

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



**TESIS DE GRADO
EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.)
EN TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS EN SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAIZ
FLOTANTE EN EL MUNICIPIO DE EL ALTO**

SILVIA EUGENIA MAMANI CLEMENTE

La Paz – Bolivia

2021

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

**EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum L.*) EN
TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS EN SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAIZ
FLOTANTE EN EL MUNICIPIO DE EL ALTO**

*Tesis de Grado presentado como requisito
Parcial para optar el título de
Ingeniero Agrónomo*

SILVIA EUGENIA MAMANI CLEMENTE

Asesores:

M.Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta

M.Sc. Juan José Vicente Rojas

Tribunal Examinador:

Ing. Freddy Carlos Mena Herrera

Ing. William Alex Murillo Oporto

Ing. René Calatayud Valdez

APROBADO:

Presidente tribunal Examinador

La Paz – Bolivia

2021



DEDICATORIA:

A:

Padre Dios por brindarme la fuerza para no desistir en la lucha.

Mis padres Moisés y Teodocia, por su inmenso amor, apoyo y la confianza que fueron el pilar fundamental para la culminación de mi carrera profesional.

Mi familia: Tías, primas y primos que de una u otra forma contribuyeron en mi formación.

Mis amigas, amigos y en especial a Milenka y Arantza por su apoyo, compañía y formar parte de mi desarrollo integral con mucho aprecio.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios, por brindarme la vida; así mismo por la fortaleza en este camino.

A mis amados padres por todo el amor, paciencia, tolerancia y la confianza incondicional para concluir este trabajo, puesto que sin ellos esto no hubiese sido posible.

A la Universidad Mayor de San Andrés y la Facultad de Agronomía por ser parte de la formación profesional que me brindaron, a todos los docentes, por haberme transmitido sus conocimientos quienes me guiaron para concluir mis estudios durante estos años.

Mis mayores agradecimientos a mis asesores; Ing.M.Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta y al Ing.M.Sc. Juan José Vicente Rojas por las recomendaciones, las sugerencias las atenciones y los consejos para la correcta realización del presente trabajo.

A los miembros del tribunal revisor: Ing. Williams Alex Murillo Oporto, Ing. Carlos Mena Herrera y al Ing. René Calatayud Valdez por las observaciones y sugerencias exigidas para presentar este trabajo de investigación científica, y así concluir esta etapa de la formación académica.

INDICE DE TEMAS

INDICE DE TEMAS.....	i
INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xi
SUMARY.....	xii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Características agronómicas del cultivo.....	4
3.1.1 Albahaca.....	4
3.1.2 Origen y distribución del cultivo.....	4
3.1.3 Importancia de la albahaca.....	5
3.1.4 Uso tradicional.....	5
3.1.5 Valor nutritivo y composición química.....	5
3.2 Ubicación taxonómica.....	7
3.3 Descripción botánica.....	7
3.3.1 Características botánicas.....	8
3.4 Siembra.....	9
3.5 Variedades de importancia.....	10
3.6 Fenología del cultivo de albahaca.....	11
3.7 Condiciones de crecimiento de la albahaca.....	12

3.7.1	Condiciones agroecológicas del cultivo	12
3.7.1.1	Clima.....	12
3.7.1.2	Luz	13
3.7.1.3	Temperatura	13
3.7.1.4	Humedad relativa.....	14
3.7.2	Densidad de plantación.....	14
3.7.3	Reproducción.....	14
3.7.4	Rendimiento.....	15
3.7.5	Estado actual de la producción de la especie.....	15
3.7.6	Cosecha y pos cosecha	16
3.8	Enfermedades y plagas	16
3.8.1	Enfermedades.....	16
3.8.2	Plagas	17
3.9	Hidroponía.....	17
3.9.1	Sistemas de cultivares hidropónicas.....	18
3.9.1.1	Cultivar técnica de flujo de nutrientes (NFT) horizontal	18
3.9.1.2	Cultivar en sistema DFT (Deep Film Technique)	19
3.9.1.3	Forraje verde hidropónico (FVH).....	19
3.9.1.4	Sustrato inerte.....	19
3.9.1.5	Cultivar raíz flotante	20
3.10	Nutrición vegetal	21
3.10.1	Composición de las plantas	21
3.10.2	Nutrientes.....	22
3.10.3	Nutrientes esenciales y su forma de absorción.....	23
3.10.4	Relación mutua entre aniones y cationes	24

3.10.5	Funciones de los elementos nutritivos en las plantas	25
3.10.6	Movilización de nutrientes	26
3.11	Solución nutritiva.....	27
3.12	Condiciones físicas del sistemas raíz flotante.....	28
3.12.1	Oscuridad para la solución nutritiva	28
3.12.2	Oxigenación radicular	28
3.12.3	Deficiencias del oxígeno	28
3.12.4	Circulación de la solución nutritiva	29
3.12.5	Temperatura de la solución nutritiva	29
3.12.6	Efecto de la temperatura sobre la concentración de oxígeno	30
3.12.7	Alcalinidad o acidez de la solución nutritiva (pH)	30
3.12.8	Efecto del potencial de hidrógeno (pH) en cultivos hidropónicos	30
3.12.9	Conductividad eléctrica	31
3.13	Condiciones químicas del sistema raíz flotante	32
3.13.1	Calidad de agua	32
3.13.2	Duración y renovación de la solución nutritiva	33
3.14	Componentes de un sistema raíz flotante.....	34
3.14.1	Contenedor	34
3.14.2	Germinación de semillas en esponjas poliuretano.....	35
3.15	Solución concentrada René Cabezas.....	35
3.16	Solución concentrada FAO	36
3.17	Solución concentrada Hochmuth	37
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
4.1	LOCALIZACIÓN.....	38
4.1.1	Ubicación geográfica.....	38

4.1.2	Descripción del lugar del estudio	38
4.1.2.1	Clima.....	38
4.1.2.2	Vegetación	39
4.1.2.3	Temperatura	39
4.2	MATERIALES	39
4.2.1	Material biológico	39
4.2.2	Material fertilizante sintético.....	39
4.2.3	Material de fabricación para las piscinas flotantes.....	41
4.2.4	Material de gabinete.....	41
4.2.5	Materiales para la obtención de datos	42
4.2.6	Material de almácigo	43
4.3	METODOLOGÍA	43
4.3.1	Actividades de instalación.....	43
4.3.1.1	Readecuación del área de investigación.....	43
4.3.1.2	Construcción y armado de las piscinas flotantes	43
4.3.1.3	Impermeabilización de las piscinas flotantes	44
4.3.1.4	Perforación del poliestireno (Plastoform)	44
4.3.2	Actividades productivas	44
4.3.2.1	Acondicionamiento del almácigo.....	44
4.3.2.2	Análisis del agua	45
4.3.2.3	Programa hidropónico (Hydro-Buddy).....	45
4.3.2.4	Preparación de las soluciones concentradas.....	45
4.3.2.5	Ubicación de las piscinas flotantes	47
4.3.2.6	Trasplante de las plántulas de albahaca.....	47
4.3.2.7	Control del pH	48

4.3.2.8	Control de la conductividad eléctrica.....	48
4.3.2.9	Refalle.....	49
4.3.2.10	Toma de temperatura.....	49
4.3.2.11	Manejo integrado de plagas (MIP)	49
4.3.2.12	Cosecha.....	50
4.3.2.13	Comercialización.....	50
4.3.3	Procesamiento de datos	50
4.4	Diseño experimental	51
4.4.1	Tipo de investigación	51
4.4.2	Modelo lineal.....	51
4.4.3	Tratamientos en estudio.....	52
4.4.4	Distribución de tratamientos	53
4.4.5	Características del área experimental.....	53
4.4.6	Ubicación gráfica del área experimental	55
4.4.7	Porcentaje de germinación	56
4.5	Variables agronómicas registradas.....	56
4.6	Variables de rendimiento	57
4.7	Transformación de datos	58
5	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	60
5.1	Descripción de temperaturas registradas durante el ciclo del cultivo.....	60
5.2	Descripción de parámetros de la solución nutritiva	61
5.2.1	Comportamiento del (pH) de las soluciones nutritivas	61
5.2.2	Conductividad Eléctrica de las soluciones nutritivas	63
5.3	Descripción de los parámetros de producción	64

5.3.1	Descripción de variables agronómicas durante el crecimiento y desarrollo del cultivo.....	64
5.3.1.1	Porcentaje de germinación	64
5.3.1.2	Número de hojas.....	65
5.3.1.3	Altura de planta.....	67
5.3.1.4	Diámetro de tallo	70
5.3.1.5	Peso en fresco	72
5.3.1.6	Longitud de hoja	76
5.3.1.7	Rendimiento por tratamiento.....	78
5.4	Análisis económico	80
5.4.1	Rendimiento medio por tratamiento	81
5.4.2	Rendimiento ajustado	82
5.4.3	Beneficio bruto de campo	82
5.4.4	Costos variables por tratamiento (CV)	83
5.4.5	Costos fijos (CF)	84
5.4.6	Costos totales de producción.....	84
5.4.7	Beneficio neto por tratamiento	85
5.4.8	Relación beneficio costo	85
6	CONCLUSIONES	87
7	RECOMENDACIONES	88
	ANEXO.....	95

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición nutritiva de la albahaca	6
Cuadro 2. Características para el cultivo de albahaca	12
Cuadro 3. Técnicas hidropónicas	18
Cuadro 4. Elementos esenciales	22
Cuadro 5. Macronutrientes	22
Cuadro 6. Micronutrientes	22
Cuadro 7. Forma de absorción de los nutrientes esenciales.....	24
Cuadro 8. Rangos mínimos y máximos de la relación mutua entre aniones y cationes con base en el porcentaje respecto al total en la solución fertilizante.....	25
Cuadro 9. Valores recomendados de CE y pH de soluciones nutritivas para algunos cultivos hidropónicos	32
Cuadro 10. Solución concentrada Cabezas.....	35
Cuadro 11. Solución concentrada FAO.....	36
Cuadro 12. Solución concentrada Hochmuth.....	37
Cuadro 13. Cantidad de sales en la preparación de la solución nutritiva Cabezas	40
Cuadro 14. Cantidad de sales en la preparación de la solución nutritiva FAO.....	40
Cuadro 15. Cantidad de sales en la preparación de la solución nutritiva Hochmuth.....	41
Cuadro 16. Materiales utilizados para las piscinas flotantes.....	41
Cuadro 17. Materiales para gabinete.....	42
Cuadro 18. Material para la toma de datos.....	42
Cuadro 19. Material utilizado en el proceso de germinación.....	43
Cuadro 20. Descripción de los tratamientos.....	53
Cuadro 21. Dimensiones del área experimental.....	53

Cuadro 22. Porcentaje de germinación de las variedades de semillas de albahaca utilizados en el estudio	66
Cuadro 23. Análisis de la varianza para el número de hojas	68
Cuadro 24. Análisis de varianza para la altura de planta	71
Cuadro 25. Análisis de varianza para el diámetro de tallo	71
Cuadro 26. Análisis de varianza para la variable peso en fresco a la cosecha	73
Cuadro 27. Análisis de varianza para longitud de hoja.....	76
Cuadro 28. Análisis de varianza para el rendimiento por tratamiento a la cosecha de la albahaca.....	78
Cuadro 29. Rendimientos medios ajustados por cada tratamiento	82
Cuadro 30. Rendimientos ajustados por cada tratamiento.....	82
Cuadro 31. Beneficio bruto obtenido por tratamiento	83
Cuadro 32. Costos que varían por tratamiento en las piscinas flotantes	83
Cuadro 33. Costos fijos para la investigación en las piscinas flotantes.....	84
Cuadro 34. Costos de producción por tratamiento en las piscinas flotantes	85
Cuadro 35. Beneficio neto obtenido por tratamiento en las piscinas flotantes	85
Cuadro 36. Relación B/C para producción de albahaca por tratamiento.....	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Requerimientos nutricionales del cultivo mg/l o ppm.....	24
Figura 2. Ubicación geográfica del experimento, Municipio de El Alto, zona Ventilla.....	36
Figura 3. Croquis experimental de los tratamientos en estudio.....	55
Figura 4. Fluctuaciones de temperatura durante el crecimiento y desarrollo del cultivo.....	57
Figura 5. Comportamiento del pH de las soluciones nutritivas.....	62
Figura 6. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de las soluciones nutritivas ...	63
Figura 7. Prueba Duncan para la variable número de hojas	66
Figura 8. Prueba Duncan para la variable altura de planta entre las parcelas con las tres soluciones nutritivas	68
Figura 9. Prueba Duncan para la variable altura de planta entre las tres variedades	69
Figura 10. Prueba Duncan para la variable peso en fresco entre las tres soluciones nutritivas.....	74
Figura 11. Prueba Duncan para la variable peso en fresco entre las variedades	75
Figura 12. Prueba Duncan para la variable longitud de hoja entre las tres variedades..	77
Figura 13. Prueba Duncan para la variable rendimiento por tratamiento entre las soluciones nutritivas	80
Figura 14. Prueba Duncan para la variable rendimiento por tratamiento entre las variedades.....	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Registro de datos	91
Anexo2.Cálculos de costos de producción.....	97
Anexo 3. Archivo fotográfico	106
Anexo 4. Análisis Química-Física del Agua (IBTEN)	110

RESUMEN

En la actualidad el crecimiento de la población y la escasez de agua para riego, demanda cubrir las necesidades del mercado incursionando nuevas técnicas hidropónicas como raíz flotante apropiadas para la producción de cultivos de hojas con el fin de obtener plantines con características resistentes a climas adversos las cuales posteriormente se espera su adaptación.

El presente estudio se realizó en predios de la Asociación de Productores de Animales Menores y Hortalizas APRODAMH, del Municipio de El Alto, ubicado en la zona de Ventilla a una altitud de 3870 m.s.n.m., en una superficie atemperado de 12 m² con el objetivo de cual el efecto de tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum L.*), en tres soluciones nutritivas en sistema hidropónico de raíz flotante en el Municipio de El Alto.

El diseño que se utilizó para el estudio fue parcelas divididas con diseño completamente al azar con dos parcelas, tres repeticiones y nueve tratamientos. Factor A: soluciones (Cabezas, FAO y Hochmuth) como parcela mayor y Factor B: variedades (Americana, Sucre y Superbo) parcela menor. La técnica de siembra empleada fue por trasplante directo de las esponjas de poliuretano en la cual se realizó la germinación.

Dentro de los resultados obtenidos los más relevantes dentro de las variables agronómicas fue el tratamiento 1 (T1) Solución Cabezas en la variedad americana la cual presentó las mejores características agronómicas como altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco a la cosecha y el rendimiento.

En cuantos al análisis económico parcial realizado, estableció que el T1 (Solución Cabezas con la variedad Americana) presentó la mejor opción de producción con una relación B/C de 2,02 Bs/m²; en el T8 (Solución Hochmuth con la variedad Sucre) con una relación B/C de 0,79 Bs/m² siendo el tratamiento con menor rentabilidad.

SUMMARY

At present, the growth of the population and the scarcity of water for irrigation, demand to meet the needs of the market by entering new hydroponic techniques such as floating roots appropriate for the production of leaf crops in order to obtain seedlings with characteristics resistant to adverse climates. which later its adaptation is expected.

The present study was carried out in properties of the Association of Producers of Minor Animals and Vegetables APRODAMH, of the Municipality of El Alto, located in the Ventilla area at an altitude of 3870 meters above sea level, in a tempered area of 12 m² with the objective of which the effect of three varieties of basil (*Ocimum basilicum* L.), in three nutritive solutions in a floating root hydroponic system in the Municipality of El Alto.

The design used for the study was divided plots with a completely randomized design with two plots, three replications and nine treatments. Factor A: solutions (Cabezas, FAO and Hochmuth) as the largest plot and Factor B: varieties (Americana, Sucre and Superbo) as the smallest plot. The sowing technique used was by direct transplantation of the polyurethane sponges in which the germination was carried out.

Among the results obtained, the most relevant within the agronomic variables was treatment 1 (T1) Solution Heads in the American variety which presented the best agronomic characteristics such as plant height, stem diameter, fresh weight at harvest and yield.

Regarding the partial economic analysis carried out, it was established that T1 (Solution Heads with the American variety) presented the best production option with a B / C ratio of 2.02 Bs/m²; in T8 (Hochmuth solution with the Sucre variety) with a B / C ratio of 0.9 Bs/m², being the treatment with the lowest profitability.

1. INTRODUCCIÓN

El municipio de El Alto posee una limitada capacidad de producción agrícola y en específico en el área hortícola debido justamente a las condiciones climáticas, la ubicación geográfica y los bajos recursos que tienen las familias migrantes del área rural. Así mismo el uso del agua para la producción es primordial y en los últimos años se presenta una escasez de este recurso, por lo cual el área agrícola busca alternativas de producción que permitan mejorar los rendimientos de producción en diferentes pisos geográficos.

La presión por el incremento de la población, los cambios en el clima, la erosión del suelo, la falta y contaminación de las aguas, son algunos de los factores que han influenciado la búsqueda de métodos alternos de producción de alimentos (Delfín, 2001).

La Asociación de Productoras de Animales Menores y Hortalizas (APRODAMH), la cual nace en el 2006 fruto de programas realizados con apoyo de financiero de España. Es una asociación conformada en su mayoría por mujeres madres de familia, productoras del sector del municipio de El Alto, zona periférica que se caracteriza por su índice de pobreza alrededor del 90%. Acoge a familias migrantes numerosas de 4 a 6 hijos, provenientes de áreas rurales, con escasa preparación laboral, por lo que es difícil que encuentren algún trabajo (Proyecto de Agricultura Urbana El Alto-Bolivia, 2010).

En nuestro contexto, la agricultura urbana es una práctica que se realiza en la periferia de la ciudad con el cultivo de hortalizas en invernaderos, ya que los meses de junio, julio y agosto son muy fríos y secos, por lo cual no se puede tener ningún cultivo en la intemperie. Mencionado lo anterior, en regiones cálidas se siembra la albahaca solamente en macetas como repelente y aromatizante, por lo cual no se tiene información sobre su producción y exportación masiva y es necesario realizar estudios para determinar el rendimiento en regiones del Altiplano.

La albahaca (*Ocimum basilicum L.*), es una especie hortícola aromática de crecimiento rápido tanto en sistemas hidropónicos como en tierra, con un amplio rango de

tolerancia ambiental, y que se emplea como ingrediente en medicina tradicional, aromaterapia y en la preparación de alimentos (Nelson, 2005). La albahaca es una planta herbácea, mide de 20-60 cm de largo y puede alcanzar hasta 1.0 m de altura, posee tallos cuadrangulares o pubescentes, ramas peludas de forma triangular, redonda o irregular, con flores de color negro-púrpura (Blank, 2004).

Una de las técnicas hidropónicas que se adapta muy bien a las huertas familiares es la metodología de raíz flotante, en donde los cultivos no requieren un sustrato sólido, las raíces están sumergidas directamente en la solución nutritiva. Se utiliza de estereofón a las que se les perforan agujeros en donde se asienta la planta, y luego se pone a flotar sobre la solución nutritiva, la cual debe ser aireada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces (Guzmán, 2004).

La siguiente investigación permitirá evaluar el comportamiento de tres soluciones nutritivas sobre las tres variedades del cultivo de albahaca, optimizando el manejo adecuado durante todo su ciclo de cultivo, de esta manera obtener un protocolo adecuado para mejores rendimientos y un aporte en beneficio de los sistemas hidropónicos.

1.1. ANTECEDENTES

(Pandales y Santos, 2017), en su trabajo avaluó el desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) bajo condiciones de invernadero. La especie de pez utilizada fue la tilapia roja (*Oreochromis sp.*), con una biomasa de inicial de 57,8 kg y una densidad de 7,2 kg/m³, con un diseño experimental de bloques interpretado con 3 tratamientos y 6 repeticiones. La producción de biomasa de albahaca en fresco estuvo muy por encima comparada con la producción de cultivos en suelo según lo reportado en literatura, la tilapia presentó altos porcentajes de sobrevivencia. De acuerdo a los resultados la variedad Genovese muestra un mejor rendimiento de 2504,4 g/m², seguido de la variedad Tailandesa que obtuvo un peso de 1698 g/ m² y la Dark Opal un menor rendimiento de 1203,6 g/ m².

(Quipo, 2016), en el resumen de trabajo de investigación realizado en el Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA) de la Facultad de Ciencias Agrarias de la

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), cuyos objetivos específicos fueron: Determinar el rendimiento (peso fresco de las hojas, número de hojas y peso de materia seca de la planta) y comportamiento agronómico (altura de planta, longitud y ancho de la hoja, longitud del pecíolo) de dos especies de espinaca en cultivo hidropónico de raíz flotante por efecto de tres dosis de soluciones nutritivas. En el experimento utilizó el diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). El análisis de los resultados fue realizado mediante un análisis de varianza y la prueba de significancia Tukey y llegó a la conclusión que el **Híbrido Dash * 6 ml A+3 ml B/litro de agua**, en peso fresco de las hojas con 203.00 g/planta (94.73 t/ha), en materia seca de las hojas con 49.00 g/planta (22.87 t/ha) y en número de hojas con 33.00 hojas/planta; fue mejor que la **Variedad Viroflay *Sin Solución Hidropónica**, en peso fresco de las hojas con 38.00 g/planta (17.73 t/ha), en materia seca con 3.00 g/planta (1.40 t/ha) y en número de hojas con 11.00 hojas /planta. El Híbrido Dash *6 ml A+3 ml B/litro de agua, en altura de planta con 42.00 cm, en longitud de la hoja con 34.67 cm, en ancho de la hoja con 15.67 cm, en longitud del pecíolo con 16.33 cm; fue mejor que la **Variedad Viroflay *Sin Solución Hidropónica**, en altura de planta con 12,67 cm.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) en tres soluciones nutritivas en sistema hidropónico de raíz flotante en el municipio de El Alto.

2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de las tres soluciones nutritivas sobre las tres variedades agronómicas del cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum L.*).
- Determinar las variables de rendimiento de tres variedades de albahaca bajo tres soluciones nutritivas en sistema raíz flotante.
- Realizar el análisis económico y costos parciales de la producción hidropónica de tres variedades y tres soluciones nutritivas.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Características agronómicas del cultivo

3.1.1. Albahaca

Bareño (2006) indica que la albahaca aparte de sus evidentes virtudes en la cocina, es una planta que se ha usado para curar muchas dolencias. Por su alto contenido en aceites esenciales, como el cineol y linalol, tanto en las hojas como en las flores, se ha usado como estimulante y antiespasmódico, recomendable en las molestias digestivas y para favorecer la secreción láctea, en la parte agrícola el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Alimentario (IMIDA), ha desarrollado un insecticida natural procedente de los aceites esenciales de albahaca, una aplicación popular muy extendida es colocar macetas o matas de albahaca en huertos y terrazas como insecticida, ya que su color intenso y dulce repele a los insectos, por lo que es merecedora de gran difusión mediante sistemas de producción controlados, para su introducción al mercado interno, y con vistas de exportar a los mercados internacionales con gran demanda de este producto.

Kintzios y Makri (2007) indican que la albahaca se utiliza con fines culinarios para aromatizar los alimentos, además posee propiedades medicinales y dentro de la agricultura se ha demostrado que contiene componentes biológicamente activos que actúan como insecticida, nematocida, fungistático y antimicrobiano.

3.1.2. Origen y distribución del cultivo

Es originaria de Persia y Asia Menor, su cultivo se ha extendido por las regiones templadas, sobre todo los países de la cuenca mediterránea. El nombre se deriva de la palabra griega okimon, oloroso, en alusión a la fragancia de sus hojas. El nombre científico proviene de la palabra basilikon, real o regio, expresando su carácter principal (Vega et al, 2012).

