

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROPECUARIA



TESIS

**DENSIDAD DE TRASPLANTE DEL CULTIVO DE APIO (*Apium graveolens*) BAJO LA
PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA FLOTANTE, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA
DE ANDAHUAYLAS, REGIÓN APURÍMAC**

Presentado por:

BACH: DANNY SERGIO GOMEZ CRISOLES

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL

DE INGENIERO AGROPECUARIO.

Director de Investigación:

Dr. AQUILINO ALVAREZ CACERES

CUSCO - PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: "DENSIDAD DE TRASPLANTE DEL CULTIVO DE APEO (*Opium graveolens*) BAJO LA PRODUCCIÓN HIDROPONICA FLOTANTE, DISTRITO DE TALAUELA, PROVINCIA DE ANTAHUAYLAS, REGIÓN APURÍMAC"

presentado por: Danny Sergio Gomez Crisolej con DNI Nro.: 41234595 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Agropecuario

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3.9%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 12 de Junio de 2024



Firma

Post firma Aquilino ALVARES Careros

Nro. de DNI 2398 8814

ORCID del Asesor 0000-0002-7699-692X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 0000-0002-7699-692X

NOMBRE DEL TRABAJO

Tesis 2024 enero 26.docx

AUTOR

DANNY SERGIO GOMEZ GRISOLES

RECUENTO DE PALABRAS

18115 Words

RECUENTO DE CARACTERES

95832 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

108 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

13.0MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 10, 2024 10:48 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 10, 2024 10:50 PM GMT-5**● 3% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 3% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

DEDICATORIA

A mis padres Sergio Gomez y Estela Crisoles, por todo el amor y apoyo incondicional que me han dado, por ayudarme a culminar este logro, por ser ejemplo de vida, alegría y perseverancia.

A mi Esposa Olga Calderón, tu apoyo ha sido muy importante en los momentos difíciles que pasaba, sin embargo con tu paciencia y comprensión han sido una fortaleza fundamental para culminar en el alcance de esta meta.

A mi hija Ariana J. Gomez Calderón, por ser mi motor y motivo en la culminación de esta etapa de mi vida.

A mis hermanas Marite y Soledad, por todos los momentos compartidos y por esa hermandad que tanto nos une, ojalá no se pierda.

A mis Amigos Arturo, Percy y mis compañeros de estudios, que contribuyeron al logro de este propósito, siempre estaré agradecido.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, Facultad de Agronomía y Zootecnia, a la Escuela Profesional De Ingeniería Agropecuaria, a la plana docente y administrativo, por contribuir en mi formación profesional.

A mi asesor Sc. Roger Romero De La Cuba, por el asesoramiento que me brindo para la elaboración del presente trabajo de investigación.

A mis padres, que me impartieron todo el apoyo incondicional para realizar esta investigación.

A todos mis compañeros, con quienes hemos compartido los momentos de estudios y solidaridad vividos en el transcurso de nuestra formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	xii
I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. Limitaciones de la investigación.....	2
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIONES	3
2.1. Objetivos	3
2.1.1. Objetivo general	3
2.1.2. Objetivos específicos	3
2.2. Justificación	3
III. HIPÓTESIS	5
3.1. Hipótesis General.....	5
3.2. Hipótesis Específico.....	5
IV. MARCO TEÓRICO	6
4.1. Antecedentes de la investigación.....	6
4.2. Cultivo del Apio.....	6
4.2.1. Origen	6
4.2.2. Distribución geográfica.....	7
4.2.3. Importancia del cultivo de apio	7
4.2.4. Valor nutricional del cultivo de apio	8
4.2.5. Clasificación taxonómica de las leguminosas	8
4.2.6. Descripción botánica del apio.....	9
4.2.6.1. Características morfológicas.....	9
4.2.6.2. Variedades del cultivo de apio.....	10

4.2.7. Rendimiento.....	10
4.3. Hidroponía	13
4.3.1. Composición de las soluciones nutritivas.....	14
4.3.2. Métodos de cultivo.....	16
4.3.3. Requerimientos y manejo de un cultivo hidropónico	19
4.3.4. Descripción del sistema Nutrient Film Technique (NFT)	27
4.3.5. Nutrición de las plantas.....	28
4.3.6. Soluciones nutritivas.....	38
V. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
5.1. Tipo de investigación.....	40
5.2. Ámbito De Investigación.....	40
5.2.1. Ubicación Temporal de la investigación	40
5.2.2. Ubicación Política.....	40
5.2.3. Ubicación Geográfica	40
5.2.4. Ubicación Hidrográfica.....	41
5.3. Materiales, equipos y herramientas.....	41
5.3.1. Materiales, equipos y herramientas de campo	41
5.4. Metodología de la investigación.	42
5.4.1. Nivel de investigación.....	42
5.4.2. Diseño experimental.	43
5.5. Tratamientos Evaluados.....	43
5.6. Características de la unidad experimental.....	43
5.7. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos.	45
5.7.1. Fuentes	45
5.7.2. Técnicas	46
5.7.3. Instrumentos.....	46
5.8. Variables e indicadores	46
5.8.1. Variables	46
5.8.2. Indicadores.....	46
5.8.2.1. Factores de rendimiento.....	46
Factores de rendimiento.....	46

Factores económicos.....	47
5.9. Manejo del área experimental.....	47
5.9.1. Construcción de la cubierta.....	47
5.9.2. Selección del sustrato.....	49
5.9.3. Preparación de almacigo.....	49
5.9.4. Elaboración del módulo.....	49
5.9.5. Mezcla de la solución nutritiva.....	49
5.9.6. Preparación del Tecnopor.....	50
5.9.7. Trasplante.....	50
5.9.8. Riegos Aireación.....	51
5.9.9. Control de plagas y enfermedades.....	52
5.9.10. Cosecha.....	52
5.10. Criterios de Evaluación.....	52
5.10.1. Evaluaciones de factores de rendimiento.....	52
5.10.2. Evaluaciones de factores de económicos.....	55
VI. RESULTADO Y DISCUSION.....	56
6.1. Densidad del cultivo de apio y características de las plantas.....	56
6.1.1. Altura de la planta.....	56
6.1.2. Altura del macollo de la planta.....	58
6.1.3. Diámetro del macollo de la planta.....	59
6.1.4. Numero de tallos de la planta.....	61
6.1.5. Diámetro del tallo de la planta.....	63
6.1.6. Peso fresco del macollo de la planta.....	65
6.1.7. Peso fresco del macollo de la planta.....	67
6.1.8. Peso fresco del macollo de la planta.....	69
6.2. Productividad del cultivo de apio bajo producción hidropónica flotante.....	71
6.3. Costo de producción del cultivo de apio bajo producción hidropónica flotante.....	72
VII. CONCLUSIONES.....	74
VIII. RECOMENDACIONES.....	75
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	76
X. ANEXOS.....	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido nutricional del apio	8
Tabla 2. Distanciamiento de los tratamientos.....	43
Tabla 3. Tratamientos evaluados	44
Tabla 4. Altura de la planta (cm).....	56
Tabla 5. Análisis ANOVA para altura de la planta (cm).....	56
Tabla 6. Altura del macollo de la planta (cm)	58
Tabla 7. Análisis ANOVA para altura del macollo de la planta (cm).....	58
Tabla 8. Diámetro del macollo de la planta (mm).....	60
Tabla 9. Análisis de ANOVA para diámetro del macollo de la planta (mm).....	60
Tabla 10. Número de tallos por planta (unid/planta).....	62
Tabla 11. Análisis de ANOVA para número de tallos por planta (unid/planta).....	62
Tabla 12. Diámetro de tallos por planta (mm).....	64
Tabla 13. Análisis de ANOVA para diámetro de tallos por planta (mm)	64
Tabla 14. Peso fresco del macollo por planta (gr/planta)	66
Tabla 15. Análisis de ANOVA fresco del macollo por planta (gr/planta)	66
Tabla 16. Peso fresco de la raíz por planta (gr/planta)	68
Tabla 17. Análisis de ANOVA fresco de la raíz por planta (gr/planta)	68
Tabla 18. Longitud de la raíz por planta (cm)	70
Tabla 19. Análisis de ANOVA longitud de la raíz por planta (cm)	70
Tabla 20. Resultados para la rendimiento del cultivo del apio.....	71
Tabla 21. Costos para el cultivo del apio bajo producción hidropónica.....	72
Tabla 22. Detalle de costos por tratamiento para el cultivo del apio.....	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis de la distribución de las parcelas experimentales.....	45
Figura 2. Vista frontal de la cubierta de agro film.....	47
Figura 3. Detalles de la estructura de la cubierta de la cubierta de agro film.....	48
Figura 4. Plano del área de la cubierta de agro film.....	48
Figura 5. Incorporación de la solución nutritiva	50
Figura 6. Distanciamiento de siembra a tres bolillos	51
Figura 7. Aireación de la solución nutritiva	52
Figura 8. Medición de la altura del apio.....	53
Figura 9. Medición del diámetro del apio.....	53
Figura 10. Número de peciolo de la planta.....	54
Figura 11. Pesada de la planta del follaje fresco	54
Figura 12. Altura de la planta (cm)	57
Figura 13. Altura del macollo de la planta (cm).....	59
Figura 14. Diámetro del macollo de la planta (mm)	61
Figura 15. Número de tallos por planta (unid/planta)	63
Figura 16. Diámetro de tallos por planta (mm).....	65
Figura 17. Peso fresco del macollo por planta (mm)	67
Figura 18. Peso fresco de la raíz por planta (gr/planta).....	69
Figura 19. Longitud de la raíz por planta (cm).....	71
Figura 20. Semilla de apio (<i>Apium graveolens</i> Var: Golden Self Blanching).....	91
Figura 21. Construcción del módulo del sistema hidropónico flotante.....	92
Figura 22. Colocación de los tubos oxigenadores dentro de la cama hidropónica.....	92
Figura 23. Incorporando las soluciones nutritivas A y B	93

Figura 24. Cultivo hidropónico después de 15 días de trasplante	93
Figura 25. <i>Cultivo hidropónico después de 35 días de trasplante</i>	94
Figura 26. Medición de la solución a través del conductímetro	94
Figura 27. Cultivo hidropónico listo para realizar la cosecha	95
Figura 28. Cosecha del cultivo de apio	95
Figura 29. Pesado del cultivo de apio fresco con balanza digital.....	96

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “DENSIDAD DE TRASPLANTE DEL CULTIVO DE APIO (*Apium graveolens*) BAJO LA PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA FLOTANTE, DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, REGIÓN APURÍMAC”, se realizó en el distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, esta investigación propone la evaluación de cuatro densidades de siembra bajo invernadero en el sistema de hidropónico flotante. En la cual se evaluaron con cuatro distanciamientos de siembra haciendo un total de 12 tratamientos en estudio; los 12 tratamientos se instalaron en 4 bloques completamente al azar para su evaluación respectiva y se llegaron a las siguientes conclusiones.

En la investigación se observó que en los distanciamientos de T1 lograron alturas de 62.14 cm, seguido de T2 con una altura de 60.71 cm, T4 con altura de 61.33 cm y T3 con alturas de 59.69 cm respectivamente.

Con respecto al diámetro del macollo se obtuvo en el T2 con diámetro de macollo de 6.03 mm, seguido de T4 con diámetro de 5.88 mm, T3 con diámetro de 5.64 mm y el T1 con diámetro de 5.34 mm respectivamente.

Con respecto a los numero de tallos existe un promedio de 9.87 tallos para el T3, 9.47 tallos con T4, 9.27 tallos con T2 y 8.33 con T1, respetivamente.

El peso fresco de la planta en los tratamientos de T1, T2, T3 y T4 alcanzaron pesos de 292.07 gr, 355.27 gr, 359.53 gr y 399.20 gr respectivamente.

El peso de la raíz, alcanzó pesos de 33.40 gr, 38.93 gr, 39.47 gr y 40.33 gr de los distanciamientos de T1, T2, T3 y T4 respectivamente.

Con respecto a las longitudes de la raíz T1 tiene una longitud de 22.27 cm, T2 tiene una longitud de 21.72 cm, T3 con longitudes de 21.83 cm y T4 con 21.05 cm.

Las densidades de siembra son para el T1 con 65 plantas, T2 con 39 plantas, T3 con 23 plantas y T4 con 16 plantas en un metro cuadrado respectivamente.

Los rendimientos son para el tratamiento T1 con 198.84 t/ha, T2 con 138.5 t/ha, T3 con 82.69 t/ha, y T4 con 63.87 t/ha respectivamente.

El T3 (Distanciamiento 0.20 m), obtuvo un costo de producción de S/. 78.29/tratamiento, con una ganancia de 18.91 soles por cosecha y una rentabilidad de 24.16%. Seguido de T2 (Distanciamiento 0.16 m), obtuvo un costo de producción de S/. 79.04/tratamiento, con una ganancia de 17.56 soles por cosecha y una rentabilidad de 22.22%.

Palabras Claves: Hidroponía, Soluciones nutritivas, Cultivo y Producción.

INTRODUCCIÓN

El apio (*Apium graveolens* Var: *Golden Self Blanching*), es un cultivo no tradicional, que ha venido generando con el tiempo, una demanda en la dieta alimenticia de la humanidad en toda la provincia de Andahuaylas; sin embargo, para abastecer el mercado local, hacen que este cultivo sea producido con el uso inadecuado de insumos agrícolas, como los fertilizantes, insecticidas y fungicidas. Además está expuesto a plagas y enfermedades y para controlar utilizan insumos tóxicos sin considerar el umbral económico.

Las hortalizas se caracterizan por tener alto contenido de vitaminas y más aún cuando se trata del apio que contiene vitaminas del complejo B, calcio, potasio y fosforo y posee alrededor de 15% de almidón de fácil digestibilidad, los tallos y las hojas son consumidos crudos como ensaladas y cocidos.

El cultivo de apio es trabajado en pequeñas parcelas y huertos, produciéndose en toda la época del año, ya sea en campos abiertos, sin embargo el agricultor afronta, problemas como los efecto climáticos, altos costos de producción, rendimientos y plagas y enfermedades, generando una merma en la producción, por ello ante la necesidad de generar nuevas alternativas y dar solución a los problemas, se plantea la técnica de cultivo hidropónico flotante, que se realiza en pequeñas áreas y producir mayores volúmenes de producción, proporcionando ambientes adecuados que el cultivo requiera.

Por tanto, es una alternativa producir hortalizas a través de la técnica de hidroponía de raíz flotante, que esto se adapta mejor a este tipo de ambientes pequeños y controlados. Este sistema se basa principalmente la reducción de costos, el aprovechamiento de espacios reducidos, en donde la finalidad es conocer los distanciamientos de siembra.

El autor

I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El cultivo de apio, es una hortaliza muy importante en el consumo familiar, debido a sus nutrientes que contiene dicho cultivo y esto hace que tenga mucha demanda en el mercado local, por ello requiere utilizar mejores tecnologías en la producción del cultivo de apio, planteando cultivos hidropónicos que desconocen los agricultores de Andahuaylas.

La escasa información con respecto a la producción hidropónica del cultivo de apio, hacen que los productores continúen produciendo tradicionalmente dichos cultivos, generando poca rentabilidad y baja producción. Es por ello se plantea una alternativa para producir cultivo de apio libre de contaminantes y sobre todo generando un mejor rendimiento y producción.

En la provincia de Andahuaylas, posee poca disponibilidad del recurso hídrico, es por ello la disminución de la calidad del producto, bajos rendimientos y pérdida de plantas al momento de regar por desconocimiento de las densidades de siembra, cuando no se dota de agua oportunamente al cultivo de apio; por este motivo una técnica de mejorar optimizando el recurso hídrico y conociendo la densidad de siembra adecuada se plantea una técnica de producción a través de la hidroponía y sus densidades de siembra.

Lo planteado anteriormente muestra la necesidad de conocer la densidad de trasplante en el sistema hidropónico flotante, que permita tener una mayor eficiencia en la producción de una hortaliza como el apio, que se viene sembrando aún de manera incipiente en la provincia de Andahuaylas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son las densidades de trasplante en el cultivo de apio (*Apium graveolens* Variedad Golden Self Blanching) bajo la producción hidropónica flotante en el distrito de Talavera en la provincia de Andahuaylas de la región Apurímac?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuáles son los rendimientos del cultivo de apio (*Apium graveolens* Variedad Golden Self Blanching), bajo la producción hidropónica flotante?

¿Cuáles son las características agronómicas del cultivo de apio (*Apium graveolens* Variedad Golden Self Blanching), bajo la producción hidropónica flotante?

¿Cuáles son los costos de producción del cultivo de apio (*Apium graveolens* Variedad Golden Self Blanching), bajo la producción hidropónica flotante?

1.3. Limitaciones de la investigación

Una limitación significativa es la escasez de investigaciones históricas sobre el tema y el alto costo de los materiales. Como consecuencia, la accesibilidad de los materiales de referencia bibliográfica está restringida..

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIONES

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo general

Evaluar cuatro densidades de transplante en el cultivo de apio (*Apium graveolens* Var: Golden Self Blanching), bajo la producción hidropónica flotante, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, región Apurímac.

2.1.2. Objetivos específicos

Determinar el rendimiento del cultivo de apio (*Apium graveolens* Var: Golden Self Blanching), bajo la producción hidropónica flotante.

Identificar las características agronómicas del cultivo de apio (*Apium graveolens* Var: Golden Self Blanching), bajo la producción hidropónica flotante.

Determinar el costo de producción del cultivo de apio (*Apium graveolens* Variedad Golden Self Blanching), bajo la producción hidropónica flotante.

2.2. Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de contar con información obtenida de manera experimental, que permita conocer la densidad de trasplante en el cultivo del apio (*Apium graveolens* Var: Golden Self Blanching) bajo el sistema de cultivo hidropónico flotante que produzca un mayor rendimiento en la cosecha de dicha hortaliza.

La producción del cultivo hidropónico, permite producir hortalizas en terrenos no adecuados para una agricultura tradicional, y disminuyendo la utilización de fertilizantes, recurso hídrico,

Asimismo, es de destacar que una mayor productividad en el sistema de cultivo hidropónico supone optimización del recurso hídrico y los fertilizantes puesto que va direccionado directamente a la planta para su consumo y de esta manera mejorando

fundamentalmente la economía de los agricultores como una nueva alternativa en la producción de las hortalizas.

Por tal motivo la propuesta de realizar un invernadero hidropónico flotante hace que el consumo sea más saludable y limpia de parásitos y que la población consuma con la certeza que el producto es sano y libre de patógeno.

El sistema hidropónico es un método de cultivo que utiliza un sistema de riego flotante para proporcionar agua y nutrientes para apoyar el crecimiento de las plántulas. Utilizar semillas certificadas y garantizar un suministro adecuado y cuidadoso de nutrientes son factores determinantes para garantizar la producción y la calidad de los cultivos de apio. Estos factores contribuyen a mayores rendimientos por unidad agrícola y condiciones favorables para los cultivos.

El objetivo de este estudio es obtener apio de calidad superior y modificar el sistema hidropónico para facilitar el cultivo de apio hidropónicamente, asegurando así que los consumidores reciban vegetales de alta calidad, higiénicos, físicos, genéticos y fisiológicos.

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis General

Las distintas densidades de trasplante en el cultivo de apio (*Apium graveolens* Var: Golden Self Blanching), bajo la producción hidropónica flotante influyen en la producción de cultivo en el distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas departamento Apurímac.

3.2. Hipótesis Específico

Los diferentes distanciamientos influirán en el rendimiento del cultivo de apio (*Apium graveolens* Var: Golden Self Blanching) bajo la producción hidropónica flotante

Los diferentes distanciamientos influirán en las características agronómicas del cultivo de apio (*Apium graveolens* Var: Golden Self Blanching), bajo la producción hidropónica flotante

Los diferentes distanciamientos influirán en los costos de producción del cultivo de apio (*Apium graveolens* Var: Golden Self Blanching), bajo la producción hidropónica

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes de la investigación

Las densidades de siembra históricamente, se han presentado muchas diferencias para el rendimiento del cultivo del apio tal como señala Carrillo (2002) así los mejores resultados fueron en densidades de 25 plantas por m² a diferencia de 50 y 75 plantas por m², estos fueron en diámetro de macollo y peso.

