativo lo cual indica que este factor actuó de manera independiente con respecto al peso de la planta del cultivo.

Según Arteaga (2013), indica que para el manejo en ambientes atemperados, el coeficiente de variancia 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. En la presente investigación se obtuvo un coeficiente de varianza de un 12,60%, lo cual indica que si hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

Para el peso de la planta sin raíz según la variedad a diferentes densidades la variedad Tall utah 52-70 obtuvo un promedio de 167.92 g. con respecto al peso de la planta (sin raíz), para la variedad Golden self se obtuvo un promedio 177,39 g respecto al peso de la planta (sin raíz), se puede observar que la variedad Golden self tiene mejores resultados respecto al peso de la planta (sin raíz).

En la indagación de la producción hidropónica en la época de primavera de un solo corte de la variedad Tall-utah 52-70 a diferentes densidades de trasplante (D) se obtuvo un promedio D1 = 25plantas/m² con rendimiento de 4.13kg/m², D2 = 31plantas/m² con 4.61kg/m² y D3 = 42plantas/m² con un rendimiento de 3.01kg/m², por lo cual a mayor densidad menor rendimiento debido a que tuvo menor espacio competencia de luz y nutrientes, por lo tanto se puede corroborar con los resultados, que si se puede obtener mayor rendimiento con esta variedad pero en una época adecuada. (Medrano, 2002)

Prodar (2000), menciona que los valores más comerciales son el conjunto de pencas que se encuentran entre 460 – 720 g, además señala que 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 tales como: pecíolos esponjosos, tallos florales y partiduras, así como ausencia de daños por insectos y pudriciones.

6.4 Análisis económico

En el presente análisis económico describimos a los parámetros relevantes para determinar la rentabilidad o no rentabilidad de la producción del cultivo de apio en dos variedades y tres densidades de trasplante.

La investigación se realizó por cada tratamiento para un metro cuadrado.

6.4.1 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

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Rendimiento Bruto (Kg/m ²)	6,40	4,26	3,88	5,99	5,13	4,19
Rendimiento ajustado (-10%)	5,76	3,83	3,49	5,39	4,62	3,77

6.4.2 Beneficio

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

Cuadro 26. Beneficio expresado en kilogramos

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Rendimiento Bruto (Kg/m ²)	6,40	4,26	3,88	5,99	5,13	4,19
Rendimiento ajustado (-10%)	5,76	3,83	3,49	5,39	4,62	3,77
N° plantas/m ²	36,00	28,00	23,00	36,00	28,00	23,00
Peso promedio por P/G	183,00	152,10	168,75	166,67	183,30	182,20
N° Bolsas/m ²	18,00	14,00	11,00	18,00	14,00	11,00
Peso promedio por bolsa/gramos	366,00	304,20	337,50	333,34	366,60	364,41
Precio (Bs/Bolsa)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Beneficio (kg/m ²)	54,00	42,00	33,00	54,00	42,00	33,00
Beneficio (kg/8m ²)	432,00	336,00	264,00	432,00	336,00	264,00

6.4.3 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 m2

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Descripción						
1. Material Vegetal						
Semilla	0,30	0,24	0,20	0,30	0,24	0,20
2. Fertilizantes						
Nutrientes	1,90	1,50	1,30	1,90	1,50	1,30
Total	2,20	1,74	1,50	2,20	1,74	1,50

6.4.4 Los costos fijos

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

Cuadro 28. Costos fijos para un m2

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Descripción						
1. Alquileres						
Alquiler hidropónico	15	15	15	15	15	15
Alquiler de invernadero	40	40	40	40	40	40
2. Servicios Básicos						
Luz	60,33	60,33	60,33	60,33	60,33	60,33
Agua	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
3. Transporte						
T. publico	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
4. Mano de obra						
Almacigo	7,77	7,77	7,77	7,77	7,77	7,77
Piscina	7,77	7,77	7,77	7,77	7,77	7,77
Pirámide	7,77	7,77	7,77	7,77	7,77	7,77
Total	141,7	141,7	141,7	141,7	141,7	141,7

6.4.5 Costos Totales

Los costos totales consideran la suma de los costos variables, los costos fijos y la adición de los imprevistos (+10%), dando así el total de gasto realizado para un metro cuadrado.