La albahaca (*Ocimum basilicum L.*) es una planta originaria de Asia Meridional, que pertenece a la familia de las Lamiaceae. Se reportan de 50 a 60 variedades de *Ocimum* (Barroso et al. 2002). Dentro de las especies de albahaca más importantes se encuentran: la albahaca morada (*Ocimum basilicum purpurascens*), la albahaca limón

(*Ocimum basilicum odoratum*) y la albahaca dulce (*Ocimum basilicum*) que es la más utilizada en campo por los productores según Kintzios y Makri (2007).

Briseño, Aguilar, y Villegas, (2013) sostienen que la planta de albahaca es originaria de la India. Es la planta sagrada de Vishnu, hace muchísimos años llegó a los pueblos mediterráneos y de ahí su gran utilización en Grecia, en la Provenza Francesa y en Italia. La trajeron primero los griegos y luego los romanos, en el antiguo Egipto la utilización en el proceso de momificación.

3.1.3. Importancia de la albahaca

El Departamento de Ciencias Vegetales (2009) señala que, por su intenso aroma y sabor, esta planta es ampliamente utilizada como fresca, en ensaladas, en la preparación del *pesto*, o como condimento en todo tipo de platos; en nuestro país es ingrediente obligado de varios guisos propios de la temporada. También es conocida como albahaca dulce, como una hierba medicinal. Es uno de los productos más importantes en este tipo de hierbas de olor o medicinales, siendo España, Italia, Francia, Egipto y México.

3.1.4. Uso tradicional

Barroso (2002), indica que la albahaca es considerada estimulante tónico, carminativo, febrífugo, expectorante, diurético, digestivo, laxante, vermífugo, analgésico, antibacterial, antidiarreico, antiemético, antiespasmódico, sedante ayuda en el parto, calmante de las picaduras de los insectos, también se le atribuyen propiedades afrodisiacas. Así mismo es considerada para ahuyentar a los mosquitos, por lo que se siembra cerca de las ventanas.

3.1.5. Valor nutritivo y composición química

Los componentes más importantes del aroma son el 1,8- cineol, linalol, citral, metilchavicol (estragol), eugenol y metilcinamato. Las especies africanas contienen a menudo alcanfor. Otros monoterpenos (ocimeno, geraniol, alcanfor), sesquiterpenos (bisaboleno, caryofileno) y fenilpropanoides (metil-eugenol) pueden estar presentes en cantidades variables e influyen fuertemente el sabor (Méndez, 2013).

Los compuestos activos de la albahaca tienen propiedades insecticidas, nematocidas y antimicrobianas, así mismo se usa como base de fragancias, champus, lociones, licores y aperitivos (Smirnova y Samoiloa, 2012).

USDA (2010) menciona que la composición nutritiva de 100 g de producto comestible de albahaca, con bajo contenido de lípidos, un alto contenido de minerales (Calcio y Hierro) y vitaminas necesarias para la dieta humana, lo convierten en un producto con alto contenido energético; los valores se registran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 1. Composición nutritiva de la albahaca 100 g

Factor / Nutriente	Contenido	Unidad
Energía	23,00	Kcal
Proteína	3,15	G
Lípidos	0,64	G
Vitaminas A	264,00	mcg
Tiamina	0,034	Mg
Riboflaviana	0,076	Mg
Niacina	0,0902	Mg
Folato	68,00	mcg
Manganeso	1.148	Mg
Ceniza	1.49	g
Calcio	177,00	mg
Hierro	3,17	mg
Carbohidratos	2.65	g
Vitamina C	18.0	mg

Fuente: USDA, (2010)

3.2. Ubicación taxonómica

La clasificación taxonómica de la albahaca se presenta a continuación según Flores y Vilcapoma (2003).

Orden:	Lamiales
Familia:	Lamiaceae
Tribu:	Ocimeae
Género:	Ocimum
Especie:	<i>Ocimum basilicum</i> L.

3.3. Descripción botánica

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una planta aromática y medicinal. Herbácea, anual de tallos erectos y ramificados, frondosa. Las hojas de 2 cm, suaves, oblongas, opuestas, pecioladas, aovadas, lanceoladas y ligeramente dentadas. Las flores son blancas, dispuestas en espigas alargadas, en la parte superior del tallo o en los extremos de las ramas (Vega et al., 2012). Se puede cultivar a pleno sol o a media sombra, pero no resiste heladas. Es una planta anual perteneciente a la familia de las labiadas. Se encuentra en forma silvestre en las regiones tropicales y subtropicales y se cultiva principalmente como hierba culinaria (Cuenca Rural, 2003).

Por otra Muñoz (2002) citado por Briseño, Aguilar y Villegas (2013), la describe como una planta herbácea, anual; de tallos erectos y ramificados, que alcanzan de 30 a 50 cm de altura. Las hojas de 2 a 5 cm son opuestas pecioladas, aovadas, lanceoladas y ligeramente dentadas. Las flores son blancas o ligeramente purpúreas, dispuesta en espigas alargadas. Axilares en la parte superior del tallo o en los extremos de la rama. El fruto está formado por cuatro aquenios pequeños y lisos.

Ocimum basilicum o también llamada la albahaca blanca tiene su origen en zonas tropicales de África y América. Es una hierba aromática que se cultiva en todo el mundo. Su hábitat se caracteriza por ser terrenos cultivados, terrenos propensos a inundaciones y pastizales. El grupo *Basilicum* está representada por plantas perennes y anuales, con semillas negras, mucilaginosas y elipsoidales. Tienen número básico

de cromosomas $n=12$. Posee una raíz ramificada y hojas opuestas con forma ovalada y un borde liso de color verde. Se caracteriza por tener un pecíolo coroto y flores blanquecinas bisexuales agrupadas entre 8-10 por inflorescencia (Paton y Harley, 1999).

3.3.1. Características Botánicas

Enciso (2004) señala que la albahaca es una planta con característica aromática:

-Planta anual, la propagación se hace a través de semillas, en siembra directa, almácigo y por esquejes. Es una planta aromática medicinal que llega a alcanzar de 30 a 50^o cm de altura.

-Raíz, primaria relativamente delgada, vellosa con pelos largos y finos.

-Tallo, erecto y ramificados, redondeados por debajo y cuadrangulares por arriba, y con una pelusilla recubriendo su superficie

La albahaca es una planta herbácea, mide de 20 a 60 cm de largo y puede alcanzar hasta 1m de altura, posee tallos cuadrangulares o pubescentes, ramas peludas de forma triangular, redonda o irregular (Blank, 2004).

-Ramas, robustas o delgadas, abiertas o cerradas, sub leñosas o no, pelosas, erectas o ascendentes, que las mismas terminan algunas veces a la misma altura.

-Hojas, las hojas de 2 a 5 cm, suaves, oblongas, opuestas, pecioladas, lanceoladas y ligeramente dentadas, enteras o acerradas en la mitad superior, agudas o acuminadas, glabras o con pelos sobre los bordes y los nervios inferiores, con el haz más oscuro que el envés y muy aromáticas.

Son los órganos económicos de la planta ya que son las portadoras de tricomas y glándulas donde se sintetizan los aceites esenciales (Ozcan y Chalchat, 2005).

-Flor e inflorescencia, las flores son agrupadas y blancas, dispuestas en espigas alargadas, asilares en la parte superior del tallo o en los extremos de las ramas.

Según Fenech (2008) indica que las flores de la albahaca son agrupadas en espiga de verticilos poco densos formados por seis flores cada uno, con cáliz pentalobular con el

margen ciliado, corola de hasta 1 cm. Las flores pueden ser blancas o rosadas, con los estambres blancos y labio superior cuadrilobulado e inferior entero.

-Semilla, formado por cuatro nuececillas semejantes a aquenios lisas y ovoides, de tamaño pequeño que oscilan de 2 mm de largo a 1 mm de ancho de color negro brillante.

Las semillas, de forma ovoide, están formadas por cuatro aquenios pequeños (tetraquenios), lisos, indehiscentes y con el pericarpio separado del tegumento de la semilla. La semilla es dura, pequeña y está envuelta en una sustancia mucilaginosa que se hincha en contacto con el agua (Ozcan y Chalchat, 2005).

Para el mercado tipo exportación se comercializa en presentaciones de 12 ramilletes de 42 g o 24 ramilletes de 21 g depositados en caja corrugados de cartón con capacidad para 10 Lb (Asofruhocol, 2007). El mercado a nivel nacional está destinado al consumo en fresco, en la culinaria y en el uso farmacéutico, la producción de hierbas aromáticas en el país para el año 2008 fue de 1,200 ha, donde se produjeron cerca de 3,300 ton (Barrientos et al., 2012).

3.4. Siembra

Gutierrez (2007) indica que la propagación es por semillas poco enterradas, que necesita buena luz para germinar, conservan su poder germinativo hasta 5 años. Mejor sembraría después del invierno. En semillero se protege con paja o un cristal. Si sembramos las semillas a pleno campo lo haremos a finales de abril y mayo. Trasplantar cuando tengan 10 cm de altura, aproximadamente a los 40 días de su nacimiento preferiblemente en día nublado a la caída de la tarde, humedeciendo el terreno antes del trasplante. También trasplantarlas a macetas.

Méndez (2013), sugiere realizar el trasplante preferentemente de marzo a abril o bien septiembre a octubre. Es más conveniente sembrar en terreno seco, en forma manual y mateado; depositar la semilla a 2 cm de profundidad y utilizar 1,5 kg de semillas por hectárea, para dejar sobre el terreno 4 a 5 plantas/m, con una población de 60-62 mil plantas/ha. Otra alternativa para la siembra es realizar un almácigo, y posteriormente

trasplantas alrededor de los 25 días después de la siembra. También se sugiere sembrar en charolas de polietileno para más plántulas.

3.5. Variedades de importancia

El género *Ocimum* está representado por más de 150 especies y tiene una amplia distribución geográfica por todas las regiones de clima tropical y subtropical, por lo que presenta variaciones en sus características morfológicas, tales como el hábito de crecimiento, color de las hojas, tamaño, forma y composición aromática (Kintzios y Makri, 2007). Algunas de estas especies son *O. gratissimum*, *O. basilicum*, *O. americanus* y *O. tenuiflorum* (Marotti et al., 1996).

Existen 40 variedades de albahaca, según Briseño (2013), las más conocidas son:

- Albahaca anís (*Ocimum basilicum var. anise*): sabe a anís un poco amargo. Se usa en el Sudeste Asiático.
- Albahaca africana (*Ocimum basilicum african blue*): sabe a pimienta y regaliz; se usa con verduras, platos de arroz y guisos.
- Albahaca alcanforada (*Ocimum kilimandscharicum L.*): sabe a fuerte a alcanfor y se combina con otras, por ejemplo, con el anís
- Albahaca canela (*Ocimum basilicum cinnamom*): sabe a dulce, se lleva muy bien con las alubias.
- Albahaca cítrica (*Ocimum x citriodorum*): sabe a limón. Se usa en ensaladas y pescados.
- Albahaca común (*Ocimum basilicum L.*): sabe a clavo un poco picante y con un deje de regaliz y menta. Es la más usada, para todo occidente.
- Albahaca crespita (*Ocimum basilicum, var. crispum*): sabe igual que la común y como tiene las hojas grandes, se usan para envolver comida en ellas.
- Albahaca de hoja pequeña (*Ocimum basilicum, var. minimum*): huelen mucho a pimienta. Va muy bien con cereales y con el arroz.
- Albahaca tailandesa (*Ocimum tenuiflorum L.*): sabe a anís y a pimienta. Se usa en la cocina tailandesa.
- Albahaca tulsi (*Ocimum sanctum L.*): sabe a clavo, pimienta, un poco amarga. Se usa en cocina orientales.

- Albahaca violeta (*Ocimum basilicum*, var. *purpurascens*): deja un color rosado en la comida. Es ideal para las salsas de cremas y en las ensaladas verdes.

Sáenz (2006) citado por Méndez (2013) y Fenech (2008), señala que la albahaca Nufar presenta un ciclo de vida: de 5 q 6 meses. Tipo de siembra: Trasplante o siembra directa. Tiempo de Trasplante: de los 28 a los 30 días, Primer corte apical: 24 días después del trasplante (planta con tres entrenudos). Período de reposo: 2 semanas. Cortes ciclados: cada 5 a 7 días dependiendo del desarrollo. Número de cortes: 16 (Promedio del ciclo productivo).

Inicio de cosecha: de 45 a 60 días después del trasplante. Duración de cosecha: de 12 a 16 semanas. Topología: 60 cm entre surcos y 30 cm entre plantas.

Densidad de siembra de 60.000 a 80.000 plantas por hectárea. Rendimiento promedio: 80 g/m² por corte. Tasa de crecimiento: 2,5 cm por día. Número de semillas por gramo: de 1000 a 700. Adaptabilidad: amplia de 0 a 2000 m.s.n.m. mejor adaptación: de los 1200 a 1800 m.s.n.m. (Sáenz, 2006).

3.6. Fenología del cultivo de la albahaca

Los estudios fenológicos resultan de gran utilidad en el manejo agrícola de los cultivos pues brindan la posibilidad de conocer las necesidades en cada etapa de desarrollo (Cruz et al., 2005). A pesar de ser la albahaca un cultivo relativamente poco conocido se ha realizado recientemente en Cuba, un estudio fenológico de la especie, informándose la fenología del cultivo (Barroso, 2002).

- Siembra, emergencia de la superficie del suelo.
- Emisión del primer par de hojas verdaderas.
- Emisión del primer par de brotes axilares.
- Aparición de las inflorescencias en el ápice del tallo.
- Aparición de las inflorescencias en el ápice del tallo.
- Aparición de las inflorescencias laterales.
- Inicio de la senescencia en el primer par de hojas.

Destacándose que el ciclo biológico es de 76 días en la siembra de enero y 60 días en la siembra de abril, lo que se debe al efecto de la mayor temperatura en este último que provoca un crecimiento más rápido.

3.7. Condiciones de crecimiento de la Albahaca

La albahaca posee un crecimiento continuo de tamaño. El proceso inicia por el cambio de forma de la planta y la diferenciación que alcanza la planta por su complejidad como organismo, como aparición de semillas, flores y hojas de mayor tamaño. La albahaca tiene cuatro etapas de crecimiento. La primera etapa empieza con la aparición de 5 hojas completas en la planta; la segunda, va hasta la floración; la aparición de semillas se considera la tercera etapa mientras que la última etapa constituye la maduración de la planta (Colorado et al., 2013).

Las condiciones edáficas para una óptima producción de albahaca están dadas por las siguientes características:

Cuadro N° 2. Características para el cultivo de Albahaca

Conductividad eléctrica del suelo	pH del suelo	Temperatura	Rendimiento
1,5 a 3,0 dSm ⁻¹	6,5	25 a 30 grados	18.000 kg-ha.

Fuente: Carrasco, (2007)

3.7.1. Condiciones agroecológicas del cultivo

3.7.1.1. Clima

Paunero (2011), señala que para el cultivo de albahaca se necesita climas muy calientes con temperaturas de 30°C y luz completa, también señala que esta planta es sensible al frío.

Contreras y Vargas (2008), indican que las albahacas requieren un clima cálido, a templado-cálido, por lo que no resiste heladas ni temperaturas, inferiores a 0°C.

Temperaturas entre 24-30 °C durante el día y 16-20°C durante la noche combinados con una longitud del día de 16 horas, inducen una alta tasa de desarrollo. Temperaturas mayores causan estrés y pueden causar marchitamiento durante la parte más caliente del día.

Riotte (1988), señala que el cultivo de albahacas debe tener espacio y una mayor cantidad de sol día para su desarrollo óptimo.

3.7.1.2. Luz

La energía solar es el factor ambiental más influyente sobre el crecimiento de las plantas, pues de ella depende la mayoría de los procesos biológicos, incluyendo la fotosíntesis, que es proceso de conversión de la materia inorgánica en orgánica, constituyendo la base de todas las cadenas alimenticias de la tierra (Barbado, 2005).

La presencia de algas reduce la acidez de la solución, crea colores extraños, compete por el oxígeno durante la noche e introduce productos tóxicos a través de su descomposición, los cuales interferirán normalmente en el crecimiento del cultivo. Para evitar el crecimiento de las algas no se debe permitir que la solución de nutrientes este expuesto a la luz (Resh, 2005).

Según Alvarado (2001) agrega que, para muchas semillas, la luz no es necesaria para la germinación, sin embargo, cuando aparecen los primeros cotiledones, ésta debe estar disponible, de lo contrario produciría un crecimiento débil de las plantas y un ahilamiento de éstas. Contrario a esto, una excesiva luz natural, podría provocar quemaduras, por lo que una luz natural indirecta sería recomendada.

3.7.1.3. Temperatura

La temperatura afecta directamente las funciones de la fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, actividades enzimáticas, etc. Las reacciones biológicas de importancia no pueden desarrollarse si la temperatura está por debajo de 0°C, o por encima de 50 °C. el límite inferior corresponde al punto de congelación del agua y el superior a la desnaturalización de las proteínas (Barbado, 2005).

Según Barbado (2005), La temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre 10°C-25°C. Las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas durante períodos cortos de tiempo, pero debe evitarse acercarse a este valor letal.

3.7.1.4. Humedad relativa

Es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la que tendría si estuviera completamente saturada. Se expresa en porcentaje. La humedad ambiental afecta el metabolismo de la planta, ya que, si la humedad es demasiado alta, por ejemplo, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes, y si es demasiado baja se cierran las estomas de la planta y se reduce la tasa de fotosíntesis. Una humedad relativa alta también tiene influencia sobre la presencia de enfermedades fungosas (Oasis Easy Plant, 2017).

3.7.2. Densidad de Plantación

Simón (1993), menciona que la densidad de siembra es dependiente sobre el uso final, el mismo recomienda 60 cm entre hileras y 15 cm de espacio entre plantas en cada hilera. Las variaciones grandes en el crecimiento y la producción pueden ocurrir debido a las condiciones del clima, tipo de planta y las prácticas culturales. Por su parte Bareño (2006) y Briseño, Aguilar y Villegas (2013), señalan que las densidades de siembra más utilizadas son de 50 mil, 60 mil y 100 mil plantas por hectárea.

3.7.3. Reproducción

García (2005), indica que, por ser una planta anual, la propagación se realiza a través de semillas en siembra directa o trasplante de almácigo, siendo esta por su situación comercial y por último por medio de esqueje, que se lo realiza para macetas en producción reducida.

Enciso (2004)., un cultivo que asegura una abundante cosecha es aquel que tenga una amplia y regular precipitación durante el período de crecimiento y poca lluvia

durante el período de cosecha. Bastante luz solar y que se adapte a una amplia variedad de suelo, este es el caso de la albahaca.

3.7.4. Rendimiento

Reynafarge (2011), indica que los rendimientos de albahaca son de 18 a 20 t/ha en fresco. Deshidratada se puede obtener unas 10 t/ha de albahaca seca y cerca de 80 kg/ha de aceite esencial. Por su parte López et al. (2014), menciona que los rendimientos de albahaca son de 10 a 15 t/ha en fresco y a 3 a 5 t/ha en seco. Por su parte Vega et al. (2012), dice que la albahaca llega a producir un rendimiento de masa verde de 20 t/ha en dos cortes de 12 y 8 respectivamente y de 40 kg/ha de aceite esencial.

García (2005), en promedio cada planta de albahaca produce 360 g durante su ciclo de producción. Los rendimientos de albahaca son de 18-20 t/ha en fresco, en un tiempo comprendido entre 12 y 16 semanas; deshidratada se puede obtener unas 10 t/ha de albahaca seca y cerca de 80 kg/ha de aceite esencial.

3.7.5. Estado actual de la producción de la especie

El cultivo de las plantas medicinales, es un tema nuevo y poco practicado por los agricultores tradicionales. Existen algunos trabajos sobre el tema, pero la mayoría se refiere a las condiciones del cultivo y especies de otras regiones distintas de Iberoamericana (Curioni *et al*, 2002) siendo pocos y de información limitada los que se refieren a las condiciones de la región Iberoamericana (Barroso, 2002).

En México, el cultivo de albahaca presenta un alto valor de producción, de los cuales Baja California Sur es el principal productor orgánico, por lo que se ubica como líder nacional. Aunque la albahaca se produce también en Morelos y Nayarit, no son cultivos orgánicos, sino convencionales, con aproximadamente un valor de la producción de \$25,00 por tonelada y un volumen de 900 t ha⁻¹, incrementándose en los últimos años la superficie sembrada, el precio se ha elevado en un 28% anual y la superficie sembrada se ha incrementado en 200% (Sagarpa, 2004).

3.7.6. Cosecha y Pos cosecha

Briseño (2013), señala que las condiciones de almacenamiento son con temperatura de 10 – 12° C, humedad relativa de 80 – 90%, vida de almacenamiento aproximado de 2 a 3 semanas. Por otra parte, Muñoz (2002), menciona que la cosecha se realiza en verano durante el crecimiento de la planta antes de la apertura de las flores. Se consumen las hojas y flores y el consumo puede ser en fresco o desecado. Para desecarlas se coloca la planta sobre catres o colgadas a la sombra en un ambiente seco y ventilado. Una vez secas se separan las hojas de los tallos.

García (2005), recomienda que la cosecha de albahaca se realice muy temprano en la mañana para obtener producto turgente; los tallos se cortan entre 10 a 15 cm sobre la superficie del suelo, debe dejarse parte del área foliar para garantizar el rebrote de las ramas. La primera cosecha se realiza entre los 90 y 110 días después de plantada, momento en que el rendimiento potencial del aceite se encuentra entre 0,3 0,4%. Se depositan en canastillas plásticas con una capacidad máxima de 2,5 kilos para evitar maltrato del producto; estas canastillas deben contener líquidos hidratantes para favorecer la conservación del producto y evitar que suba la temperatura.

3.8. Enfermedades y plagas

3.8.1. Enfermedades

Quiroz (2014) contribuye que la *Peronospora belbahrii*, produce la enfermedad de *mildiu lanoso* que afecta a la producción de albahaca dulce (*Ocimum basilicum*). Esta enfermedad puede ser transmitida por la semilla y por ello se recomienda tratarla antes de sembrarla.

Forero (2010), manifiesta que los principales agentes causales de enfermedades fungosas en las hojas y afectaciones vasculares en las plantas son: Cenicilla; Fusarium; Alternaria; Mildiu; Mancha de la hoja y Damping off. La albahaca producida en climas fríos, es muy propensa al ataque de hongos lo que puede resultar en una producción menor al 70% (Gómez, 2008).

3.8.2. Plagas

Briseño, Aguilar y Villegas (2013) mencionan que el cultivo de albahaca se puede ver afectado por diferentes insectos plaga, estos se presentan dependiendo de la época que se haya realizado la siembra y también del medio ambiente, así como diferentes cambios climáticos y corrientes de aire, ya que los insectos son arrastrados por el viento. Los más frecuentes son:

- Minador de hoja (*Liriomyza spp.*)
- Gusano soldado (*Spodoptera exigua*)
- Trips (*Franquiniella occidentalis*)
- Mosquita blanca (*Bemisia tabaci*)
- Tijeretas (*Forficula auricularia*)
- Pulgones (*Mizus persicae*) y otros.

3.9. Hidroponía

Cabezas (2017) sustenta que la Hidroponía es una técnica de cultivar plantas en agua. Los nutrientes que necesita la planta para crecer, florecer y fructificar se añade directamente en el agua en forma de sales minerales o fertilizantes, las cuales son formuladas y balanceadas en base al análisis químico del agua y de acuerdo al requerimiento y etapa de crecimiento de cada cultivo.

Rodríguez (2002) indica que los cultivos sin suelo, también denominados cultivos hidropónicos, surgen como una alternativa a la Agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados a las características del suelo, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas alternativas.