Sin embargo, los estudios realizados en diferentes densidades tuvieron comportamientos distintos con diferentes variables tal como menciona Surec (2017) los mejores resultados fueron en 113,905 plantas por ha⁻¹ en variables de altura de planta y densidad de siembra, en densidades de planta de 84,361 plantas por los que fueron mejores los resultados en variable de diámetro de peciolo y peso de la planta y las densidades de 94,921 plantas por has fueros mejores en rendimiento y rentabilidad.

4.2. Cultivo del Apio

4.2.1. Origen

Según Vigliola (1992), el apio es una planta mediterránea que también se encuentra en centros menores como el Cáucaso y Amalaya. Se originó en el antiguo Egipto y ganó prominencia como vegetal durante la Edad Media; Actualmente es un alimento popular tanto en Europa como en América del Norte.

Además, Casseres (1994) afirma que se puede descubrir apio silvestre tanto en Nueva Zelanda como en Europa. Antes del siglo XVII, el apio se utilizaba como planta de sustento. Hace aproximadamente 400 años se consideraba un purificador de la sangre. Según el mismo autor, se dice que las variedades silvestres de apio habitan en regiones pantanosas que se extienden desde Suecia hasta Argelia, Egipto, Abisinia y ciertas zonas de Asia.

Históricamente, se cultivó por sus propiedades medicinales. Las variedades mejoradas son robustas, suculentas y se consumen crudas o guisadas en ensaladas, guisos o caldo desecado.

4.2.2. Distribución geográfica

Según Casaca (2005), el apio tiene su origen en una planta que sigue prosperando en regiones indómitas de Europa y el Mediterráneo. Las civilizaciones antiguas fueron sus principales consumidoras de sus propiedades medicinales, complementadas por centros menores en el Cáucaso y el Himalaya. También fue reconocido en el antiguo Egipto. Desde la Edad Media se cultiva para el consumo como verdura tanto en Europa como en América del Norte.

4.2.3. Importancia del cultivo de apio

Sierra (2012) afirma que el apio se ha utilizado históricamente en la medicina oriental y mediterránea como agente reductor eficaz en la medicina natural. Los griegos y los romanos lo empleaban con fines analgésicos, y estos atributos se le siguen atribuyendo en la época contemporánea. Se observa que reduce el colesterol y mejora la circulación sanguínea. Además, se han destacado sus atributos depurativos, diuréticos y controla los niveles de ácido úrico, por lo que se recomienda para el tratamiento de la gota y la artritis. Además, se supone que induce la remineralización y la alcalinización. Ayuda a la digestión, favorece el apetito, combate el estreñimiento e inhibe la producción de gases intestinales. Para el tratamiento de gastritis y enfermedades hepáticas. Además, se ha empleado como cataplasma para tratar ataques de insectos y problemas menores de la piel, incluidas heridas y abrasiones. Por sus propiedades diuréticas y su bajo contenido calórico, se ha incorporado recientemente a los regímenes de adelgazamiento. El apio es de suma importancia en la medicina india para el tratamiento de enfermedades reumáticas y ciertas enfermedades hepáticas.

4.2.4. Valor nutricional del cultivo de apio

Tabla 1. Contenido nutricional del apio

Componente	Cantidad
Calorías	16 kcal
Agua	94.64 g
Proteína	0.75 g
Grasa	0.14 g
Cenizas	0.82 g
Carbohidratos	3.65 g
Fibra	1.7 g
Calcio	40 mg
Hierro	0.4 mg
Fosforo	25 mg
Vitamina C	7 mg

Fuente: Propiedades terapéuticas del apio, Sierra (2012).

4.2.5. Clasificación taxonómica de las leguminosas

Rubatzki (1997) los clasifica taxonómicamente como:

Reino	: Plantae
Sub reino	: Embryobionta
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnolipsida
Sub clase	: Rosidae
Orden	: Apiales
Familia	: Apiaceae (Umbelliferae)

Género	: Apium
Especie	: Graviolens
Nombre Común	: Apio graveolens

4.2.6. Descripción botánica del apio

4.2.6.1. Características morfológicas

A. Raíz

Rubatzki (1997) menciona que el sistema radicular es la raíz principal, potente y profunda, con raíces de extensión superficial

Samayoa (1991) describe que el sistema de raíces no es extenso. Las raíces principales son de tipo radicular, poco profundas, proporcionando un sistema radicular accesorio superficial y rico. Las raíces pueden alcanzar de 50 a 70 cm de largo y de 20 a 30 cm de ancho. Esto explica por qué las plantas se pueden plantar a una distancia de 15-20 cm, por qué el apio no puede competir fácilmente con las malas hierbas y por qué la caja superior del suelo debe proporcionar mucha agua y nutrientes.

B. Tallo

(Edmund 1981) citado por Samayoa (1991), menciona que las hojas de apio crecen rectas, tienen peciolo fuertes, la lámina de la hoja se divide en 5 a 10 segmentos. Los peciolo tienen nervados muy notables, que son muy anchas en la base y contienen una cantidad relativamente grande de almidón. Estas pequeñas placas de hojas de color verde oscuro están divididas en pignados (hojas dispuestas a ambos lados del peciolo) y fusionadas con la porción comestible, un peciolo largo. Su estatura adulta oscila entre los 60 y los 90 centímetros.. En el segundo año nace un tallo floreal, se ramifica mucho en el peciolo tiene hojas suculentas y alcanza una altura de 60-90 cm cuando madura.

C. Hojas

Del pecíolo, una rama gruesa y carnosa que se extiende por una parte importante de la lámina, emergen hojas grandes con forma de corona. (Rubatzki, 1997).

D. Flores

Las flores comprenden una inflorescencia, que está establecida por una umbela compuesta. Estas diminutas flores blancas están compuestas por un ovario inferior con dos carpelos, cinco sépalos y un cáliz. Hay hermafroditas y flores actinomorfas. Se produce polinización cruzada, la planta es alógama y hay un 5% de autogamia (Autopolinización).

E. Semilla

La semilla del apio es muy pequeña, y su longitud puede variar y llegar a medir de 1 mm a 1.5 mm. (Cásseres, 1980).

F. Frutos

El fruto presenta una morfología diaquena; es diminuto, de color marrón, desprovisto de pubescencia, convexo en su base en forma de corazón, aplanado en ambos lados y adornado con surcos a lo largo de su longitud. Estos surcos albergan canales resinosos que transportan aceites esenciales, que confieren a la fruta su fragancia distintiva.. Estas frutas generalmente se consideran semillas, porque son muy sensible al desgrane (Cásseres, 1980).

4.2.6.2. Variedades del cultivo de apio

Los cultivares más conocidos son: Florida 683, Pascal Gigante, Tall UTA 52-70, Tall G. Self Blanching, Lathon Blanching, Green Utah, Golden Self Blanching, Golden Valley Seed, UTA 52-70 R y 52-70KH.

4.2.7. Rendimiento

En el proceso del cultivo del apio, su producción es en la tierra, bajo carpa solar, presenta un rendimiento de 1,3 kg/m², y en hidroponía fue de 3,5 kg/m² (Marulanda, 2003).

A. Fotoperiodo y temperatura

Carrillo (2002) ha observado la variabilidad en la duración del período vegetativo del apio. Depende de las condiciones ambientales y de la variante utilizada. El apio es una planta bienal que prospera en ambientes tropicales; germina después de 15 días desde la semilla, requiere 40 días desde la germinación hasta la siembra y se puede cosechar entre 100 y 140 días después del trasplante. Sin embargo, los períodos prolongados de luz favorecen la floración, lo que no es deseable para fines comerciales.

Comercialmente, el apio se clasifica como una verdura de vida corta. Aunque la producción de semillas y la floración son las funciones principales de la planta, su desarrollo requiere varios días; La floración debe ocurrir en un breve período de tiempo. Para inducir la floración, la planta debe cumplir con el proceso de floración sometiéndola a bajas temperaturas dentro del rango habitual de 8°C a 12°C durante un tiempo específico (Carrillo, 2002)..

B. Altitud

La altitud adecuada para el apio es de 1500 metros hasta una altitud de 2.800 metros, lo que da como resultado un producto de alta calidad y muy aceptable, y es muy viable agrícolamente (Carrillo, 2002).

C. Requerimientos nutricionales

El apio requiere una cantidad sustancial de agua debido a las condiciones ambientales que encuentra, particularmente durante períodos de temperatura elevada y cerca del final de su ciclo de crecimiento. El requerimiento mínimo durante el ciclo es de aproximadamente 900 mm, con una exigencia inicial mínima (a excepción de la post implantación). Los requerimientos de agua para la producción de apio son los siguientes: de 33 a 50 litros para

producir 1 kg de producto comercializable y de 23 a 34 litros para producir 1 kg de biomasa fresca por metro cuadrado. (Sendra, 2011).

En las primeras etapas de crecimiento, los riegos deben ser abundantes y frecuentes, ya que el proceso de reproducción se estresará cuando haya una ligera falta de agua en el suelo (Maroto, 1991).

D. Efectos de la densidad de siembra

Se puede mejorar la producción de biomasa y la productividad de los cultivos mediante la implementación de prácticas agrícolas que aumenten el área foliar, el índice de área foliar y la duración (medida por la cantidad de hojas por unidad de área) (Olalde et al., 2000).

Aguilar et al. (2005) coinciden en que los cultivos maximizan su potencial de rendimiento mediante la utilización de prácticas agrícolas que aprovechan las condiciones óptimas; entre estas prácticas destaca el manejo de la densidad poblacional debido a la correlación entre el tamaño y duración del aparato fotosintético y el cultivo. De manera similar, la investigación ha demostrado que un mayor crecimiento del dosel facilita una mayor obstrucción de la luz, la fotosíntesis y la generación de biomasa como resultado de una mayor utilización de los recursos hídricos y de nutrientes.

E. Distanciamiento de siembra

Al plantar apio, es recomendable seleccionar ubicaciones distintas. El método de siembra sugerido por la Guía de Prácticas de Exportación es de 30 centímetros entre hileras y 30 centímetros de densidad, lo que equivale a aproximadamente 90.000 plantas. Una hectárea de tamaño.

Las dimensiones del marco de plantación pueden variar entre 15 cm y 35 cm y entre 35 cm y 70 cm. Esto corresponde a una densidad inicial de 8 plantas por metro cuadrado y una densidad media que oscila entre 90.000 y 100.000 plantas por hectárea. Doble trasplante.

4.3. Hidroponía

La hidroponía se deriva de los términos griegos *uwdr* (Hydro), que denota agua, y *ponos* (Ponos), que significa trabajo o esfuerzo; la traducción literal es "esfuerzos oportunistas realizados en el agua". Éste lo define el Diccionario de Lenguas de la Real Academia Española como el cultivo de la vegetación en solución acuosa. Sin embargo, el término ha llegado a abarcar todos los métodos de cultivo de plantas en ausencia de suelo, incluidos aquellos que se riegan con soluciones nutritivas minerales (sales minerales) en lugar de suelo (arena, grava, carbón, etc.).

Como afirma Resh (2001), esta tecnología es una alternativa relativamente reciente en nuestro medio para el cultivo de plantas sanas. Esta tecnología permite períodos de cosecha (porosidad) más cortos que la siembra convencional, así como una mejor calidad y sabor del producto, uniformidad y rendimiento. Además, facilita una conservación sustancial del agua en el riego durante la estación seca y representa un método práctico, racional y rentable de aplicar nutrientes minerales (como iones minerales o fertilizantes). Sin embargo, los problemas de enfermedades de las raíces se mitigan, lo que lleva a una reducción sustancial en el uso de pesticidas. En consecuencia, los agricultores pueden sustituir los pesticidas por repelentes orgánicos, lo que da como resultado cultivos de calidad superior y libres de residuos nocivos. En consecuencia, esto da como resultado que los hogares consuman alimentos más saludables y frescos. Además, es fundamental resaltar que la implementación de esta tecnología confiere protección al medio ambiente.

Según Chang (2000), el rango de conductividad eléctrica ideal para las condiciones de crecimiento del medio de cultivo es entre 1,5 y 2,5 mohm/cm. En los casos en que la solución nutritiva supere este umbral, se considera que está fuera del rango óptimo de conductividad eléctrica. Si cae por debajo del rango especificado, se debe agregar un litro de agua; de lo contrario, deberá reponerse por completo.

Según Filippetti (2008), la hidroponía es un método de cultivo de plantas que no requiere el uso de tierra. Para lograr esto, se utiliza una mezcla matizada de sales minerales que comprenden nutrientes vegetales esenciales que normalmente se encuentran en el suelo. Estas sales se diluyen en agua potable para crear una solución nutritiva, que luego se aplica directamente a las raíces de diversas formas, dependiendo de la técnica hidropónica empleada.

Según Terrazas (2000), la nutrición mineral es crítica para la fisiología de las plantas. El campo de la hidroponía ha facilitado la investigación sobre las cantidades y tipos de elementos necesarios para el crecimiento de las plantas, así como los medios por los cuales se pueden suministrar estos elementos para mejorar la producción y el desarrollo de los cultivos.

Este método agrícola sigue siendo una opción viable para estudiar los nutrientes de las plantas y utilizar productos que indiquen daños ambientales.

4.3.1. Composición de las soluciones nutritivas

Según Marulanda (2003), las plantas consumen los elementos que extraen del aire y del agua (carbono, hidrógeno y oxígeno), y lo hacen en distintos grados de intensidad. Estos elementos incluyen lo siguiente:

El potasio, el nitrógeno y el fósforo son algunos de los numerosos elementos que necesitan. En cantidad proporcional de calcio, magnesio y azufre. Los elementos subatómicos hierro, manganeso, cobre, zinc, boro y molibdeno están presentes en cantidades extremadamente pequeñas. El cloro, el sodio y el silicio son prácticos, pero no ponen en peligro la vida. El cobalto y el yodo son sustancias químicas ineficaces que son vitales para las criaturas, pero inútiles para las plantas.

Luego de un extenso período de investigaciones en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional Agraria La Molina, se obtuvo la solución acuosa. Para

promover la adopción generalizada de la técnica hidropónica, se seleccionó una formulación compuesta por fertilizantes provenientes de diversas regiones del Perú. La solución acuosa de la Universidad Nacional Agraria La Molina consta de dos soluciones concentradas denominadas A y B, respectivamente. La solución A está concentrada y comprende Ca, N, P y K., mientras que la solución concentrada B contiene Mg, S y Cl. y Fe, Mn, B, Zn, Cu y -Mo.

La Universidad Nacional Agraria La Molina llevó a cabo evaluaciones exitosas de diversos cultivos, incluidos cultivos de hortalizas verdes (por ejemplo, espinacas, lechuga, apio, albahaca, berros y apio). Además, los tubérculos, como la remolacha, los rábanos, las zanahorias y los rábanos, los contienen. Los tubérculos, como las patatas, los contienen. Bulbos de frutas como pimiento, tomate y cebolla. Por el contrario, ha obtenido la aprobación para su uso en el cultivo de plantas ornamentales, aromáticas y medicinales, así como en forrajes verdes producidos hidropónicamente y florales (Rodríguez, 2004).

a) Ventajas de la hidroponía:

Tapia (1993) enfatiza la regulación de nutrientes de los cultivos como el atributo más crucial, ya que permite tanto un control total como un suministro consistente de nutrientes que pueden modificarse de acuerdo con la condición del cultivo. Además, es importante señalar que pueden existir variaciones en la composición mineral del suelo, lo que requerirá ajustes para garantizar un crecimiento óptimo sin causar deficiencias o toxicidad.

Devia (1991) destaca la integración de distinciones adicionales, incluido el mantenimiento de niveles de humedad consistentes independientemente del clima o la etapa de desarrollo de la planta, asegurando el riego de la zona de las raíces, evitando el desperdicio superfluo de agua y fertilizantes y mitigando los problemas de enfermedades inducidas por patógenos transmitidos por tierra.

b) Desventajas de la hidroponía:

Como desventaja, Tapia (1993) identifica el alto costo inicial de la infraestructura. Además, observa que se requiere un seguimiento diario tanto de la planta individual como del sistema en su conjunto debido a la naturaleza casi inmediata de las respuestas de las plantas. Además, afirma que es esencial contar con personal capacitado tanto para operar el sistema como para cada planta.

Giaconi y Escaff (1999) también mencionan los costos de inversión inicial, quienes señalan que, dado que la producción depende de la electricidad, deben estar disponibles alternativas para evitar interrupciones durante los procesos de fabricación. Cuando surge una enfermedad, lo hace instantáneamente y por cualquier vía disponible, provocando enormes pérdidas.

Tapia (1993) enfatiza que al tratarse de un sistema confinado, el problema puede ser más severo; por lo tanto, es crucial realizar un seguimiento agrícola continuo para poder responder con prontitud.

4.3.2. Métodos de cultivo

Según Alvarado et al. (2001), la producción hidropónica abarca una amplia gama de sistemas y métodos manuales, que van desde los más básicos hasta los más complejos. En este último caso, la automatización y la tecnología avanzada son componentes indispensables del proceso, lo que implica una inversión financiera sustancial.

Duran (2000) afirma además que los sistemas de crecimiento sin suelo se pueden clasificar en tres categorías distintas según el medio en el que se desarrollan las raíces: crecimiento en medio, crecimiento en agua y crecimiento en aire (aerología).

Según Alvarado et al. (2001), la aerodinámica, la hidroponía (incluidos los sistemas de raíces flotantes y los sistemas de columnas "NFT" (técnicas de película nutritiva)) y los sistemas de raíces flotantes se encuentran entre las técnicas de cultivo más comunes.

a) Sistema de raíz flotante

Bajo este sistema específico, las raíces de la lechuga se sumergen en una solución nutritiva para su crecimiento. Las placas de poliestireno expandido, saturadas con la solución nutritiva, flotan en el agua y sostienen a las plantas. Al servir como soportes mecánicos, las placas mantienen su flotabilidad en el agua. Es fundamental un excelente rendimiento de aireación manual o mecánica de la solución nutritiva. Según Dicta (2002) y Alvarado et al. (2001), este sistema de cultivo se utiliza ampliamente en proyectos de hidroponía en numerosos países de América Latina. Además, la aireación se debe realizar un mínimo de dos veces al día, independientemente del método empleado, ya que facilita la redistribución de elementos y la oxidación de la solución.

b) Sistema Nutrient Film Technic (NFT)

Según Carrasco (1996), este sistema de agua cerrado funciona según el principio de proporcionar una fina capa de solución nutritiva para que circule continuamente a través de las raíces, asegurando que no se pierda ni se filtre ninguna solución nutritiva.

Según Dicta (2002), el procedimiento implica la circulación de la solución a través de una secuencia de canales de cloruro de polivinilo (PVC) que miden entre 4 y 6 pulgadas de diámetro. Se utiliza una bomba para hacer circular agua y una solución nutritiva a través de los tubos, que están sostenidos por una mesa o un marco con una ligera inclinación para ayudar en la circulación de la solución. La solución recogida se almacena posteriormente en un tanque, donde se recicla.

Según Alvarado et al. (2001), la solución nutritiva sólo puede atravesar un canal de 3 a 5 milímetros. Como sistema cerrado, este método también se denomina sistema de recirculación continua; en consecuencia, las raíces persisten en su crecimiento. Proporcionándoles nutrientes y oxígeno.

e) Sistema en columnas

Según Rodríguez et al. (1999), un sistema de crecimiento vertical es un sistema hidropónico disponible comercialmente que emplea columnas que contienen medios livianos o contenedores en capas para facilitar el desarrollo vertical de las plantas.

Según Alvarado et al. (2001), si bien el sistema permite altas cosechas por unidad de área, su aplicabilidad está restringida a plantas pequeñas con raíces pequeñas y tolerancia a la suspensión. Las hortalizas cultivadas en un sistema de producción vertical necesitan una exposición completa a la luz solar para evitar una reducción de la fotosíntesis, factor que afecta significativamente el rendimiento general de los cultivos.

Alvarado et al. (2001) sugieren que para una iluminación óptima, la distancia entre columnas y filas debe estar entre 0,8 m y 1,0 m (aproximadamente una columna por metro cuadrado).

Según Rodríguez et al. (1999), este sistema conserva los beneficios de los sistemas hidropónicos alternativos y permite lograr una densidad de plantación sustancial por unidad de área. Sin embargo, en el caso de producciones a gran escala, la importante inversión inicial también debe considerarse como un inconveniente. El sustrato empleado en este sistema conserva propiedades idénticas a las utilizadas en sistemas alternativos.