Cuadro 29. Costos Totales para un metro cuadrado

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Costo variable	2,2	1,74	1,5	2,2	1,74	1,5
Costo fijo	141,70	141,70	141,70	141,70	141,70	141,70
Imprevistos (+10%)	14,39	14,34	14,32	14,39	14,34	14,32
Costo total	158,29	157,78	157,52	158,29	157,78	157,52

6.4.6 Beneficio neto

El beneficio neto es el valor de todos los beneficios de una producción que se percibirá, menos el costo total de producción. (Perrin, 1979) citado por (palacios, 1999).

Cuadro 30. Beneficio neto para un m2

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Beneficio (m2)	54,00	42,00	33,00	54,00	42,00	33,00
Costo total	158,29	157,78	157,52	158,29	157,78	157,52
Beneficio Neto	-104,29	-115,78	-124,52	-104,29	-115,78	-124,52

6.4.7 Beneficio costo

En el cuadro 31, se observar los resultados del beneficio total por cada tratamiento estimados en 1 metro cuadrado para la relación beneficio/costo.

Cuadro 31. Relación beneficio/costo (Bs)

	T1	T4	T2	T5	T3	T6
Beneficio Bruto (m2)	54,00	54,00	42,00	42,00	33,00	33,00
Costo Total	158,29	157,78	157,52	158,29	157,78	157,52
Relación B / C	0,34	0,27	0,21	0,34	0,27	0,21

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 los mayores rendimientos cualitativos y cuantitativos se obtienen con la variedad Tall utah 52-70 a una densidad de 0,20 m (34 platas/m²).
- ❖ La variedad Tall utah 52-70 resulto la más óptima con respecto a la variedad Golden self por sus características en rendimiento, altura, número de pencas, diámetro de la penca y atributos cualitativos de la planta comercializable.
- ❖ Las densidades aumentan en tendencia positiva a generar una mayor producción y calidad, en la investigación la mejor densidad fue de 0,20 m (34 platas/m²).
- ❖ El análisis económico que se realiza en el cultivo de apio nos muestra que los beneficios se obtienen de acuerdo a los tratamientos con mayores beneficios seria el tratamiento T1 B/C= 0,34 Bs y T4 B/C= 0,34 Bs, pero no rentables. Esto indica que de acuerdo a los datos obtenidos por los indicadores financieros se puede llegar a la conclusión de que el estudio no es rentable ya que se obtuvo un valor menor a uno lo que indica la no rentabilidad del cultivo de apio en hidroponía.

8 RECOMENDACIONES

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

- ✚ Desarrollar un estudio con cosechas de tres a cuatro cortes de pencas para maximizar el retorno económico.

- ✚ Realizar otros modelos de sistemas de producción, en los cuales no se inviertan mucho capital en costos fijos, puesto que, el precio del producto en los mercados no costean la inversión que sea ha ejecutado.

- ✚ De acuerdo al análisis económico realizado en el cultivo de apio hidropónico, por el momento es una tecnología muy cara, y se debe investigar todavía más en el manejo del mismo con diferentes cultivos, no recomiendo realizarlo en extensiones pequeñas de producción ya que este cultivo no es rentable.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, J. (17 de julio de 2017). El deber. Obtenido de los huertos hiroponicos : <https://www.pressreader.com/bolivia/el-deber/20170717/281844348684594>
- Arteaga J., (2015). Apuntes de diseños experimentales I Ediciones, AGAETRA. La Paz, Bolivia. pp.
- Arrazola V, J. (2000). Evaluación de gametocitos en la producción de androesterilidad en pepino y zapallo. Tesis de licenciatura en Ing., Agr. Facultad de Agronomía. UMSS. Cochabamba, 73 pp.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). Cultivo en hidroponia. Obtenido de capitulo 1,introducción al cultivo hidropónico : http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/documento_completo.pdf?sequence=1
- Cabezas Albarracín, R. (2012). Soluciones Nutritivas.
- Carrillos, C. (2002). Evaluacion de tres densidades y dos areglos espaciales en prodccion organica hidroponica (apiums graveolens l.). Univerdidad de el salvador facultad de agronomia departamento de fitotecnia., 60-66.
- Carrasco, G. (1996). La empresa hidropónica de mediana escala. La técnica de la solución Nutritiva Re circulante (NFT). Chile Universidad de Talca.
- Caceres, E., (1971). Producción de Hortalizas en Invernadero. México. Hermanos Herrero S.A. 160 p.
- Casseres, E. (2001). Producción de hortalizas, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José - Costa Rica. pp. 20-25.
- Cerdas, A. (2000). Mercanet. Obtenido de consejo nacional de produccion manejo post-cosecha: <http://www.mercanet.cnp.go.cr/posapio.htm>
- Fao. (1996). La empresa hidroponica de mediana escala. Talca, chile: universidad de talca.
- Fusades. (1991). Fundacion salvadoreña para el desarrollo economico y social (fusades). En fusades, evaluacion de costos de produccion de apio en chalchuapa y zapotitan (págs. 1-16). El salvador: san salvador.