Sánchez (2004) indica que una cualidad importante al cultivar plantas en un medio sin tierra es que permite tener más plantas en una cantidad limitada de espacio, las cosechas madurarán más rápidamente y producirán rendimientos mayores, se conservan el agua y los fertilizantes, ya que pueden reciclarse, además, la hidroponía permite ejercer un mayor control sobre las plantas, con resultados más uniformes y seguros.

3.9.1. Sistemas de cultivos hidropónicos

Alvarado (2001), señala que los métodos de cultivos, más utilizados son: cultivos en agua como raíz flotante y el NFT (Nutrient Film Technic), sistemas de columnas, aeroponía, entre otros.

Duran (2000) agrega que dependiendo del medio en el que se desarrollan las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos: cultivos en sustrato, cultivos en agua y cultivos en aire.

En síntesis, el cultivo de plantas sin suelo, puede ser desarrollado de la manera más simple y económica, hasta la más compleja y costosa.

Cuadro N° 3. Técnicas Hidropónicas

Técnica	Descripción
Recirculante	NFT (Técnica de película nutritiva)
Recirculante	DFT (Técnica de flujo profundo)
Estacionaria	Raíz flotante
Aérea	Spray
Con sustrato	Inorgánicas y Orgánicas

Fuente: Hidro Environment, (2018)

3.9.1.1. Cultivar Técnica de flujo de nutriente (NFT) Horizontal

Para Resh (2005), una variante es la recirculación constante de la solución nutritiva en contacto con la parte baja de la raíz; esta es llamada técnica de película nutriente (NFT, en inglés). El pionero de esta técnica fue Allen Cooper, en el Glasshouse Crops Reserch Institute, en Littlehampton (Inglaterra) en 1965. El término Nutrient Film Technique fue utilizado en dicho Instituto para remarcar que la profundidad del flujo del líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre pudieran disponer del oxígeno necesario.

3.9.1.2. Cultivar en Sistema DFT (Deep Film Technique)

Gilsanz (2007). El sistema DFT, se cataloga como un híbrido, presenta recirculación de la solución nutritiva igual que el NFT, por medio de una bomba, eliminando la necesidad de aireación y presenta la disposición de una plancha sobre la superficie de la solución nutritiva con las mismas ventajas y desventajas del sistema flotante. En este sistema pueden ser instalados preponderantemente los mismos cultivos que en el sistema flotante: cultivos de hoja y plantas aromáticas.

3.9.1.3. Forraje verde hidropónico (FVH)

Izquierdo (2005) argumenta que el forraje verde hidropónico es una tecnología que pertenece al grupo de los llamados cultivos hidropónicos, las plantas se desarrollan en condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia de suelo. El forraje verde hidropónico o “Green fodder hydroponics” es un pienso o forraje vivo, se produce generalmente sobre estantes, el riego es mediante micro aspersión pudiendo o no contener fertilización, en estos sistemas el objetivo principal es la producción de biomasa.

3.9.1.4. Sustrato inerte

En el cultivo sustrato inerte se utilizan materiales sustituyentes del suelo, su principal función es permitir el anclaje a la planta ya que no debe interactuar, con los fertilizantes o contribuir a la nutrición, promueve un crecimiento acelerado y vigoroso debido a las condiciones favorables entre humedad y aireación. Bajo este sistema se puede cultivar una diversidad de especies, sin embargo, su alto costo de producción determina que sean hortalizas de fruto (Rodríguez, 2012).

No hay un sustrato para usar en hidroponía ya que dependerá de la especie vegetal, condiciones de clima, tamaño y forma del contenedor, riego, fertilización, aspectos económicos y experiencia local. Entre los sustratos más usados se mencionan: arena, gravilla, perlita, lana de roca, piedra pómez, cascarilla de arroz, aserrín y turba (INIA, 2000).

3.9.1.5. Cultivar Raíz Flotante

Es un sistema de cultivo muy utilizado en los proyectos de hidroponía social en diferentes países latinoamericanos, un punto importante es este sistema es que la aireación debe efectuarse por lo menos dos veces al día, independiente del método a utilizar, ya que esta acción permitirá redistribuir los elementos y oxigenar la solución (Alvarado *et al.*, 2001).

Chang *et al.* (2000), indican que el sistema de raíz flotante fue uno de los primeros sistemas hidropónicos que se utilizó tanto a nivel experimental como a nivel de producción comercial, el cual maximiza la utilización del área de cultivo. Este sistema consta de tres etapas que son almácigo, post-almácigo y trasplante definitivo; sin embargo, en algunas ocasiones se obvia la etapa de post-almácigo quedando únicamente dos etapas; almácigo y trasplante definitivo.

Esta técnica consiste básicamente en trasplantar sobre largas superficies de unicel que se mantienen a flote sobre contenedores con solución nutritiva que es oxigenada de manera frecuente. Este sistema permite obtener producciones automatizadas y, si se cuenta con las herramientas adecuadas, requerirá de cuidados mínimos (como el control de plagas); además, el tiempo de cosecha de la mayoría de los cultivos se ve acelerado (Hydroenvironment, 2007).

Gilsanz (2007) argumenta que la producción de hortalizas bajo este sistema consiste en que las raíces están sumergidas en solución nutritiva, las plantas se encuentran en planchas de poli estireno expandido que flotan sobre el agua con la solución nutritiva en donde la plancha actúa como soporte mecánico y cada una flota sosteniendo un determinado número de plantas, y muy importante para lograr una buena producción es airear la solución nutritiva en forma manual o mecánica.

Esta técnica consiste básicamente en trasplantar nuestras plantas sobre largas superficies de unicel que se mantiene a flote sobre contenedores con solución nutritiva que es oxigenada de manera frecuente. Este sistema permite obtener producciones automatizadas, y si se cuenta con las herramientas adecuadas requerirá de cuidados mínimos (como el control de plagas) y el tiempo de cosecha de la mayoría de los cultivos se ve acelerado (Soria, 2012).

a. Ventajas

Según Xaxeni (2017), las ventajas de un sistema a raíz flotante, son las siguientes:

- El ahorro del agua
- Un manejo sencillo
- Ahorro en uso de sustratos
- Mayor producción en menos espacios
- Menor pérdida de fertilizantes, pues solo se usa la cantidad necesaria
- Hay mayores ganancias con menores inversiones
- Una producción 100% libre de tóxicos

b. Desventajas

Según Gilsanz (2017), las desventajas de este sistema consisten en:

- Necesidad de formulación frecuente de la solución nutritiva
- La necesidad de airear el medio
- Prever la contaminación de la espuma por algas
- Prever la entrada de luz hacia este medio
- Consumo alto de agua

En la técnica raíz flotante la solución nutritiva debe tener mínimo 8 cm de altura, generalmente estos sistemas se construyen de madera en forma de piscina la cual deberá estar cubierta de cartón y plástico, sobre ella se encuentra la solución cubierta con una plancha poliestireno (Sánchez et al, 2014).

3.10. Nutrición vegetal

3.10.1. Composición de las plantas

La planta es el componente más importante de los sistemas hidropónicos, ya que de la correcta funcionalidad de los demás componentes dependerá la calidad de planta obtenida, y, por tanto, los rendimientos.

Las plantas que comúnmente se cultivan en hidroponía son especies de alto valor comercial, las cuales se aprovechan por sus usos alimenticios u ornamentales.

Aproximadamente el 90% del peso en seco de la mayoría está formado por 3 elementos: Carbono, Oxígeno e hidrógeno. El agua proporciona hidrógeno y oxígeno, el cual proviene del dióxido de carbono de la atmósfera, al igual que el carbono, si solamente el 15% del peso en fresco de una planta es la materia seca, y el 90% de esta estará representado por carbono, oxígeno e hidrógeno, por lo tanto, los otros elementos que existen en la planta serán aproximadamente por 1,5% del peso fresco de ella (Resh, 2005).

3.10.2. Nutrientes

Paye (2005), menciona que se requiere ciertos nutrientes minerales esenciales para el crecimiento y desarrollo del cultivo, los cuales son esenciales para la floración, fructificación y calidad del fruto, un elemento mineral es esencial, si la planta, ante la falta, no puede completar su ciclo de vida, porque el elemento faltante es parte del metabolismo de la planta.

También menciona que son 16 elementos esenciales, de los cuales 14 son minerales, los elementos esenciales se clasifica macronutrientes y micronutrientes. El carbono (C) es obtenido del dióxido de carbono (CO₂), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O₂) son obtenidos del agua y oxígeno.

- **Los macro nutrientes minerales son:** Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S).
- **Los micro nutrientes son:** Cloro (Cl), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Molibdeno (Mo). A pesar de que los micronutrientes se requieren en concentraciones muy bajas, estos desempeñan funciones vitales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Cuadro N° 4. Elementos esenciales

Elemento	Símbolo	Peso Atómico
Hidrógeno	H	1
Carbono	C	12

Oxígeno	O	16
----------------	----------	-----------

Fuente: Resh, (2005)

Cuadro N° 5. Macronutrientes

Nitrógeno	N	14
Fósforo	P	39
Potasio	K	40
Calcio	Ca	24,3
Magnesio	Mg	31
Azufre	S	32,7

Fuente: Resh, (2005)

Cuadro N° 6. Micronutrientes

Cloro	Cl	35,46
Boro	B	10,8
Hierro	Fe	55,85
Manganeso	Mn	55
Zinc	Z	65,4
Cobre	Cu	63,5
Molibdeno	Mo	96

Fuente: Resh (2005)

3.10.3. Nutrientes esenciales y su forma de absorción

Beltrano y Gimenez (2015) mencionan que los macro y micro nutrientes presentes en la solución nutritiva deben estar en forma simple (iones), esto garantizará una eficiente asimilación por parte del cultivo lo cual se puede observar en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 7. Forma de absorción de los nutrientes esenciales

Elemento	Símbolo	Forma de absorción
Carbono	C	CO ₂
Hidrógeno	H	H ₂ O
Oxígeno	O	H ₂ O ₂ O ₂
Nitrógeno	N	NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻
Fósforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ HPO ₄ ²⁻
Potasio	K	K ⁺
Calcio	Ca	Ca ²⁺
Magnesio	Mg	Mg ²⁺
Azufre	S	SO ₄ ²⁻
Hierro	Fe	Fe ²⁺ Fe ³⁺
Zinc	Zn	Zn ²⁺ Zn(OH) ₂ ⁰
Manganeso	Mn	Mn ²⁺
Cobre	Cu	Cu ²⁺
Boro	B	B(OH) ₃ ⁰
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁺
Cloro	Cl	Cl ⁻
Silicio	Si	Si(OH) ₄ ⁰
Sodio	Na	Na ⁺
Cobalto	Co	Co ²⁺
Vanadio	V	V ⁺

Fuente: Favela *et al.*, (2006)

3.10.4. Relación mutua entre aniones y cationes

En la absorción de los nutrientes las plantas toman la misma cantidad de cationes como aniones. Por tanto, unas inadecuadas relaciones entre estos iones pueden disminuir considerablemente la producción. Según Lara (1999) la importancia de un

ion respecto a otro es la relación que guardan, a su vez la relación iónica ideal depende de la etapa fenológica y el tipo de cultivo.

Cuadro N° 8. Rangos mínimos y máximos de la relación mutua entre aniones y cationes con base en el porcentaje respecto al total en la solución fertilizante

Autor	% sobre el total de Aniones				% sobre el total de Cationes				
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺
Favela et al (2006)	20-80	1,25-10	10-70		10-65	22,5-62,5	0,5-40	0-15	
Steiner (1996)	35-65	3-12	25-45	0-15	25-45	35-55	17-23		0-15
Citado por Santos y Ríos (2016)									

Fuente: Lara, (1999)

3.10.5. Funciones de los elementos nutritivos en las plantas

Según Marulanda (2003) existen elementos químicos considerados necesarios para el crecimiento saludable de las plantas, 13 son nutrientes minerales. Ellos en condiciones naturales de cultivo (suelo)entran a la planta a través de las raíces. El déficit de solo uno los limita o puede disminuir los rendimientos y, por lo tanto, las utilidades para el productor. De acuerdo con las cantidades que las plantas consumen de cada uno de ellos (no todos son consumidos en igual cantidad).

Figura N° 1. Solución nutritiva óptima para la producción de albahacas según la Universidad de Florida. Requerimientos nutricionales del cultivo en mg/l o ppm

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
150	50	200	150	80	60	2,8	0,8	0,2	0,3	0,7	0,05

Fuente: Hochmuth, (2003)

3.10.6. Movilización de nutrientes

El conocimiento de la forma en que la planta absorbe los nutrientes, permite tener en cuenta aspectos importantes al momento de aplicar fertilizantes, como son consideraciones de los componentes, movilización de nutrientes en la planta y pH del medio, entre otros (Jones y Jacobsen, 2001). La adecuada toma de nutrientes depende de dos factores fundamentalmente, de la capacidad de las raíces para absorber nutrientes y de la disponibilidad de los mismos en el medio.

- Del medio a la planta. Las raíces se encuentran en contacto directo con algunos nutrientes; sin embargo, estos difícilmente pueden entrar a las células por difusión simple, aproximadamente solo el 2,5 % del total de nitrógeno, potasio y fósforo ingresan a la planta mediante este mecanismo (Foth y Ellis, 1997). Por lo cual, la planta utiliza para lograr el movimiento de nutrientes hacia ella, el transporte activo y pasivo. Uno de los mecanismos más importantes se conoce como “Flujo en masa” y consiste en el ingreso de los nutrientes en forma iónica, disueltos en el agua, debido al potencial hídrico generado por la transpiración de la planta; sin embargo, la eficiencia de este mecanismo está relacionada directamente con la movilidad de cada nutriente (Foth y Ellis, 1997).
- Dentro de la planta. Algunos nutrientes se movilizan dentro de la planta, desde la raíz hasta la zona en crecimiento. La movilidad puede ser alta, media o baja, y dependerá del tipo de planta y del estado fenológico en que se encuentre. Para condiciones óptimas los elementos móviles son nitrógeno, potasio, fósforo, magnesio, cloro, sodio, molibdeno, zinc y los inmóviles son calcio, azufre, hierro, cobre y boro (Marschner, 1995).

Se ha descubierto que algunos nutrientes pueden desplazarse desde hojas viejas a hojas jóvenes si existe una deficiencia de nutrientes. Cloro, magnesio, molibdeno son de alta movilidad; en tanto que nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, boro, hierro y azufre se consideran nutriente de intermedia a baja movilidad puede llegar a diagnosticarse la deficiencia de algún nutriente con la observación de síntomas en la planta (Marschner, 1995).

- En el suelo. La movilidad de los nutrientes en el suelo es importante porque permite planificar su disponibilidad para las plantas. Este conocimiento influye en las decisiones de fertilización como dosis, frecuencia y tipo de fertilizante, así como del método de aplicación correcto. La movilidad de los nutrientes en el suelo en su forma iónica depende de su carga, y del PH, la temperatura y la humedad del suelo (Jones y Jacobsen, 2001).

3.11. Solución nutritiva

Lacarra y García (2011) argumenta que la solución nutritiva debe tener seis macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Estos pueden ser aportados por medio de tres sales inorgánicas: nitrato cálcico, fosfato potásico y sulfato magnésico. También es necesaria la presencia de siete micronutrientes: hierro, cobre, zinc, manganeso, boro, molibdeno y cloro. El mismo autor indica que la cantidad de nutrientes que requieren las plantas depende de la especie, variedad, etapa fenológica y condiciones ambientales.

F.A.O, (2002) indica que la solución nutritiva se define como un conjunto de compuestos y formulaciones que contienen los elementos esenciales disueltos en el agua, que las plantas necesitan para su desarrollo.

Los elementos esenciales, que permitan sobrevivir a la planta son los Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) que son los elementos más demandados para su desarrollo, y los micronutrientes (Cl, B, Fe, Mn, Zn y Mo) que son elementos que se requieren en menor proporción (F.A.O., 2002).

Las soluciones nutritivas concentradas, contienen todos los elementos químicos que las plantas necesitan para su desarrollo y adecuada producción de raíces, tallos, hojas, flores, frutos o semillas. Si cualquiera de los elementos de las soluciones se agrega al medio en proporciones inadecuadas, estos efectos pueden ser tóxicos para la planta (Sánchez, 2004).

3.12. Condiciones físicas del sistema raíz flotante

3.12.1. Oscuridad para la solución nutritiva

Es importante para evitar el crecimiento de algas verdes y otras plantas acuáticas diminutas que pueden competir por el oxígeno y los nutrientes. La descomposición posterior de las algas puede llegar a ser tóxica para las raíces, interfiriendo con sus funciones y desarrollo (Oasis Easy Plant, 2017).

3.12.2. Oxigenación radicular

Según Chang et al. (2000) la vida útil de la solución de nutrientes depende principalmente del contenido de iones que no son utilizados por las plantas. La medida semanal de la conductividad eléctrica indicará el nivel de concentración de la solución (si es alto o bajo). La vida media de una solución nutritiva que haya sido ajustado por medio de análisis semanales suele ser de dos meses. En caso de no efectuarse dicho análisis se recomienda un cambio total de la solución nutritiva a las cuatro o seis semanas.

Para el crecimiento y funcionamiento apropiado de las plantas, los niveles adecuados de oxígeno en la raíz son necesarios para su buen desarrollo indica Chérif (1997), su deficiencia tiene efecto en la absorción de agua y de nutrientes, y el rendimiento de los cultivos son afectados (Drew, 1983) (Urrestarazu y Mazuela, 2005).

3.12.3. Deficiencias de oxígeno

Una oxigenación inadecuada en la zona radicular disminuye la fotosíntesis y transferencia de carbohidratos, por lo tanto, el crecimiento de la planta disminuye y el rendimiento se ve afectado, llegando a morir las raíces, Kramer, (2000); colapsándose las células y elevando la síntesis de hormonas del envejecimiento (Bradford y Yang, 2000).

El efecto del déficit de oxígeno sobre el crecimiento de las plantas, está relacionado directamente con la inhibición del desarrollo radicular, produciendo una influencia negativa en el suministro de agua y nutrimentos, lo cual traer como consecuencia, decremento en la tasa de transpiración (Kramer, 2000).

3.12.4. Circulación de la solución nutritiva

Es una práctica comúnmente recomendada, ya que favorece una mejor distribución de los iones nutritivos y una mejor aireación. Es de suponerse que el movimiento de la solución a través de las raíces ayuda a estabilizar su medio ambiente. Desde luego que el movimiento debe ser lo suficientemente lento como para no dañar a las raíces (Oasis Easy Plant, 2017).

FAO. (1996) indica que en el sistema de cultivo a raíz flotante es indispensable batir con las manos dos veces por día la solución nutritiva, con el fin de redistribuir los elementos nutritivos por todo el líquido y oxigenar la solución sin ello, las raíces empiezan a oscurecerse y a limitar la absorción de nutrientes y agua. Cuando no se agita la solución nutritiva con la debida frecuencia, también se empiezan a formar algas que le dan mal aspecto al cultivo y alteran su desarrollo, porque ellas compiten por los nutrientes destinados a las plantas.

3.12.5. Temperatura de la solución nutritiva

Algunos autores sugieren que para climas templados y fríos es conveniente calentar, aumentando entre 5 y 10°C más de la temperatura nocturna la solución nutritiva. Esto con el objetivo de acelerar el crecimiento y desarrollo de las plantas. El cambio brusco de temperatura del día a la noche, típico de los climas templados, puede ser un problema serio para el cultivo en agua y que no hay ningún sustrato que amortigüe sus efectos sobre las raíces. (Oasis Easy Plant, 2017).

Barry (2000), sostiene que la temperatura de la solución es un punto crítico, si la solución es muy fría. La tasa metabólica de la raíz baja y la absorción de nutrientes también, esto tiene un efecto de retardo en el crecimiento de la planta por debajo de lo deseado, también existen problemas cuando la temperatura es muy alta lo cual afecta la absorción mineral, el mejor rango de temperatura es muy alta lo cual afecta la absorción mineral, el mejor rango de temperatura está entre 18 y 25 °C para la mayoría de los cultivos. Sin embargo, Gilsanz (2007) indica que el valor óptimo de temperatura debería encontrarse en un entorno de 10 – 15 °C.

La temperatura de la solución nutritiva en la absorción de agua y nutrimentos. La temperatura óptima para la mayor parte de las plantas se encuentra entre 15 a 22°C, en la medida que la temperatura disminuye, la absorción y asimilación de los nutrimentos también lo hace (Favela, 2006).

3.12.6. Efecto de la temperatura sobre la concentración de oxígeno

En la mayoría de las especies cultivadas bajo condiciones hidropónicas la temperatura óptima de la solución nutritiva debe estar a 22°C, cuando el valor no es el adecuado la absorción y asimilación de los nutrientes se ve afectado (Favela et al., 2006). Los elevados niveles térmico también influye en la baja disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua. Urrestarazu (2004) añade que la concentración oxígeno disminuye cuando la temperatura y el contenido de cloruros aumentan.

3.12.7. Alcalinidad o acidez de la solución nutritiva (pH)

Un parámetro a controlar en los sistemas hidropónicos es el pH de la solución nutritiva, es decir el grado de acidez o alcalinidad de la solución. El nivel de pH influye directamente sobre la absorción de los nutrientes para las plantas. Entre los valores de PH 5.5 - 7.0, se encuentra la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Fuera de este rango las formas en que se pueden encontrar los nutrientes resultan inaccesibles para ser absorbidos por la planta, por lo que es fundamental mantener el rango de pH. En caso de encontrarnos con valores de pH superiores a 7.0 es posible corregir la solución nutritiva mediante la acidificación, usando ácidos cítricos, fosfórico y/o sus mezclas (Gilsanz, 2017).

El pH actúa manteniendo los iones solubles para la planta y, por tanto, mejorando la nutrición. Valores extremos pueden provocar la precipitación de los iones. Con un pH superior a 7.5 puede verse afectada la absorción de fósforo, de hierro y de manganeso, la corrección del pH puede evitar los estados carenciales (Baixauli, 2002)

Cabeza (2017) sostiene que, el pH nunca permanecerá constante en la solución nutritiva, las plantas en pleno desarrollo absorben más aniones que cationes, es decir,

nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^-), sulfatos (SO_4^-) y absorben menos potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y el pH tiende a subir, plantas en plena producción absorben más cationes que aniones, por tanto, el pH bajará.

3.12.8. Efecto del potencial de hidrógeno (pH) en cultivos hidropónicos

Según Guzmán (2004), el rango conveniente que el pH que permite a las plantas una absorción adecuada, de los elementos nutritivos, sin riesgo de carencias de ninguno de ellos es de 6,5 unidades.

Baixauli y Aguilar (2002), mencionan que el pH de una solución nutritiva marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones, que la mayor parte de las plantas trabajan bien en soluciones nutritivas con pH comprendido entre 5 y 7, en los cultivos hidropónicos generalmente se trabaja con pH de 5,5 a 5,8 puesto que en dicho rango de pH se encuentran mejor disueltos los iones, especialmente el fósforo y los micro elementos.

En un sistema re-circulante el pH tiende a elevarse ($\text{pH} > 7,0$) y tiene que ser ajustado a 6,5 añadiendo una solución ácida (ácido nítrico, fosfórico o sulfúrico) a la solución nutritiva. Esto permite que se mantenga el pH dentro de un rango adecuado por mayor tiempo, (por esto es necesario conocer rangos de pH adecuados para los cultivos sin necesidad de ajustar diariamente el pH) (Rodríguez *et al.*, 2001).

En el cuadro N° 9, se identifica los valores recomendados de conductividad eléctrica y pH de soluciones nutritivas para algunos cultivos en sistemas hidropónicos.