Alvarado et al. (2001) proponen que el sistema de riego podría implicar la utilización de una bomba eléctrica para impulsar la solución a través de tubos de polietileno. Luego, estos tubos atravesarían columnas que contienen tubos microbianos con un diámetro de 3 mm y de tres a cuatro gotas adheridas a cada tubo. Están colocados a diferentes alturas dentro de la columna para garantizar que, cuando se activa el sistema de riego, toda la columna se riegue por gravedad.

d) Sistema aeropónico

La columna de cultivo es definida por Durán (2000) como un cilindro colocado verticalmente fabricado de PVC u otro material, presentando perforaciones en la pared lateral por donde se introduce la planta durante el trasplante. La columna proporciona un ambiente sombrío para las raíces, que pasan la mayor parte del tiempo expuestas al aire. Así se acuñó el término aeroponía. El conducto administra la solución nutritiva a través de inyectores de media o baja presión dentro del recipiente.

En apoyo de lo anterior, Alvarado et al. (2001) afirman que la solución nutritiva se rocía intermitentemente sobre las raíces a través de un sistema de aspersion durante solo dos o tres minutos para mantener la humedad de las raíces y la aireación de la solución nutritiva.

Como señaló Durán (2000), el principal beneficio del sistema es que proporciona una aireación superior a las raíces de las plantas en comparación con otros sistemas; sin embargo, esto se consigue a expensas de una elevada inversión inicial.

4.3.3. Requerimientos y manejo de un cultivo hidropónico

Para la función de cualquier sistema, es necesario tener en cuenta algunas características mínimas del desarrollo para el cultivo, como algunos procesos (Alvarado et al., 2001).

a) Requerimientos del entorno

Según Marulanda (2003), lo más importante es contar con un mínimo de seis horas de luz al día; por lo tanto, se deben utilizar áreas bien iluminadas con el eje vertical principal orientado al norte. Es aconsejable evitar zonas con árboles que den sombra, proximidad a viviendas u otras estructuras y ráfagas intensas. Cabe mencionar que a pesar de las altísimas exigencias de iluminación, el desarrollo de hojas delgadas e inertes es inevitable, lo que no debería restarles valor. Además, esto no ocurre al determinar la densidad de los asentamientos.

La temperatura es un factor crítico en la germinación y el desarrollo, con intervalos óptimos y mínimos, según Alvarado et al. (2001). La temperatura y el fotoperiodo también están relacionados, ya que las plantas desarrollan tallos florales con mayor frecuencia en condiciones favorables para ambas variables, y es más probable que estos tallos emerjan de plantas que no forman cabezas compactas.

Debe ubicarse cerca de una fuente de agua, pero no en las proximidades de alcantarillas, letrinas, vertederos o ríos de efluentes, donde los cultivos pueden contaminarse, según Castañeda (1997).

La importancia del acercamiento a las fuentes de agua radica se refiere a la comodidad y la reducción de esfuerzo requeridas asociadas con el transporte acuático, mar por medios mecánicos o físicos (Marulanda, 2003). Además, la ubicación de las fuentes de agua en zonas desprovistas de vientos fuertes sugiere una garantía de proximidad a todos los suministros esenciales. Consecutivamente, se prepara y almacena para asegurar la protección contra condiciones climáticas adversas, tales como heladas, radiación solar, viento, etc.

Temperatura:

Pennigsfeld y Kurzmann (1983) señalan que, si bien la temperatura ambiente se considera con frecuencia en la investigación, se sabe poco sobre su influencia en la temperatura del sustrato. Sin embargo, sí indican que la temperatura ambiente puede tener un efecto sustancial, como una disminución en la absorción cuando se baja la temperatura de agua y, en consecuencia, de nutrientes, que pueden inducir marchitez y marchitez, además de temperaturas elevadas que pueden impedir el desarrollo típico de la planta; la respuesta de la planta a la temperatura del sustrato varía según su lugar de origen; y para las plantas, las temperaturas de los sustratos de origen tropical son beneficiosas. Sin embargo, en el caso

de las especies de climas fríos, la preservación del área de distribución no tuvo un impacto perceptible en el desarrollo típico de las raíces en ambos escenarios.

Según Alvarado et al. (2001), la temperatura regula el crecimiento de las plantas al influir en la velocidad a la que progresan los procesos químicos internos y al regular la actividad de enzimas funcionales dentro de rangos de temperatura específicos.

Luz:

La luz es un elemento crucial que debe ser considerado y gestionado eficazmente, según Penningsfeld y Kurzmann (1983). Esto depende de la especie que se cultive; por lo tanto, se requiere iluminación artificial cuando la luz natural no llega a los cultivos perennes. Sin embargo, es posible que deba considerarse el aspecto económico del uso de energía en la concentración; por el contrario, durante la temporada de verano la planificación diaria se vuelve más frecuente.

Junto con el manejo de la iluminación, se debe considerar el sistema hidropónico seleccionado, incluida su configuración de columnas.

Varias semillas, continuó, no requieren luz para germinar; sin embargo, la luz se vuelve imprescindible cuando emergen los cotiledones iniciales; de lo contrario, la plántula se desarrollará desfavorablemente y eventualmente se marchitará. Por el contrario, la exposición excesiva a la luz natural puede provocar quemaduras; por lo que se recomienda luz natural indirecta (Alvarado et al., 2001). Albright (2004) sugiere emplear lámparas fluorescentes de luz blanca; sin embargo, también pueden ser suficientes lámparas de alta resolución; además, el calor generado por estas lámparas debe disiparse de alguna manera, ya que la cubierta de semillas debe permanecer a la temperatura ideal.

Se debe considerar debidamente la relación con la solución nutritiva, ya que la ausencia de exposición a la luz impide el crecimiento de algas, que de otro modo provocarían competencia con las plantas por los nutrientes (Alvarado et al. 2001).

Morgan (2000) demostró que desde la perspectiva interna de la fábrica, las plantas requieren energía para convertir el nitrato absorbido en amonio mediante la luz y la fotosíntesis; por tanto, la tasa de fotosíntesis está estrechamente relacionada con la absorción y la desnitrificación. Los nitratos se ingieren y metabolizan rápidamente en condiciones de mucha luz, cuando las plantas experimentan una cantidad significativa de fotosíntesis. Por el contrario, en condiciones de poca luz, donde las plantas deben generar suficiente energía para convertir el nitrato en amoníaco, la energía disponible para el crecimiento suele disminuir.

Aporte de dióxido de carbono (CO₂):

Son cruciales para la implementación del cultivo forzado porque es posible aumentar el rendimiento antes de aumentar la concentración de este componente manteniendo un nivel que no sea tóxico para los humanos y asegurando una aireación constante en caso de incidente. Al considerar un sistema confinado como un invernadero, es crucial considerar que un aumento en la concentración debe ir acompañado de luminosidad para que funcione correctamente; no hacerlo resultará en la inhibición de su contribución (Penningsfeld y Kurzmann, 1983).

Albright (2004) comprueba que la cantidad de dióxido de carbono presente en la atmósfera tiene un impacto directo en el proceso de fotosíntesis. Además, observa que la concentración típica de este elemento en el aire es de 350 partes por millón, cantidad que puede disminuir en condiciones de luz solar. cien átomos por millón. millones, lo que resulta en una disminución directa de la fotosíntesis.

La humedad del ambiente

Albright (2004) estableció una correlación entre la humedad del aire y la tasa de transpiración de las plantas; en condiciones de alta humedad relativa, las plantas emiten menos vapores, lo que dificulta la transferencia de nutrientes desde las raíces al follaje.

Además, Alvarado et al. (2001) afirman que la humedad relativa elevada puede promover el crecimiento de patógenos como *Botrytis*.

Oxigenación del sistema radicular:

Margan (2001) afirma que la respiración aeróbica, un proceso esencial que libera la energía necesaria para el crecimiento de las raíces, necesita oxígeno para el sistema radicular. La respiración de las raíces, que es fundamental para el éxito de las plantas hidropónicas, se ve facilitada por la estructura capilar de la solución, la aireación adicional y el suministro continuo de oxígeno.

Según Alvarado et al. (2001), la lechuga puede crecer con concentraciones de oxígeno en la solución no inferiores a 4 partes por millón. Esto se debe a que la deficiencia de oxígeno provoca un paro respiratorio, lo que puede causar daños importantes a la planta. Por ello se aconseja mantener las concentraciones antes mencionadas, siendo 8 partes por millón la más efectiva.

Según Margan (2001), las puntas de las raíces son susceptibles a la hipoxia debido a las altas demandas de energía asociadas con la reproducción y el desarrollo celular. Además, la deficiencia de calcio puede deberse a la falta de oxígeno en las puntas de las raíces en desarrollo, particularmente en las porciones más recientes de la planta, debido al lento movimiento del elemento desde las áreas más antiguas a las más nuevas.

El peróxido de hidrogeno (pH):

Uno de los beneficios del control del pH en suelos de cereales, según Alvarado et al. (2001), es la facilidad con la que se puede realizar el muestreo y la enmienda.

El pH de la solución es un factor crítico para determinar la accesibilidad de los iones fertilizantes. Si bien un pH de 5,8 se considera ideal para el crecimiento, también se considera aceptable un rango de 5,6 a 6,0 (Aibright, 2004).

Morgan (2000) enfatiza además que la toxicidad de las plantas puede manifestarse en soluciones que contienen amonio como fuente de nitrógeno, si se mantienen los rangos de pH mencionados anteriormente. Esto se puede mitigar asegurando un pH neutro, que sea aproximadamente 7,0, o sustituyendo la fuente de nitrógeno. nitrógeno derivado de una fuente.

b) Etapas del manejo

Según Marulanda (2003), para lograr el máximo progreso se deben seguir procedimientos específicos. Estos procedimientos consisten en la supervisión y gestión de elementos y factores particulares, además de las instalaciones y fases de producción.

Los contenedores:

Según Marulanda (2003), la selección y construcción de embarcaciones y contenedores debe estar de acuerdo con las limitaciones de espacio disponible, capacidades económicas y técnicas, así como con los objetivos y requisitos de avance y progreso.

Castañeda (1997) postula que se puede utilizar una variedad de contenedores, incluidos, entre otros, cestas, vasos, botellas, tubos de plástico, cajas y marcos de madera o plástico, siempre que estén interconectados de acuerdo con las limitaciones de espacio y recursos financieros.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 1996), el contenedor debe ser económico y espacialmente adecuado, y la caja de madera debe tener un revestimiento plástico en su interior.

Según Marulanda (2003), en situaciones donde se dispone de suficiente espacio, es crucial no sólo mantener estos pequeños contenedores sino también establecer una conexión entre el progreso científico, la expansión de las variedades de cultivos y la diversidad de especies.

El cilindro debe estar aislado con una sustancia negra que tenga un diámetro de 0,10 cm. Evita que la madera se moje y se pudra, así como que pierda nutrientes a un ritmo acelerado. Al inhibir el crecimiento de algas, el tono negro establece dominio dentro de la zona de las raíces. Es imperativo utilizar bordes limpios y resistentes a perforaciones o revestir las superficies plásticas con periódicos viejos antes de colocarlas en el piso (Marulanda, 2003).

Carrasco (1996) afirma que los canales de sección transversal rectangular son necesarios para el sistema NFT, que es un sistema acuoso que opera según el principio de circulación continua de una capa delgada de solución nutritiva. Esto se debe al hecho de que permite que una fina capa de solución de circulación atraviese la sección transversal del canal. Además, es fundamental tener superficies de canal limpias para permitir el flujo rápido de la solución a través del canal de cultivo.

Sustratos o medios de cultivo

Existen varias variedades de hidroponía, cada una caracterizada por su propio conjunto de modificaciones y adaptaciones. Estos tipos se clasifican según el medio en el que se cultiva el cultivo; por tanto, existen medios sólidos además de los medios líquidos. Además, proporcionan descripciones de medios sólidos, incluido el uso de medios inertes para plantar plantas, que dan como resultado que los nutrientes se disuelvan mientras las plantas conservan su apariencia cohesiva y monótona; riego ligero; o saturarse de agua de alguna otra manera (Giacconi y Estaff, 1999).

La identificación del sustrato, que es una sustancia que sustituye a la tierra inerte y permite un crecimiento hidropónico sin problemas, es crucial, como afirma Castañeda (1997).

Para evitar la ionización de la estequiometría de la solución nutritiva, los sustratos deben ser excepcionalmente impermeables a la corrosión y la intemperie e, idealmente,

libres de metales disueltos. Además, para mitigar el potencial de transmisión de enfermedades y daños a los consumidores (Marulanda, 2003), la sustancia debe estar libre de granos o microorganismos.

Preparación de los almácigos:

Según Marulanda (2003), un vivero es simplemente un área compacta donde se crean las condiciones óptimas para la germinación de las semillas y el desarrollo inicial de las plántulas, además de un diligente programa de mantenimiento. Para evitar cualquier obstáculo a su desarrollo.

FAO-PNUD (1996c) afirma además que las semillas de tamaño o peso excesivos impiden la aparición de nuevas plantas. Además, es fundamental regular los niveles de humedad, ya que afectan significativamente el desarrollo de las plantas juveniles.

Según Marulanda (2003), se enfatiza que para mantener las bases de la hidroponía no es recomendable sembrar inicialmente las plántulas en el suelo y posteriormente replantarlas en un medio acuoso; Para utilizar la hidroponía, las plantas deben cultivarse en el medio antes mencionado. Comparable a los medios sólidos. Se debe humedecer antes de la siembra para asegurar que las semillas no sobresalgan de la profundidad del surco o cavidad, favoreciendo así una reproducción y desarrollo más uniforme.

Tras el proceso de germinación, aplique una ligera presión sobre el medio sustrato con la palma de la mano para eliminar el aire residual que pueda rodear las semillas y mejorar su interacción con el medio. Posteriormente, las plántulas se cubrieron con el semillero y periódico en condiciones normales, y con papel y plástico negro a temperaturas extremadamente bajas para acelerar levemente la germinación (Marulanda, 2003).

Trasplante:

Como afirma Carrasco (1996), los sistemas de base perenne generalmente clasifican a las plantas cultivadas en barricas como de cinco hojas verdaderas, excluyendo el par inicial

de cotiledones, que se consideran hojas embrionarias. La planta tiene raíces lo suficientemente desarrolladas en este punto para establecer contacto con la solución nutritiva circulante, facilitando la absorción tanto de nutrientes como de agua.

Marulanda (2003) destaca que una vez establecido el semillero en un sustrato medio sólido, las raíces se enjuagan y se insertan en una capa de espuma elástica que brinda soporte al sistema radicular en contenedores o sobre el sustrato, si el sistema radicular está a flote.

4.3.4. Descripción del sistema Nutrient Film Technique (NFT)

Al hacer circular permanentemente una fina capa de una solución nutritiva que permite la oxidación de las raíces, este sistema también proporciona sales nutricionales, agua y sales a la planta durante toda su fase de crecimiento.

Según Rodríguez et al. (2002), NFT (Nutrition Film Engineering), también conocida como tecnología de circulación de soluciones de nutrientes, fue establecida durante la década de 1960 por el Dr. Alan Cooper en el Reino Unido. Posteriormente, esta metodología agrícola, que prioriza la generación de vegetales superiores, ha sido refinada y adoptada en numerosas naciones con recursos de suelo limitados y un mercado que garantiza el suministro de productos vegetales nutritivos, frescos y superiores.

La tecnología NFT, según Rodríguez et al. (2002), tiene la ventaja sobre otros sistemas hidropónicos en cuanto a la alta calidad de los productos de diversos cultivos, así como el breve tiempo de siembra y la productividad. El suministro constante de agua y minerales permite que las plantas florezcan y se desarrollen a su máxima capacidad. Esta tecnología tiene el potencial inconveniente de requerir mayores inversiones financieras.

La aplicación de la tecnología NFT en América Latina y el Caribe se vio limitada debido a las importantes inversiones en costosos materiales y aparatos que fueron necesarios para su desarrollo en los países ubicados en el hemisferio norte. Sin embargo, esta tecnología agrícola actualmente se puede ejecutar utilizando insumos más rentables mediante la

incorporación de madera, diversos plásticos (PVC, poliestireno, poliuretano) y bombas de agua económicas. Los mercados locales venden los iones fertilizantes necesarios para producir la solución nutritiva, los cuales son reconocidos por su alta solubilidad (Rodríguez et al., 2002).

Requerimientos de la técnica Nutrient Film Technique (NFT).

Al hacer circular permanentemente una fina capa de una solución nutritiva que permite la oxidación de cada raíz, este método también suministra a la planta iones nutrientes y agua durante toda su fase de crecimiento.

Para facilitar la aireación de la solución y de las raíces, la altura óptima de esta lámina es entre 4 y 5 mm (Carrasco, 1997).

Al gotear vigorosamente en la solución residual en el recipiente colector, donde se producen turbulencias, la solución nutritiva adquiere oxígeno. Por lo tanto, se recomienda mantener una distancia mínima de una pulgada entre el nivel de la solución en el tanque y el orificio del tubo colector. Gracias a la inclinación vertical de los canales de crecimiento, la solución nutritiva puede volver a entrar en el recipiente colector. Este nivel fluctúa aproximadamente un 2% en promedio (Carrasco, 1997).

Este método se puede implementar tanto en un invernadero como al aire libre. Rodríguez et al. (2002) sugieren que la ubicación del invernadero o sistema esté muy cerca de fuentes de agua y electricidad.

4.3.5. Nutrición de las plantas

Elementos nutricionales de las plantas.

Para que las plantas absorban los nutrientes de forma óptima, la proporción y la concentración de los nutrientes en la solución fertilizante deben ser precisas. Al adoptar este enfoque, se pueden evitar fenómenos perjudiciales como los efectos osmóticos y antagonistas, que impiden la asimilación de nutrientes de las plantas (Bertsch, 1998).

a) Carbono, Hidrogeno y Oxigeno (CHO)

Las plantas obtienen la mayoría de los nutrientes que necesitan (carbono, hidrógeno y oxígeno) del aire y el agua. Sin embargo, también pueden obtener estos elementos a partir del carbonato de hidrógeno y del dióxido de carbono soluble en agua del suelo.

b) Nitrógeno (N):

Se disuelve en agua y es absorbido casi exclusivamente por las plantas como nitrato (NO) y amonio (NH), según Bautista (2000). El nitrato proporciona la mayor parte del nitrógeno utilizado en hidroponía. Una fuente secundaria es el amonio en la mayoría de los casos, ya que cantidades excesivas de este ion pueden causar daños fisiológicos a las plantas.

Esto indica que la planta que abunda en fertilizantes nitrogenados y es rica en proteínas desarrollará primero sus porciones aéreas y subterráneas. Además, el nitrógeno (N) facilita la producción de auxina (ácido indol acético), que estimula el crecimiento de las plantas y ralentiza la tasa de desarrollo de las raíces. De hecho, las plantas ricas en nitrógeno desarrollan ramas y raíces cortas y compactas. Sin embargo, es necesaria una cantidad mínima de nitrógeno (N) atmosférico para evitar el retraso en el crecimiento de toda la planta. La fertilización con nitrógeno no siempre es necesaria para las legumbres; el nitrógeno atmosférico que absorben a través de los rizobios es adecuado debido al mecanismo de alimentación de nitrógeno de las leguminosas.

c) Fósforo (P):

Las plantas lo absorben en forma de iones fosfato. Las fuentes principales son el superfosfato de calcio, el superfosfato de calcio triple, el fosfato de amonio y el fosfato de diamónico (Bautista, 2000)..

- El fósforo (P) es esencial para la formación de gránulos (almidón); El rendimiento del cultivo se puede reducir en un 50% en su ausencia.

- El fósforo (P) contrarresta los efectos unilaterales del aumento de nitrógeno (N), promoviendo así la maduración.
- Promueve el desarrollo de las raíces; • Inhibe la calidad de ciertos productos, incluida la cebada. Cuando el fósforo (P) está ausente, es evidente el aporte de los carbohidratos a la formación de fracciones aéreas.
- La abundancia de fósforo (P) explica la excepcional resistencia a determinadas enfermedades de las raíces.
- El fósforo P es un componente esencial en el proceso proteolítico.
- Para que los nutrientes (vitaminas) sean aptos para el sustento humano, es esencial el fósforo (P), que está presente en todas las enzimas que producen vitaminas.

d) Potasio (K):

Por regla general, es iónico y móvil dentro de la planta. Participa en la mayoría de los procesos fisiológicos, incluida la respiración, la fotosíntesis, la síntesis de azúcar celular y la apertura y cierre de estomas (Bertsch, 1998).