- Gamboa, S. (2020). Cultivo y manejo del apio (*apium graveolens*). Obtenido de cultivo y manejo del apio (*apium graveolens*): <file:///c:/users/dani/downloads/apio2020.pdf>
- García, N.A., (2014). Estrategias financieras empresariales. Editorial Ebook. México.
- Gordon, r. H. (1992). Horticultura. 1ª reimpresión. Editor S.A México. D. F.
- Hernández Sampieri R., Fernández C.C., Babtista I. M. (2010). Metodología de la investigación: investigación cuantitativa quinta edición.
- Ine. (septiembre de 2013). Un pincelazo a las estadísticas con base a datos de censo. Obtenido de censo nacional agropecuario: http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/ess_test_folder/world_census_agriculture/country_info_2010/reports/reports_5/bol_spa_rep_2013.pdf
- Infoagro. (2015). El cultivo del apio. Obtenido de valor nutricional: <https://www.infoagro.com/hortalizas/apio.htm>
- Intagri. (2017). La hidroponía: cultivos sin suelo. Obtenido de la hidroponía: cultivos sin suelo: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>
- Intagri. (2017). Producción de hortalizas en sistema hidropónico nft. Obtenido de técnica del flujo laminar de nutrientes nft: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/produccion-de-hortalizas-en-sistemas-hidroponicos>
- Mainard, F. (1988). Manual de cultivo moderno. En f. Mainard, hortalizas de hoja, flor y tallo, como, donde, cuando. (págs. 62-65). Barcelona: de vecchi s.a.
- Maroto, B., & Pascal, B. (1990). El apio, técnicas de cultivo. En b. Maroto, & b. Pascal. Madrid, España: agroguias mundi-prensa.
- Marulanda, C. (2003). Hidroponía Familiar. Editorial Optigraf. Armenia- Colombia.
- Medrano G, P., (2017). Cultivo de lechuga (*lactuca sativa*) en sistema mixto (suelo e hidroponía) bajo diferentes soluciones nutritivas en el centro experimental de cota cota. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés.
- Murillo, W.A., (2010). Optimización de la producción de tres especies de hortalizas bajo producción hidropónica en el sistema NFT en los invernaderos —La

- Huertall en la localidad de Chicani. Trabajo dirigido. UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.
- Montoya Morales, J. C. (1991). Efecto de seis densidades de siembra en el rendimiento de chile dulce cereza (*Capsicum annuum* L.) bajo riego en San Andrés, El Salvador. Tesis Ing. Agr. Universidad de El Salvador. Facultad De Ciencias Agronómicas. San Salvador, El Salvador. P. 8-27.
- Molina Mendieta, J. F. (2017). Efecto de soluciones nutritivas en 2 variedades de apio (*apium graveolens*) sembrado. 46-62.
- National Academy Of Sciences. (2007). Global healyh and education foundation. Obtenido de el agua potable es esencial: <http://nas.edu/legal/privacy/index.html>
- Penningsfield, F.; Kurzman, P. (1995). Cultivos Hidropónicos y en turba. Madrid, España. Mundi-prensa. P. 235-237.
- Perrin, (1979). Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Folleto informático; Nro 27 CIMMYT. México. P 54.
- Pino., M. D. (10 de septiembre de 2015). Horticultura . Obtenido de cultivo del apio: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/66573/documento_completo.pdf-pdf?sequence=1&isallowed=y
- Porco, F., & Terrazas, J. (2009). Horticultura aplicaciones practicas. En f. Porco, & j. Terrazas, cultivo de hoja apio (págs. 67-68). La paz.
- Resh, H. (1997). Cultivos hidroponicos nuevas tecnicas de produccion . En h. Resh, nutricion de las plantas (págs. 39-42). Barcelona: mundi-prensa aedos, s. A.
- Resh, H. M., (2005). Cultivos hidropónicos. 5ta Edición. Editorial Mundi — Prensa. Madrid
- Rodríguez, A., Hoyos M., Chang., (2002). Manual práctico de hidroponía. Tercera edición. Centro de Investigación de Hidroponía Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Rojas, W., (2006). Apuntes de Botánica sistemática. Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz – Bolivia. 45 pp.
- Sag. (abril de 2005). El cultivo del apio. Obtenido de apium graveolens var. Dulce: https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/el_cultivo_del_apio.pdf