Cuadro N° 9. Valores recomendados de CE y PH de soluciones nutritivas para algunos cultivos hidropónico

Cultivo	CE (dS/cm)	pH
Albahaca	1,8 - 2,2	5,5 - 6-5
Apio	2,5 - 3,0	6,0 - 6,5
Brócoli	3,0 - 3,5	6,0 - 6,8
Cebolla	1,4 - 1,8	6,0 - 7,0

Col	2,5 - 3,0	6,5 - 7,0
Coliflor	1,5 - 2,0	6,5 - 7,0
Espinaca	1,4 - 1,8	6,0 - 7,0
Fresa	1,4 - 2,0	6,0 - 6,5
Lechuga	0,8 - 1,6	5,0 - 6,5
Melón	2,0 - 2,5	5,5 - 6,0
Papa	2,0 - 2,5	5,0 - 6,0
Pepinillo	1,0 - 2,5	5,5 - 6,0
Sandia	1,7 - 2,5	5,8 - 6,2
Tomate	2,0 - 5,0	5,5 - 6,5
Zanahoria	1,6 - 2,0	5,8 - 6,3

Fuente: Rodríguez, Hoyos y Chang, (2001)

3.12.9. Conductividad eléctrica

Según Resh (2005), la conductividad eléctrica es el indicador del contenido de sales totales que hay en la solución; a mayor contenido de sales mayor CE y viceversa.

Si la solución nutritiva supera el rango óptimo de conductividad eléctrica se debe agregar agua o en caso contrario si se encuentra por debajo del rango óptimo deberá renovarse totalmente. La medición de este parámetro se puede realizar con un medidor portátil denominado conductímetro, el cual calibrarse según las indicaciones de su proveedor, para evitar errores en el manejo de la solución (Barros, 2001) citado por (Landa y Cárcamo, 2010).

Chang (2000), también resaltan que la conductividad eléctrica indica el contenido de sales en la solución. El rango de óptimo de conductividad eléctrica para un adecuado crecimiento del cultivo se establece entre 1,5 a 2,5 ms/cm. Cuando la solución nutritiva sobrepasa el límite del rango óptimo de conductividad eléctrica, se procede a agregar agua o en caso contrario si se encuentra por debajo del rango óptimo, deberá renovarse totalmente. Se recomienda realizar esta evaluación por lo menos una vez por semana en las etapas de post almácigo y trasplante definitivo.

Las plantas van consumiendo los nutrientes proporcionados, lo cual significa que la conductividad eléctrica también irá descendiendo hasta que la solución ya no contenga la cantidad necesaria de sales necesarias para el crecimiento de las plantas, por lo tanto, será necesario el cambio o el aumento de nutrientes (Resh, 2005).

3.13. Condiciones químicas del sistema raíz flotante

3.13.1. Calidad del agua

Para determinar las cantidades y tipos de fertilizantes que se deben utilizar en la preparación de la solución nutritiva ya que, según sus propiedades químicas, se realizan los ajustes necesarios para que la solución nutritiva tenga un adecuado pH, contenido de sales, potencial osmótico y balance entre los iones. Las principales propiedades del agua que se deben tomar en cuenta para la preparación de la solución nutritiva, son las siguientes: pH, las sales disueltas, (aniones, cationes, micro nutrientes y los elementos tóxicos) (Favela, 2006).

El agua deberá estar exenta de contaminantes microbianos que de alguna manera puedan ser un perjuicio para la salud humana, ya que no debemos olvidar que producimos hortalizas que van a ser consumidas en fresco. Respecto a la calidad química, deberán usarse aguas con bajos contenidos de sales. Los contenidos elevados de calcio o magnesio (mayores a 30 ppm en cada caso), obligarán a realizar correcciones en la formulación de la solución nutritiva. Por su parte, elementos como sodio o cloro en forma excesiva podrán ser tóxicos para la planta. En todos los casos se recomienda realizar el análisis del agua antes de comenzar con estos sistemas (Gilsanz, 2017).

3.13.2. Duración y renovación de la solución nutritiva

La vida útil de la solución nutritiva dependerá de las correcciones oportunas que se realicen durante las lecturas de pH, CE y del nivel de agua que se tenga.

Si las plantas son de la misma edad en el sistema de producción, la solución nutritiva puede renovarse cada 2-3 semanas, pero cuando se tienen producciones escalonadas dependientes de un solo tanque y electro bomba, con plantas de diferentes edades, se deberá renovar totalmente la solución nutritiva (principalmente el nitrógeno, fósforo,

potasio y magnesio) que son absorbidos más rápidamente por las plantas que están a punto de ser cosechadas que las recién trasplantada (Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 2004).

Según Chang (2000), la duración y el cambio de la solución nutritiva dependen principalmente del contenido de iones que no son utilizados por las plantas. La medida de la conductividad eléctrica indicará el nivel de concentración de la solución. La vida media de una solución nutritiva que haya sido ajustada por medio de análisis semanales suele ser de dos meses. Cuando no se llevan a cabo dichos análisis, se recomienda un cambio total de la solución nutritiva a las 4 o 6 semanas, cuando se cultivan lechugas, la etapa definitiva dura 4 semanas y no se cambia la solución nutritiva durante este tiempo.

3.14. Componentes de un sistema raíz flotante

3.14.1. Contenedor

Según Uribe (2000), el recipiente es el componente en el que la raíz de la planta debe recibir protección de los agentes externos, el contenedor debe tener características como el tamaño suficiente para albergar las raíces del cultivo, asegurar el desarrollo normal de las raíces con un adecuado drenaje, oxigenación, protección a la radiación solar, contaminación y al acceso de plagas y enfermedades.

Según Soria (2012), Para el sistema de raíz flotante se necesita el siguiente material básico:

- Contenedor artesanal o prefabricado
- Un bastidor de madera de 16-20 cm de altura y un 1.10 m de ancho por el largo que se desee implementar, en el caso de utilizar recipientes de madera, para otros casis se pueden implementar.

3.14.2. Germinación de semillas en esponjas poliuretano

Canaza (1999), argumenta que la luz puede estimular o inhibir la germinación de las semillas de acuerdo a la variedad de plantas, por lo tanto, se debe proteger lo necesario a la semilla. Así mismo si no existe aire en abundancia se asfixian, por eso hay que tener cuidado con la cantidad de agua que se suministra y con el tipo de medio en el cual se siembra.

Huterwal (1991), afirma que, sin colocarla en tierra, ni darle alimento alguno, la semilla germinará a poco que las condiciones de temperatura y humedad le sean favorables. En la técnica hidropónica se debe mantener a la semilla con suficiente cantidad de agua para que la corteza exterior se abra y empiece a desarrollarse.

3.15. Solución concentrada René Cabezas

Según Cabezas (2017), indica que la solución nutritiva es una mezcla de agua y fertilizantes hidrosolubles, las cuales son formuladas de acuerdo al tipo de cultivo y estado fenológico de la planta. en la solución nutritiva los nutrientes se encuentran en forma iónica y en proporciones adecuadas de aniones ($H_2PO_4^{-2}$, $N-NO_3^{-}$, SO_4^{-2}) y cationes ($N-NH_4^{+}$ K^{+} , Mg^{+2} , Ca^{+2}). Así mismo no existe una solución nutritiva óptima para todos los cultivos, cada especie, variedad, estado fenológico de la planta, intensidad luminosa, radiación, Humedad Relativa, hacen que los requerimientos varíen.

En Hidroponía, y en fertirriego se usan varios tipos de fertilizantes. Al momento de preparar la solución nutritiva concentrada, 3 grupos de fertilizantes no se pueden mezclarse en el mismo recipiente. Al hacer una mezcla incorrecta de los anteriores fertilizantes en la solución madre o concentrada ocurren precipitaciones y eso genera taponamiento de goteros en sistemas de riego por goteo, al ocurrir precipitaciones ocurre deficiencias de nutrientes en la planta al no estar disponible en la solución nutritiva.

Para la preparación de los fertilizantes al separarlos en tres grupos se tendría los siguientes fertilizantes a mezclarlos: Solución A que contiene los siguientes elementos

Fosfato Mono amónico, Nitrato de Potasio y Nitro-S; Solución B con elementos: Sulfato de Magnesio, Cosmoquel y Sulfato de Potasio y la Solución C con elementos Nitrato de calcio.

Cuadro N° 10. Solución concentrada Cabezas

Concentración (ppm)											
N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	B	Cu	Zn	Mo
190	40	220	50	150	70	2	1	0,5	0,1	0,15	0,05

Fuente: Cabezas, (2017)

3.16. Solución concentrada la FAO

Esta solución hidropónica fue elaborada el año 2012, indica que una solución en hidroponía aporta a todos los elementos esenciales a las plantas que se cultiva, estos elementos son H, O, N, K, Zn, Mg, S, Fe, Cu, Mn, B y Mo. Según (FAO, 2012).

Los elementos esenciales que permitan sobrevivir a la planta son los Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) que son los elementos más demandados para su desarrollo, y los Micronutrientes (Cl, B, Fe, Mn, Zn y Mo) que son los elementos que se requiere en menor proporción.

La formulación de una solución nutritiva se refiere a la concentración de los elementos nutritivos que la componen, expresados generalmente en partes por millón (ppm), miligramos por litro (mg/l) o gramos por 1000 litros (g/100 l). A lo largo del proceso de investigación y desarrollo del sistema "NFT", se han descrito un gran número de formulaciones que difieren en los fertilizantes que aportan los elementos nutritivos, pero no mayormente en los rangos de concentración óptimos de cada elemento, como se muestra en el cuadro N° 11. Rango de concentración de elementos minerales esenciales según la FAO (1990).

Cuadro N° 11. Solución concentrada FAO

Concentración (ppm)											
N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	B	Cu	Zn	Mo
150- 225	30- 45	300- 500	40- 50	150- 300	--	3-6	0,5-1	0-0,4	0,1	0,1	0,05

Fuente: Winsor y Schawar, (1990)

3.17. Solución concentrada Hochmuth

La solución nutritiva óptima para la producción de albahaca en Hidroponía de acuerdo a la Universidad de la Florida (UF).

En Zamorano se determinó que la solución nutritiva adecuada para la lechuga funciona mejor utilizando un 75% de la concentración de nutrientes recomendada en la literatura indica Ferrufino (2005). Por lo que este estudio probó seis tratamientos con la dosis de nutrientes planteada y otros seis manteniendo el 75% de la misma concentración en la última etapa del cultivo (semana 7 y 8), teniendo como dosis final un 90% de la dosis recomendada (en mg/l):

Cuadro N° 12. Solución concentrada Hochmuth

Concentración (mg/l)											
N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	B	Cu	Zn	Mo
150	50	200	80	150	60	2,8	0,8	0,7	0,2	0,3	0,05

Fuente: Hochmuth, (2003)

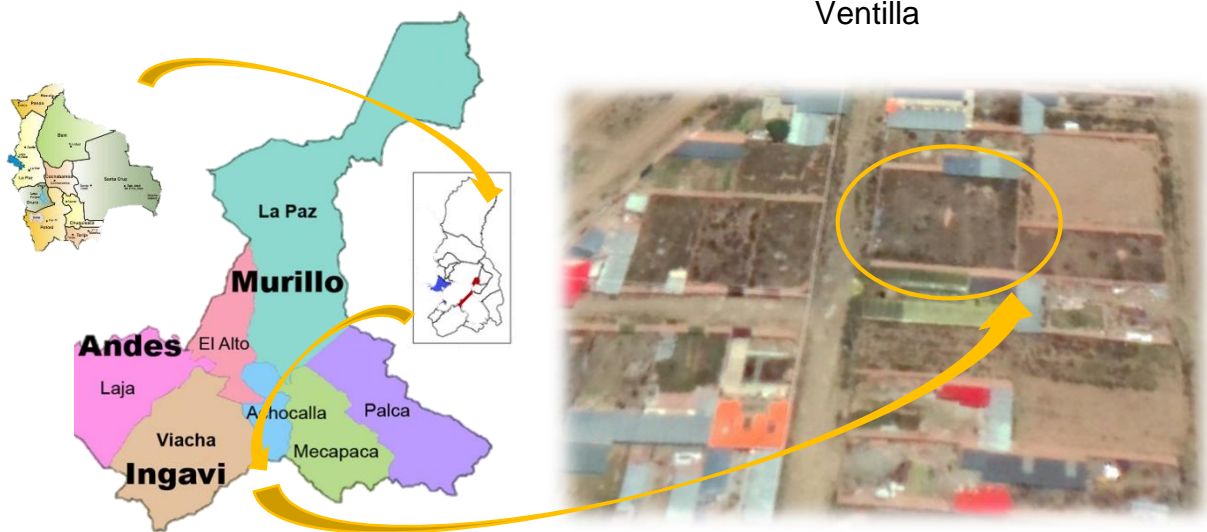
4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. LOCALIZACIÓN

4.1.1. Ubicación Geográfica

La presente investigación se realizó en instalaciones de la Asociación de Productoras de Animales Menores y Hortalizas (APRODAMH), el cual se encuentra en el municipio de El Alto, que se encuentra ubicada en la provincia Murillo del departamento de La Paz, registrada a 13 km de la ciudad de La Paz. Geográficamente situado a 16°37'07" de latitud sur y a 68°10'19" de longitud oeste a una altitud de 3870 msnm (I.G.M.,2006)

Figura N° 2. Ubicación geográfica del experimento, Municipio de El Alto, zona Ventilla



Fuente: Google Earth, (2020)

4.1.2. Descripción del lugar de estudio

4.1.2.1. Clima

SENAMHI (2015), esta zona se caracteriza por presentar un clima templado frío, con presencia de una estación bien marcada llegando a presentar una temperatura media de 18°C y una humedad relativa de 56% con una precipitación anual de 425 mm por año.

La característica climática del lugar es frígido, típico del altiplano con una temperatura que fluctúa entre los 18°C media. Las temperaturas llegan a variar tanto dentro como fuera del ambiente protegido, de 18 a 19°C en la parte externa y 35 a 45°C en la parte interna, durante la noche tiene una variación de -2°C a 5°C y 8°C a 12°C en la parte interna como promedio.

4.1.2.2. Vegetación

En el sitio experimental del presente trabajo se logró identificar especies vegetales como ser: keñua (*Polylepis sp*), pino (*Pinus canarinsis*) y la kiswara (*Buddleja albiflora*).

4.1.2.3. Temperatura

Muñoz (2002), indica que la albahaca no resiste heladas ni temperaturas inferiores a 0 °C, pero temperaturas entre 24 a 30 °C inducen a una alta tasa de desarrollo. De esta manera en la presente investigación, las fluctuaciones de las temperaturas llegaron a comportarse variantemente desde el momento de la siembra, seguido del trasplante, el desarrollo de la planta y llegando a la cosecha, debido a que existieron días soleados, lluviosos, nublados y con granizos; contribuyendo de esa manera rangos aceptables de exigencia en los parámetros térmicos.

Paunero (2001), señala que la albahaca necesita climas muy calientes con temperaturas de aproximadamente 30 °C, luz completa y afirma que es perceptiva al frío.

4.2. MATERIALES

4.2.1. Material biológico

- Semillas de albahaca de variedad Americana
- Semillas de albahaca de variedad Sucre
- Semillas de albahaca de variedad Superbo

4.2.2. Material fertilizante sintético

Las cantidades de sales minerales empleadas para la formulación de cada una de las soluciones nutritivas fueron a través del programa Software Hidro Buddy, donde se

trabajó una vez que se indagó los requerimientos del cultivo de albahaca de acuerdo a cada tipo de solución propuesta por los tres autores (Cabezas, FAO y Hochmuth). En los siguientes cuadros se puede observar las cantidades empleadas en cada tipo de solución:

Cuadro N° 13. Cantidad de sales en la preparación de la solución nutritiva Cabezas

Fertilizante	Fórmula	Cantidad (g)
Fosfato mono amónico	$(\text{NH}_4) \text{H}_2\text{PO}_4$	34
Sulfato de potasio	K_2SO_4	110,719
Cosmoquel	Cu, Zn, Fe, B, Mn	29,27
Nitrato de calcio	$\text{Ca} (\text{NO}_3)_2$	372,042
Sulfato de magnesio	MgSO_4	238,651
Nitro-S	$\text{NH}_4\text{NO}_3+\text{S}$	40,062
Nitrato de Potasio	KNO_3	178,599

Fuente: Elaboración propia, (2020)

Cuadro N° 14. Cantidad de sales en la preparación de la solución nutritiva FAO

Fertilizante	Fórmula	Cantidad (g)
Fosfato mono amónico	$(\text{NH}_4) \text{H}_2\text{PO}_4$	25,637
Sulfato de potasio	K_2SO_4	258,463
Cosmoquel	Cu, Zn, Fe, B, Mn	42,558
Nitrato de calcio	$\text{Ca} (\text{NO}_3)_2$	514,598
Sulfato de magnesio	MgSO_4	183,827
Nitro-S	$\text{NH}_4\text{NO}_3+\text{S}$	10,463
Nitrato de Potasio	KNO_3	125,189

Fuente: Elaboración propia, (2020)

Cuadro N° 15. Cantidad de sales en la preparación de la solución nutritiva Hochmuth

Fertilizante	Fórmula	Cantidad (g)
Fosfato mono amónico	$(\text{NH}_4) \text{H}_2\text{PO}_4$	20,00
Sulfato de potasio	K_2SO_4	9,60
Cosmoquel	Cu, Zn, Fe, B, Mn	75,00
Nitrato de calcio	$\text{Ca} (\text{NO}_3)_2$	10,00
Sulfato de magnesio	MgSO_4	8,80
Nitro-S	$\text{NH}_4\text{NO}_3+\text{S}$	0,00
Nitrato de Potasio	KNO_3	14,40

Fuente: Elaboración propia, (2020)

4.2.3. Material de fabricación para las piscinas flotantes

Cuadro N° 16. Materiales utilizados para las piscinas flotantes

Material	Unidades	Cantidad
Tablas de madera 1 m X 0.15 m	m	54
Tablas de madera 1 m X 0.20 m	m	38
Plástico negro	m	23
Clavos 1 ½ plg	Bolsa	1
Cierra mecánica		1
Yutes	m ²	9
Plastoform 1 m X 1m	m ²	9
Flexómetro	m	1
Tijera		1

Fuente: Elaboración propia, (2020)

4.2.4. Material de gabinete

Cuadro N° 17. Materiales de gabinete

Material	Cantidad	Función
Computadora	1	Formulación de las Soluciones Nutritivas y la realización del presente documento.
Cámara fotográfica	1	Fotografías del experimento.
Calculadora	1	Permitió el cálculo de los pesos de los nutrientes.
Balanza eléctrica (5 kg)	1	Empleada para el pesaje de cada compuesto de las soluciones.
Marcadores permanentes	2	Codificación de cada de solución.
Regla metálica de (30 cm)	1	Empleada para la medición de las variables del experimento.
Bolígrafos	2	Registro de variables, temperatura, pH ,CE.
Cuaderno	1	Registró la información necesaria durante el experimento en campo.

Fuente: Elaboración propia, (2020)

4.2.5. Materiales para la obtención de datos

Cuadro N° 18. Material para la toma de datos

Material	Unidades	Función
Análisis de laboratorio	1	Calidad de agua.
pH metro	1	Empleada para la medición y control del pH.
Conductímetro	1	Empleada con la función de control y medición de sales en la solución nutritiva.
Termómetro	1	Control de temperaturas bajas, medianas y altas dentro del ambiente protegido durante el ciclo de producción del cultivo.

Fuente: Elaboración propia, (2020)

4.2.6. Material de almacigo

Cuadro N° 19. Material utilizado en el proceso de germinación

Material	Unidades	Función
Envase plástico	2	Empleada para la germinación de las semillas.
Esponja de 1 plg	(m ²)	Se utilizó a la medida de los envases plásticos como sostén de las plántulas una vez germinadas.
Algodón	1 bolsa	Se cubrió a las semillas en las esponjas correspondientes.
Jarra	1	Empleada para el riego de la almaciguera.

Fuente: Elaboración propia, (2020)

4.3. METODOLOGÍA

4.3.1. Actividades de instalación

4.3.1.1. Readecuación del área de investigación

Los miembros de la Asociación de APRODAMH, brindaron para la presente investigación una superficie total de 12 m², en la cual se llevó a cabo la instalación del sistema raíz flotante y el armado de las nueve piscinas flotantes. La readecuación se inició con la limpieza y acondicionamiento del área de estudio, a su vez la nivelación del suelo para evitar una pendiente negativa que ocasionaría un desnivel a los soportes de las nueve piscinas flotantes.

4.3.1.2. Construcción y armado de las piscinas flotantes

Dentro del área atemperado se armó 9 piscinas flotantes de madera, cuyas dimensiones fueron de 1 metro cuadrado con una profundidad de 0,15 m, cada una asegurándolas con clavos. Así mismo cada piscina flotante se armó con su base de soporte al suelo las cuales fueron aseguradas las esquinas con clavos, los soportes tuvieron una altura de 0.65 m tal cual se observa en anexo.

4.3.1.3. Impermeabilización de las piscinas flotantes

Para la impermeabilización de las piscinas flotantes se utilizó el plástico negro de polietileno, en la cual se almacenó la solución nutritiva sin dejarla escurrir puesto que también previa al plástico se forró con yutes y algunas telas en desuso con la finalidad de evitar desgarros del plástico contra la madera al momento de incorporar la solución dentro de la misma.

4.3.1.4. Perforación del Poliestireno (Plastoform)

Se empleó 9 placas de poliestireno (plastoform) de 1 m x 1 m con 0.02 m de espesor que fueron las balsas de sostén para cada planta. Se empleó un tubo metálico caliente de 2 cm de diámetro para la perforación del mismo de acuerdo al marco de plantación de 0.20 m x 0.20 m, el cual nos dará como resultado un total de 27 orificios en cada piscina flotante de un área 1 m², como se observa en el archivo fotográfico del Anexo N° 3. Así mismo se tuvo un total de 243 plantas de albahaca una vez realizada el trasplante correspondiente.

4.3.2. Actividades productivas

4.3.2.1. Acondicionamiento del almacigo

Se implementó un espacio para el almacigo de las semillas para lo cual se utilizó piezas de sustrato de poliuretano (esponja) de acuerdo al siguiente protocolo:

- Con la ayuda de un marcador se realizó cortes cuadrulares de 2 cm x 2 cm, y en cada centro de la parte superior se realizó orificios con un cautín a una altura de 1 cm.
- Se procedió a lavar la esponja con agua levemente tibia y posteriormente se acomodó en las bandejas. En el archivo fotográfico del Anexo N° 3 se observa el lavado de las esponjas.
- En cada orificio de cada cubo se procedió a sembrar 1 semilla, seguidamente se fue regando las bandejas con bastante agua y envolviéndolas con plástico negro, así mismo ubicándolas en sitio atemperado bajo sombra para su

continuo desarrollo. También la siembra y preparación de las plántulas para el trasplante a las piscinas.

4.3.2.2. Análisis de agua

Según Resh (2005), cualquier agua que sirve para el consumo humano se puede usar para cultivos hidropónicos.

Las instalaciones del ambiente atemperado de la fundación APRODAMH cuenta con agua potable que proviene del agua de los nevados y pasa el proceso de potabilización agregándose cloro para el consumo de la población. Por esta razón se recolectó una muestra del agua a IBTEN y fue llevada para su posterior análisis físico-químico y la interpretación de los análisis de agua recibidos con la cual permitió una formulación óptima en el programa hidropónico Hydro-Buddy. En el Anexo N° 4 correspondiente fotografía se detalla el análisis realizado en IBTEN.

4.3.2.3. Programa Hidropónico Hydro-Buddy

Este programa de Software Hydro Buddy, nos permitió introducir el requerimiento nutricional para las tres soluciones nutritivas, éste requerimiento fue elaborado por Cabezas (2017), a su vez en este software se introdujo los resultados del análisis físico-químico del agua de las carpas de Ventilla (APRODAMH) que fueron analizados en IBTEN (Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear).