- Aumenta la resistencia de la epidermis externa de las células de las hojas a la invasión de bacterias patógenas.
- Los vasos conductores presentan paredes más densas acompañadas de una reducción de diámetro. Una mayor fertilización con potasio da como resultado un menor uso de agua por parte de las plantas en el ETV.
- Un gran fertilizante de potasio estimulará el crecimiento de las raíces, ya que las raíces necesitan carbohidratos del follaje para sustentarse. Esto es particularmente crucial en climas y suelos áridos.

e) Calcio (Ca):

Transporte de proteínas y participación en la formación de estructuras lipídicas y membranas celulares. Los pectatos de calcio (Ca) componen la laminilla media, que sirve como componente cohesivo de la pared celular (Bertsch, 1998).

- El calcio (Ca) es un constituyente en el proceso de formación de la pared celular debido a su estado fijado por precipitación como pectatos de calcio (Ca) y magnesio (Mg).
- Ca facilita el transporte del compuesto producido por la planta.
- El ion calcio (Ca) transporta el compuesto generado por la planta.
- Como solución plasmática, el calcio (Ca) aumenta la transpiración y disminuye la absorción de agua por los radicales al disminuir la permeabilidad de las membranas celulares.

f) Azufre (S):

Compuesto principalmente de sulfato de amonio, sulfato de potasio, superfosfato simple, sulfato de magnesio y sulfato de calcio, las plantas lo utilizan en forma de sulfatos (SO). Como aminoácido azufrado, está presente en las proteínas en forma de cisteína, metionina y cistina (Bautista, 2000).

Las plantas utilizan el sulfato (SO). El sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄), el sulfato de potasio (K₂SO₄), el superfosfato simple (Ca(H₂PO₄)₂), el sulfato de magnesio (MgSO₄) y el sulfato de calcio (CaSO₄) son las fuentes principales. Como componente de los aminoácidos azufrados cisteína, metionina y cisteína, está presente en las proteínas.

- Al igual que el fósforo (P), abunda en todos los órganos vitales e influye en el metabolismo. • Las plantas desprovistas de azufre (S) inhiben la asimilación de nitratos mediante la hidrólisis de la albúmina producida, lo que eleva la concentración de aminos y amidas.

- Las reservas de azufre consisten en azufre reducido (sulfuro de hidrógeno, SH) que se activa en la instalación. A diferencia del nitrógeno (N), el azufre reducido (S) puede reoxidarse a SO₄, una forma de nitrato (NO₃-), incluso después de haber sido retenido dentro de la planta.

g) Magnesio (Mg):

La principal fuente hidropónica de sulfato de magnesio (MgSO₄) es un componente de la molécula de clorofila; por tanto, es esencial para la fotosíntesis (Bautista, 2000).

- Es evidente que ha jugado un papel importante en la evolución de la clorofila, ya que es el único elemento mineral que se encuentra en su núcleo.
- Aproximadamente dos tercios del magnesio (Mg) presente en la planta son solubles en agua y la parte restante se asimila orgánicamente.
- El magnesio (Mg) es un elemento esencial en la síntesis de carotenoides y varios pigmentos, incluida la protoporfirina IX, el precursor de la clorofila. • La absorción de fósforo (P) en el suelo facilita la exposición del magnesio (Mg) al proceso de formación de vitaminas. • El magnesio (Mg) contribuye a la fosforilación de los carbohidratos, una vía metabólica implicada en la formación de carbohidratos.
- El magnesio (Mg) debe incorporarse al suelo después de la adición sustancial de potasio (K).

h) Hierro (Fe):

Su componente principal es el sulfato ferroso, que se disuelve mejor en soluciones con un pH inferior a seis. La fuente principal de esta sustancia es el sulfato férrico (Fe₂(SO₄)₃), el cual se disuelve eficientemente en soluciones con un pH inferior a 6 (Bautista, 2000).

Funciona como activador de enzimas durante la síntesis de clorofila (Bertsch, 1998).

- El hierro (Fe) es un componente integral de numerosos sistemas enzimáticos y participa en numerosos procesos vitales de las plantas; puede existir como un componente mineral distinto de las enzimas o como uno de los numerosos minerales necesarios para la actividad de las enzimas. procesos enzimáticos. Una multitud de vitaminas, incluidas riboflavina (B2), piridoxina (B6) y tiamina (B1). O bien constituyen grupos de prótesis compuestos de diversas enzimas o son componentes de dichos grupos. El hierro (Fe) también participa en el proceso de síntesis de clorofila.
- La deficiencia de hierro (Fe) en las plantas se caracteriza por síntomas compartidos, siendo éste posiblemente el más notorio entre las plantas deficientes en este oligoelemento. Las primeras etapas se caracterizan por una decoloración marginal de las regiones interfoliares, que se opone al tono verde intenso de las venas. Las hojas sufren un color amarillento progresivo debido a la enfermedad y, en casos extremos, carecen por completo de clorofila. Se requiere suplementación de hierro (Fe); sin embargo, su uso debe ser limitado. Ciertas especies de vegetación muestran una mayor sensibilidad a su deficiencia y la asimilan en proporciones sustanciales (p. ej., lechuga, piña, roble, pera, nuez, naranja, limón, rosa).

i) Manganeso (Mn):

Sulfato, cloruro o quelato son las formas en que se suministra (Bautista, 2000).

Activa la enzima reductasa en el proceso de respiración y metabolismo del nitrógeno (N), donde funciona como activador enzimático (Bertsch, 1998).

- A pesar de que numerosas funciones del manganeso (Mn) siguen sin estar claras, se comprende bien su implicación en numerosos procesos metabólicos que tienen lugar en las plantas. Su comportamiento químico presenta ciertas similitudes con el del calcio (Ca) y el magnesio (Mg), aunque también guarda semejanza con los oligoelementos hierro (Fe) y zinc (Zn) en otros aspectos.

- Altera el proceso de fotosíntesis, lo que hace que las plantas enfermas tengan una capacidad de fotosíntesis reducida en comparación con las plantas sanas. Posteriormente se determinó que el deterioro se debía a una deficiencia de manganeso (Mg).
- Aunque esto no puede considerarse una regla general, las hojas juveniles suelen presentar los signos iniciales de deficiencia de manganeso (Mg). Se manifiestan como tales las alteraciones de tonalidad, que van del verde pálido al amarillo, o manchas verdes intercaladas entre los capilares. El follaje se asemeja a las hojas convencionales en tamaño y forma.
- El manganeso (Mn) participa en la síntesis de proteínas y la respiración (oxidación); reduce el nitrato a nitrito y $-NH_2$.

j) Boro (B):

La sustancia se absorbe por borato (B_3O_3); sus orígenes son el ácido bórico y el bórax (tetraborato de sodio) (Bautista, 2000).

Aunque la función precisa sigue siendo ambigua, influye indirectamente en numerosos procesos (Bertsch, 1998).

- Se altera la formación de la pared celular (licuefacción), el metabolismo de los carbohidratos y el transporte; El metabolismo del ADN y la síntesis de proteínas se ven afectados.
- Los árboles jóvenes asimilan B a un ritmo mayor que los maduros.
- El boro (B) es casi inmóvil en las hojas, pero muy móvil en la planta después de haber absorbido las raíces.
- Las monocotiledóneas están subordinadas a los diodos de boro (B).
- El boro (B) influye en la división celular.

k) Cobre (Cu):

El cloruro de cobre (CuCl_2) y el sulfato (SO_4^{2-}) son las principales fuentes de cobre.

Los cloroplastos albergan una variedad de proteínas, incluidas la fenolasa, la lactasa y la oxidasa del ácido ascórbico, que son constituyentes de múltiples enzimas y, por lo tanto, contribuyen al proceso de fotosíntesis. El 70% de la sustancia es clorofila, y la asimilación es su función principal (Bertsch, 1998).

l) Zinc (Zn):

El cloruro de zinc es la fuente de zinc. Funciona como activador de numerosas enzimas, incluidas las enzimas transportadoras de fosfato y la anhidrasa carbónica y el alcohol deshidrogenasa, que son particularmente cruciales. Además, regula la síntesis de hormonas del crecimiento, incluido el ácido indolacético (AIA), a nivel. Triptófano, su sustancia precursora (Bertsch, 1998).

- El oligoelemento es esencial para la síntesis de una de las hormonas de crecimiento de las plantas, el ácido B-indol acético. Contribuye a la ruta metabólica del nitrógeno (N). Consumo de oxígeno y hexafosforilación.
- Cabe destacar, desde el punto de vista analítico, precisar que las plantas deficientes en zinc (Zn) presentan elevadas concentraciones de hierro, manganeso, nitrato y fosfato en los tejidos foliares, además de un reducido contenido de glucosa. También se detectó una cantidad anormalmente baja de cloroplastos dentro de las células.
- Dificulta la síntesis de auxinas, que se encargan de estimular las ramas.
- Contribución a la síntesis de auxina, que estimula el núcleo.
- Influye en el proceso de fotosíntesis.

m) Molibdeno (Mo):

Debido a su presencia como impureza en otros fertilizantes y a que se busca en pequeñas cantidades, no son necesarias fuentes adicionales (Bautista, 2000).

- La principal función fisiológica del molibdeno es servir como constituyente de las enzimas reductoras de nitratos y nitrogenasa, las cuales estimulan procesos vitales en las plantas.
- La molécula fundamental implicada en la fijación biológica del nitrógeno (N) es la nitrogenasa. Esta enzima está ausente en todos los organismos fijadores de nitrógeno (N); es necesario que tales organismos fijen nitrógeno.
- Además, el nitrato reductasa es fundamental para facilitar la conversión del nitrato en amonio tras su absorción por las plantas. Posteriormente, el nitrógeno (N) puede integrarse en los diversos compuestos nitrogenados que componen la estructura del cuerpo humano.
- A diferencia de las leguminosas, que no requieren desnitrificación, el molibdeno (Mo) activa la xantina oxidasa y las enzimas reductoras de nitrato.
- El molibdeno (Mo) es un elemento esencial en el proceso de formación del ácido ascórbico.
- La deficiencia de molibdeno (Mo) aumenta la actividad respiratoria y disminuye el contenido de clorofila.
- Las plantas con deficiencia de molibdeno (Mo) presentan un exceso de nitrato. Se plantea la hipótesis de que el molibdeno (Mo) se reduce frecuentemente a nitritos, NH_3 , NH_2 y aminoácidos, ácido glutámico, glutamina y nitritos.

n) Cloro (Cl):

Con una función actualmente reconocida pero ciertamente muy importante, el cloro (Cl) estimula la fase fotosintética de la fotosíntesis (Bertsch, 1998).

- Se ha reconocido que el cloro (Cl) tiende a aumentar la turbidez en las plantas y actúa como neutralizador de los cationes
- El daño por deficiencia de cloro (Cl) solo se ha demostrado cuando se utilizan soluciones nutritivas en condiciones de invernadero. Sus síntomas no son fácilmente reconocibles. Destaca el marchitamiento de las plantas y clorosis foliar de las hojas, acompañado de amarillamiento o necrosis en determinadas zonas, y disminución de la altura. También se observa un crecimiento reducido de las raíces y en casos severos no hay frutos
- Tiene una gran movilidad en los tejidos y se traslada con facilidad a las partes fisiológicamente activas: hojas, tallos y también a los jugos celular a los tejidos del parenquimatosos
- No se sabe por completo, ya que carbono (C) siempre se combina con cloro (Cl) puede ser necesario el potasio (K). Incluso, parece haber una hostilidad iónica entre el cloro (Cl) y el potasio (K). Al aumentar el cloro (Cl), las plantas pueden ser deficientes en potasio (K). También hay antagonismo entre Cl^- y NO_3^- , pero no con los abonos amoniacales (NH_4Cl).

o) Sodio (Na)

- La función precisa del sodio (Na) en la vegetación sigue siendo incierta. Investigaciones recientes han demostrado que puede funcionar como un activador de las enzimas fosfoenolpirúvico carboxilasa, la enzima de carboxilación primaria responsable de la fotosíntesis C4 de las plantas.
- Las plantas absorben estas sustancias en forma de iones Na^+ .
- La actividad del potasio (K) en la planta está validada por la del sodio (Na), que además triplica el CRU del K.

- Tanto en el suelo como en las plantas, el potasio (K) y el sodio (Na) son antagonistas. Los suelos ricos en potasio o aquellos que abundan en fertilizantes potásicos tienen la capacidad de disminuir el contenido de sodio (Na) de las plantas, mientras que ocurre lo contrario en el caso de los pastos en particular.

p) Silicio (Si)

- La función de su instalación no está configurada. Debido a su similitud química con el boro (B) y el fósforo (P), ciertos autores han especulado que el silicio (Si) podría sustituir o alterar ciertas propiedades del boro, incluida la sensibilidad al alcohol, los azúcares y los ácidos orgánicos.
- Se localiza predominantemente en las membranas celulares. Cuando este tejido se somete a microscopía después de haber sido incinerado, la estructura celular sigue siendo discernible.
- Si está presente a lo largo de los vasos y en los tejidos del duramen; de lo contrario, su presencia tiene consecuencias insignificantes. Esto indica que el silicio (Si) debe ser transportado junto con el fluido no procesado por la planta como sustancia inerte. Si bien aumenta la fragilidad y rigidez de los órganos de las plantas, con lo que aumenta el peligro de acame, actualmente este elemento lo necesitan exclusivamente los organismos capaces de fijar nitrógeno en la atmósfera.
- Están presentes vitamina B12 y cobalto (Co). Aunque la flora microbiana del intestino de los rumiantes es la responsable de su formación, no hay evidencia que sugiera que la vitamina B12 pueda producirse en la misma planta.

4.3.6. Soluciones nutritivas

Solución nutritiva de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Según Rodríguez et al. (2001), la solución nutritiva utilizada en el estudio fue preparada en el laboratorio de Fisiología Vegetal adscrito a la Universidad Nacional Agraria

La Molina. Afirmaron que actualmente tienen la intención de implementar dos soluciones concentradas modificadas denominadas A y B.

La solución concentrada A comprende nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca); magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), cloro (Cl), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B) y molibdeno (Mo) están presentes en una solución concentrada. B.

Solución hidropónica concentrada A: (Para 5.0 litros de agua, volumen final)

- Nitrato de potasio 13.5% N, 45% de K₂O 500 g.
- Superfosfato triple 45% P₂O₅, 20% CaO 180g.
- Nitrato de amonio 33% N 350 g.

Solución hidropónica concentrada B: (Para 2.0 litros de agua, volumen final)

- Sulfato de magnesio 16% MgO, 13% S 220 g.
- Solución de micronutrientes 400 ml
- Quelato de hierro 6% Fe 17g.

V. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es de tipo cuantitativa – experimental, con la finalidad de realizar las evaluaciones de diferentes tratamientos con diferentes densidades de trasplante en el campo definitivo.

5.2. Ámbito De Investigación

5.2.1. Ubicación Temporal de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo en un fitotoldo, en la azotea de una vivienda, cito en el jirón Arica 140, en el distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas y región Apurímac.

La presente investigación se llevó a cabo desde el 02 de octubre del 2018 (almacigo) a 18 de enero del 2019 (Cosecha)

5.2.2. Ubicación Política

- Región : Apurímac
- Provincia : Andahuaylas
- Distrito : Talavera

5.2.3. Ubicación Geográfica

- Número de zona : 18L
- Este : Propiedad del Sra Marina Soto Velasque (0669939)
- Norte : Propiedad del Sr Cecirio Farfan Tadio (8490315)

- Sur : Propiedad del Sr Manuel Rojas.
- Norte : Con el jirón Arica
- Altitud : 2845 metros.

5.2.4. Ubicación Hidrográfica

Cuenca	:	Rio Pampas - Apurímac
Subcuenca	:	Rio Chumbao
Microcuenca	:	Chumbao

5.3. Materiales, equipos y herramientas

5.3.1. Materiales, equipos y herramientas de campo

A. MATERIALES

Material Biológico

- Apio (*Apium graveolens*).

Soluciones Nutritivas

- Micronutrientes: Solución hidropónica A La Molina
- Micronutrientes: Solución hidropónica B La Molina

Materiales de Campo

- Agrofílm
- Malla Antiafida
- Malla Raschel
- Palos rollizos
- Madera
- Clavos
- Plásticos
- Libreta

- Vasos Descartables
- Esponja
- Tecnopor de 1"

Herramientas

- Martillo
- Wincha
- Tijera
- Alicata
- Serrucho

Equipos

Equipos de Campo

- Conductímetro.
- Higrómetro.
- Balanza de Precisión
- Peachímetro
- Vernier
- Cámara Fotográfica Digital

Equipos de Gabinete

- Laptop.
- Impresora.

5.4. Metodología de la investigación.

5.4.1. Nivel de investigación

Por su naturaleza, el estudio se considera de nivel Explicativo – experimental, debido a que se determinó las comparaciones, análisis e interpretaciones y se realizó las

conclusiones, además tiene una investigación básica, debido a que se plantea una alternativa de solución frente a un problema de la producción de cultivo.

5.4.2. Diseño experimental.

El diseño empleado en la investigación fue el diseño completamente al azar DCA de 4 tratamientos con tres repeticiones. La evaluación se realizó a 10 plantas de cada repetición.

El modelo para el análisis simple del DCA es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Observación j ésima del i ésimo tratamiento

μ = efecto de la media global

ε_{ij} = Efecto aleatorio del error

5.5. Tratamientos Evaluados

Tabla 2. Distanciamiento de los tratamientos

Tratamientos	Distanciamiento	Descripción
T1	0.12 x 0.12 cm	Siembra a tres bolillos
T2	0.16 x 0.16 cm	Siembra a tres bolillos
T3	0.20 x 0.20 cm	Siembra a tres bolillos
T4	0.24 x 0.24 cm	Siembra a tres bolillos

5.6. Características de la unidad experimental

La unidad experimental está conformada por 678 plantas del cultivo de apio, con distanciamientos diferentes a tres bolillos. Cada tratamiento fue ubicado aleatoriamente dentro de cada repetición. A continuación, se detalla las características de la unidad experimental.

Tabla 3. Tratamientos evaluados

Tratamientos	N° de unidades	N° de plantas por unidad	N° de plantas por tratamiento
Número de Plantas T1	3	115	345
Número de Plantas T2	3	56	168
Número de Plantas T3	3	33	99
Número de Plantas T4	3	23	66
Número de Plantas Total			678

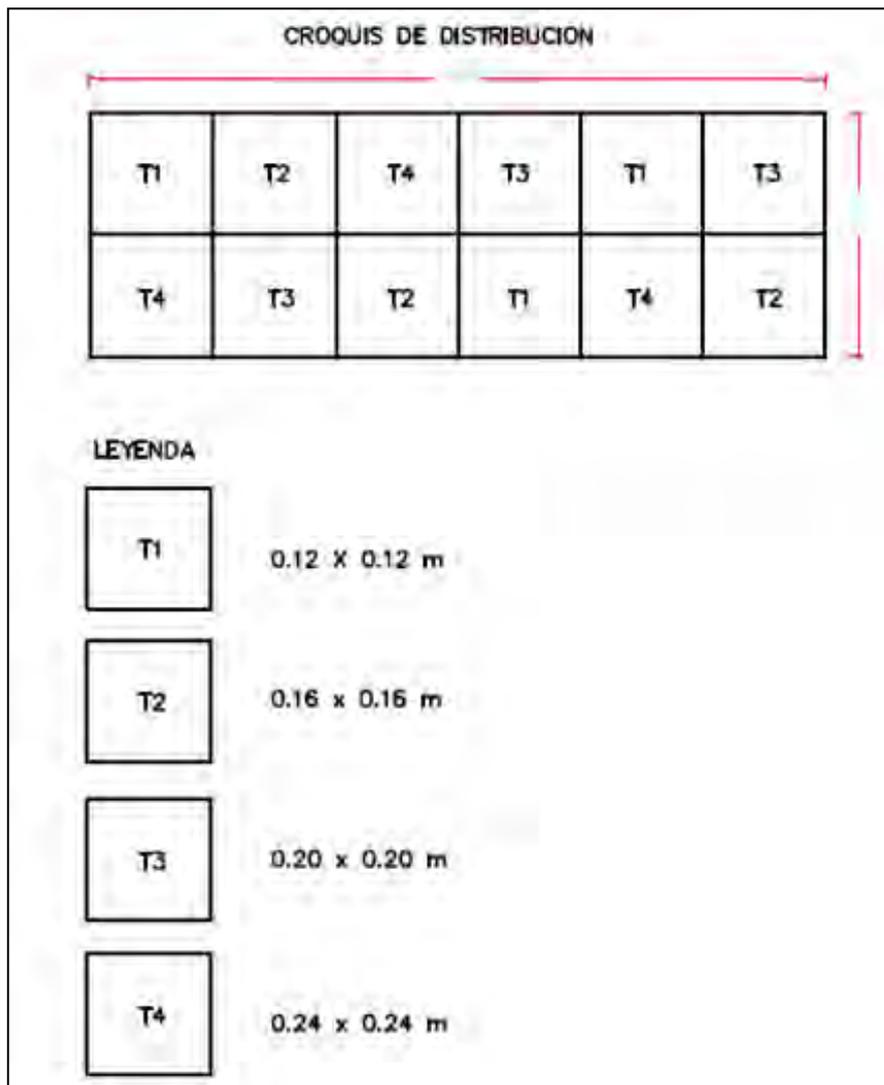
Área del Experimento total

Largo de la Parcela	m	7.5
Ancho de la Parcela	m	2.5
Área Total de la Parcela	m ²	18.75

Área del tratamiento

Largo de Tratamiento	m	7.2
Ancho de Tratamiento	m	2.4
Área del tratamiento	m ²	17.28

Figura 1. Croquis de la distribución de las parcelas experimentales



5.7. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

5.7.1. Fuentes

Las fuentes que se utilizaron en la investigación son:

- Libros de producción del cultivo de apio.
- Revistas.
- Artículos
- Consultas electrónicas.