- Sanchez, L., & Urrutia, M. (2001). La agricultura organica. En r. Sanchez lopez, & p. Urrutia arriaga, alternativa para el desarrollo (págs. 5-1,5-3,9-1,9-3). El salvador: clusa.
- Taxier, W. (2014). Hidroponia para todos. En w. Texier, hidroponia para todos,todo sobre la horticultura en casa (págs. 28-29). Mama.
- Unknown. (8 de septiemebre de 2013). Cultivo del apio. Obtenido de taxonomia y morfologia: <http://cultivodeapio.blogspot.com/2013/09/taxonomia-y-morfologia.html>
- Vigliola, M. (1992). Manual de horticultura. Editorial, hemisferio sur. Buenos aires – argentina. Pp. 90-91.
- Vilanova, J. R. (1985). Conceptos Fisiológicos sobre el crecimiento de los cultivos. Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. San Salvador, El Salvador. 6 P.

ANEXOS

(Cultivo hidropónico de Apio)

Anexos 1. Preparación para el almacigo



Anexos 2. El proceso de siembra en las almacigueras para ambas variedades



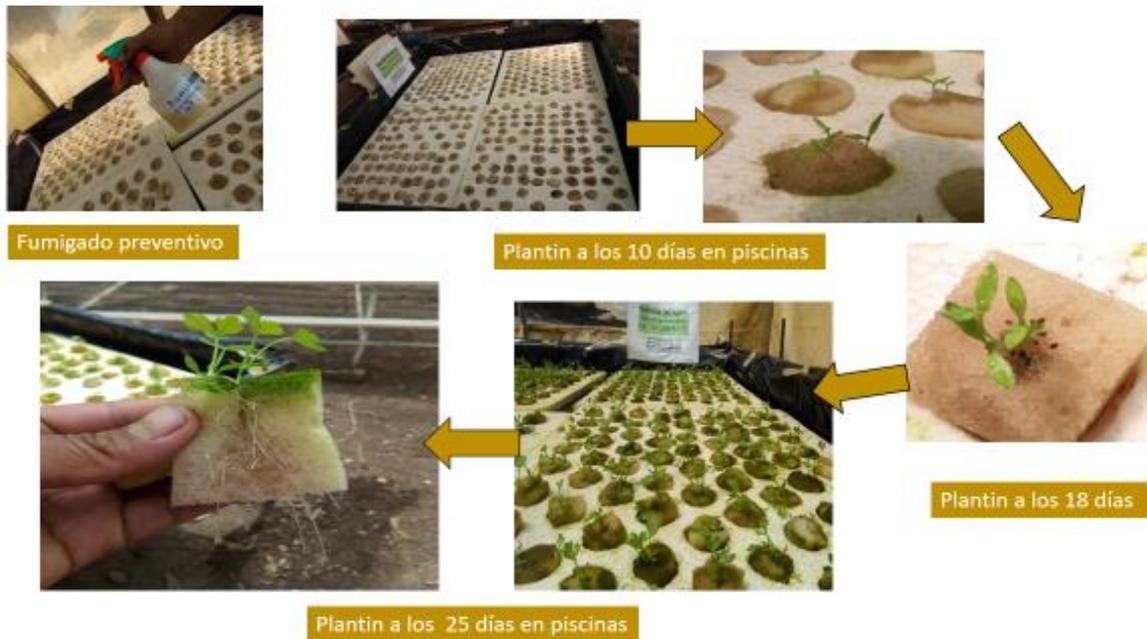
Anexos 3. Emergencia del apio



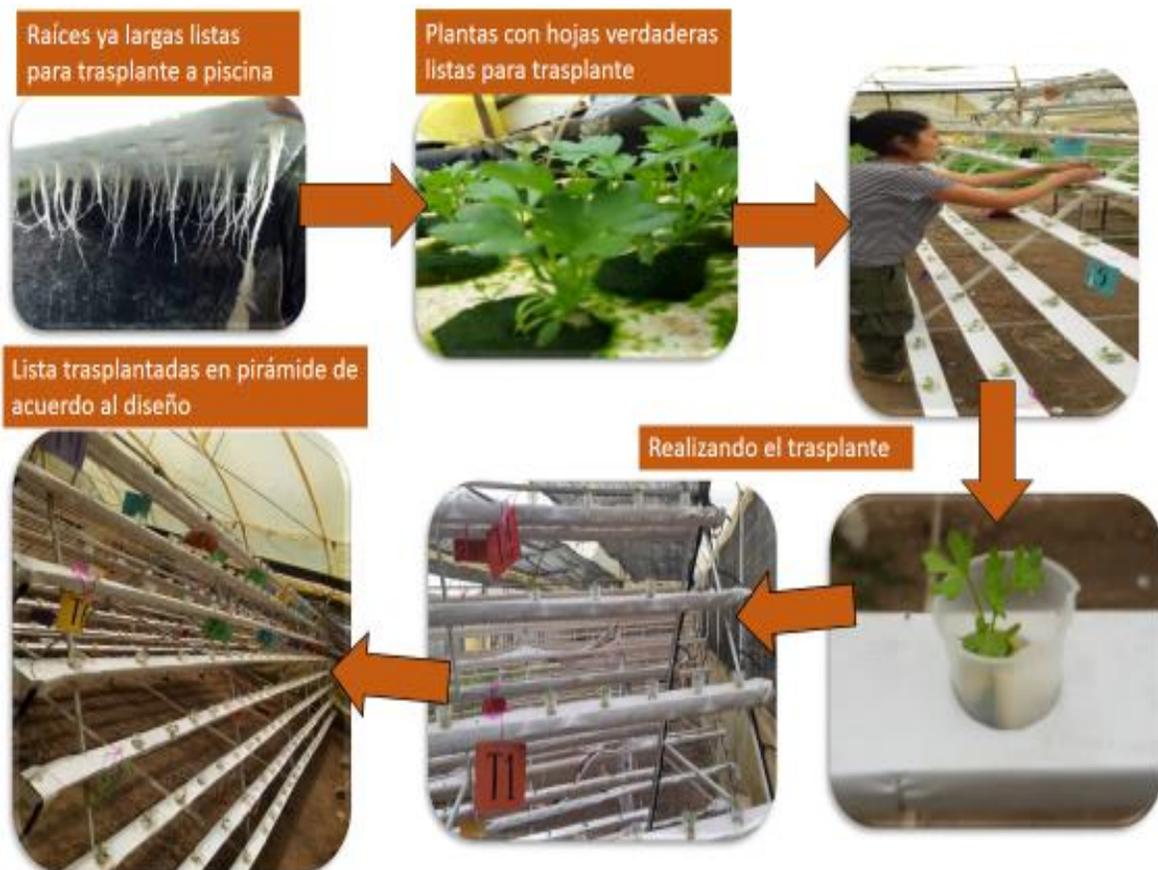
Anexos 4. Trasplante a piscina del cultivo de apio



Anexos 5. Fumigación preventiva y desarrollo en la preface o adaptación en piscina



Anexos 6. Trasplante al sistema NFT del cultivo de apio



Anexos 7. Crecimiento y desarrollo del cultivo de apio en todas sus etapas hasta la cosecha



Fotos tomadas de las pirámides en diferentes semanas del crecimiento del cultivo



Anexos 8. Cosecha, selección y embolsado del cultivo de apio



Anexos 9. Toma de datos de todas las variables de estudio



Anexos 10. Fotos de la toma de datos del diámetro de la penca en el cultivo de apio



Anexos 11. Fotos de la toma de datos de la altura de planta en el cultivo de apio



Anexos 12. Fotos de la toma de datos del peso de la planta en el cultivo de apio



Anexos 13. Verificación del correcto funcionamiento de todo el sistema



Anexos 14. Material utilizado en todo el proceso de desarrollo de la tesis



Anexos 15. Fotos Variedad Tall utah 52-70

Esta variedad tiene las pencas más gruesas, carnosas con hojas cerradas color verde oscuro intenso.