4.3.2.4. Preparación de las soluciones concentradas

Para una apropiada formulación de las sales en cualquier cultivo, se debe tomar en cuenta ciertos aspectos, tanto del agua como del cultivo, particularmente los requerimientos nutricionales del mismo cultivo, la disponibilidad de sales con las que se tiene y la cantidad de sales disponibles en el agua. Por lo tanto, es necesario pesquisar meticulosamente el requerimiento nutricional del cultivo.

Se utilizó tres diferentes soluciones nutritivas formuladas por René Cabezas, FAO y Hochmuth, estas tres formulaciones de solución nutritiva han sido elaboradas en Bolivia.

- La solución nutritiva según René Cabezas fue preparada y calculada según la cantidad de agua, Cabezas (2017) nos indica que se debe realizar la separación de los fertilizantes en tres grupos. La solución “A” contiene: nitrato de potasio, fosfato mono-amónico y nitro-S. Solución “B” contiene: sulfato de magnesio, quelato de hierro y micronutrientes. Solución “C” contiene: nitrato de calcio, con el fin de inhibir la precipitación de los nutrientes.

Para la preparación de la solución concentrada A, se tomó un fertilizante de manera aleatoria y se vertió a un recipiente con 5 litros con agua, se agitó hasta su completa dilución, posterior se tomó otro compuesto y se incorporó en el mismo recipiente y se volvió a agitar hasta su completa dilución y por último se introdujo el último compuesto en el mismo recipiente y se agitó hasta su completa dilución. Para la preparación de la solución concentrada B y C, se realizó el mismo procedimiento que en la solución A. se verificó que no haya precipitaciones del fertilizante en la base del recipiente. En los anexos N° 3, en las fotografías correspondientes se observa los fertilizantes empleados y la incorporación de soluciones concentradas A, B y C en el tanque de almacenamiento.

- La solución nutritiva según FAO, la solución concentrada A, se tomó un fertilizante de manera aleatoria y se vertió a un recipiente con 5 litros con agua, se agitó hasta su completa dilución, posterior se tomó otro compuesto y se incorporó en el mismo recipiente y se volvió a agitar hasta su completa dilución y por último se introdujo el último compuesto en el mismo recipiente y se agitó hasta su completa dilución. Para la preparación de la solución concentrada B y C, se realizó el mismo procedimiento que en la solución A. se verificó que no haya precipitaciones del fertilizante en la base del recipiente.
- La solución nutritiva según Hochmuth, de igual manera se preparó la solución concentrada A, se tomó un fertilizante de manera aleatoria y se vertió a un recipiente con 5 litros con agua, se agitó hasta su completa dilución, posterior se tomó otro compuesto y se incorporó en el mismo recipiente y se volvió a

agitar hasta su completa dilución y por último se introdujo el último compuesto en el mismo recipiente y se agitó hasta su completa dilución. Para la preparación de la solución concentrada B y C, se realizó el mismo procedimiento que en la solución A. se verificó que no haya precipitaciones del fertilizante en la base del recipiente.

4.3.2.5. Ubicación de las piscinas flotantes

Para la implementación del área de las piscinas, en la cual las 9 platabandas de madera fueron forradas con yutes y telas suaves para evitar desgarros al plástico negro que simularían como las piscinas de dimensiones 1m x 1 m x 0.15 m, el interior fueron forradas con plástico negro, de igual manera se impermeabilizó la superficie plana del plastofom, para evitar el crecimiento de algas y seguidamente se realizó perforaciones circulares de 2 cm de diámetro en la cual se introdujo las plántulas de albahaca, el plastofom permitió brindar el sostén a las plántulas y la raíz sumergidas sobre la solución nutritiva y la parte de las hojas en la superficie.

La ubicación de las nueve platabandas bajo el ambiente atemperado se estableció en un área de 15 m² a una altura de 10 m x 1,5 m situándolos de forma continua cada piscina sobre sus armazones de madera como soporte de cada piscina flotante. En las figuras N° 3 se puede observar la ubicación de las piscinas flotantes.

4.3.2.6. Trasplante de las plántulas de albahaca

Se efectuó a los 25 días de la siembra en el sustrato sintético cuando las plántulas de albahaca lograron desarrollar lo suficiente presentando 3 a 5 hojas verdaderas. Primeramente, se retiró cada cubo de esponja de poliuretano con la plántula respectiva la cual se procedió a lavar para retirar cualquier cuerpo extraño que pueda ingresar dentro de la solución y esta ocasionar una alteración en la conductividad eléctrica y el pH de la misma, las cuales se observan en la fotografía del Anexo N° 3 se observa el ingreso de las plántulas en la piscina.

Cada una de las superficies de poliestireno (plastofom) de las platabandas en las que se implementó las distintas soluciones nutritivas fue separada de manera aleatoria con

ayuda de una cinta de color según las tres variedades: Americana, Sucre y Superbo, sumando un total de 27 plántulas y 9 plántulas en cada unidad experimental. Se puede observar en el Anexo N° 9 la separación según las variedades en cada platabanda.

De acuerdo a Vallejo y Estrada (2004) sostienen que el trasplante se debe hacer con el mayor cuidado posible a fin de evitar el daño de hojas, ya que estas conforman la primera área fotosintética influyente sobre el desarrollo de la planta. Por lo cual se realizó el proceso de trasplante a primeras horas de la mañana cuando se encontraba el sitio atemperado a una temperatura de 9 °C, puesto que así evitamos la contaminación de las raíces y la deshidratación de las hojas.

La distancia entre plantas y surcos será 20cm x 20cm en donde se dispondrán cada cuadrado de esponja con la respectiva plántula y se las llevará en cada orificio de la superficie de plastoform hasta su cosecha.

4.3.2.7. Control del pH

Según Baixauli y Aguilar (2002) indican, el pH de una solución nutritiva marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones, que la mayor parte de las plantas trabajan bien en soluciones nutritivas con pHs comprendidos entre 5 y 7.

En el presente trabajo el control del pH se realizó semanalmente con la ayuda del pH-metro y se mantuvo entre valores de 6 a 6.8. cuando se tuvo un valor mayor 7 se añadió ácido nítrico el cual nos permitió bajar este valor, puesto que el cultivo no tolera este valor. En el anexo N° 10, se observan las lecturas de pH promedio de la solución nutritiva.

4.3.2.8. Control de la conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de la solución a un inicio de la preparación registraba 2100 dS/cm a 2500 dS/cm, después se fue observando que los valores fueron cambiando en algunas bandejas. Por lo tanto, se tenía valores que sobrepasen los 2500 dS/cm se añadió una cantidad mínima regulando con el conductímetro hasta lograr el rango óptimo para el intercambio de las sales presentes en la solución.

El control de este parámetro se realizó con ayuda de Conductímetro como instrumento y la realizó cada 7 días conjuntamente con el pH, como se observa en el Anexo N° 3.

4.3.2.9. Refalle

Esta actividad se realizó a los 15 días después del trasplante, reemplazando a las plantas perdidas con plantas nuevas. Ésta labor se realiza con el propósito de uniformizar la población de los diferentes tratamientos.

4.3.2.10. Toma de temperatura

Para la toma de temperaturas se utilizó el termómetro instalado en medio del cultivo a una altura de 1.50 m dentro del ambiente protegido Anexo N° 3, se tomó las temperaturas mínimas y máximas registradas, así mismo se implementó la malla semi sombra con el fin de evitar la radiación directa y a su vez disminuir el error de temperatura.

4.3.2.11. Manejo integrado de plagas

Para el manejo integrado de plagas se trabajó con el control preventivo en base a preparaciones e infusiones orgánicas de ajo y alcohol.

La principal plaga registrada fue Minador de hoja (*Liriomyza spp*), la hembra adulta perfora la epidermis de la hoja con su oviscapto, generalmente por el haz, donde deposita sus huevos en forma individual. Al eclosionar el huevo endofítico, la larva se alimenta del mesófilo, dejando un amina o galería poco profunda en forma de serpentina, debajo de la epidermis, que se ensancha a medida que la larva crece, lo cual constituye el daño causado por este insecto. Completado su desarrollo, la larva rasga la epidermis sobre la galería, por donde emerge y se deja caer al suelo para pupar (Chirinos *et al.*, 2014).

Posteriormente en el ambiente atemperado se efectuó la aplicación de infusión de ajo, para la preparación se licuó 5 dientes de ajo en medio litro de agua y seguidamente se coló (Ruíz, 2017). Seguidamente se aplicó a cada tratamiento durante 2 a 3 veces en la semana a primeras horas de la mañana para evitar la evaporación, esta medida

se suspendió 2 semanas antes del primer corte en la cual se observó la disminución y la incidencia de esta plaga

4.3.2.12. Cosecha

Para la primera cosecha se determinó teniendo en cuenta el número de días desde el trasplante a los 58 días. Posteriormente se efectuó la segunda cosecha; en el Anexo N° 3, se puede observar la realización correspondiente cosecha.

Se procedió la cosecha con las manos y tijeras de podar debidamente esterilizadas se procedió al corte de los tallos gradualmente en horas de la mañana con el propósito de evitar la deshidratación, luego fueron pesadas en una balanza de precisión Anexo N° 3 y colocadas en bolsas identificándolas para evitar confusiones posteriormente fueron acomodadas para su traslado.

4.3.2.13. Comercialización

Una vez realizada la cosecha de los tallos, se preparó el envasado en bolsas nylon, luego se empacó para mejor conservación del producto y transportados al mercado para la venta correspondiente en instalación.

La comercialización de los productos hortícolas en la zona está determinada por la presencia de intermediarios quienes se concentran en estas ferias, a donde también los agricultores llevan sus productos.

Estas ferias funcionan como centros de acopio, donde los intermediarios compran las albahacas empacadas, para luego transportarlas a la ciudad de La Paz, donde pasa a segundos intermediarios y luego al consumidor.

Asimismo, se da el caso más frecuente de comercialización, donde el productor envía sus productos directamente a los intermediarios de la ciudad de La Paz, que generalmente son vendedoras del mercado de la zona sur.

4.3.3. Procesamiento de datos

Para realizar los análisis estadísticos, se usó el paquete estadístico SPSS, en el cual se realizó el análisis de varianza ANVA, para ver el nivel de significancia entre uno y

otros tratamientos se realizó la prueba de Duncan a un nivel de confianza de 95% y significancia de 0,05%.

4.4. Diseño experimental

4.4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación empleada en el presente trabajo presentado fue una investigación cuantitativa experimental.

Para la evaluación del crecimiento de las plántulas de albahaca (*Ocimum basilicum*) se trabajó bajo el diseño experimental completamente al azar con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones, donde los tratamientos fueron distribuidos en 27 unidades experimentales y cada unidad experimental estuvo conformada por 9 plántulas. Se asignó a las soluciones (tres soluciones) como parcela grande y a las variedades (tres variedades de cultivo) como parcela chica (Calzada, 1970).

4.4.2. Modelo lineal

El modelo lineal aditivo del experimento fue la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ik} + \beta_k + \alpha\beta_{ijk} + \epsilon(ijk)$$

Donde:

Y_{ijk} = Una observación cualquiera

μ = Media general del experimento

α_i = Efecto del i – ésimo influencia del factor A (solución)

ϵ_{ik} = Error Experimental de la parcela principal

β_k = Efecto del k – ésimo nivel de factor B (variedades)

$\alpha\beta_{ijk}$ = Interacción del i–ésimo nivel del factor A con él k–ésimo nivel del factor B

$\epsilon(ijk)$ = Error Experimental.

Comparación de medias por Duncan, la prueba de Duncan se puede realizar aún sin ser significativa la prueba de F, establece un valor referencial para cada comparación de medias (Vicente, 2001).

La fórmula del valor referencial es:

$$VR_{DUNCAN} = t_{\alpha} \cdot S_x$$

Donde:

t_{α} = valor en función a los grados de libertad del error experimental, nivel de significancia 5%, número de medias de tratamientos.

S_x = Error estándar de la media $S_x = \sqrt{(CME/r)}$

4.4.3. Tratamientos de Estudio

En la presente investigación se evaluaron los tratamientos de la siguiente manera:

Tratamiento 1= $a_1 + b_1$

Tratamiento 4= $a_2 + b_1$

Tratamiento 7= $a_3 + b_1$

Tratamiento 2= $a_1 + b_2$

Tratamiento 5= $a_2 + b_2$

Tratamiento 8= $a_3 + b_2$

Tratamiento 3= $a_1 + b_3$

Tratamiento 6= $a_2 + b_3$

Tratamiento 9= $a_3 + b_3$

FACTOR A (Tres soluciones nutritivas)

a_1 = Solución nutritiva según Cabezas

a_2 = Solución nutritiva según FAO

a_3 = Solución nutritiva según Hochmuth

FACTOR B (Tres variedades)

b_1 = Variedad Americana

b_2 = Variedad Sucre

b_3 = Variedad Superbo

4.4.4. Distribución de tratamientos

Los factores de estudio mencionados anteriormente fueron distribuidos al azar para su correspondiente interacción en base a nueve tratamientos, la cual se puede observar en el cuadro N° 20; los tratamientos, la combinación y la descripción:

Cuadro N° 20. Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Combinaciones	Descripción
T1	$a_1 + b_1$	Sol. Cabezas * var. americana
T2	$a_1 + b_2$	Sol. Cabezas * var. sucre
T3	$a_1 + b_3$	Sol. Cabezas * var. Superbo
T4	$a_2 + b_1$	Sol. FAO * var. americana
T5	$a_2 + b_2$	Sol. FAO * var. sucre
T6	$a_2 + b_3$	Sol. FAO * var. superbo
T7	$a_3 + b_1$	Sol. Hochmuth * var. americana
T8	$a_3 + b_2$	Sol. Hochmuth * var. Sucre
T9	$a_3 + b_3$	Sol. Hochmuth * var, Superbo

Fuente: Elaboración propia, (2020)

4.4.5. Características del área experimental

En el cuadro N° 21 se puede observar las características que tuvo el área experimental la presente investigación, así mismo las dimensiones, la distribución de las unidades experimentales que se realizó en un espacio específico del ambiente atemperado, tomando en cuenta las siguientes dimensiones:

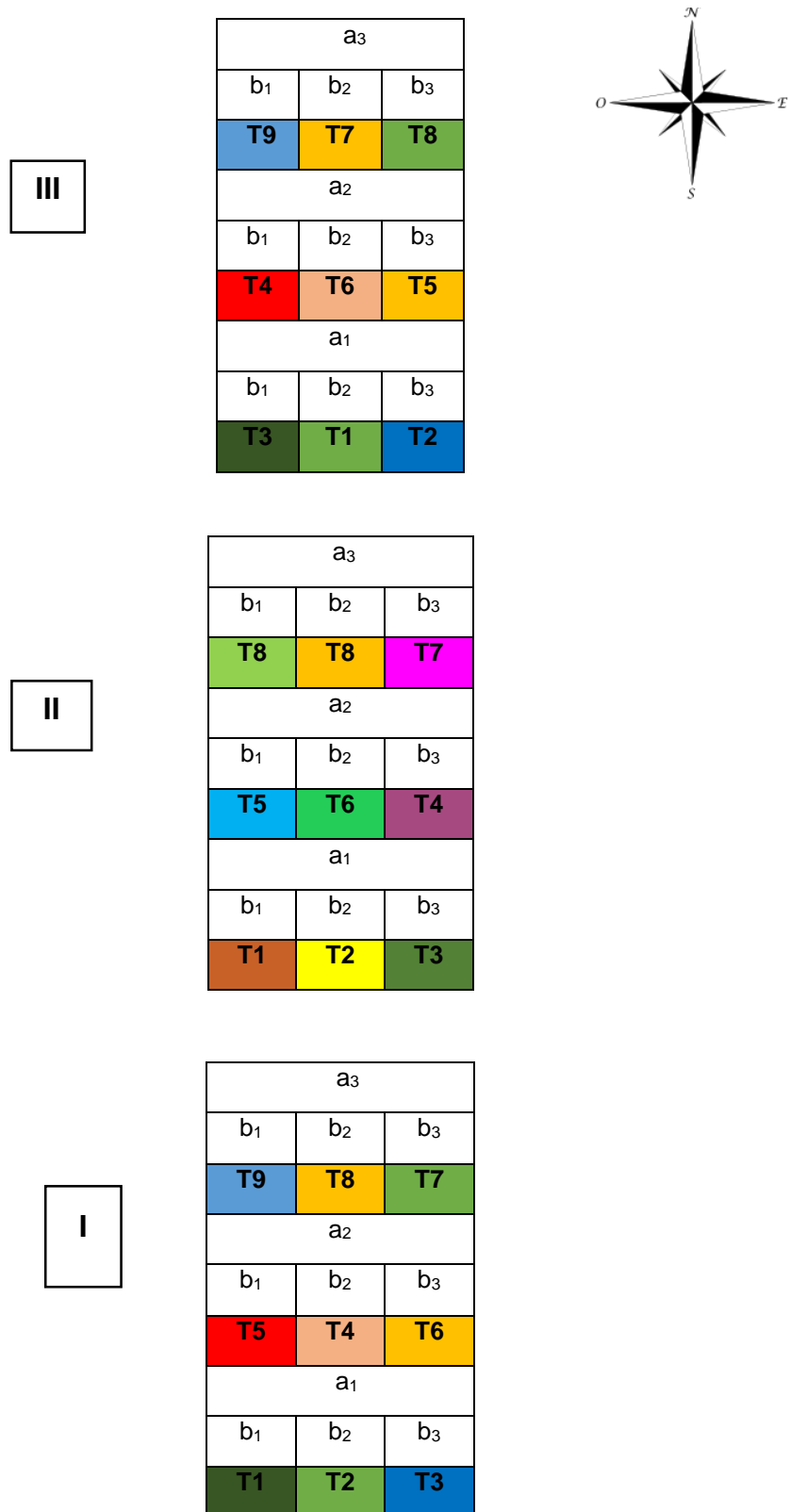
Cuadro N° 21. Dimensiones del área experimental

Características de las parcelas	Dimensiones
Superficie total del área del ensayo	12 (m ²)
Superficie de cada parcela grande	1 (m ²)
Superficie de cada parcela menor	0,33 (m ²)
Largo de la parcela menor	1 (m)
Ancho de la parcela menor	0,33 (m)
Largo de las platabandas	1(m)
Ancho de las platabandas	1(m)
Distancia entre plántulas (Tres bolillos)	0,15 x 0,20 (m)
Número de plántulas en cada tratamiento	9
Número de total de plántulas del ensayo	243
Número de platabandas totales	9
Número de repeticiones	3
Número de unidad experimental	27

Fuente: Elaboración propia, (2020)

4.4.6. Ubicación gráfica del área experimental

Figura N° 3. Se detalla croquis experimental de los tratamientos en estudio



4.4.7. Porcentaje de germinación

Bravo *et al.*, (2006), indica que es el método de cuantificar el número de plantas cuyos cotiledones hubiesen atravesando la superficie del suelo; esta sumatoria se aplicó para calcular el porcentaje de germinación. Para lo cual se utilizó la siguiente fórmula (Maguirre, 1962):

$$PG = (PHCD) 100/NSS$$

Dónde:

PG= Porcentaje de germinación

PHCD= Plántulas con las dos hojas cotiledóneas totalmente desplegadas.

NSS= Número de semillas sembradas.

4.5. Variables agronómicas registradas

4.5.1. Porcentaje de germinación

Para medir este parámetro se contabilizó desde el momento en que se inicia la siembra de las semillas en las bandejas plásticas y a los 15 días se realizó el primer registro de emergencia. Posteriormente el último registro concluyó días antes del trasplante a las piscinas flotantes del sistema hidropónico utilizando una regla de tres simple para determinar su valor porcentual y poder realizar las comparaciones respectivas entre las variedades trabajadas en la presente investigación.

4.5.2. Longitud de hoja

Al primer corte realizado se determinó las cinco muestras de cada unidad experimental para así obtener el dato correspondiente, para evitar algún daño a la planta cuando este implementada en la piscina flotante y posterior a su desarrollo óptimo; con ayuda de la regla metálica se medirá el largo de las hojas.

4.5.3. Altura de planta

Para evaluar esta variable se realizó la medición 4 veces hasta el primer corte la cual fue a los 52 días, se midió con ayuda de una regla metálica desde el cuello de la planta hasta el ápice de la misma a las cinco muestras de cada unidad experimental.

4.5.4. Número de hojas

La toma de datos para la evaluación de este parámetro se la realizó 4 veces hasta el primer corte, en la cual se realizó el conteo de las hojas desde el cuello de la planta hasta el ápice de las plántulas a las cinco muestras de cada unidad experimental.

4.5.5. Diámetro de tallo

Este parámetro se evaluó 4 veces hasta el primer corte del cultivo, desde la base del tallo con ayuda de un vernier como instrumento de medición a las cinco muestras de cada unidad experimental.

4.6. Variables de rendimiento

4.6.1. Peso en materia fresca

Para la evaluación de esta variable se procedió hasta el primer corte y con ayuda de una balanza analítica con graduación en gramos, este dato se tomará en las 5 muestras de cada unidad experimental que se tendrá de acuerdo al diseño.

4.6.2. Rendimiento por tratamiento

Para la evaluación de esta variable se procedió a realizar el cálculo para cada tratamiento, con la finalidad de obtener el rendimiento para el total de plantas en un tratamiento.

4.6.3. Análisis económico preliminar

El análisis económico se realizó como menciona Sapag, C.N. y Sapag, C.R. (2000), para su cálculo usa a los rendimientos medios obtenidos de los resultados del experimento. El procedimiento en base a los costos de producción tanto para el sistema asociado como para el monocultivo, el rendimiento del cultivo por el precio del producto nos da ingreso bruto, del cual nos resulta los beneficios netos como se muestra a continuación:

❖ **Para el Ingreso Bruto**

$$IB = R \times P$$

Donde:

IB= Ingreso Bruto

R= Rendimiento del cultivo

P= Precio del producto, considerando que en el mercado de su precio fue de 3 Bs/bolsa de 50 g.

❖ **Para el Ingreso Neto**

$$IN = IB - C$$

Donde:

IN= Ingreso neto o beneficio neto.

IB= Ingreso o beneficio bruto.

C= Costo variable de producción en Bs/ciclo productivo.

❖ **Relación Beneficio Costo**

$$B/C = IB / C$$

Donde:

B = Beneficio

C = Costo

Los valores de la relación beneficio / costo nos indica que un proyecto ha sido rentable o no, para poder interpretar análisis económico de un proyecto, los rangos de evaluación son:

Si el valor es > 1 es aceptable

Si el valor es < 1 es rechazado

IBTA (1995), indica como regla básica el beneficio costo en una inversión, será rentable si los beneficios son mayores que la unidad, aceptable si es igual a la unidad, y no es rentable si es menor a la unidad.

4.7. Transformación de datos

Según Calzada (1982), la transformación de datos se realiza, si los datos numéricos están dados en proporciones sin denominador común, (como por ejemplo porcentaje de plantas enfermas por parcela), entonces la distribución tiende a adquirir la forma

binomial y además los tratamientos no contribuyen por igual a formar el error experimental, razón por lo que es recomendable la transformación angular.

La transformación angular consiste en hallar para cada dato del experimento el seno del arco $\sqrt{\frac{x}{100}}$; afortunadamente esta transformación se puede hacer fácilmente con la tabla de transformación de datos presentada en el texto de Calzada (1982).