5.7.2. Técnicas

Las principales técnicas que se utilizaron fueron:

- Observación experimental.
- Análisis documental.

5.7.3. Instrumentos

- Ficha de registro de datos.
- Ficha de observación de campo

5.8. Variables e indicadores

5.8.1. Variables

Variables dependientes

- Producción del cultivo de apio

Variables Independientes

- Densidad de siembra
- Rendimiento

5.8.2. Indicadores

5.8.2.1. Factores de rendimiento

Factores de rendimiento

- Peso de la planta (g).
- Altura de la planta (cm)
- Diámetro de macollo (cm)
- Numero de peciolo (und)
- Peso de la raíz (g)

Factores económicos

- Índice de rentabilidad
- Costo de producción.

5.9. Manejo del área experimental

5.9.1. Construcción de la cubierta

Con la finalidad de contar con un ambiente óptimo para la producción del cultivo de apio, en una producción hidropónica flotante, se construyó un fitotoldo de madera, en una azotea de una vivienda de tercer piso, con techo de agrofilm clase 10, y alrededor con malla antiafida, sujetado con clavos y cinta de madera incluyendo la puerta de acceso.

Figura 2. Vista frontal de la cubierta de agro film

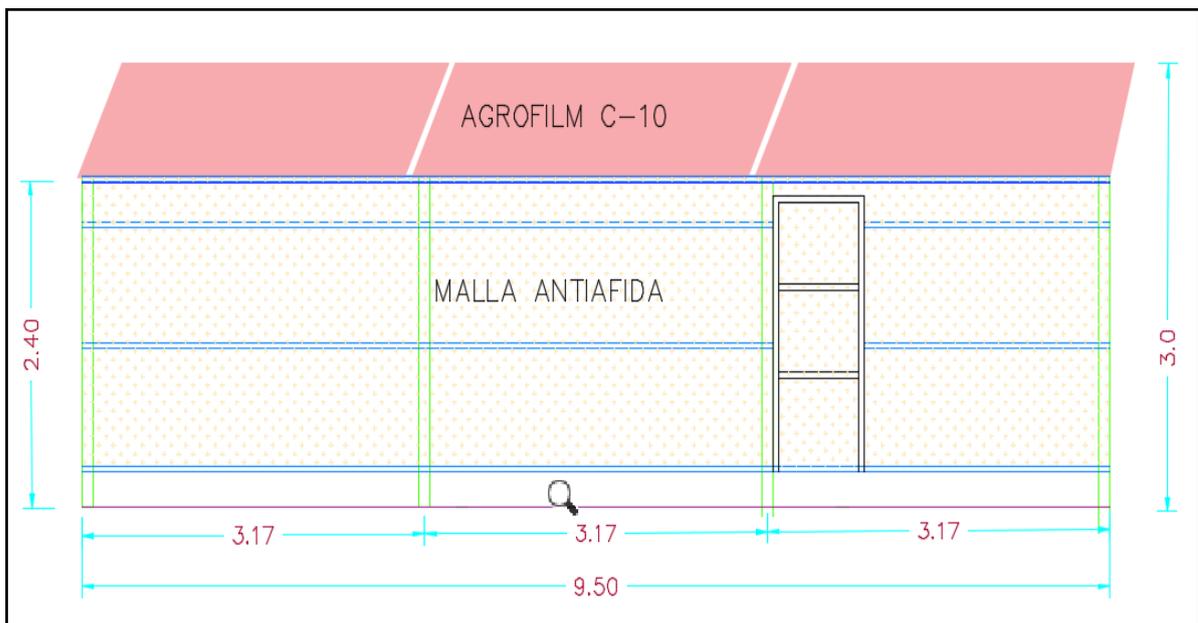


Figura 3. Detalles de la estructura de la cubierta de la cubierta de agro film

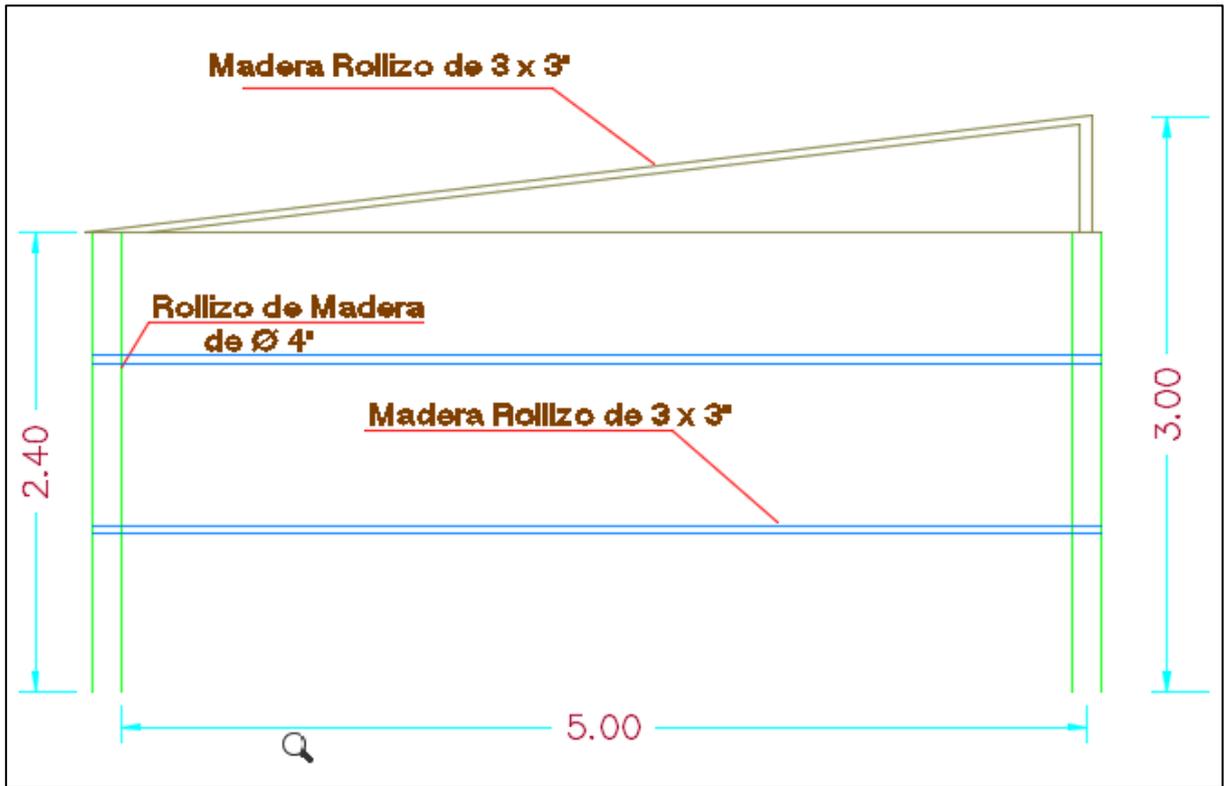
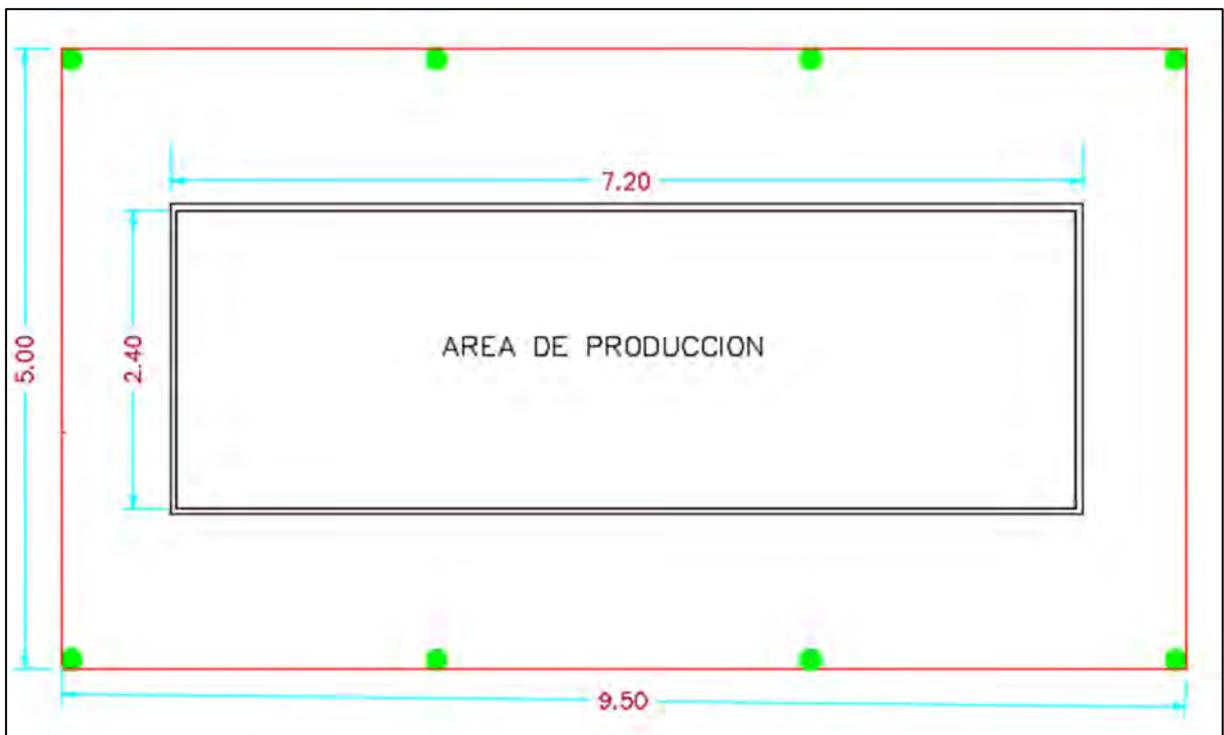


Figura 4. Plano del área de la cubierta de agro film



5.9.2. Selección del sustrato

El sustrato que se utilizó fue arena de río, en la cual se tamizó con malla 2mm para que sea homogéneo, luego se desinfectó con lejía al 10%, finalmente se realizó un enjuague con agua.

5.9.3. Preparación de almacigo

Se preparó el almacigo el 02 de octubre de 2018. Se contó con 02 bandejas germinadoras de 34 cm x 40 cm, en la cual se colocó el sustrato tamizada y desinfectada, para luego sembrar la semilla de apio, los se realizaron a una profundidad de 1 cm, y sobre el mismo se taparon con el mismo sustrato.

5.9.4. Elaboración del módulo

El módulo se construyó con marcos de tabla de madera de 3.0 m de largo, 25 cm de ancho y 1.5 cm de grosor, dicho módulo se construyó en forma rectangular. La medida del módulo era de 7.20 m de largo, 1.44 m de ancho con una altura de 0.25 cm.

El marco de madera se cubrió con plástico polietileno para formar un contenedor, luego se aseguró los extremos del plástico con clavos de madera y listones.

Se llenó el contenedor con agua, llegando a una profundidad de 20 cm de altura de espejo de agua, teniendo en cuenta la seguridad de los marcos del módulo evitando la salida de agua.

5.9.5. Mezcla de la solución nutritiva

En el módulo construido se relleno de 3.46 m³ de agua, luego se agregó las soluciones nutritivas de macro y micronutriente, que fueron adquiridos de la UNALM, luego se mezclaron manualmente con la finalidad de que la solución se encuentra uniformizadaas concentraciones eran de acuerdo a las indicaciones de la solución nutritiva:

- Solución A de 5ml por litro de agua.
- Solución B de 2ml por litro de agua.

Dichas dosis se proyectó a los 3.46m³ de agua que se encontraba almacenada en dicho módulo construido.

Figura 5. Incorporación de la solución nutritiva



5.9.6. Preparación del Tecnopor

Se cortaron las planchas de tecnopor de 1” con medidas de 1.2 x 1.2 m, luego se hicieron agujeros con tubos de hojalata caliente de 4 cm de diámetro, a unas distancia de 12, 16, 20 y 24 cm respectivamente.

Con el Tecnopor agujereados se taparon el modulo con los vasos descartables a fin que sirva como soporte de las plantas.

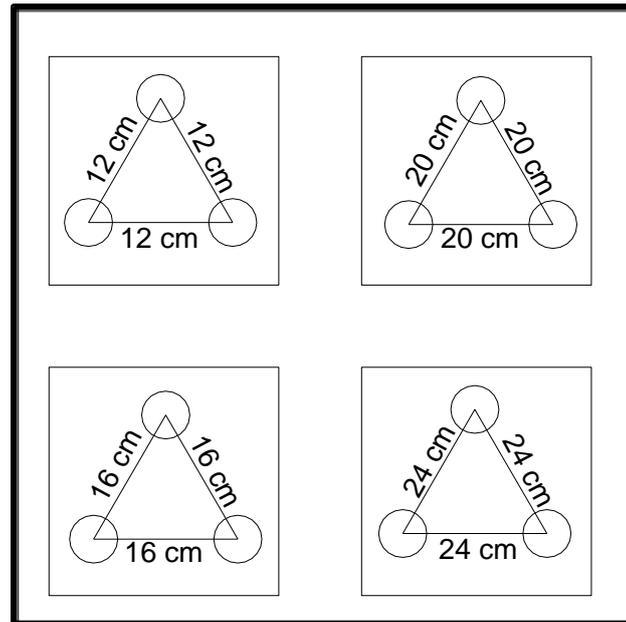
5.9.7. Trasplante

El almacigo se realizó cuando las plántulas tuvieran una altura de 6 a 8 cm, se procedió a retirar, lavándolas con agua la arena que estaba adherida a las raíces, luego se envolvió el cuello de la raíz con una tira de esponja, finalmente fueron colocadas dentro de un vaso descartable quien se encontraba abierto en la base, con la finalidad de dar soporte a

las plantas colocadas en los agujeros de las caja impermeabilizada y con la raíz libres dentro del agua que contenía la solución nutritiva

El trasplante se realizó a los 40 días después del almacigo a tres bolillo en la cual se detalla en la figura siguiente.

Figura 6. Distanciamiento de siembra a tres bolillos



5.9.8. Riegos Aireación

Se colocó tubos en la base del contenedor previamente agujereados, dichos tubos estaba conectado a una bomba de aire, que generaba aireación 2 veces al día (6 y 18 horas), esto con la finalidad de evitar la generación de algas y distribuir óptimamente la solución en todo el contenedor del módulo.

Figura 7. Aireación de la solución nutritiva



5.9.9. Control de plagas y enfermedades

Para el control fitosanitario, se realizó las trampas amarillas para los controles de plagas como pulgones (**Aphididae**) y Trips (**Thrips tabaci**), sin embargo las plagas no fueron de gran significancia en el cultivo.

5.9.10. Cosecha

El apio se ha cosechado en forma manual a los 57 días después del trasplante. La cosecha fue cuidadoso, evitando el daño del cuello de la planta al momento de retirar de los contenedores del modulo.

5.10. Criterios de Evaluación

5.10.1. Evaluaciones de factores de rendimiento

- **Altura de la planta**

Con la ayuda de la wincha, se midió el tamaño de la planta desde la inserción del cuello de la raíz hasta el peciolo, siendo la unidad el centímetro, considerada altura de la planta.

Figura 8. Medición de la altura del apio



- **Diámetro del macollo de la planta**

Con la ayuda de vernier se midió el diámetro del macollo comprendido por encima del cuello de la raíz, siendo el centímetro la unidad de medida, a una altura de 2 pulgadas.

Figura 9. Medición del diámetro del apio



- **Numero de peciolo de la planta.**

Para determinar el número de tallos primero se determinó con vernier los tallos que sean mayores de un centímetro.

Figura 10. Número de peciolos de la planta



- **Peso fresco de la planta**

Para determinar el peso se necesitó la ayuda de la balanza digital, en la cual cada una de ellas eran medidas desde el cuello de la raíz y toda su parte aérea, siendo la medida utilizada el gramo.

Figura 11. Pesada de la planta del follaje fresco



- **Peso fresco de la raíz de la planta**

Con la ayuda de la balanza electrónica se determinó la medida del peso de la raíz, para determinar el peso y la medida utilizada fue en gramos.

- **Longitud de la raíz de la planta**

Con la ayuda del metro se determinó la medida de la longitud de la raíz, dicha medida estuvo representada en centímetro.

- **Peso fresco de macollo**

El peso fresco consiste en pesar al final de la cosecha la planta sin la raíz, empleando una balanza, después estos resultados se promediaron para obtener gramos/planta, y posteriormente la interpretación en t/ha.

5.10.2. Evaluaciones de factores de económicos

- **Índice de rentabilidad**

El análisis de la evaluación de rentabilidad, se ha realizado en función a los rendimientos obtenidos del cultivo, considerando la productividad por tratamiento.

- **Costo de producción.**

El análisis de costo de producción, se ha realizado en función a los costos indirectos y precios unitarios.

VI. RESULTADO Y DISCUSION

6.1. Densidad del cultivo de apio y características de las plantas

6.1.1. Altura de la planta

Se realizó el análisis para la variable altura de la planta, considerando desde el cuello de la planta hasta la lámina de la planta, (Ver Tabla 4), donde se muestra los rangos de crecimiento con valores que van desde 57.40 cm hasta 66.00 cm siendo el promedio general 60.97 cm.