Anexos 16. Variedad Golden self.

Esta variedad tiene los tallos tiene los tallos largos no son tan gruesos los peciolo son de color verde amarillo dorado, con hojas partidas.



Anexos 17. Análisis químico del agua potable de la Estación Experimental de Cota Cota.

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 AGRONOMÍA - 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:	Btella 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 ₃ /l	2.0	38
Fósforo total	EPA 365.2	P-PO ₄ ³⁻ 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



C.C. AMB
JCH/LCA

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

Anexos 18. Se muestra los costos variables de insumos y fertilizantes utilizados en una campaña productiva en 1800 L.

Ítem	Unidades	Cantidad utilizada	Costo	Sub total
semilla Golden self	Onzas	0,2	60	12
semilla Tall utah	Onzas	0,2	30	6
nitrate de calcio	Kg	1,854	12	22,25
nitrate de potasio	Kg	1,206	12	14,47
fosfato monoamonico	Kg	0,361	20	7,2
sulfato de magnesio	Kg	0,862	10	8,62
quelato de hierro EDDDHA	Kg	0,018	357,14	6,43
Cosmoquel menores	Kg	0,0687	240	16,48
costos totales				93,45

Anexos 19. Se muestra los costos fijos de alquiler de carpa y alquiler de soporte piramidal utilizados durante la investigación.

Ítem	M2/Bs /Mes	M2 utilizado	Ciclo de cultivo / Meses	Sub total
alquiler de la carpa, piscina y almacigo	8	9	5	360
alquiler del soporte piramidal nft	5	8	3	120
costos totales				480

Anexos 20. Se muestran los costos fijos incurridos en el transporte de la cosecha durante el periodo de la investigación.

Detalle	Costo viajes / Bs	Nro. Viajes	Sub total
Trasporte	10	2	20
Costos totales			20

Anexos 21. Se describe los costos fijos referentes a los servicios básicos utilizados durante el periodo de la investigación.

Ítem	Unidad	Costo/ Bs	Consumo	Meses	Sub total
Agua	m3	3,8	0,6	3	6,84
Luz	kw/hora	0,70	248	3	543
Costos total					549,84

Anexos 22. Temperaturas máximas y mínimas tomadas todo el ciclo del cultivo

Temperaturas de carpa en piscina			
Fecha	T° Máximas	T° Mínimas	T° Promedio
10/8/2020	42	1	21,5
11/8/2020	37	3	20
12/8/2020	33	2	17,5
13/8/2020	33	2	17,5
14/8/2020	38	3	20,5
24/8/2020	48	5	26,5
25/8/2020	39	6	22,5
26/8/2020	38	4	21
27/8/2020	37	7	22
28/8/2020	30	6	18
29/8/2020	31	5	18
30/8/2020	30	3	16,5
31/8/2020	48	4	26
1/9/2020	30	2	16
2/9/2020	30,5	5	17,75
3/9/2020	35,5	4	19,75
4/9/2020	32	4	18
5/9/2020	33,5	3	18,25
13/9/2020	42	5	23,5
17/9/2020	30	5	17,5
18/9/2020	33	6	19,5
19/9/2020	31	7	19
20/9/2020	32	3	17,5
21/9/2020	33	6	19,5
22/9/2020	30	6	18
28/9/2020	42	6	24
29/9/2020	33	8	20,5
5/10/2020	45	7	26
6/10/2020	33	5	19
7/10/2020	47	5	26
22/10/2020	32	6	19
25/10/2020	35	6	20,5
31/10/2020	33	6	19,5
1/11/2020	35	5	20
2/11/2020	33	4	18,5