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

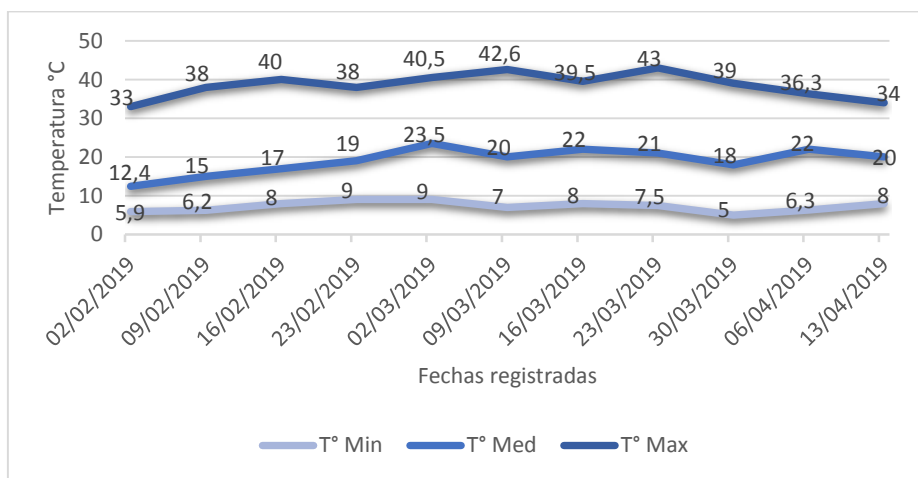
Los resultados obtenidos sobre el estudio de tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum*) hasta la etapa comercial con relación a tres soluciones nutritivas en sistema raíz flotante, se evaluó tomando en cuenta los componentes del desarrollo y crecimiento de las plántulas, así como las propiedades de las soluciones nutritivas en el sistema raíz flotante. A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el trabajo de investigación.

5.1. Descripción de temperaturas registradas durante el ciclo del cultivo

Las plantas están expuestas continuamente a las variaciones climatológicas que se producen tanto de forma diaria como estacionalmente. Estos cambios tienen una influencia notable en las actividades y el metabolismo de las plantas y se producen respuestas por parte de la planta para adaptarse a las condiciones ambientales y sacar mayor provecho de ellas (Flores, 2009).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se consideró necesario realizar un seguimiento de las variaciones térmicas registradas durante el experimento, los registros de temperaturas máximas, medias y mínimas dentro del ambiente protegido fueron semanalmente.

Figura N° 4. Fluctuaciones de temperatura durante el crecimiento y desarrollo del cultivo



Como se observa en la Figura N° 4, existe una diferencia notoria entre las fluctuaciones de temperaturas máximas, medias y mínimas, la máxima temperatura se presentó en el mes de abril con 43 °C, la temperatura media máxima ocurrido en el mes de marzo con 23,5 °C y una temperatura mínima de 5 °C registrado entre los meses de febrero y abril. Por lo cual se indicaría que este comportamiento térmico presenta mucha variación entre temperaturas. Al respecto Hartman (1990) señala que, la temperatura al interior del ambiente protegido depende en gran medida, por la radiación solar que llega a la construcción y por la impermeabilidad de los materiales de recubrimiento.

Al respecto Paunero (2001) señala que, la albahaca necesita climas muy calientes con temperaturas de aproximadamente 30 °C, luz completa y afirma que es perceptiva al frío. Por lo tanto, de acuerdo a lo registrado en campo se puede indicar que la máxima temperatura registrada se dio en horarios de 11:00 hasta las 14:30 por lo cual se realizó nebulizaciones manuales dentro del ambiente atemperado, disminuyendo de esa manera la afectación de la temperatura en el desarrollo del cultivo.

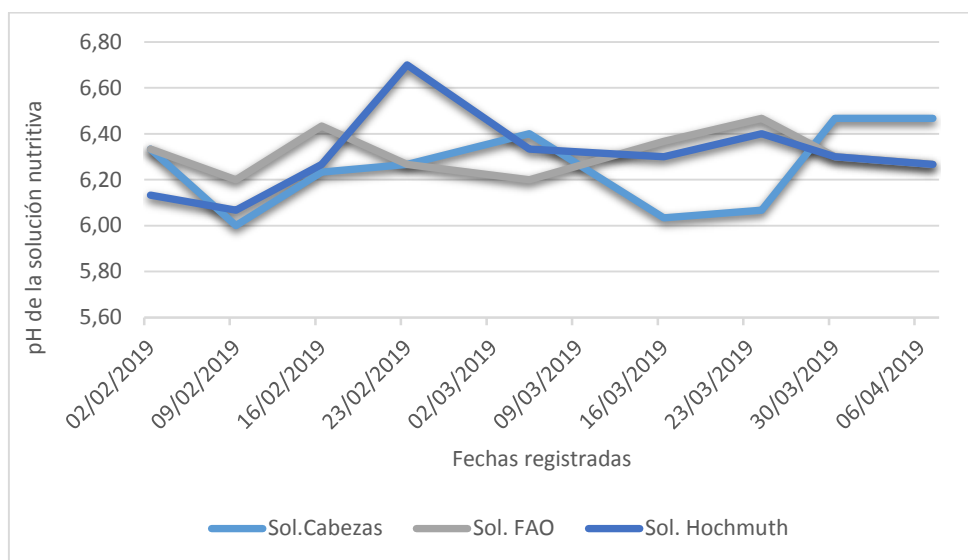
5.2. Descripción de parámetros de la solución nutritiva

Durante el ciclo del cultivo de albahaca se evaluó los siguientes parámetros de la solución nutritiva, bajo tres tipos de soluciones nutritivas con tres variedades de albahaca, el cual se aprecia en las fotografías del Anexo N° 3, que corresponde a los valores por semana transcurrido durante el tiempo del experimento en campo, las cuales a su vez se necesitó realizar las correcciones o calibraciones para mantener el adecuado estándar de los parámetros mencionados, posteriormente se da detalle.

5.2.1. pH de la solución nutritiva en las piscinas flotantes

De acuerdo a los valores obtenidos en campo se puede observar la representación gráfica en la figura N° 5, el comportamiento del pH, y para tener un control minucioso se registró semanalmente con el instrumento del pH-metro durante todo el período de permanencia del cultivo de albahaca en el sistema raíz flotante integrado en las nueve piscinas flotantes.

Figura N° 5. Comportamiento del pH de las soluciones nutritivas



Se registró el pH de las tres soluciones nutritivas después de prepararlas, para la solución nutritiva de Cabezas se apreció un valor igual a 6,33, la solución nutritiva FAO tuvo un valor de 6,33 y la última solución nutritiva Hochmuth de 6,13. A medida que las soluciones nutritivas van circulando por el sistema nutriendo a las plantas durante el transcurrir de los días, el pH no presentó demasiada variación durante el ciclo del cultivo dentro del rango permitido y tolerado por el cultivo. Así mismo se distingue a mediados del ciclo del cultivo una subida de pH en la solución Hochmuth de 6,70, convirtiendo a básico a la solución en esta piscina flotante. En consecuencia, los nutrientes sufren una alteración en la absorción. El ascenso del pH se controló con solución de ácido cítrico, añadiendo 20 ml de la misma en 80 litros de solución nutritiva en las bandejas que requirió. Por lo cual Izquierda (2005) argumenta que, para disminuir el valor de PH del agua se agrega una solución de ácido nítrico (HNO_3) y ácido ortofosfórico (H_3PO_4). Para la preparación de 1 litro de solución, se agrega 960 cc de agua en un contenedor, 30 cc de ácido nítrico (HNO_3) y de 10 cc de ácido ortofosfórico (H_3PO_4). Si no se dispusiera de alguno de estos dos ácidos, se sugiere preparar la solución con el ácido existente. Si el pH es inferior a 5,5 lo más recomendable para subir el pH es hidróxido de sodio (NaOH).

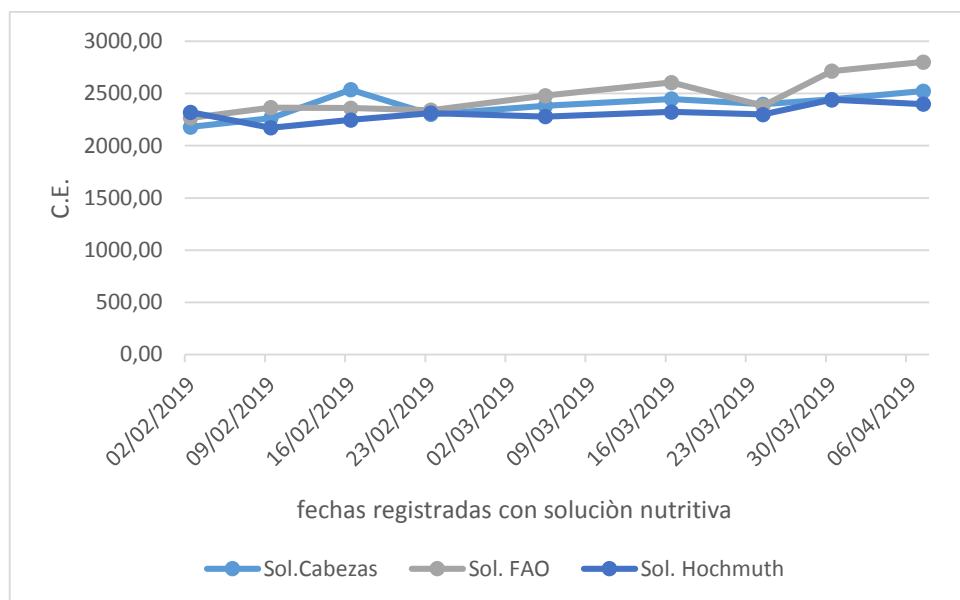
Cabezas (2017) sostiene que el pH nunca permanecerá constante en la solución nutritiva, las plantas en pleno desarrollo absorben más aniones que cationes, es decir,

nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^-), sulfatos (SO_4^-) y absorben menos potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y el pH tiende a subir, plantas en plena producción absorben más cationes que aniones, por tanto, el pH bajará.

5.2.2. Conductividad eléctrica en la solución de las piscinas flotantes

la conductividad eléctrica se registró semanalmente durante el ciclo del cultivo con la ayuda de un conductímetro. En la figura N° 6 se observa el comportamiento como tal de cada tipo de solución nutritiva en cada piscina flotante.

Figura N° 6. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de las soluciones nutritivas



Se registró la conductividad eléctrica de las tres soluciones nutritivas después de prepararlas, para la solución nutritiva de Cabezas se midió un valor de 2180 ppm (partes por millón) la solución nutritiva FAO tuvo un valor de 2266 ppm (partes por millón) y la última solución nutritiva Hochmuth de 2320 ppm. A medida que las soluciones nutritivas van circulando por el sistema nutriendo a las plantas durante el transcurrir de los días, la conductividad eléctrica se mantuvo en el rango tolerado por el cultivo. Se observó en la segunda semana un ascenso en la solución nutritiva de Cabezas de 2537 ppm, lo cual se añadió una cantidad de agua hasta regularla. Gilsanz (2007) menciona trabajar con una conductividad eléctrica de 2.0 a 2.6 uS/cm o 1280 a 1664 ppm (partes por millón). La concentración manejada fue elevada, el mismo autor

menciona que altas concentraciones de C.E., provoca un desarrollo lento, fitotoxicidad y pudrición de la raíz.

En la investigación realizada por Contreras y De Jesús (2008) al evaluar tres variedades de albahaca y dos dosis de fertilización en producción hidropónica y en suelo, añade que mantuvo la conductividad eléctrica en un rango entre 1.20 y 1.60 dS/m hasta la cuarta semana. Posteriormente fluctuó entre 2.00 – 2.56 y 2.00 – 2.78 dS/m en las soluciones nutritivas al 90 y 100 %.

Así mismo Urrestarazu (2004) argumenta que las plantas sometidas a medios con niveles de salinidad mayores a 3 dS m⁻¹ sufren un descenso del porcentaje de calcio de hojas, y frutos.

5.3. Descripción de los parámetros de producción

5.3.1. Descripción de variables agronómicas registradas durante el crecimiento y desarrollo del cultivo

5.3.1.1. Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación que se logró observar en las plántulas de albahaca en las tres variedades evaluadas fue a partir de 15 días para adelante después de la siembra en el almácigo.

En el siguiente Cuadro N° 21 se puede observar el comportamiento de germinación de las tres variedades de albahaca:

Cuadro N° 21. Porcentaje de germinación de las variedades de semillas de albahaca utilizados en el estudio

Americana	Sucre	Superbo
68 %	78 %	58 %

Fuente: Elaboración propia (2020)

De acuerdo al Cuadro N° 21 se observa que la variedad Sucre obtuvo un mayor porcentaje de germinación con un 78% seguido de la variedad Americana con 68% y

finalmente la variedad Superbo con 58% de emergencia, probablemente uno de los factores de la diferencia en la germinación entre las tres atribuye al potencial genético, rusticidad y tiempo de almacenamiento de la semilla, que son características propias de cada variedad.

En tanto que el medio ambiente es un factor importante para el comportamiento fisiológico del cultivo acompañado por la intensidad de luz, humedad y la estructura del suelo que son factores que determinan la uniformidad de la emergencia, al respecto Maroto (1995), indica el medio debe ofrecer buena condición de producción con buena humedad y estructura del suelo para obtener plántulas de tamaño aceptable.

Al respecto Weaver (1996), indica que las semillas aparentemente maduras no germinan pudiendo deberse a un factor o una combinación de estos. Las causas principales del letargo son: embriones rudimentarios, embriones fisiológicamente inmaduros, cubiertas o integumentos de semilla mecánicamente resistentes y cubiertas impermeables o presencia de inhibidores de la germinación.

Juscáfresca (1975) la temperatura para la germinación de las semillas se encuentra entre 20 – 25 °C.

5.3.1.2. Número de hojas

De acuerdo al diseño experimental aplicado en el presente trabajo de investigación, se tiene los valores obtenidos en las evaluaciones de la variable de número de hojas del cultivo de albahaca bajo el efecto de dos factores; Soluciones Nutritivas (Factor “A” Parcela Mayor) en interacción con las Tres Variedades (Factor” B” Parcela Menor).

Previo al análisis de varianza se trabajó con la transformación de datos con el fin de precisar para la variable número de hojas, puesto que la variable presenta datos discontinuos o discretos, siguiendo la metodología anteriormente se presenta en el cuadro N° 22 el respectivo análisis de varianza para la variable. Se puede observar en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 22. Análisis de varianza para el número de hojas de la planta a la cosecha de la albahaca

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F-Valor	P>F (0.05)	Sig.
Soluciones nutritivas (A)	2	8,25	4,13	3,34	0,1061	NS
Error de A	6	7,42	1,24			
Variedades (B)	2	16,67	8,33	40,31	<0,0001	**
Error de B	12	2,48	0,21			
Interacción A x B	4	0,90	0,23	1,09	0,4031	NS
Total	26	35,73				
C.V.				10,32 %		

(*) =significativo, (**) =altamente significativo, (NS)= No significativo

Fuente: Elaboración propia (2020)

Del cuadro N° 22, el coeficiente de variación fue de 10,32 %, lo que indica que existió un buen manejo en las unidades experimentales, que los datos de la investigación son confiables (Arteaga, 2010).

Así mismo el Análisis de varianza del cuadro N° 22, indica que no hubo significancia (NS) en el factor soluciones nutritivas (Factor A) por lo cual no existe un efecto en el rendimiento. Sin embargo, puede evidenciarse que en el factor variedades (Factor B) es altamente significativo, indicándose así que al emplear distintas variedades de albahaca existió una mejor respuesta a las soluciones nutritivas que las otras variedades.

Figura N° 7. Prueba Duncan para la variable número de hojas entre variedades

Variedades	Medias (Nro Hojas)	Duncan (5%)
Sucre	30,47	A
Americana	15,28	B
Superbo	14,36	B

En la Figura N° 7 se observa la prueba Duncan para la variable número de hojas en los tratamientos tuvieron un efecto diferente en la variable número de hojas para el cultivo de albahaca, se muestra que la variedad Sucre presenta promedio mayor número de hojas con 30,47 hojas/planta, la variedad Americana con un promedio número de 15,28 hojas/planta y por último la variedad Superbo que presenta un número de 14,36 hojas /planta lo que nos indica que está fue la variedad con el menor resultado que obtuvo con respecto a la variable número de hojas/planta. (Siñani, 2017) al evaluar dos variedades de berro (*Nasturtium officinale* R. Br y *Lepidium sativum*) en cultivo sin suelo y tuvo como resultado de acuerdo al comportamiento del número de hojas por planta al momento de cosecha, la variedad *N. officinale* correspondiente a los tratamientos T1, T3 y T2 numéricamente obtuvo mayor cantidad de hojas con 45, 45 y 42 hojas por planta respectivamente. A diferencia de la variedad *L. sativum* correspondiente a los tratamientos T4, T6 y T5 que obtuvieron en promedio 21 hojas por planta en los tratamientos. La diferencia que existe entre los tratamientos es mínima, este comportamiento permite asumir que fue influenciado por las características genéticas de cada variedad.

Así mismo, Torrez (2014) obtuvo una media alta de 94,7 hojas por planta en la variedad Boliviana y la variedad Italiana una media de 49,8 hojas al evaluar el rendimiento de dos variedades de albahaca, hasta la etapa comercial con relación a la biofertilización en carpa solar. Estos autores sostienen que la cantidad de follaje se atribuye a las características genéticas de cada variedad.

La diferencia entre variedades en la cantidad de hojas por planta, se atribuye a las características genéticas particulares de ambas variedades y no así a las diferentes densidades de siembra establecidas en el ensayo. Así mismo, el mayor crecimiento fotosíntesis y producción de biomasa como resultado de un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutrimentales (Aguilar *et al.*, 2005).

5.3.1.3. Altura de planta

De acuerdo al diseño experimental aplicado en el presente trabajo de investigación, los resultados para altura de planta que muestra el análisis de varianza son los siguientes:

Cuadro N° 23. Análisis de varianza para la altura de la planta

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F-Valor	P>F (0.05)	Sig.
Soluciones Nutritivas (A)	2	247,43	123,72	13,24	0,0063	*
Error de A	6	56,07	9,35			
Variedades (B)	2	82,79	41,40	10,32	0,0025	*
Error de B	12	48,16	4,01			
Interacción A x B	4	13,27	3,32	0,83	0,5330	NS
Total	26	447,73				
C.V.				13,13 %		

(*) =significativo, (**) =altamente significativo, (NS)= No significativo

Fuente: Elaboración propia, (2020)

El coeficiente de variación fue de 13,13 %, aceptable para el manejo de las parcelas, el cual indica que los datos obtenidos son confiables por encontrarse dentro de los rangos permisibles de variabilidad.

Así mismo el ANVA del cuadro N° 23, indica que hubo significancia (*) en el factor soluciones nutritivas (Factor A) por lo cual existe un efecto en el rendimiento. Sin embargo, puede evidenciarse que en el factor variedades (Factor B) es significativo (*), indicándose así que al emplear distintas variedades de albahaca existió una mejor respuesta a las soluciones nutritivas que las otras variedades. Así mismo se logra identificar en el análisis de varianza que no existió la interacción de los factores soluciones nutritivas y variedades.

Figura N° 8. Prueba Duncan para la variable altura de planta entre las parcelas con las tres soluciones nutritivas

Solución nutritiva	Medias (cm)	Duncan (5%)
Cabezas	18,73	A
FAO	15,69	A
Hochmuth	11,36	B

Las soluciones aplicadas en los tratamientos tuvieron un efecto diferente en la variable de altura de planta, en la figura N° 8, se muestra que con la aplicación de la solución nutritiva de Cabezas presenta la mejor altura con 18,73 cm, solución FAO un promedio de altura de 15,69 cm, y por último la solución Hochmuth con un promedio de 11,36 cm lo que indica que esta solución fue con el menor resultado que obtuvo con respecto a la variable altura de planta.

De acuerdo a Castelo (2012) al evaluar dos soluciones madre y dos sistemas hidropónicos (Pirámide y NFT) en tres especies vegetales (Albahaca, Lechuga y Apio) obtuvo para albahaca según la solución La Molina Modificada una altura de 27,15 cm en comparación con la Solución Huerta Hidropónica Popular Modificada el cual registró 36 cm. Lo cual podría ser a que esta contiene un mejor balance nutricional para el desarrollo de esta especie hortícola.

Contreras y Gómez, (2008) en su investigación evaluación de tres variedades de albahaca y dos dosis de fertilización en producción hidropónica y en suelo obtuvo una altura de planta con la dosis Completa de la Universidad de Florida recomendada para albahaca y para la dosis 90% según la Universidad de Florida un altura de planta de 22,2 cm concluyendo que no influyó estadísticamente la dosis de fertilizante aplicada en la investigación.

Al respecto Vigliola (2009) señala que estos métodos de aplicación de nutrientes, puede reemplazarse del método convencional ya que la unidad de nutrientes aplicadas debe ser baja porque puede provocar quemaduras en las hojas en el caso de usar soluciones muy concentradas o con alta dosificación.

Figura N° 9. Prueba Duncan para la variable altura de planta entre las tres variedades

Variedades	Medias (cm)	Duncan (5%)
Sucre	17,49	A
Americana	15,08	B
Superbo	13,21	B

En la figura N° 9 se observa la prueba Duncan de las variedades, existió una diferencia en la variable de respuesta altura de planta con respecto a las variedades que se trabajó en los tratamientos.

Las variedades trabajadas en los tratamientos tuvieron un efecto diferente en la variable altura de planta para el cultivo de albahaca, se muestra que la variedad Sucre presenta mayor altura de planta con 17,49 cm, la variedad con un promedio de altura de planta del 15,08 cm y por último la variedad Superbo con un promedio de 13,21 cm lo que nos indica que está fue la variedad con el menor resultado que obtuvo con respecto a la variable altura de planta. En comparación a los valores de (Quenta, 2020) al evaluar dos variedades de albahaca en sistema hidropónico recirculante NFT, con respecto a la variable altura de planta que obtuvo en promedio 15,7 cm en la variedad italiana y 15,6 cm en la variedad boliviana, los valores obtenidos en la investigación son mayores, exceptuando la variedad Superbo que tuvo una diferencia superior de 2,39 cm.

Siñani (2017), en su investigación reportó la diferencia estadística entre la variable altura de planta entre las dos variedades es evidente, siendo que la variedad *L. sativum* con 24,49 cm en promedio obtuvo la mayor altura en comparación con la variedad *N. officinale* quien obtuvo en promedio 13,57 cm de altura, afirmando la existencia de diferencias estadísticas en altura de planta entre las variedades estudiadas, como indica la prueba Duncan 5%. En ese sentido, infiere que la diferencia en altura de planta es propia de cada genotipo; respecto al fenotipo.

Al respecto Rojas (2013), obtuvo una altura de planta de 45,00 cm en la variedad Herbbail Italian Large y la variedad Vire Flay una altura de 33,75 cm al evaluar la productividad de dos variedades de cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) a la aplicación de tres niveles de lixiviado de lombriz.

5.3.1.4. Diámetro de tallo

Como se puede observar en el cuadro N° 24, el análisis de varianza para la variable diámetro de tallo que a continuación se aprecia:

Cuadro N° 24. Análisis de varianza para el diámetro de tallo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F-Valor	P>F (0.05)	Sig.
Soluciones nutritivas (A)	2	1,87	0,94	3,10	0,1189	NS
Error de A	6	1,81	0,30			
Variedades (B)	2	0,47	0,24	2,60	0,1153	NS
Error de B	12	1,09	0,09			
Interacción A x B	4	0,22	0,05	0,60	0,6671	NS
Total	26	5,46				
C.V.			9,03 %		Media= 3,34	

(*) =significativo, (**) =altamente significativo, (NS)= No significativo

Fuente: Elaboración propia (2020)

El coeficiente de variación fue de 9,03 %, aceptable para el manejo de las parcelas, el cual indica que los datos obtenidos son confiables por encontrarse dentro de los rangos permisibles de variabilidad.

Así mismo el ANVA del cuadro N° 19, indica que no existió significancia (NS) en el factor soluciones nutritivas (Factor “A” Parcela Mayor) por lo cual no existe un efecto en el rendimiento. Por lo tanto, se analizó y se obtuvo una media de 3,34 mm para la variable diámetro de tallo.

Con el fin de precisar el estudio de las variables a continuación se describe el comportamiento del diámetro de tallo por tratamiento.