Tabla 4. Altura de la planta (cm)

TRATAMIENTO		BLOQUES			TOTAL	PROMEDIO
Nº	DENSIDAD	I	II	III		
1	(0.12 m)	65.02	61.50	59.90	186.42	62.14
2	(0.16 m)	62.32	60.60	59.20	182.12	60.71
3	(0.20 m)	60.66	60.40	58.00	179.06	59.69
4	(0.24 m)	66.00	60.60	57.40	184.00	61.33
TOTAL		254.00	243.10	234.50	731.60	243.87
Promedio de bloques		63.50	60.78	58.63	182.90	60.97

Tabla 5. Análisis ANOVA para altura de la planta (cm)

FV	GL	SC	CM	FC	FT 0.05	GS
Replica	2	47.75	23.88	11.07	5.14	*
Tratamiento	3	9.65	3.22	1.49	4.76	ns
Error	6	12.94	2.16			
Total	11					

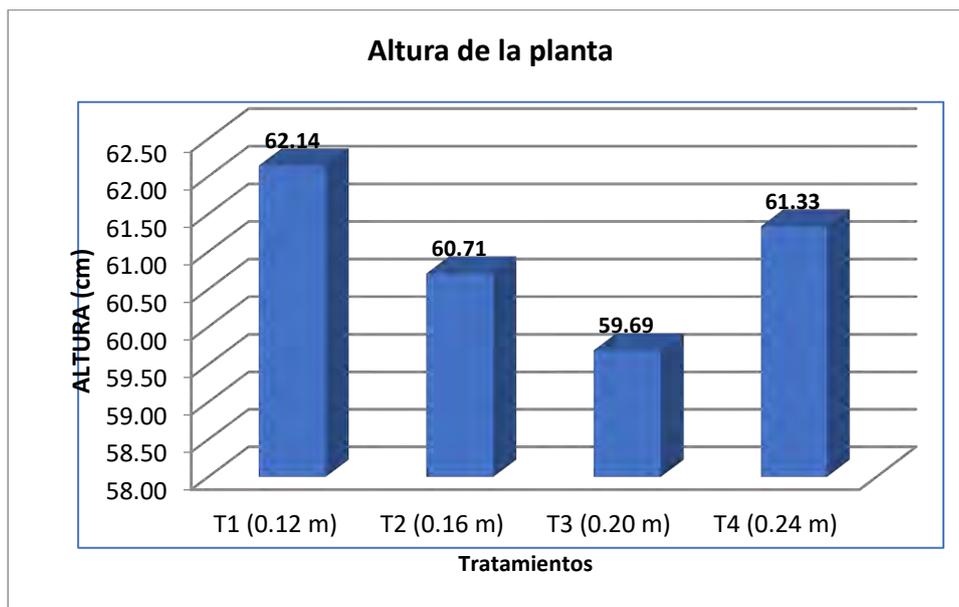
En la tabla 5, el análisis de varianza para altura de planta, muestra que el promedio de los tratamientos no es significativo, donde la F calculada es 1.49, valor menor que la F tabulada al 5% (4.76). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula en la que los promedios de los tratamientos son estadísticamente iguales; por ello no se realiza comparación de medias.

Coefficiente de variabilidad

El coeficiente de variabilidad es 2.41%, cuyo valor se encuentra dentro de los rangos permisibles para este tipo de experimentos.

$$CV\% = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{x}} \quad CV\% = \frac{\sqrt{2.16}}{60.97} \times 100 = 2.41\%$$

Figura 12. Altura de la planta (cm)



Según la figura N° 12, de barras estadísticas para altura de la planta se define que el mejor tratamiento es el T1 (0.12 m), que obtuvo un promedio de 62.14 cm y el menor tratamiento es el T3 (0.20 m), que obtuvo un promedio de 59.69 cm.

6.1.2. Altura del macollo de la planta

Se realizó el análisis para la variable altura del macollo de la planta, considerando desde el cuello de la planta hasta el ápice de lámina foliar, (Ver Tabla 6), donde se muestra los rangos de crecimiento con valores que van desde 4.50 cm hasta 5.72 cm siendo el promedio general 5.09 cm.

Tabla 6. Altura del macollo de la planta (cm)

TRATAMIENTO		BLOQUES			TOTAL	PROMEDIO
N°	DENSIDAD	I	II	III		
1	(0.12 m)	5.18	5.22	4.99	15.40	5.13
2	(0.16 m)	4.70	5.12	5.72	15.54	5.18
3	(0.20 m)	4.70	5.33	5.52	15.56	5.19
4	(0.24 m)	4.99	4.50	5.10	14.59	4.86
TOTAL		19.58	20.17	21.33	61.08	20.36
Promedio de bloques		4.89	5.04	5.33	15.27	5.09

Tabla 7. Análisis ANOVA para altura del macollo de la planta (cm)

FV	GL	SC	CM	FC	FT 0.05	GS
Replica	2	0.40	0.20	1.63	5.14	ns
Tratamiento	3	0.21	0.07	0.58	4.76	ns
Error	6	0.73	0.12			
Total	11					

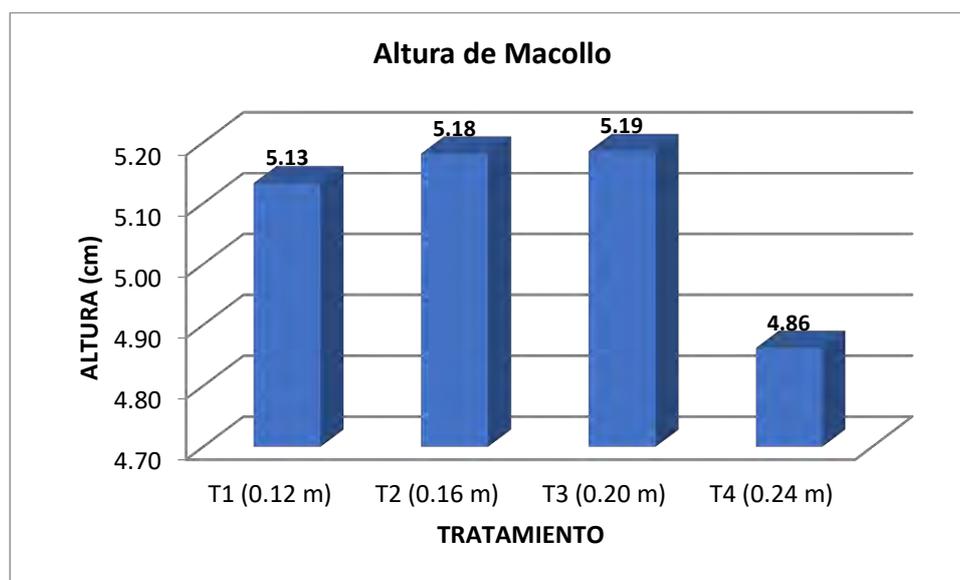
En la Tabla 7, el análisis de varianza para altura del macollo de la planta, muestra que el promedio de los tratamientos no es significativo, donde la F calculada es 0.58, valor menor que la F tabulada al 5% (4.76). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula en la que los promedios de los tratamientos son estadísticamente iguales; por ello no se realiza comparación de medias.

Coefficiente de variabilidad

El coeficiente de variabilidad es 6.88%, cuyo valor se encuentra dentro de los rangos permisibles para este tipo de experimentos.

$$CV\% = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{x}} \quad CV\% = \frac{\sqrt{0.12}}{5.09} \times 100 = 6.88\%$$

Figura 13. Altura del macollo de la planta (cm)



Según la figura 13, de barras estadísticas para altura del macollo de la planta se define que el mejor tratamiento es el T3 (0.20 m), que obtuvo un promedio de 5.19 cm y el menor tratamiento es el T4 (0.24 m), que obtuvo un promedio de 4.86 cm.

6.1.3. Diámetro del macollo de la planta

Se realizó el análisis de varianza para la variable diámetro del macollo de la planta, considerando toda la lámina foliar de la planta, (Ver Tabla 8), donde se muestra los rangos de desarrollo con valores que van desde 5.08 mm hasta 6.42 mm siendo el promedio general 5.72 mm.

Tabla 8. Diámetro del macollo de la planta (mm)

TRATAMIENTO		BLOQUES			TOTAL	PROMEDIO
N°	DENSIDAD	I	II	III		
1	(0.12 m)	5.52	5.42	5.08	16.02	5.34
2	(0.16 m)	5.24	6.42	6.42	18.08	6.03
3	(0.20 m)	5.80	5.60	5.52	16.92	5.64
4	(0.24 m)	6.10	5.53	6.00	17.64	5.88
TOTAL		22.66	22.97	23.03	68.65	22.88
Promedio de bloques		5.66	5.74	5.76	17.16	5.72

Tabla 9. Análisis de ANOVA para diámetro del macollo de la planta (mm)

FV	GL	SC	CM	FC	FT 0.05	GS
Replica	2	0.02	0.01	0.05	5.14	ns
Tratamiento	3	0.81	0.27	1.30	4.76	ns
Error	6	1.24	0.21			
Total	11					

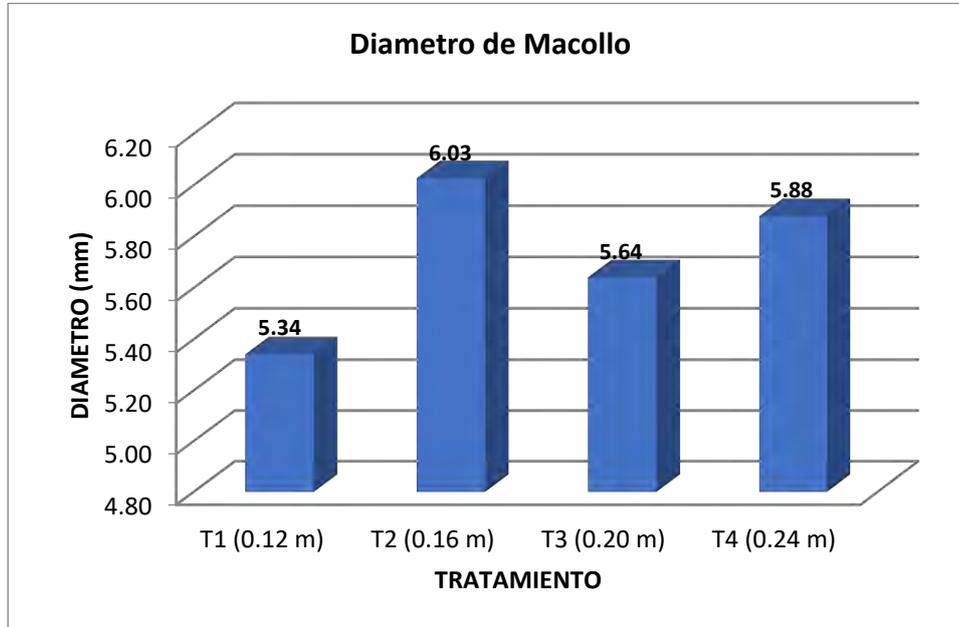
En la Tabla 9, el análisis de varianza para diámetro del macollo de la planta, muestra que el promedio de los tratamientos no es significativo, donde la F calculada es 1.30, valor menor que la F tabulada al 5% (4.76). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula en la que los promedios de los tratamientos son estadísticamente iguales; por ello no se realiza comparación de medias.

Coefficiente de variabilidad

El coeficiente de variabilidad es 7.96%, cuyo valor se encuentra dentro de los rangos permisibles para este tipo de experimentos.

$$CV\% = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{x}} \quad CV\% = \frac{\sqrt{0.21}}{5.72} \times 100 = 7.96\%$$

Figura 14. Diámetro del macollo de la planta (mm)



Según la figura 14, de barras estadísticas para diámetro del macollo de la planta se define que el mejor tratamiento es el T2 (0.16 m), que obtuvo un promedio de 6.03 mm y el menor tratamiento es el T1 (0.12 m), que obtuvo un promedio 5.34 mm.

6.1.4. Numero de tallos de la planta

Se realizó el análisis de varianza para la variable número de tallos de la planta, considerando tallos mayores a 1.00 cm (Ver Tabla 10), donde se muestra los rangos de desarrollo con valores que van desde 8.00 unid/planta hasta 10.60 unid/planta siendo el promedio general 9.23 unid/planta

Tabla 10. Número de tallos por planta (unid/planta)

TRATAMIENTO		BLOQUES			TOTAL	PROMEDIO
N°	DENSIDAD	I	II	III		
1	(0.12 m)	8.00	8.60	8.40	25.00	8.33
2	(0.16 m)	8.20	9.20	10.40	27.80	9.27
3	(0.20 m)	10.60	9.60	9.40	29.60	9.87
4	(0.24 m)	10.20	8.60	9.60	28.40	9.47
TOTAL		37.00	36.00	37.80	110.80	36.93
Promedio de bloques		9.25	9.00	9.45	27.70	9.23

Tabla 11. Análisis de ANOVA para número de tallos por planta (unid/planta)

FV	GL	SC	CM	FC	FT 0.05	GS
Replica	2	0.41	0.20	0.28	5.14	ns
Tratamiento	3	3.80	1.27	1.75	4.76	ns
Error	6	4.34	0.72			
Total	11					

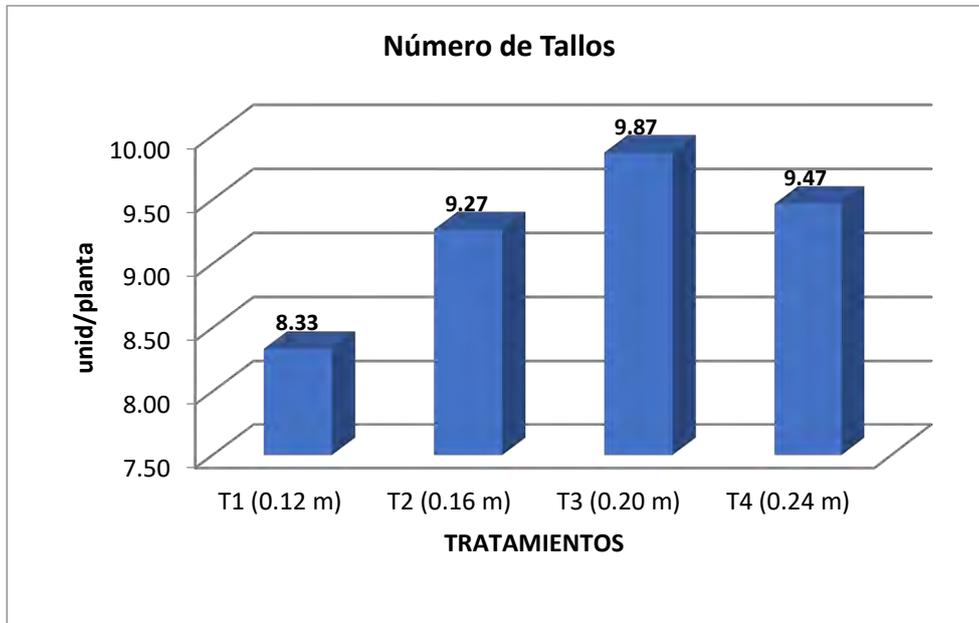
En la Tabla 11, el análisis de varianza para número de tallos por planta, muestra que el promedio de los tratamientos no es significativo, donde la F calculada es 1.75, valor menor que la F tabulada al 5% (4.76). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula en la que los promedios de los tratamientos son estadísticamente iguales; por ello no se realiza comparación de medias.

Coefficiente de variabilidad

El coeficiente de variabilidad es 9.21%, cuyo valor se encuentra dentro de los rangos permisibles para este tipo de experimentos.

$$CV\% = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{x}} \quad CV\% = \frac{\sqrt{0.72}}{9.23} \times 100 = 9.21\%$$

Figura 15. Número de tallos por planta (unid/planta)



Según la figura 15, de barras estadísticas para número de tallos por planta se define que el mejor tratamiento es el T3 (0.20 m), que obtuvo un promedio de 9.87 unid/planta y el menor tratamiento es el T1 (0.12 m), que obtuvo un promedio 8.33 unid/planta

6.1.5. Diámetro del tallo de la planta

Se realizó el análisis de varianza para la variable diámetro de tallos de la planta, considerando todos los tallos de una planta (Ver Tabla 12), donde se muestra los rangos de desarrollo con valores que van desde 0.81 mm hasta 1.07 mm siendo el promedio general 0.98 mm.

Tabla 12. Diámetro de tallos por planta (mm)

TRATAMIENTO		BLOQUES			TOTAL	PROMEDIO
N°	DENSIDAD	I	II	III		
1	(0.12 m)	1.00	1.07	1.01	3.08	1.03
2	(0.16 m)	1.06	0.95	0.89	2.89	0.96
3	(0.20 m)	1.05	0.97	0.95	2.96	0.99
4	(0.24 m)	1.07	0.96	0.81	2.85	0.95
TOTAL		4.17	3.94	3.66	11.78	3.93
Promedio de bloques		1.04	0.99	0.92	2.95	0.98

Tabla 13. Análisis de ANOVA para diámetro de tallos por planta (mm)

FV	GL	SC	CM	FC	FT 0.05	GS
Replica	2	0.03	0.02	4.15	5.14	ns
Tratamiento	3	0.01	0.00	0.86	4.76	ns
Error	6	0.02	0.00			
Total	11					

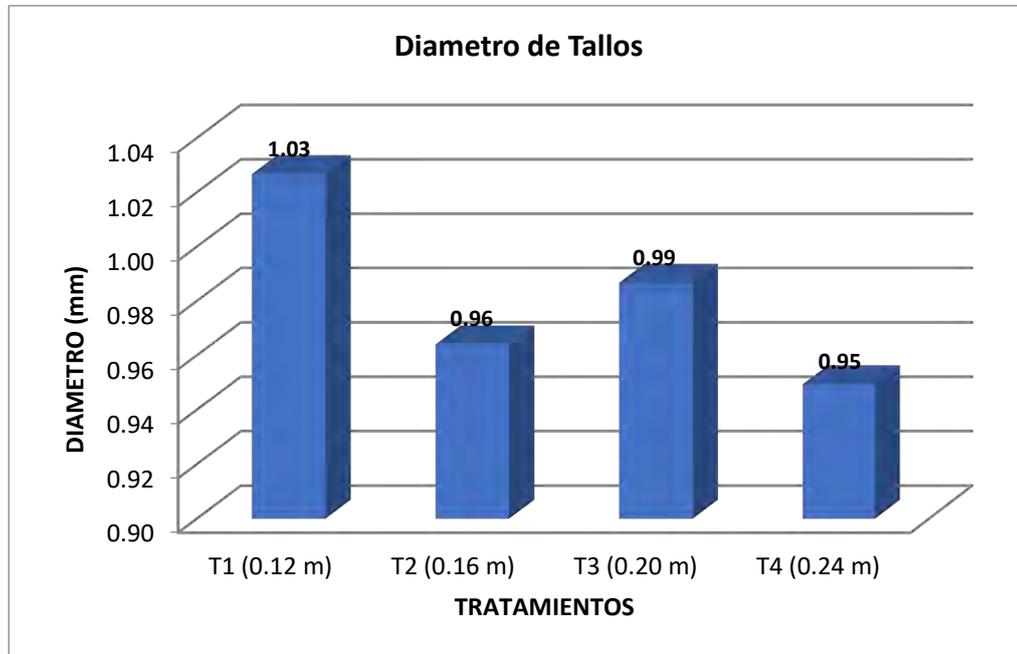
En la Tabla 13, el análisis de varianza para diámetro de tallos por planta, muestra que el promedio de los tratamientos no es significativo, donde la F calculada es 0.86, valor menor que la F tabulada al 5% (4.76). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula en la que los promedios de los tratamientos son estadísticamente iguales; por ello no se realiza comparación de medias.

Coefficiente de variabilidad

El coeficiente de variabilidad es 6.41%, cuyo valor se encuentra dentro de los rangos permisibles para este tipo de experimentos.

$$CV\% = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{x}} \quad CV\% = \frac{\sqrt{0.00}}{0.98} \times 100 = 6.41\%$$

Figura 16. Diámetro de tallos por planta (mm)



Según la figura 16, de barras estadísticas para diámetro de tallos por planta se define que el mejor tratamiento es el T1 (0.12 m), que obtuvo un promedio de 1.03 mm y el menor tratamiento es el T4 (0.24 m), que obtuvo un promedio 0.95 mm.

6.1.6. Peso fresco del macollo de la planta

Se realizó el análisis de varianza para la variable peso fresco del macollo por planta, considerando toda la parte foliar de la planta (Ver Tabla 14), donde se muestra los rangos de desarrollo con valores que van desde 274.84 gr/planta hasta 445.20 gr/planta siendo el promedio general 351.52 gr/planta.