Anexos 23. Datos con los que se izó correr el análisis de varianza bloque I

Hojas en el libro	Muestra de las primeras filas y columnas en la tabla							
Hoja1	A	B	C	D	E	F	G	
Hoja2	1	bloque I	T1	PESO CON F	PESO SIN R	ALTURA DE	NUMERO DI	DIAMETRO
Hoja3	2		P1	200	170	32	16	1,5
Hoja4	3		P2	150	120	33	15	1,8
Hoja5	4		P3	200	170	33	8	1,3
	5		P4	150	120	37	10	2
	6		P5	250	220	40	12	1,5
	7		P6	350	320	43	12	1,7
	8		T2					
	9		P1	200	170	35	16	2,1
	10		P2	300	270	36	24	1,3
	11		P3	300	270	37	13	2,3
	12		P4	150	120	35	8	2,1
	13		P5	100	80	35	8	1,5
	14		P6	150	120	37	8	1,4
	15		T3					
	16		P1	350	320	42	20	1,8
	17		P2	200	180	34	18	1,4
	18		P3	350	320	41	18	1,1
	19		P4	200	180	36	21	1,1
	20		P5	150	120	33	15	1,3

Anexos 24. Datos con los que se izó correr el análisis de varianza bloque II.

Hojas en el libro	Muestra de las primeras filas y columnas en la tabla							
	A	B	C	D	E	F	G	
Hoja1								
Hoja2	1	BLOQUE II	T1	PESO CON F	PESO SIN R	ALTURA DE	NUMERO DI	DIAMETRO
Hoja3	2		P1	200	170	36	11	1,5
Hoja4	3		P2	200	175	39	10	1,5
Hoja5	4		P3	200	170	37	10	1,4
	5		P4	200	180	35	8	1,1
	6		P5	180	150	39	8	1,2
	7		P6	250	220	40	12	1,5
	8		T2					
	9		P1	300	270	42	16	2
	10		P2	200	170	41	8	1,6
	11		P3	100	70	36	5	1,5
	12		P4	150	120	39	8	1,7
	13		P5	150	125	39	7	2,2
	14		P6	150	130	40	9	1,7
	15		T3					
	16		P1	150	120	42	10	1,3
	17		P2	200	170	40	12	1,3
	18		P3	200	175	38	12	2
	19		P4	150	120	37	18	1,2
	20		P5	300	270	43	14	2

Anexos 25. Datos con los que se izó correr el análisis de varianza bloque III.

Hojas en el libro		Muestra de las primeras filas y columnas en la tabla						
		A	B	C	D	E	F	G
hoja1	1	BLOQUE I	T1	PESO CON F	PESO SIN R	ALTURA DE	NUMERO DI	DIAMETRO
hoja2	2		P1	200	170	40,5	8	1,1
hoja3	3		P2	230	200	43	8	1,2
hoja4	4		P3	250	2200	45	7	2
hoja5	5		P4	180	150	41,5	7	1
	6		P5	200	180	43	8	1
	7		P6	200	175	42,5	11	1
	8		T2					
	9		P1	200	170	40	6	2
	10		P2	150	120	40	6	2
	11		P3	200	174	40	10	2
	12		P4	150	118	42,5	7	2
	13		P5	150	120	39	7	1,6
	14		P6	200	159	41	8	2
	15		T3					
	16		P1	300	250	40	14	2
	17		P2	170	150	37	10	2
	18		P3	200	170	38	13	1,5
	19		P4	200	170	42	12	2
	20		P5	120	100	38	10	1,3

Anexos 26. Datos con los que se izó correr el análisis de varianza bloque IV.

Hojas en el libro	Muestra de las primeras filas y columnas en la tabla							
Hoja1	A	B	C	D	E	F	G	
Hoja2	1	BLOQUE IV	T1	PESO CON F	PESO SIN R	ALTURA DE	NUMERO DI	DIAMETRO
Hoja3	2		P1	150	120	40	10	1
Hoja4	3		P2	350	320	43	28	2
Hoja5	4		P3	210	190	44	8	2
	5		P4	200	180	40	10	2
	6		P5	160	130	44	10	1
	7		P6	200	180	42	10	2
	8		T2					
	9		P1	200	160	40	8	1,6
	10		P2	200	170	41	8	1,6
	11		P3	250	180	44	10	1,5
	12		P4	150	100	42	7	1,4
	13		P5	150	120	43	6	1,8
	14		P6	200	150	41	7	1,5
	15		T3					
	16		P1	150	120	41	7	2,2
	17		P2	200	180	36	8	1,4
	18		P3	200	180	42	9	1,5
	19		P4	150	120	36	8	1,5
	20		P5	150	119	34	14	1,3