Cuadro N° 25. Comparación Promedio para variable diámetro de tallo (mm/planta)
por tratamientos

Tratamiento	Factor (A)	Factor (B)	Promedio (mm)
T1	a1	b1	3,87

T2	a2	b2	3,63
T3	a3	b3	3,57
T4	a4	b4	3,60
T5	a5	b5	3,03
T6	a6	b6	3,17
T7	a7	b7	3,10
T8	a8	b8	3,00
T9	a9	b9	3,07

De acuerdo al cuadro N° 25, los promedios de los tratamientos en estudio para la variable diámetro de tallo no muestra una diferencia significativa, pero el T1 obtuvo un mayor diámetro de 3,87 mm comparada con el T8 que sería el tratamiento de menor diámetro que obtuvo 3,00 mm respecto a los demás tratamientos.

Al respecto Rodríguez (2002) argumenta que, las plantas al completar un fotoperiodo normal, crecen vigorosamente aumentando en área foliar lo que permite que el diámetro de cuello engrose de acuerdo aumenta el área foliar o el número de hojas, manteniendo siempre adecuadas las otras características tanto de fertilidad y humedad.

Según Medrano (2017) indica que, al utilizar dos diferentes sustratos no se tiene un efecto directo con el diámetro del tallo del cultivo, es decir que los sustratos no difieren en el desarrollo del diámetro de tallo en el cultivo. La interacción que existe entre solución y sustrato da como resultado no significativo, es decir que, al utilizar dos diferentes sustratos y diferentes soluciones nutritivas, no existirá relación directa con el diámetro de tallo.

5.3.1.5. Peso en fresco

Esta variable de respuesta se obtuvo, una vez realizada la cosecha a los 58 días y haber realizado las evaluaciones correspondientes, todas las muestras fueron

pesadas en materia fresca de todas las unidades experimentales, los datos obtenidos se promediaron por tratamiento y repetición el cual le presentamos a continuación.

Cuadro N° 26. Análisis de varianza para el peso en fresco a la cosecha de la albahaca

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F-Valor	P>F (0.05)	Sig.
Soluciones nutritivas (A)	2	128,62	64,31	37,39	0,0004	*
Error de A	6	10,32	1,72			
Variedades (B)	2	7,08	3,54	6,80	0,0106	*
Error de B	12	6,25	0,52			
Interacción A x B	4	0,08	0,02	0,04	0,9965	NS
Total	26	152,35				
C.V.				11,05%		

(*) =significativo, (**) =altamente significativo, (NS)= No significativo

Fuente: Elaboración propia (2020)

Así mismo el ANVA del cuadro N° 26, indica que hubo significancia (*) en el factor variedades (Factor B) por lo cual existe un efecto en las variedades sobre el rendimiento. Sin embargo, puede evidenciarse que en el factor soluciones nutritivas (Factor A) es significativo (*), indicándose así que al emplear distintas soluciones nutritivas existió una mejor respuesta de las variedades empleadas en la investigación, por lo cual tuvo dominio en el peso fresco de la planta.

Este análisis muestra como coeficiente de variación un valor de 11,05 %, se encuentra por debajo del límite estadístico permitido, lo que indica una excelente confiabilidad en los datos obtenidos durante el proceso de evaluación de la investigación según (Arteaga, 2010).

De acuerdo a la FAO (2004) indica que, se pueden obtener buenos resultados si se aplican elementos nutritivos y se tiene presente un grupo de factores que hacen eficaz dicho abonamiento; siendo los más importantes, las características físico-químicas del

suelo (contenido de nutriente, reacciones del suelo, textura, estructura, capas impermeables), los factores climáticos (lluvia, temperatura, intensidad luminosa), las características del cultivo, densidad de siembra, control de plagas y enfermedades).

Figura N° 10. Prueba Duncan para la variable peso en fresco entre las tres soluciones nutritivas

Solución nutritiva	Medias (g)	Duncan (5%)
Cabezas	9,56	A
FAO	5,56	B
Hochmuth	4,48	B

Las soluciones aplicadas en los tratamientos tuvieron un efecto diferente en la variable peso fresco, en la figura N° 10 se observa que con la aplicación de la solución nutritiva de Cabezas presenta el mayor peso fresco con 9,56 g, solución FAO un promedio en peso fresco de 5,56 g, y por último la solución Hochmuth con un promedio de 4,48 g lo que indica que esta solución fue con el menor resultado que obtuvo con respecto a la variable peso fresco. Al respecto Castelo (2012) al evaluar dos soluciones madre y dos sistemas hidropónicos (Pirámide y NFT) en tres especies vegetales (Albahaca, Lechuga y Apio) obtuvo para albahaca en el ensayo de investigación con la solución Huerta Hidropónica Popular Modificada generó un peso de planta de 83,03 g y con la solución La Molina Modificada obtuvo un peso menor de 18,78 g.

Según Medrano (2017), en el ensayo de investigación que realizó en el cultivo de lechuga en sistema mixto (suelo e hidroponía) bajo obtuvo una media alta de 90 g con la aplicación de la solución FAO, una media de 64,66 g con la solución Molina y una media baja con la aplicación de solución Boliviana de 58,4 g.

Para la FAO (2002), las aportaciones de elementos nutritivos en los cultivos permiten un buen crecimiento que darán buenos rendimientos y el aprovechamiento eficaz de los nutrientes puede duplicar el rendimiento.

Figura N° 11. Prueba Duncan para la variable peso en fresco entre las variedades

Variedades	Medias (g)	Duncan (5%)
Americana	7,26	A
Sucre	6,21	B
Superbo	6,13	B

En la figura N° 11 se observa la prueba Duncan de las variedades, existió una diferencia en la variable de respuesta de peso fresco con respecto a las variedades que se trabajó en los tratamientos.

Las variedades trabajadas en los tratamientos tuvieron un efecto diferente en la variable peso fresco para el cultivo de albahaca, se muestra que la variedad Americana presenta mayor peso en fresco con 7,26 g, la variedad Sucre con un promedio en peso fresco de 6,21 g y por último la variedad Superbo con un promedio de 6,13 g lo que nos indica que está fue la variedad con el menor resultado que obtuvo con respecto a la variable peso fresco. Al respecto Siñani (2017) de acuerdo a los resultados de la prueba Duncan de comparación de medias muestra que la V1 *N. officinale* presentó mayor peso promedio por planta con un valor igual a $30,32 \pm 6,14$ g en comparación a V2 *L. sativum* que obtuvo un promedio de $20,67 \pm 3,82$ g por planta. el mayor peso alcanzado por *N. officinale* se atribuye a las características genéticas, morfológicas y fisiológicas propias de ésta variedad en comparación a *L. sativum* que registró un peso promedio bajo por planta. Por otra parte, argumenta que el medio de cultivo al que se sometió (ambas variedades) posiblemente intervino en el rendimiento, ya que el medio proporciona agua y nutrientes a disposición de la planta.

Pandales y Santos (2017) evaluaron el desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo condiciones de invernadero como una alternativa de producción limpia, en cuanto al rendimiento en producción de biomasa en peso fresco los tratamientos mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), el tratamiento con mejor resultado fue la variedad Genovese de $2504,4$ g/m², seguido de la variedad Tailandesa que obtuvo un peso de 1698 g/m², mientras que la variedad

Dark Opal Purple presentó el menor rendimiento con 1203,6 g/m², argumenta que los sistemas acuapónicos presentan un mayor rendimiento en comparación con un cultivo tradicional en suelo.

5.3.1.6. Longitud de hoja

Como se puede observar en el cuadro N° 27, el análisis de varianza para la variable longitud de hoja que a continuación se puede apreciar:

Cuadro N° 27. Análisis de varianza para la longitud de hoja a la cosecha de la albahaca

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F-Valor	P>F (0.05)	Sig.
Soluciones nutritivas (A)	2	23,73	11,87	4,26	0,0705	NS
Error de a	6	16,71	2,79			
Variedades (B)	2	44,26	22,13	13,90	0,0008	*
Error de b	12	19,10	1,59			
Interacción a x b	4	10,55	2,64	1,66	0,2239	NS
Total	26	114,35				
C.V.		22,13 %				

(*) =significativo, (**) =altamente significativo, (NS)= No significativo

Fuente: Elaboración propia, (2020)

Así mismo el ANVA del cuadro N° 27, indica que no hubo significancia (NS) en el factor soluciones nutritivas (Factor A) por lo cual no existe un efecto en el rendimiento. Sin embargo, puede evidenciarse que en el factor variedades (Factor B) es significativo (*), indicándose así que al emplear distintas variedades de albahaca existió una mejor respuesta a las soluciones nutritivas que las otras variedades.

De acuerdo a Cadena (2014) indica que el coeficiente de variabilidad, es confiable si es menor o igual 15% para actividades agropecuarias. Por lo cual se obtuvo el 10,32 %, aceptable para el manejo de las parcelas, el cual indica que los datos obtenidos son confiables por encontrarse dentro de los rangos permisibles de variabilidad.

Figura N° 12. Prueba Duncan para la variable longitud de hoja entre las tres variedades

Variedades	Medias (cm)	Duncan (5%)
Americana	7,23	A
Superbo	5,78	B
Sucre	4,10	C

En la figura N° 12, se observa la prueba Duncan de las variedades, existió una diferencia en la variable de respuesta longitud de hoja con respecto a las variedades que se trabajó en los tratamientos.

Las variedades trabajadas en los tratamientos tuvieron un efecto diferente en la variable longitud de hoja para el cultivo de albahaca, se muestra que la variedad Americana presenta mayor longitud de hojas con 7,23 cm, la variedad Superbo con un promedio de longitud de hoja del 5,78 cm y por último la variedad Sucre con un promedio de 4,10 lo que nos indica que está fue la variedad con el menor resultado que obtuvo con respecto a la variable longitud de hoja. De acuerdo a los resultados obtenidos Alcon (2019) reportó una media de 8,52 cm en longitud de hoja de la variedad americano y la variedad Chuquisaqueño llegó a un valor registrado de 4,78 cm, es decir que la variedad Americana logra un 44% más de desarrollo de hoja para el parámetro de longitud. Esta situación se manifiesta por las características fenotípicas entre las variedades.

Asi mismo Quenta (2020) al evaluar dos variedades de albahaca en sistema hidropónico recirculante NFT en el municipio de Pucarani- La Paz, reporta una media

de 3,42 cm en el largo de hoja de la variedad italiana. Mientras que la variedad boliviana de 3,13 cm.

Según Torrez (2014) en el ensayo de investigación que realizó en el cultivo de albahaca en biofertilización en carpa solar, reportó un promedio de 10,60 cm de largo, en comparación a la variedad Boliviana que presentó 7,43 cm de largo de hoja, argumentando de esta manera que las variedades se comportan de diferentes maneras.

5.3.1.7. Rendimiento por tratamiento

En el cuadro N° 28 se observa el análisis de varianza para el rendimiento de albahaca por tratamiento en peso fresco, los datos obtenidos se promediaron por tratamiento y repetición tal cual se presenta a continuación:

Cuadro N° 28. Análisis de varianza para el rendimiento a la cosecha de la albahaca

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F-Valor	P>F (0.05)	Sig.
Soluciones nutritivas (A)	2	93761,00	46880,50	37,39	0,0004	*
Error de A	6	7522,11	1253,69			
Variedades (B)	2	5161,55	2580,78	6,80	0,0106	*
Error de B	12	4555,96	379,66			
Interacción A x B	4	61,30	15,32	0,04	0,9965	NS
Total	26	111061,92				
C.V.				11,05 %		

(*) =significativo, (**) =altamente significativo, (NS)= No significativo

Fuente: Elaboración propia, (2020)

Así mismo el ANVA del cuadro N° 28, indica que fue significativo (*) en el factor soluciones nutritivas (Factor A) por lo cual existe un efecto en las variedades sobre el rendimiento. Sin embargo, puede evidenciarse que en el factor variedades (Factor B)

resultó significativo (*), indicándose así que al emplear distintas soluciones nutritivas existió una mejor respuesta de las variedades empleadas en la investigación, por lo cual tuvo dominio en el peso fresco de la planta.

Este análisis muestra como coeficiente de variación un valor de 11,05 %, se encuentra por debajo del límite estadístico permitido, lo que indica una excelente confiabilidad en los datos obtenidos durante el proceso de evaluación de la investigación según (Arteaga, 2010).

Figura N° 13. Prueba Duncan para la variable rendimiento por tratamiento entre las tres soluciones nutritivas

Solución nutritiva	Medias (g)	Duncan (5%)
Cabezas	258	A
FAO	150	B
Hochmuth	120	B

Las soluciones aplicadas en los tratamientos tuvieron un efecto diferente en la variable rendimiento por tratamiento, en la figura N° 10 se observa que con la aplicación de la solución nutritiva de Cabezas presenta el mayor rendimiento por tratamiento con 258,00 g, solución FAO un promedio en el rendimiento por tratamiento de 150 g, y por último la solución Hochmuth con un promedio de 120 g lo que indica que esta solución fue con el menor resultado que obtuvo con respecto a la variable rendimiento por tratamiento.

Al respecto Maita (2018) evaluó el comportamiento del cultivo de lechuga en sistema raíz flotante bajo tres tipos de soluciones nutritivas en la cual obtuvo con la solución nutritiva FAO modificada 119,2 g como promedio, seguida de la solución nutritiva de la Molina 56,33 g y por último la solución nutritiva de la FAO con 42,07 g en los meses de marzo y junio.

Figura N° 14. Prueba Duncan para la variable rendimiento por tratamiento entre las variedades

Variedades	Medias (g)	Duncan (5%)
Americana	195,90	A
Sucre	167,61	B
Superbo	165,63	B

En la figura N° 14 se observa la prueba Duncan de las variedades, existió una diferencia en la variable de respuesta en el rendimiento por tratamiento con respecto a las variedades que se trabajó en los tratamientos.

Las variedades trabajadas en los tratamientos tuvieron un efecto diferente en la variable rendimiento por tratamiento para el cultivo de albahaca, se muestra que la variedad Americana presenta mayor peso en fresco con 195,90 g, la variedad Sucre con un promedio en el rendimiento por tratamiento de 167,61 g y por último la variedad Superbo con un promedio de 165,63 g lo que nos indica que está fue la variedad con el menor resultado que obtuvo con respecto a la variable rendimiento por tratamiento.

Según la investigación realizada por Rojas (2013) la variedad Herbbasil Italian con el mejor promedio de 613,63 g y la variedad Vire Flay con el mejor promedio de 455,23 g; así mismo argumenta que el área de estudio en el que se llevó a cabo el experimento presentó un buen contenido de nitrógeno y el factor ambiental que presentó durante el día pudo ser favorable en el rendimiento del cultivo de albahaca.

De acuerdo a Torrez (2014), obtuvo en su investigación un rendimiento promedio entre variedades de 0,63657 kg/m², en la variedad italiana, en cambio la variedad boliviana obtuvo un promedio de 0,70631 kg/m², indicando que la variedad boliviana obtuvo un mejor rendimiento respecto a la variedad italiana.

5.4. Análisis económico

El análisis económico se realizó con el objetivo de conocer los costos de producción de los nueve tratamientos de la producción hidropónico en sistema raíz flotante combinado en dos parcelas divididas con dos factores; soluciones nutritivas (Cabezas, FAO y Hochmuth) y variedades de albahaca (Americana, Sucre y Superbo).

Según Calcina (2015) indica que, la evaluación económica nos permite proporcionar parámetros claro para determinar la rentabilidad o no de un tratamiento, para realizar un cambio tecnológico en nuestro sistema de producción. Es considerado de mucha importancia debido a que proporciona información económica, procurando siempre hacerlo desde la perspectiva del agricultor para poder informar de los beneficios que podría obtener en términos de rentabilidad.

5.4.1. Rendimiento medio por tratamiento

En el cuadro N° 29 se observa los rendimientos medios obtenidos para cada tratamiento, de los cuales se destacó con mayor rendimiento el **T1** (Solución Cabezas y la variedad americana) con un valor de 0,637 kg/m², **T2** (Solución Cabezas y variedad Sucre) seguido por **T3** (Solución Cabezas y la variedad Superbo) con un valor de 0,527 Kg/m², y como valor medio de 0,451 Kg/m² a **T4** (Solución FAO y variedad Americana) el resto de los tratamientos **T5** (Solución FAO y la variedad Sucre) y **T6** (Solución FAO y la variedad Superbo), **T7** (Solución Hochmuth y variedad Americana), **T9** (Solución Hochmuth y variedad Superbo) y **T8** (Solución Hochmuth y variedad Sucre) y reportaron rendimientos menores de 0,321 kg/m², 0,315 kg/m², 0,297 kg/m², 0,243 kg/m² y 0,235 kg/m² respectivamente.

En síntesis, el mejor tratamiento que obtuvo alto rendimiento medio es T1 que resulta de la combinación de la variedad americana cultivada con solución nutritiva Cabezas.

Cuadro N° 29. Rendimientos medios alcanzados por cada tratamiento

Factores	S. Cabezas			S. FAO			S. Hochmuth		
	Americana	Sucre	Superbo	American	Sucre	Superbo	Americana	Sucre	Superbo
Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Rendimiento medio (kg/m ²)	0,637	0,556	0,527	0,451	0,321	0,315	0,297	0,235	0,243

Fuente: Elaboración propia, (2021)

5.4.2. Rendimiento ajustado

El rendimiento ajustado para cada tratamiento, es el rendimiento reducido en un porcentaje con la finalidad de obtener la diferencia entre el rendimiento experimental y el que el agricultor podría lograr con ese tratamiento, de acuerdo a la recomendación del CIMMYT, se redujo el rendimiento medio de cada tratamiento en un 5 % reflejado en el cuadro N° 27.

Cuadro N° 30. Rendimientos ajustados por cada tratamiento

Factores	S. Cabezas			S. FAO			S. Hochmuth		
	Americana	Sucre	Superbo	American	Sucre	Superbo	Americana	Sucre	Superbo
Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Rendimiento medio (kg/m ²)(-5%)	0,032	0,028	0,026	0,023	0,016	0,016	0,015	0,012	0,012

Fuente: Elaboración propia, (2021)

5.4.3. Beneficio bruto de campo

En el cuadro N° 31 se aprecia los beneficios brutos que se obtuvieron con cada tratamiento.

Cuadro N° 31. Beneficio bruto obtenido por cada tratamiento

Descripción de los tratamientos	Precio del producto (Bs/kg)	Rendimiento ajustado (kg/m ²)	Beneficio Bruto (Bs/m ²)
T1 (Sol. Cabezas + var. Americana)	60	0,605	36,320
T2 (Sol. Cabezas + var. Sucre)	60	0,528	31,703
T3 (Sol. Cabezas + var. Superbo)	60	0,501	30,062
T4 (Sol. FAO + var. Americana)	60	0,429	25,753
T5 (Sol. FAO + var. Sucre)	60	0,305	18,314
T6 (Sol. FAO + var. Superbo)	60	0,299	17,955
T7 (Sol. Hochmuth + var. Americana)	60	0,282	16,929
T8 (Sol. Hochmuth + var. Sucre)	60	0,223	13,400
T9 (Sol. Hochmuth + var, Superbo)	60	0,231	13,851

Fuente: Elaboración propia, (2021)

5.4.4. Costos variables por tratamiento (CV)

En el cuadro N° 32, se observa los costos que varían en cada uno de los nueve tratamientos empleados en la investigación, una vez identificados los insumos empleados. El total de costos que varían es la suma de todos los costos que varían en un m².

Cuadro N° 32. Costos que varían por tratamiento en las piscinas flotantes

Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Costos variables (CV) Bs/m ²	4,0	2,0	2,0	4,6	2,6	2,6	4,9	2,9	2,9

Fuente: Elaboración propia, (2021)

5.4.5. Costos fijos (CF)

Se define como los costos que permanecen constantes en un período de tiempo y no tiene relación directa con la obtención del producto, es decir, son gastos que se tienen que hacer sin importar el volumen de producción, en el siguiente cuadro N° 33 se puede apreciar los detalles.

Cuadro N° 33. Costos fijos para la investigación en las piscinas flotantes

Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Costos Fijos (CF) Bs/m ²	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0

Fuente: Elaboración propia, (2021)

5.4.6. Costos totales de producción

Se trata del conjunto de los gastos que son necesarios para producir un servicio o un bien. Los costos de producción pueden ser costos fijos (que se mantienen estables ante los cambios en el nivel productivo) o costos variables (cambian a medida que se altera el volumen de producción). Se lo podrá observar en el cuadro N° 34, realizado a partir de los cuadros N° 33 y cuadro N° 32.

$$CP = CF + CV$$

Donde:

CP=Costo de producción

CF= Costo fijo

CV= Costo variable

Cuadro N° 34. Costos de producción por tratamiento en las piscinas flotantes

Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Total de Costos Fijos (CF) Bs/m ²	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
Total de Costos variables (CV) Bs/m ²	4,0	2,0	2,0	4,6	2,6	2,6	4,9	2,9	2,9
Costo de producción (CP) (Bs/m ²)	18,0	16,0	16,0	18,6	16,6	16,6	18,9	16,9	16,9

Fuente: Elaboración propia, (2021)

5.4.7. Beneficio neto por tratamiento

En el cuadro N° 35, se puede observar los beneficios netos obtenidos por cada tratamiento.

Cuadro N° 35. Beneficio neto obtenido por cada tratamiento en las piscinas flotantes

Factores	S. Cabezas			S. FAO			S. Hochmuth		
	Americana	Sucre	Superbo	American	Sucre	Superbo	Americana	Sucre	Superbo
Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Beneficio neto (Bs/m ²)	32,318	29,70 1	28,059	21,113	15,67 4	15,315	12,075	10,54 6	10,997

Fuente: Elaboración propia, (2021)

5.4.8. Relación beneficio costo

El beneficio/costo es la relación que exista entre el beneficio bruto y el costo de producción. Se realizó el análisis en base al costo fijo, costo variable y beneficio neto.

Cuadro N° 36. Relación B/C para producción de albahaca para diferentes tratamientos

Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Beneficio/Costo	2,02	1,98	1,88	1,38	1,10	1,08	0,90	0,79	0,82

Fuente: Elaboración propia, (2021)

Como se observa en el cuadro N° 36, el mayor beneficio costo que se obtuvo fue en el T1 (Solución Cabezas y variedad americana) con 2,02 Bs/m², y un costo de producción de 18,006 Bs/m², en segundo lugar, fue el T2 (Solución Cabezas y variedad sucre) con 1,98 Bs/m², y un costo de producción de 16,006 Bs/m², en tercer lugar, fue T3 (Solución Cabezas y variedad superbo) con 1,88 Bs/m², y un costo de producción de 16,006 Bs/m²; el T4 (Solución FAO y variedad americana) fue de 1,38 Bs/m², y un costo de producción de 18,643 Bs/m²; el T5 (Solución FAO y variedad sucre) con 1,10 Bs/m², y un costo de producción de 16,643 Bs/m²; el T6 (Solución FAO y variedad superbo) con 1,08 Bs/m², y un costo de producción de 16,643 Bs/m².