Tabla 14. Peso fresco del macollo por planta (gr/planta)

TRATAMIENTO		BLOQUES			TOTAL	PROMEDIO
N°	DENSIDAD	I	II	III		
1	(0.12 m)	325.20	276.20	274.80	876.20	292.07
2	(0.16 m)	355.60	330.20	380.00	1065.80	355.27
3	(0.20 m)	427.80	330.00	320.80	1078.60	359.53
4	(0.24 m)	445.20	321.00	431.40	1197.60	399.20
TOTAL		1553.80	1257.40	1407.00	4218.20	1406.07
Promedio de bloques		388.45	314.35	351.75	1054.55	351.52

Tabla 15. Análisis de ANOVA fresco del macollo por planta (gr/planta)

FV	GL	SC	CM	FC	FT 0.05	GS
Replica	2	10981.95	5490.97	4.01	5.14	ns
Tratamiento	3	17659.00	5886.33	4.30	4.76	ns
Error	6	8206.85	1367.81			
Total	11					

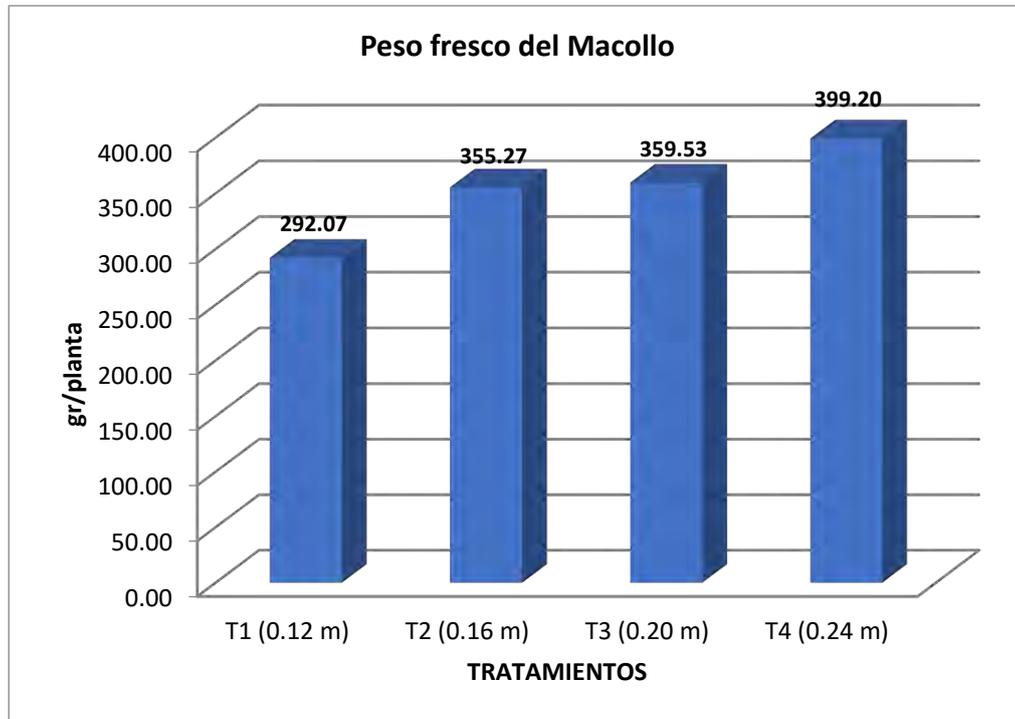
En la tabla 15, el análisis para peso fresco del macollo por planta, muestra que el promedio de los tratamientos no es significativo, donde la F calculada es 4.30, valor menor que la F tabulada al 5% (4.76). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula en la que los promedios de los tratamientos son estadísticamente iguales; por ello no se realiza comparación de medias.

Coefficiente de variabilidad

El coeficiente de variabilidad es 10.52%, cuyo valor se encuentra dentro de los rangos permisibles para este tipo de experimentos.

$$CV\% = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{x}} \quad CV\% = \frac{\sqrt{1367.81}}{351.52} \times 100 = 10.52\%$$

Figura 17. Peso fresco del macollo por planta (mm)



Según la figura 17, de barras estadísticas para peso fresco del macollo por planta se define que el mejor tratamiento es el T4 (0.24 m), que obtuvo un promedio de 399.20 gr/planta y el menor tratamiento es el T1 (0.12 m), que obtuvo un promedio 292.07 gr/planta.

6.1.7. Peso fresco del macollo de la planta

Se realizó el análisis de varianza para la variable peso fresco de la raíz por planta, considerando solo la raíz la parte sumergida al agua (Ver Tabla 16), donde se muestra los rangos de desarrollo con valores que van desde 32.00 gr/planta hasta 43.60 gr/planta siendo el promedio general 38.03 gr/planta.

Tabla 16. Peso fresco de la raíz por planta (gr/planta)

TRATAMIENTO		BLOQUES			TOTAL	PROMEDIO
N°	DENSIDAD	I	II	III		
1	(0.12 m)	35.80	32.40	32.00	100.20	33.40
2	(0.16 m)	37.20	37.80	41.80	116.80	38.93
3	(0.20 m)	39.20	35.60	43.60	118.40	39.47
4	(0.24 m)	40.40	40.80	39.80	121.00	40.33
TOTAL		152.60	146.60	157.20	456.40	152.13
Promedio de bloques		38.15	36.65	39.30	114.10	38.03

Tabla 17. Análisis de ANOVA fresco de la raíz por planta (gr/planta)

FV	GL	SC	CM	FC	FT 0.05	GS
Replica	2	14.13	7.06	1.07	5.14	ns
Tratamiento	3	88.87	29.62	4.48	4.76	ns
Error	6	39.71	6.62			
Total	11					

En la Tabla 17, análisis para peso fresco de la raíz por planta, muestra que el promedio de los tratamientos no es significativo, donde la F calculada es 4.48, valor menor que la F tabulada al 5% (4.76). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula en la que los promedios de los tratamientos son estadísticamente iguales; por ello no se realiza comparación de medias.

Coefficiente de variabilidad

El coeficiente de variabilidad es 6.76%, cuyo valor se encuentra dentro de los rangos permisibles para este tipo de experimentos.

$$CV\% = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{x}} \quad CV\% = \frac{\sqrt{6.62}}{38.03} \times 100 = 6.76\%$$

Figura 18. Peso fresco de la raíz por planta (gr/planta)



Según la figura 18, de barras estadísticas para peso fresco de la raíz por planta se define que el mejor tratamiento es el T4 (0.24 m), que obtuvo un promedio de 40.33 gr/planta y el menor tratamiento es el T1 (0.12 m), que obtuvo un promedio 33.40 gr/planta.

6.1.8. Peso fresco del macollo de la planta

Se realizó el análisis de varianza para la variable longitud de la raíz por planta, considerando solo la raíz solo la parte sumergida al agua (Ver Tabla 18), donde se muestra los rangos de crecimiento con valores que van desde 20.22 cm hasta 22.91 cm siendo el promedio general 21.72 cm.

Tabla 18. Longitud de la raíz por planta (cm)

TRATAMIENTO		BLOQUES			TOTAL	PROMEDIO
N°	DENSIDAD	I	II	III		
1	(0.12 m)	22.80	21.40	22.60	66.80	22.27
2	(0.16 m)	22.39	21.04	21.74	65.17	21.72
3	(0.20 m)	22.91	20.48	22.10	65.49	21.83
4	(0.24 m)	22.64	20.22	20.30	63.16	21.05
TOTAL		90.74	83.14	86.74	260.62	86.87
Promedio de bloques		22.69	20.79	21.69	65.16	21.72

Tabla 19. Análisis de ANOVA longitud de la raíz por planta (cm)

FV	GL	SC	CM	FC	FT 0.05	GS
Replica	2	7.23	3.62	12.98	5.14	*
Tratamiento	3	2.27	0.76	2.71	4.76	ns
Error	6	1.67	0.28			
Total	11					

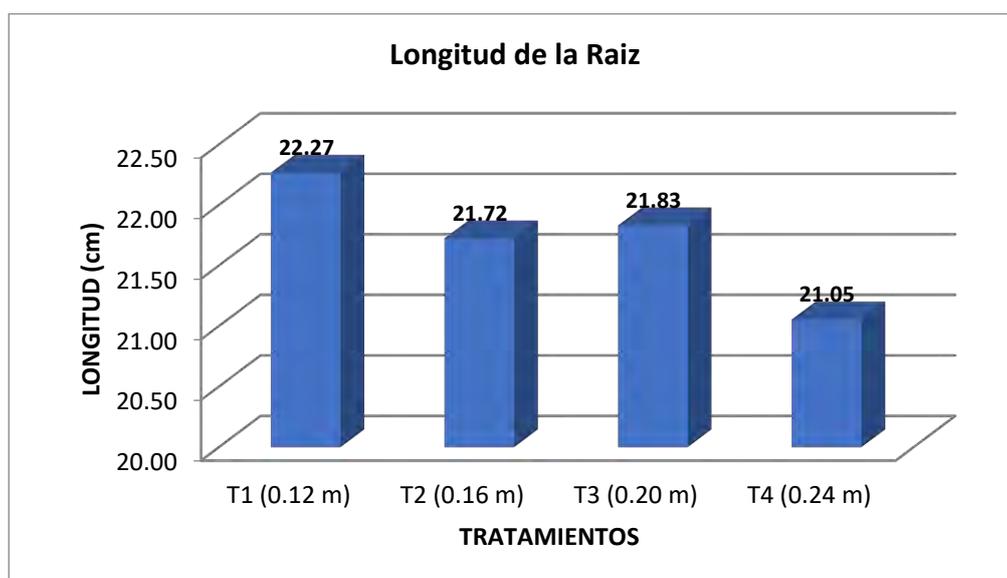
En la tabla 19, análisis de varianza para longitud de la raíz por planta, muestra que el promedio de los tratamientos no es significativo, donde la F calculada es 2.71, valor menor que la F tabulada al 5% (4.76). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula en la que los promedios de los tratamientos son estadísticamente iguales; por ello no se realiza comparación de medias.

Coefficiente de variabilidad

El coeficiente de variabilidad es 2.43%, cuyo valor se encuentra dentro de los rangos permisibles para este tipo de experimentos.

$$CV\% = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{x}} \quad CV\% = \frac{\sqrt{0.28}}{21.72} \times 100 = 2.43\%$$

Figura 19. Longitud de la raíz por planta (cm)



Según la figura 19, de barras estadísticas para longitud de la raíz por planta se define que el mejor tratamiento es el T1 (0.12 m), que obtuvo un promedio de 22.27 cm y el menor tratamiento es el T4 (0.24 m), que obtuvo un promedio 21.05 cm.

6.2. Productividad del cultivo de apio bajo producción hidropónica flotante

Tabla 20. Resultados para la rendimiento del cultivo del apio.

DETALLE	TRATAMIENTOS				Promedio
	T1	T2	T3	T4	
	0.12 m	0.16 m	0.20 m	0.24 m	
N° plantas x tratamiento (m ²)	183,00	138,00	108,00	81,00	127,50
Rendimiento (Kg/m ²)	17,82	16,34	12,94	10,78	14,47
Rendimiento (Tn/ha)	178,16	163,42	129,43	107,78	144,70

En la tabla anterior se aprecia los resultados para la productividad del apio bajo cultivo hidropónico, se tiene que en promedio se produjeron 127,5 plantas por metro cuadrado, destacándose la producción de 183 plantas por m² cuando hay un distanciamiento de 0,12 m, en tanto que con un distanciamiento de 0,24m se obtuvo 81 plantas por m², asimismo el

rendimiento expresado en kg/m² mostró un promedio de 14,47 kg/m², siendo 17,82kg/m² el valor obtenido para un distanciamiento de 0,12kg/m² y 10,78 kg/m² en el caso del distanciamiento de 0,24m².

6.3. Costo de producción del cultivo de apio bajo producción hidropónica flotante

Tabla 21. Costos para el cultivo del apio bajo producción hidropónica

Ítem	Costo Total S/. Para 45.0 m ²	%	Costo total S/. Para m ²	%
Costos Fijos				
Alquiler de Infraestructura	152,20	20,14	3,38	13,29
Servicios de agua y energía	47,55	6,29	1,06	4,15
Sueldos de Personal	270,00	35,72	6,00	23,57
Sub total Fijos	469,75	62,15	10,44	41,01
Costos variables				
Materiales e insumos				
Desinfección de Ambientes	9,37	1,24	0,21	0,82
Plántulas	10,00	1,32	8,88	34,88
Solución Nutritiva	8,27	1,09	0,18	0,72
Solución Hidropónica Estándar (A y B)	140,30	18,56	3,12	12,25
Tratamiento fitosanitario	9,84	1,30	0,22	0,86
Elementos de manejo	38,35	5,07	0,85	3,35
Mantenimiento	40,00	5,29	0,89	3,49
Mano de obra	30,00	3,97	0,67	2,62
Sub total Variables	286,13	37,85	15,02	58,99
COSTO DE PRODUCCIÓN TOTAL (CPT)	755,88	100,00	25,46	100,00

Los resultados para los costos de producción del apio bajo producción hidropónica flotante muestran que en cuanto a costos fijos, en los que están comprendidos el alquiler de la infraestructura, servicios básicos y sueldo de personal, se obtuvo un total de 469.75 soles por los 45m², resultando a 10.44 soles por m²; en cuanto los costos variables en los que figuran los materiales insumos, el mantenimiento y la mano de obra se obtuvo un costo de

286.13 soles por 45m² y 15.02 soles por m². Finalmente, el costo de producción total ascendió a 755.88 soles por 45m² y el 25.46 soles por m².

Tabla 22. Detalle de costos por tratamiento para el cultivo del apio

DETALLE	TRATAMIENTOS				Promedio
	T1 Distanciamiento 0.12	T2 Distanciamiento 0.16	T3 Distanciamiento 0.20	T4 Distanciamiento 0.24	
N° plantas x tratamiento (m ²)	183,00	138,00	108,00	81,00	127,50
Venta de planta	0,50	0,70	0,90	1,10	0,80
Rendimiento (Kg/m ²)	17,82	16,34	12,94	10,78	14,47
Ingreso bruto total (S/.)	91,50	96,60	97,20	89,10	93.60
Costo total (S/.)	80.16	79.04	78.29	77.61	78.78
Beneficio neto (S/.)	11.34	17.56	18.91	11.49	78.78
Rentabilidad (%)	14.14	22.22	24.16	14.80	18.83
RBC	1.14	1.22	1.24	1.15	2,49

En la tabla anterior se aprecian los costos del rendimiento neto para cada uno de los tratamientos realizados, así si bien es cierto el costo total para cada uno de los tratamientos asciende a 78.78 soles por tratamiento promedio, existe una diferencia en cuanto a la inversión por cada sol invertido, de tal manera que para el primer tratamiento se obtuvo un beneficio de 1.14 soles, el segundo 1.22 soles, para el tercero, 1.24 soles y para el cuarto 1.15 soles, por cada sol invertido.

VII. CONCLUSIONES

En base a los resultados objetivos propuestos se concluye que:

1. En la investigación el tratamiento que obtuvo mejor respuesta en rendimiento en peso del macollo, fue el T4 (0.24m), con 399 g/planta y como último lugar para el T1 (0.12m) con 292.07 g/planta, así mismo el rendimiento expresado en kg/m² una mejor respuesta fue el T1 (0.12m), siendo 17,82kg/m² y como último al T4 (0.24m) con el valor de 10,78 kg/m².
2. El tratamiento que mostro una mejor respuesta a las características agronómicas como primer lugar, en altura de planta fue T1 (0.12m) con 62.14 cm, para el diámetro de macollo el T2 (0.16 m) con 6.03 mm, para número de tallos T3 (0.20m) con 9.87 unidad/planta, para el peso fresco de la raíz fue el T4 (0.24m), con 40.33 gr/planta y para la longitud de la raíz fue el T3 llegando a alcanzar 21.83 cm; como último lugar para las características agronómicas fueron en la altura de planta T3 (0.20 m) con 59.69 cm, para el diámetro de macollo fue el T1 (0.12 m) con 5.34 mm, para número de tallos T1 (0.12 m) con 8.33 unidad/planta, para el peso fresco de la raíz fue el T1 (0.12m), con 33.40 gr/planta y la longitud de la raíz fue el T4 (0.24 m)llegando a alcanzar 21.05 cm
3. En cuanto a los costos de producción, se obtuvo una mejor rentabilidad T3 (0.20 m) con 24.16%, un costo de producción de S/. 78.29 por tratamiento, un margen neto de ganancia de S/ 18.91 por tratamiento y en donde por cada sol invertido se recupera 1.24 soles por tratamiento, pero su rentabilidad más baja es en T1 (0.12 m), con un 14.14%, un costo de producción de S/80.16, por tratamiento y un margen neto de ganancia S/11.34, y donde por cada sol invertido se recupera 1.14 soles por tratamiento.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Fomentar la técnica de hidroponía como una alternativa para la producción de apio en las universidades e instituciones, ya que se obtiene rendimientos muy altos en áreas muy reducidas, además es una técnica que ahorra grandes cantidades de agua.
2. Realizar estudios con respecto a las diferentes variedades del cultivo de apio, para conocer su comportamiento agronómico y adaptación en la técnica de hidroponía.
3. Continuar con los trabajos de investigación para determinar el análisis de costos de producción del cultivo de apio, en la técnica de hidroponía comparando con producciones en campo abierto.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Albright, L. (2004). *Lettuce Handbook. Controlled Environment Agriculture*.
http://www.cornellcea.com/Lettuce_Handbook/Introduction.Htm
- Alvarado, D., Chavez, F. y Anna, K. (2001). *Seminario de Agronegocios: Lechugas Hidropónicas*. Universidad del Pacífico.
<http://www.upbusiness.net/upbusiness/docs/mercados/11.pdf>
- Bautista, R. (2000). *Evaluación del rendimiento de cuatro variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) en cultivo hidropónico, utilizando como sustratos área y cascarilla de arroz*. [Tesis de grado, Universidad de Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía]
- Bertsch, F. (1998). *La fertilidad de los suelos y su manejo*. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Casaca, A. (2005). *El cultivo del apio*. San José, Costa Rica, IICA.
- Casseres, E. (1994). *Producción de hortalizas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José - Costa Rica.
- Casseres, E. (1980). *Producción de hortalizas*. 3ed. IICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas). San José Costa Rica. P. 195 – 201.
- Carrillo, C. (2002). *Evaluación de tres densidades y dos arreglos espaciales en producción orgánica hidropónica de apio (Apium graveolens L.)*. [Tesis, Universidad del Salvador]
- Chang, M. (2000). *Manual práctico de hidroponía: sistema de raíz flotante y sistema de sustrato sólido*. Universidad La Molina.
- Choque, D. (2021). *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, Universidad de San Andrés].

https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/25766/T_2855.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Castañeda, F. (1997). *Manual de Cultivos Hidropónicos Populares: Producción de Verduras sin usar la tierra*. Guatemala. INCAP.

Pennigsfeld, F. y Kurzmann, P. (1983). *Cultivos hidropónicos y en turba*. Mundi-Prensa.

Carrasco, G. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT")*. Universidad de Talca.

Calderón F. (2002). *La Solución Nutritiva*.

http://www.drcalderonlabs.com/hidroponicos/La_Solucion_Nutritiva.htm

Devia, J. (1991). Cultivo Hidropónico. *Chile Hortofrutícola* (Chile) 4 (23): 8-10.

Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA). (2002). *Innovación tecnológica. Guía de producción de lechuga: Sistema raíz flotante*.

http://www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga_hidroponica.html

Duran, J. (2000). *El Proyecto Aeroponía. Aeroponic Research*.

<http://www.aeroponic.itlesp/progetto.htm>

Edmond, J; Senn, T; Andrews, F. (1981). *Principios de horticultura*. 3 ed. México, Continental.

Filippetti, V. (2008). *Hidroponía. Nuestra Empresa y La Hidroponía*. Consultora Ambiental (GCA) www.gca.com.

Giacconi, V y Escaff, M. (1999). *Cultivos de Hortalizas*. Santiago, Chile. Universitaria.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2018). *Compendio Estadístico Agrario 2018*. Lima

Marulanda, C. (2003). *Hidroponía Familiar*. Editorial Optigraf.

Maroto, J, Pascal, B. (1991). *El apio, técnicas de cultivo*. Mundi-Prensa

- Ministerio de Agricultura y Riego (MIDAGRI). (2018). *Anuario estadístico de Producción Agrícola 2018*. Lima
- Morgan, L. (2000). *El gran debate: Amonio vs Nitrato*. In: Red hidroponía, La Molina.
<http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin9.htm>.
- Morgan, L. (2001). *¿Se están sofocando las plantas?* In: Red hidroponía, La Molina.
<http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin11.htm>
- Pozo, L. (2018). *Producción hidropónica de Apio (Apium graveolens) y lechuga (Lactuca sativa), inyectando micronanoburbujas en el riego*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina].
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3677>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (FAO-PNUD). (1996). Huerta hidropónica popular: Sustratos o medios de cultivo. *Chile Agrícola*, 21 (215): 137-139.
- Resh, H. M. (2001). *Cultivos hidropónicos: Nuevas técnicas de producción*, 5.a ed revisada y ampliada por Carlos de Juan. Madrid (España), Ediciones Mundi-Prensa, 558p.
- Rodríguez. A. (2004). *Manual Práctico de Hidroponía*, Universidad Nacional Agraria La Molina, Centro de Investigación y Nutrición Mineral. Lima – Perú. p. 84.
- Rodriguez, A., Hoyos, M. Y Chang, M. (1999). Sistema de Cultivo en Columnas. In: Red hidroponía, La Molina.
<http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/boletin1_5/boletin4.htm#articulos>. (7 abr. 2005).
- Rubatzki, V.E., M. Yamaguchi. (1997). *World vegetables. Principales, producción, and nutritive values*. Second Edition, Chapman and Hall, New York, U. S. A. 843p.

- Sendra, N; Alí, S; Tonelli, B; (2011). El cultivo del apio. 14. Disponible en <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/3353/apio%20Open.pdf>
- Sierra, A. (2012). Las sorprendentes propiedades terapéuticas del apio (segunda parte). Disponible en <http://ecoosfera.com/2014/10/insomnio-prueba-estos-jugos>.
- Surec Rabinal; Stevens H. (2017). *Evaluación de tres densidades de siembra en la producción de apio, (Apium graveolens L.), en la Aldea Chirijuyú, Tecpán, Chimaltenango, Guatemala*, C.A. Licenciatura thesis, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Tapia, M. (1993). Cultivos Hidropónicos. In: Barriga, P. y Neira, M. Cultivos no Tradicionales. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. pp: 181-190.
- Terrazas, M. (2000). Efecto de micro-concentraciones de nutrientes bajo técnicas de hidroponía. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad autónoma de Chiguagua, México. 125 p.
- Vigliola, M. (1992). Manual de horticultura. Editorial, Hemisferio Sur. Buenos Aires – Argentina. pp. 81-89.

X. ANEXOS

ANEXO 01: COSTO DE INSTALACIÓN DEL MÓDULO HIDROPÓNICO

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT	
MATERIAL DE CONSTRUCCION PARA INVERNADERO				S/. 2,630.00
AGROFILIM	M2	45	55	S/. 2,475.00
LISTONES DE 2"x2"xm	Unidad	38	3.5	S/. 133.00
CLAVOS DE 3"	Kg	2	4	S/. 8.00
CLAVOS DE 2"	Kg	2.5	4	S/. 10.00
ALAMBRE N°16	Kg	1	4	S/. 4.00
MATERIAL PARA EL MODULO DE SIEMBRA				S/. 632.00
PLASTICO NEGRO	M2	42	4.5	S/. 189.00
MADERA DE 25cmx2"x3m	Unidad	6	10	S/. 60.00
PLANCHAS DE TECNOPOR	Unidad	6	22	S/. 132.00
TUBOS DE AGUA DE 1/2"	Unidad	1	9	S/. 9.00
TUBOS DE AGUA DE 1"	Unidad	1	38	S/. 38.00
SOPLETE DE AIRE	Unidad	1	150	S/. 150.00
VASOS DESCARTABLES	Unidad	600	0.05	S/. 30.00
ESPONJA	M2	3	8	S/. 24.00
INSUMOS AGRICOLAS				S/. 470.00
SOLUCION NUTRITIVA A	Frasco	12	15	S/. 180.00
SOLUCION NUTRITIVA B	Frasco	12	10	S/. 120.00
SEMILLA DE APIO	Lata	1	170	S/. 170.00
COSTO TOTAL				S/. 3,732.00

ANEXOS 02: DATOS DE CAMPO

a) Altura de la planta

- Altura de planta por planta

DIST	ALTURA DE PLANTA										
	BLOQUE I										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	66.0	63.3	66.1	62.3	64.2	69.2	71.5	61.8	63.8	62.0	65.0
0.16	64.5	63.6	64.5	61.0	63.0	59.5	61.1	66.5	60.5	59.0	62.3
0.20	69.8	57.3	61.9	58.6	69.2	56.3	58.0	56.5	60.5	58.5	60.7
0.24	79.8	65.2	69.3	60.1	59.0	76.4	77.2	55.0	58.0	60.0	66.0

DIST	ALTURA DE PLANTA										
	BLOQUE II										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	63.0	62.5	65.6	61.1	60.0	59.8	58.5	62.5	61.5	60.5	61.5
0.16	57.0	62.0	64.3	53.3	63.0	63.4	60.0	62.0	64.5	56.5	60.6
0.20	58.0	63.6	65.3	54.1	54.0	63.3	55.7	66.0	60.5	63.5	60.4
0.24	59.0	57.0	56.2	65.2	52.0	58.9	65.7	63.0	68.5	60.5	60.6

DIST	ALTURA DE PLANTA										
	BLOQUE III										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	53.2	60.3	54.1	55.0	64.5	65.4	61.5	65.0	63.5	56.5	59.9
0.16	55.1	63.3	58.6	55.0	58.1	60.0	60.4	57.5	65.0	59.0	59.2
0.20	54.3	61.0	58.6	53.0	59.0	57.1	61.5	59.5	58.5	57.5	58.0

b) Altura de Macollo

- Altura de macollo por planta

DIST	ALTURA DE MACOLLO										
	BLOQUE I										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	4.9	4.5	5.5	5.2	5.4	5.3	5.8	5.5	4.7	5.1	5.2
0.16	4.2	4.4	4.8	4.4	4.8	5.2	4.3	4.3	5.2	5.6	4.7
0.20	4.3	4.2	4.8	4.3	5.0	5.2	4.6	4.2	5.6	4.9	4.7
0.24	4.0	5.3	5.3	4.9	4.8	4.8	5.1	5.6	5.2	5.1	5.0

DIST	ALTURA DE MACOLLO										
	BLOQUE II										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	6.3	5.4	5.1	4.9	4.3	5.4	5.3	5.2	5.7	4.7	5.2
0.16	5.1	5.1	5.4	5.1	4.6	4.8	5.2	5.9	4.8	5.2	5.1
0.20	5.7	5.3	5.5	4.9	5.2	5.3	5.6	5.0	5.5	5.4	5.3
0.24	4.6	4.9	4.4	4.1	3.8	4.7	4.4	4.6	5.0	4.5	4.5

DIST	ALTURA DE MACOLLO										
	BLOQUE III										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	5.2	4.9	5.2	4.7	5.1	5.1	4.7	5.1	4.9	5.2	5.0
0.16	6.3	4.9	5.9	6.3	5.3	6.1	5.1	6.4	5.6	5.2	5.7
0.20	5.6	5.9	5.3	5.4	5.6	5.4	5.1	5.8	5.8	5.3	5.5
0.24	5.1	5.3	4.9	5.8	4.8	4.7	5.2	5.3	4.8	5.1	5.1

c) **Diámetro de Macollo**

- Diámetro de macollo por planta

DIST	DIAMETRO DE MACOLLO										
	BLOQUE I										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	5.0	4.8	5.7	6.4	5.2	5.5	4.8	6.8	5.6	5.4	5.5
0.16	5.1	4.8	5.2	5.7	5.9	4.6	4.3	5.0	5.6	6.2	5.2
0.20	5.1	5.3	6.1	5.5	6.4	5.8	6.7	6.6	5.5	5.2	5.8
0.24	5.2	6.5	5.9	6.5	5.5	6.2	6.5	7.2	5.5	6.2	6.1

DIST	DIAMETRO DE MACOLLO										
	BLOQUE II										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	5.2	5.1	4.9	5.8	4.9	5.4	5.9	6.4	5.1	5.6	5.4
0.16	6.2	6.5	6.6	6.4	6.8	6.7	5.9	6.4	6.2	6.5	6.4
0.20	5.9	5.1	5.3	5.6	5.0	6.4	5.6	4.9	6.2	6.1	5.6
0.24	4.1	4.8	5.8	5.1	6.3	6.1	5.9	5.8	5.4	6.1	5.5

DIST	DIAMETRO DE MACOLLO										
	BLOQUE III										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	6.0	4.8	5.5	5.1	4.6	5.4	4.3	4.4	5.2	5.5	5.1
0.16	7.1	6.5	6.0	6.1	6.7	6.8	6.4	6.6	5.9	6.1	6.4
0.20	5.6	5.6	4.9	5.4	5.5	6.2	6.0	5.6	5.0	5.5	5.5
0.24	5.9	6.0	6.4	5.6	5.7	6.3	6.6	5.4	6.1	6.1	6.0

d) Numero de tallos.

- Numero de tallos por planta

DIST	NUMERO DE TALLOS										
	BLOQUE I										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	8.0	9.0	8.0	8.0	7.0	8.0	9.0	9.0	7.0	7.0	8
0.16	7.0	9.0	8.0	9.0	8.0	7.0	8.0	9.0	9.0	8.0	8.2
0.20	10.0	9.0	12.0	9.0	11.0	12.0	12.0	10.0	11.0	10.0	10.6
0.24	8.0	12.0	11.0	8.0	12.0	8.0	8.0	14.0	9.0	12.0	10.2

DIST	NUMERO DE TALLOS										
	BLOQUE II										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	8.0	9.0	8.0	7.0	8.0	10.0	9.0	10.0	9.0	8.0	8.6
0.16	9.0	8.0	10.0	9.0	7.0	8.0	11.0	11.0	10.0	9.0	9.2
0.20	10.0	8.0	10.0	11.0	9.0	10.0	9.0	8.0	9.0	12.0	9.6
0.24	7.0	10.0	8.0	9.0	12.0	8.0	8.0	8.0	7.0	9.0	8.6

DIST	NUMERO DE TALLOS										
	BLOQUE III										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	11.0	7.0	8.0	7.0	9.0	11.0	7.0	7.0	9.0	8.0	8.4
0.16	14.0	10.0	12.0	10.0	9.0	11.0	10.0	8.0	11.0	9.0	10.4
0.20	9.0	10.0	9.0	11.0	7.0	10.0	9.0	7.0	12.0	10.0	9.4
0.24	9.0	8.0	12.0	11.0	9.0	8.0	10.0	10.0	10.0	9.0	9.6

e) **Diámetro de Tallos.**

- Diámetro de tallo por planta.

DIST	DIAMETRO DE TALLOS										
	BLOQUE I										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	0.98	1.02	1.00	0.98	1.00	0.99	1.00	1.00	0.95	1.06	1.00
0.16	1.16	1.12	1.01	1.05	1.11	1.00	0.97	1.08	0.98	1.10	1.06
0.20	1.05	0.98	1.02	1.07	1.01	1.15	1.00	0.97	1.15	1.06	1.05
0.24	1.14	1.05	1.15	1.04	1.03	1.09	1.10	1.12	1.00	1.00	1.07

DIST	DIAMETRO DE TALLOS										
	BLOQUE II										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	1.05	1.02	1.11	1.05	1.09	1.07	1.00	1.12	1.15	1.02	1.07
0.16	0.86	0.92	0.98	0.97	0.90	0.94	0.92	0.95	1.02	1.00	0.95
0.20	1.02	0.94	0.91	1.05	0.92	0.98	0.96	0.95	1.00	0.95	0.97
0.24	0.85	0.91	0.97	1.00	0.98	0.95	0.98	1.02	1.00	0.96	0.96

DIST	DIAMETRO DE TALLOS										
	BLOQUE III										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	1.05	1.07	1.03	0.98	1.03	0.96	1.00	1.00	0.98	1.04	1.01
0.16	0.68	0.79	1.02	0.95	0.82	0.86	1.04	0.80	0.92	1.00	0.89
0.20	0.90	0.94	0.91	1.02	0.96	0.90	0.85	1.00	1.00	0.98	0.95
0.24	0.85	0.81	0.84	0.70	0.74	0.78	0.81	0.95	0.84	0.82	0.81

f) **Peso fresco de Macollo.**

- Peso fresco promedio por planta.

DIST	PESO FRESCO DE MACOLLO										
	BLOQUE I										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	335.0	316.0	345.0	330.0	315.0	320.0	314.0	367.0	285.0	325.0	325.2
0.16	387.0	305.0	298.0	360.0	430.0	385.0	287.0	449.0	320.0	335.0	355.6
0.20	478.0	460.0	424.0	405.0	445.0	405.0	442.0	419.0	410.0	390.0	427.8
0.2	626.0	510.0	386.0	480.0	450.0	400.0	471.0	489.0	345.0	295.0	445.2

DIST	PESO FRESCO DE MACOLLO										
	BLOQUE II										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	271.0	240.0	280.0	310.0	188.0	275.0	276.0	322.0	290.0	310.0	276.2
0.16	303.0	360.0	305.0	338.0	282.0	298.0	350.0	356.0	345.0	365.0	330.2
0.20	280.0	352.0	331.0	300.0	328.0	346.0	321.0	369.0	298.0	375.0	330.0
0.2	249.0	275.0	345.0	307.0	325.0	353.0	347.0	325.0	258.0	426.0	321.0

DIST	PESO FRESCO DE MACOLLO										
	BLOQUE III										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	372.0	240.0	289.0	315.0	301.0	229.0	186.0	179.0	327.0	310.0	274.8
0.16	429.0	430.0	360.0	347.0	397.0	366.0	426.0	322.0	380.0	343.0	380.0
0.20	286.0	287.0	369.0	311.0	341.0	296.0	373.0	246.0	343.0	356.0	320.8
0.2	602.0	546.0	389.0	489.0	319.0	414.0	340.0	428.0	375.0	412.0	431.4

g) Peso Fresco de Raíz.

- Peso fresco de raíz promedio por planta

DIST	PESO FRESCO DE RAIZ										
	BLOQUE I										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	40.0	39.0	31.0	28.0	43.0	38.0	24.0	46.0	37.0	32.0	35.8
0.16	47.0	29.0	43.0	37.0	39.0	38.0	23.0	44.0	35.0	37.0	37.2
0.20	42.0	33.0	37.0	45.0	41.0	40.0	35.0	41.0	40.0	38.0	39.2
0.24	42.0	39.0	42.0	41.0	43.0	37.0	39.0	42.0	39.0	40.0	40.4

DIST	PESO FRESCO DE RAIZ										
	BLOQUE II										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	29.0	34.0	35.0	27.0	28.0	29.0	37.0	35.0	32.0	38.0	32.4
0.16	46.0	38.0	41.0	43.0	40.0	36.0	31.0	34.0	31.0	38.0	37.8
0.20	39.0	29.0	34.0	37.0	30.0	38.0	40.0	24.0	48.0	37.0	35.6
0.24	36.0	43.0	33.0	44.0	47.0	45.0	39.0	54.0	29.0	38.0	40.8

DIST	PESO FRESCO DE RAIZ										
	BLOQUE III										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	45.0	38.0	35.0	26.0	29.0	32.0	27.0	26.0	29.0	33.0	32.0
0.16	51.0	40.0	43.0	46.0	42.0	38.0	47.0	37.0	40.0	34.0	41.8
0.20	57.0	35.0	39.0	44.0	45.0	45.0	38.0	36.0	47.0	40.0	42.6
0.24	45.0	34.0	38.0	41.0	42.0	44.0	39.0	43.0	32.0	40.0	39.8

h) Longitud de la Raíz.

- Longitud de raíz por planta

DIST	LONGITUD DE RAIZ										
	BLOQUE I										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	21.0	23.0	24.0	25.5	20.1	21.4	21.0	27.0	20.0	25.0	22.8
0.16	19.7	21.0	22.5	22.9	22.0	23.6	23.6	22.9	22.5	23.3	22.4
0.20	24.8	22.7	22.0	23.9	22.7	23.3	24.2	23.5	21.5	20.6	22.9
0.24	23.0	23.4	22.8	24.7	21.4	20.9	25.5	23.0	21.5	20.2	22.6

DIST	LONGITUD DE RAIZ										
	BLOQUE II										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	24.0	21.0	22.1	22.8	20.0	21.7	19.4	21.0	19.0	23.0	21.4
0.16	22.0	19.7	21.7	20.4	18.0	21.4	22.0	21.5	22.2	21.5	21.0
0.20	19.5	20.3	20.4	21.6	18.5	20.1	20.0	21.5	20.5	22.4	20.5
0.24	21.0	20.4	19.8	21.1	21.0	20.4	19.4	18.0	19.5	21.6	20.2

DIST	LONGITUD DE RAIZ										
	BLOQUE III										Prom
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0.12	21.0	23.4	20.8	24.6	23.9	20.3	25.5	26.0	18.5	22.0	22.6
0.16	25.0	22.8	21.8	20.9	23.8	19.4	25.5	19.5	18.5	20.2	21.7
0.20	24.5	18.9	24.5	20.8	23.4	22.9	17.5	21.0	25.0	22.5	22.1
0.24	19.0	19.1	19.5	21.4	21.4	20.1	20.0	21.0	19.5	22.0	20.3

Costos de producción

COSTO DE PRODUCCION				
Descripcion	Costo Total S/. Para 45.0 m2	%	Costo total S/. Para m2	%
Costos Fijos				
Alquiler de Infraestructura	152.20	20.14	3.38	13.29
Servicios de agua y energia	47.55	6.29	1.06	4.15
Sueldos de Personal	270.00	35.72	6.00	23.57
Sub total Fijos	469.75	62.15	10.44	41.01
Costos variables				
Materiales e insumos				
Desinfección de Ambientes	9.37	1.24	0.21	0.82
Plantulas	10.00	1.32	8.88	34.88
Solución Nutritiva	8.27	1.09	0.18	0.72
Solución Hidroponica Estandar (A y B)	140.30	18.56	3.12	12.25
Tratamiento fitosanitario	9.84	1.30	0.22	0.86
Elementos de manejo	38.35	5.07	0.85	3.35
Mantenimiento	40.00	5.29	0.89	3.49
Mano de obra	30.00	3.97	0.67	2.62
Sub total Variables	286.13	37.85	15.02	58.99
COSTO DE PRODUCCIÓN TOTAL (CPT)	755.88	100.00	25.46	100.00

Números de planta y precio por tratamiento

Tratamientos		Plantas de apio			
N°	Densidades	N° Planta	N° planta x m2	Precio por unidad	Sub total
T1	Distanciamiento 0.12	61.00	183.00	0.50	91.50
T2	Distanciamiento 0.16	46.00	138.00	0.70	96.60
T3	Distanciamiento 0.20	36.00	108.00	0.80	86.40
T4	Distanciamiento 0.24	27.00	81.00	1.00	81.00

Análisis Económico por tratamiento por m2

Tratamientos		Análisis económico por Tratamiento x m2													
N°	Variedad	Cantidad de plantulas	Costos fijos	Costos Variables	Costo total de producción	Ingreso bruto	Beneficio neto	Rentabilidad %	Relacion B/C	Punto de Equilibrio	Costo de producción promedio	Costo variable unitario	Precio Unitario	Utilidad Neta por unidad producción	
T1	Distanciamiento 0.12	183.00	46.98	28.61	75.59	91.50	15.91	21.05	1.21	136.70	0.41	0.16	0.50	1.21	
T2	Distanciamiento 0.16	138.00	46.98	28.61	75.59	96.60	21.01	27.80	1.28	95.35	0.55	0.21	0.70	1.28	
T3	Distanciamiento 0.20	108.00	46.98	28.61	75.59	86.40	10.81	14.30	1.14	87.79	0.70	0.26	0.80	1.14	
T4	Distanciamiento 0.24	81.00	46.98	28.61	75.59	81.00	5.41	7.16	1.07	72.63	0.93	0.35	1.00	1.07	

Rendimiento de planta por tratamiento

DETALLE	TRATAMIENTOS				Promedio
	T1	T2	T3	T4	
	Distanciamiento 0.12	Distanciamiento 0.16	Distanciamiento 0.20	Distanciamiento 0.24	
N° plantas x tratamiento (m2)	183.00	138.00	108.00	81.00	127.50
Venta de planta	0.50	0.70	0.80	1.00	0.75
Rendimiento (Kg/m2)	17.82	16.34	12.94	10.78	14.47
Rendimiento (Tn/ha)	178.16	163.42	129.43	107.78	144.70

ANEXO 03: PANEL FOTOGRAFICO DE LA INVESTIGACIÓN.

Figura 20. Semilla de apio (*Apium graveolens* Var: Golden Self Blanching)



Figura 21. Construcción del módulo del sistema hidropónico flotante



Figura 22. Colocación de los tubos oxigenadores dentro de la cama hidropónica



Figura 23. Incorporando las soluciones nutritivas A y B



Figura 24. Cultivo hidropónico después de 15 días de trasplante



Figura 25. *Cultivo hidropónico después de 35 días de trasplante*



Figura 26. *Medición de la solución a través del conductímetro*



Figura 27. Cultivo hidropónico listo para realizar la cosecha



Figura 28. Cosecha del cultivo de apio



Figura 29. Pesado del cultivo de apio fresco con balanza digital