Los tratamientos no rentables identificados fueron el T7 (Solución Hochmuth y variedad americana) con 0,90 Bs/m² T8 (Solución Hochmuth y variedad sucre) con 0,79 Bs/m² y el T9 (Solución Hochmuth y variedad superbo) 0,82 Bs/m² respectivamente estos últimos tratamientos presentaron bajos rendimientos que impidió un normal desarrollo con respecto a las variables evaluadas durante el experimento, por lo que no es óptimo la aplicación de la solución Hochmuth para el productor, puesto que se tendría rendimientos por debajo de la aceptable.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos señalados y resultados obtenidos, luego de haber realizado el respectivo análisis e interpretación corresponde dar las siguientes conclusiones:

- ❖ En los parámetros evaluados, número de hojas, altura de planta, diámetro de tallo, peso en fresco, longitud de hojas y el rendimiento por tratamiento con una respuesta evidente en el T1 (Solución Cabezas sobre la variedad americana) existió mejores respuestas. Esto debido a que la solución Cabezas se presenta los macro y micronutrientes necesarios para el cultivo de albahaca.
- ❖ La utilización de tres soluciones nutritivas sobre las tres variedades del cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) bajo el sistema raíz flotante, tiene efectos significativos en las diferentes variables de respuesta, con la aplicación de la solución Cabezas sobre la variedad americana se obtuvo una altura de planta de 18,73 cm, frente a los otros tratamientos es mayor debido a que existió una mejor respuesta de las tres variedades con la solución nutritiva de Cabezas.
- ❖ El tratamiento que obtuvo mayor rendimiento en materia fresca fue el tratamiento uno con la solución Cabezas sobre la variedad americana 0,637 kg/m² y la solución nutritiva Hochmuth sobre la variedad sucre (T8) un valor de 0,235 kg/m², siendo así el menor rendimiento respecto a los demás tratamientos, debido a la absorción de cationes y aniones de la planta en la respectiva solución.
- ❖ El valor de B/C que presentó el T1 (Solución Cabezas con variedad americana) de 2,3; seguido del T2 (Solución Cabezas con variedad sucre) de 2,2; el T3 (Solución Cabezas con variedad superbo) de 2,1. Para lo cual el productor puede obtener mejores beneficios de costo al aplicar la solución nutritiva Cabezas, sin afectar el tipo de variedad que se aplique.

RECOMENDACIONES

La presente investigación permitió indagar y encontrar información inicial sobre el cultivo de albahaca bajo condiciones atemperadas en el Municipio de El Alto, por lo cual, a continuación, se da a conocer algunas recomendaciones:

- ❖ Para lograr un manejo adecuado en la etapa del trasplante del almacigo a las piscinas flotantes, se debe tener mucho cuidado para no ocasionar daños a los tallos y la deshidratación misma de la plántula.
- ❖ El tiempo de recuperación de la inversión se reduciría considerablemente si se aumenta el área de producción, a su vez emplear métodos constructivos más económicos y menos mano de obra.
- ❖ Se podrían realizar nuevas formulaciones de nutrientes para las bandejas flotantes que permitan reducir costos para un sistema hidropónico raíz flotante.
- ❖ Se debe tener un control constante del comportamiento de la temperatura dentro del invernadero, para no ocasionar la evaporación de la solución nutritiva; puesto que a altas temperaturas ocurre una evaporación de nutrientes.
- ❖ Se puede mantener la solución nutritiva durante el ciclo del cultivo, siempre y cuando se tenga un buen control de los parámetros de pH y la conductividad del agua.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alcon, W. (2019). *Comportamiento productivo de dos variedades de albahaca (Ocimum basilicum L.) con dos densidades de siembra en ambientes atemperados*. Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Viacha.
- Alimentación, F. (. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. Roma.
- Alvarado, D., Chavez, F., & Anna , K. (2001). *Seminario de Agronegocios* . (Universidad del Pacífico) Recuperado el 15 de Abril de 2015, de Seminario de Agronegocios: Lechugas Hidropónicas : <http://www.upbusiness.net/upbusiness/docs/mercados/11.pdf>
- Asofruhocol. (2007). *Plan Hortícola Nacional*. (Corporación Colombiana Internacional) Obtenido de http://www.Asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_28_PHN.pdf,18. En.17
- Barbado. (2005). *Producción hidropónica de lechuga (Lactuca sativa L.) en sistemas recirculante*. Universidad EARTH, Atlántica de Costa Rica.
- Bareño, P. (2006). Albahaca (Ocimum basilicum). Últimas tendencias en hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco. *Curso de extensión*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.
- Barrientos J, Reina , M., & Chacón, M. (2012). Potencial económico de cuatro especies aromáticas promisorias para producir aceites esenciales en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(6), 225 - 237.
- Barros, P. (2001). *La hidroponía*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2019, de La hidroponía: www.biblioteca.org.ar/libros/3040.pdf
- Barroso, L., De La Luz, M, & Sam, O. (2002). Caracterización anatómica de las hojas de albahaca blanca (Ocimum basilicum L.). . *Cultivos tropicales*, (2)(23), 39 - 42.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en Hidroponía*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2018, de Cultivo en Hidroponía: sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Blank, A., Carvalho, J., & Dos Santos , A. (2004). *Caracterizacao morfológica e agronómica de accesos de manjericao e alfavaca*. Brasil.
- Blank, A., Carvalho, J., Dos Santos , A., Alvez, P., Silva-Mann, R., & Mendoca, M. (2004). *Caracterizacao morfológica e agronómica de accesos de manjericao e alfavaca*.

- Briseño, S., Aguilar, M., & Villegas, J. (2013). *El cultivo de albahaca*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC., La Paz, Baja California Sur, México.
- Cabezas, R. (2017). *Hidroponía: una guía para aprender de manera rápida* (1 ed.). Cochabamba, Bolivia: s.e.
- Cadena, M. (2014). *Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de lixiviado de hummus de lombriz y dos formas de aplicación en el cultivo de espinaca (Spinacea oleracea L), bajo ambiente protegido*. Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia, La Paz.
- Calcina, A. (2015). *Evaluación de dosis de caldo de humus de lombriz en dos sistemas hidropónicos para la producción de Lechuga (Lactuca sativa L.) en ambiente protegido*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. Bolivia: Facultad de Agronomía.
- Carrasco, G., Ramirez, P., & Vogel, H. (2007). *Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en labahca cultivada en NFT* (Vol. 25). Arica, Idesia, Perú.
- Castelo, J. (2012). *Evaluación de dos soluciones madre y dos sistemas hidropónicos (Pirámide y NFT) en tres especies vegetales (Albahaca; Ocimum basilicum, Lechuga; lactuca sativa y Apio; Apium graveolens), bajo invernadero-UTE, Santo Domingo. 2012.*. Santo Domingo, Ecuador.
- Colorado, F., Montañez, I., Bolaños, C., & Rey, J. (2013). Crecimiento y desarrollo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo cubierta en la sabana de Bogotá. *U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*, 1(16), 123.
- Contreras, A., & De Jesús, Celia. (2008). *Evaluación de tres variedades de albahaca y dos dosis de fertilización en producción hidropónica y en suelo*. Zamorano, Honduras.
- Contreras, A., & Gómez, Celina. (Diciembre, 2008). *Evaluación de tres variedades de albahaca y dos dosis de fertilización en producción hidropónica y en suelo*. Zamorano, Honduras.
- Cruz, O., Marrero, P., Herrera, M., & García, L. (2005). *Compendio de Ecología*. La Habana: Feliz Varela.
- Curioni, A., Carcía, M., Rolando, A., Alfonso, W., & Arizio, O. (2002). Producción de orégano (*Origanum vulgare* L.) y tomillo (*Thymus vulgaris* L.) en el centro oeste bonaerense. *Acta Hortícola (ISHS)*, 569: 281 - 288. Obtenido de <http://www.actahort.org/books/569/569/46.htm>
- Douglas, S., De Morais, M., Lucas, P., Egewarth, V., Massahiro, R., & Achre, D. (2015). Influencia de adubacao nitrogenada e época de cultivo sobre o rendimento de

- folhas de manjericao (*Ocimum basilicum* var. verde Toscana) para fins medicinals. . *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 4, 20.
- Duran, J. (2000). *Aeroponic Research (en línea)*. Recuperado el 15 de Abril de 2018, de Aeroponic Research (en línea): <http://www.aeroponic.it/esp/progetto.htm/>
- Enciso, A. (2004). *Producción y comercialización de plantas< medicianles aromáticas y especies desecada*. Obtenido de <http://www.Almeriscan.com/ápices/default.htm>.27oct.ISO
- Favela, E., Preciado, P., & Benavides, A. (2006). Manual para la preparación de solcuiones nutritivas. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*, 1.
- Fenech, L. (2008). *Efecto de los ácidos húmicos en la germianción, generación de plántulas y parámetros fisiotécnicos de la albahaca (Ocimum basilicum L.) en condícnes salinas*. Tesis de Doctorado en Ciencias, Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S. México.
- Ferrufino, N. (2005). *Determinación de la concentraciónn de la solución nutritiva para crecimiento y producción de lechuga car. Verónica en Hidroponía*. Zamorano, Honduras: Proyecto especial para optar al título de Ingeniero en Ciencia y Producción Agropecuaria en el grado de licenciatura.
- Flores, M., & Vilcapoma, G. (2003). *Botánica sistemática, apuntes de clases*. UNALM, Lima - Perú.
- Gilsanz, J. (2007). Hidroponía. *INA (Instituto Nacional de Agropecuaria)*, 32.
- Gutierrez, Y. (2007). *Determinación del efecto analgésico y antiespasmódico de las hojas de albahaca (Ocimum basilicum L.)*. Escuela de Bioquímica y Farmacia. Universidad de Cuencas, Colombia.
- Guzmán, G. (2004). Hidroponía en Casa. Una actividad familiar. *Minsterio de Agricultura y Ganadería, Sistema Unificado de Información Institucional*, 25 .
- Guzmán, G. (2004). *Hidroponía en Casa: Una Actividad Familiar*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. *Sistema Unificado de Información Institucional*.
- Hochmuth, R. (2003). Evaluation of Organic Nutrient Sources in the Production of Greenhouse Hydroponic Basil. *Research report 08, IFAS-NFREC*, 8. Obtenido de <http://nfrec-sv.ifas.ufl.edu/ReportsPDF/2003-08%20Report.pdf/>
- Izquierdo, J. (2005). Hidroponía popular oficina Regional de la FAO. *Universidad de Talca*, 61.
- Jones, C., & Jacobsen, J. (2001). Plant Nutrition and Soil Fertility. *Nutrient Management Module*, 2, 12.

- Kintzios, S., & Makri, O. (2007). *Ocimum sp. (Basil): Botany, Cultivation, Pharmaceutil Properties and Biotechnology. Journal of Herbs, Spices y Medicinal Plants* (Vol. 13 (3)).
- Kintzios, S., & Makri, O. (2007). Botany, Cultivation, Pharmaceutil Propertiez, and Biotechnology. *Journal of Herbs, Spices y Medicinal Plants. Ocimum sp. (Basil)*, 20(3), 123-150.
- Lacarra, A., & García, C. (2011). *Validación de cinco Sistemas Hidropónicos para la Producción de Jitomate (Lycopersicum esculentum Mill) y Lechuga (Lactuca sativa L.) en invernadero (en línea)*. Tesis Lic. Agr. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Recuperado el 10 de Abril de 2019, de <http://cdigital.uv.mx/bitstream>
- Maita, L. (2018). *Concentración de nitratos en lechuga (Lactuca sativa VAR, WALDMAN) producidas en un sistema hidropónico de raíz flotante utilizando tres olsuciones nutritivas, Arequipa- Perú*. Título profesional de BIÓLOGO, Perú, Arequipa.
- Marulanda, C. (2003). Hidroponía familiar en Colombia desde el eje cafetalero. 41 - 50.
- Medrano, P. (2017). *Cultivo de lechuga (Lactuca sativa) en Sistema Mixto (Suelo e Hidroponía) bajo diferentes soluciones nutritivas en el Centro Experimental de Cota Cota* . Tesis de Grado, UMSA, La Paz.
- Méndez, C. (2013). *Producción de albahaca (Ocimum basilicum L), en ambiente protegido con diferentes marcos de plantación*. Universidad Autónomo de Baj California Sur, La Paz, Baja California Sur.
- Nelson, R. (2005). A Hardy and profitable crop for Aquaponics *Journal*. 39: 24- 25.
- Ozcan, M., & Chalchat, J. (2005). *Constituents of the essential oil of sideritiserythrantha boiss y heldr. Var. erythrantha* *Departament of Food Engineering* . Tuquía .
- Pandales, A., & Santos, Hernando. (2017). *Evaluación del desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca (Ocimum basilicum L.) bajo condiciones de invernadero como una alternativa de producción limpia*. (F. d. Aplicadas, Ed.) Universidad Militar Nueva Granada.
- Paton, A., Harley, M., & Harley, R. (1999). *Ocimum: an overview of classification and relationships*. OPA (Overseas Publishers Association).
- Paunero, I. (2011). *Horticultura* . Universidad Ncional de Cuyo - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria , Buenos Aires - Argentina.
- Plant, O. E. (2017). *Manual de hidroponía*. Recuperado el 29 de noviembre de 2019, de *Manual de hidroponía*: http://www.oasiseasyplant.mx/wp-content/uploads/2017/04/Manual-de-hidroponía_Media.pdf

- Quenta, O. (2020). *Evaluación de dos variedades de albahaca (Ocimum basilicum L.) en sistema hidropónico recirculante NFT en el Municipio de Pucarani - La Paz*. Pucarani.
- Quipo, R. (2016). *Efecto de tres dosis soluciones nutritivas en la producción de dos variedades de espinaca (Spinacea oleracea L.) mediante el sistema hidropónico de raíz flotante en K'ayra-Cusco*. Cusco, Perú.
- Quiroz, H., & Marggie, N. (2014). *Evaluación del efecto de sesis tratamientos térmicos en la germinación de la la albahaca dulce (Ocimum basilicum)*. . Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana.
- Resh, H. M. (2005). *Cultivos hidropónicos*. 5.
- Rodríguez, A., Hoyos, M., & Chang, M. (2002). *Manual práctico de hidroponía*. Universidad Nacional Agrario la Molina. Lima - Perú: Centro de de investigación de hidroponía.
- Rojas, R. (2013). *Evaluación productiva de dos variedades de cultivo de albahaca (Ocimum basilicum L.), a la aplicación de tres niveles de lixiviado de lombriz*. Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- Rural, C. (2003). *El cultivo de la albahaca (en línea)*. Recuperado el 20 de mayo de 2019, de http://www.cuencarural.com/frutihorticultura/aromáticas/el_cultivo_de_albahaca
- Sáenz, M. (2006). *Semillas, basilicum (Labiatae) extract. Biol. Pp. 155 - 160*. Obtenido de Semillas, basilicum (Labiatae) extract. Biol. Pp. 155 - 160: <http://www.semillasmiguel.com/yfichas/albahaca%20n.jpg>
- Sagarpa. (2004). *Acciones para el fortalecimiento de cadenas productivas en Baja California Sur. Plan Rector Sistema Producto Orgánicos; Albahaca*.
- Sánchez, F., & Escalante, E. (2004). *Un sistema de producción de plantas; hidroponía principios y métodos de cultivo*. Universidad Autónoma de Chaping. México: 3 ed.
- Siñani, L. (2017). *Evaluación Agronómica de dos variedades de berro (Nasturtium officinale R.Br. y Lepidium sativum) en cultivo sin suelo en el Centro Experimental de Cota Cota*. La Paz.
- Smirnova, G., & Samoilova, N. (2012). Influence of plant polyphenols nd medicinal plant extractson antibiotic susceptibility of Escherichia coli. *Journal of Applied Microbiology*(113), 192 - 199.
- Tarquino, L. (2005). *Respuesta de avriedades de albahaca (Ocimum basilicum L.) a diferentes densisdades de plantación*. Tesis de grado, UMSA, La Paz, Yungas.

- Torrez, D. (2014). *Evaluación del rendimiento de dos variedades de albahaca (Ocimum basilicum) Hasta la etapa comercial con relación a la Biofertilización en carpa solar*. Tesis de grado, UMSA, La Paz, Cota Cota.
- USDA. (2010). *United States Department of agricultura*. Obtenido de <http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=OCBA>
- Vega, G., Escandón, M, & Mendoza, A. (2012). Instructivo técnico del cultivo de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.). La Habana , Cuba. Obtenido de [http://www.fao.org/docs/eims/upload\(cuba/5178/albahaca.pdf](http://www.fao.org/docs/eims/upload(cuba/5178/albahaca.pdf)
- Vegetales, D. d. (2009). *Medicamentos herbarios tradicionales, 103 especies vegetales: Albahaca (Ocimum basilicum L.)*. Pontifica Universidad de Chile - MIDEPLAN, Santiago.
- Winsor, G., & Schawarz, M. (1990). Soilless culture for horticultural crop production. *FAO Plant Production and Protection*(101), 188.

ANEXOS

Anexo N° 1. Registro de datos

Variable: Número de hojas

TRATAMIENTO	PARCELA MAYOR	PARCELA MENOR	REPETICIÓN		
	Factor A (Soluciones)	Factor B (Variedades)	I	II	III
T1	Cabezas	Americana	19	25	23
T2	Cabezas	Sucre	42	45	39
T3	Cabezas	Superbo	18	21	15
T4	FAO	Americana	13	19	9
T5	FAO	Sucre	32	35	15
T6	FAO	Superbo	11	21	16
T7	Hochmuth	Americana	18	12	6
T8	Hochmuth	Sucre	33	31	12
T9	Hochmuth	Superbo	14	10	7

Variable: Altura de planta

TRATAMIENTO	PARCELA MAYOR	PARCELA MENOR	REPETICIÓN		
	Factor A (Soluciones)	Factor B (Variedades)	I	II	III
T1	Cabezas	Americana	19,6	19,2	20,2
T2	Cabezas	Sucre	19	20,8	23,2
T3	Cabezas	Superbo	14,4	17	15,2
T4	FAO	Americana	17,1	17	12
T5	FAO	Sucre	18,8	18,2	16,4
T6	FAO	Superbo	10,3	16,2	15,2
T7	Hochmuth	Americana	14,6	8	8
T8	Hochmuth	Sucre	17,4	12,2	11,4
T9	Hochmuth	Superbo	11	9,8	9,8

Variable: Diámetro de tallo

TRATAMIENTO	PARCELA MAYOR	PARCELA MENOR	REPETICIÓN		
	Factor A (Soluciones)	Factor B (Variedades)	I	II	III
T1	Cabezas	Americana	3,3	4	4,3
T2	Cabezas	Sucre	3,2	3,8	3,9
T3	Cabezas	Superbo	3,5	3,7	3,5
T4	FAO	Americana	3,3	4,5	3
T5	FAO	Sucre	3,1	3,4	2,6
T6	FAO	Superbo	2,7	3,4	3,4
T7	Hochmuth	Americana	3,3	3	3
T8	Hochmuth	Sucre	3,1	2,8	3,1
T9	Hochmuth	Superbo	3,2	3	3

Variable: Peso fresco

TRATAMIENTO	PARCELA MAYOR	PARCELA MENOR	REPETICIÓN		
	Factor A (Soluciones)	Factor B (Variedades)	I	II	III
T1	Cabezas	Americana	12	10,4	13
T2	Cabezas	Sucre	10,6	10,5	9,8
T3	Cabezas	Superbo	10	9	10,3
T4	FAO	Americana	7,8	8	9,3
T5	FAO	Sucre	5,85	5,5	6,5
T6	FAO	Superbo	6	4,9	6,6
T7	Hochmuth	Americana	4	6,5	6
T8	Hochmuth	Sucre	4,6	3,8	4,66
T9	Hochmuth	Superbo	4,7	4	4,8

Variable: Longitud de hoja

TRATAMIENTO	PARCELA MAYOR	PARCELA MENOR	REPETICIÓN		
	Factor A (Soluciones)	Factor B (Variedades)	I	II	III
T1	Cabezas	Americana	13	8,2	7,6
T2	Cabezas	Sucre	4,5	4,4	4,7
T3	Cabezas	Superbo	7,8	6,1	6,7
T4	FAO	Americana	5,76	4,4	7,4
T5	FAO	Sucre	4,3	4	4,2
T6	FAO	Superbo	4,46	5,6	7,4
T7	Hochmuth	Americana	5,1	5,1	8,5
T8	Hochmuth	Sucre	3,5	3,6	3,66
T9	Hochmuth	Superbo	4,88	4,56	4,5

Variable: Rendimiento por tratamiento

TRATAMIENTO	PARCELA MAYOR	PARCELA MENOR	REPETICIÓN		
	Factor A (Soluciones)	Factor B (Variedades)	I	II	III
T1	Cabezas	Americana	324,00	280,80	351,00
T2	Cabezas	Sucre	286,20	283,50	264,60
T3	Cabezas	Superbo	270,00	243,00	278,10
T4	FAO	Americana	210,60	216,00	251,10
T5	FAO	Sucre	157,95	148,50	175,50
T6	FAO	Superbo	162,00	132,30	178,20
T7	Hochmuth	Americana	108,00	175,50	162,00
T8	Hochmuth	Sucre	124,20	102,60	125,82
T9	Hochmuth	Superbo	126,90	108,00	129,60

Temperatura ambiente en °C registrado durante el ciclo vegetativo del cultivo, campaña agrícola 2019.

Fecha	Mínima	Media	Máxima
12-ene	7	14	46
19-ene	6	13,6	44
26-ene	6,5	16	38
02-feb	5,9	12,4	33
09-feb	6,2	15	38
16-feb	8	17	40
23-feb	9	19	38
09-mar	9	23,5	40,5
16-mar	7	20	42,6
23-mar	8	22	39,5
30-mar	7,5	21	43
06-abr	5	18	39
13-abr	6,3	22	36,3
20-abr	8	20	34

Base de datos para el parámetro de pH en la solución nutritiva, correspondiente al desarrollo del cultivo en cada bandeja flotante del sistema hidropónico.

Fechas Registradas del pH en cada piscina flotante									
Bandejas flotantes	02-feb	09-feb	16-feb	24-feb	05-mar	17-mar	24-mar	31-mar	07-abr
1 Sol. Cabezas	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6	6,4	6,3	6,1
2 Sol. FAO	5,8	6,2	6	5,9	6,1	6,2	6,3	6,3	6
3 Sol. Hochmuth	6,3	6,4	6,4	6,4	6,5	6,2	6	6,4	6,2
4 Sol. Cabezas	6,1	6,4	6,5	6,2	6,1	6,5	6,5	6,3	6,7
5 Sol. FAO	6,5	5,7	6	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,6
6 Sol. Hochmuth	6,2	6,5	6,1	5,5	6,1	6,4	6,4	6,5	6,4
7 Sol. Cabezas	6,3	6,6	6,1	6,1	6,3	6,5	5,8	6,5	6,6
5 Sol. FAO	6,5	6,5	6,1	6,5	6,2	6,4	6,4	6,2	6,4
9 Sol. Hochmuth	6,5	6,4	6,1	6,5	6,2	6,4	6,4	6,2	6,3

Base de datos para el parámetro de la Conductividad Eléctrica (Us/cm) en la solución nutritiva, correspondiente al desarrollo del cultivo en cada bandeja flotante del sistema hidropónico.

Fechas Registradas de la CE (us/cm)									
Bandejas flotantes	02-feb	09-feb	16-feb	24-feb	05-mar	17-mar	24-mar	31-mar	07-abr
1 Sol. Cabezas	2100	2200	2492	2548	2240	1900	2300	2500	2622
2 Sol. FAO	2300	2100	2000	2518	2700	2800	2588	2900	2940
3 Sol. Hochmuth	2340	2290	2370	2489	2304	2360	2296	2400	2528
4 Sol. Cabezas	2340	2370	2612	2100	2686	2714	2321	2319	2318
5 Sol. FAO	2050	2306	2484	2300	2538	2712	2192	2656	2742
6 Sol Hochmuth	2500	2100	2206	2282	2272	2370	2200	2356	2372
7 Sol. Cabezas	2100	2224	2508	2254	2222	2730	2572	2512	2630
8 Sol. FAO	2450	2690	2599	2202	2200	2306	2372	2587	2724
9 Sol. Hochmuth	2120	2128	2166	2166	2260	2240	2400	2563	2296

Anexo N° 2. Cálculos de costos de producción

Presupuesto para el sistema hidropónico raíz flotante (área de crecimiento inicial).

(Costo fijo)

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	TOTAL (Bs)
Consumo de agua	m ³	2	5,30	10,60
Mano de obra siembra	Unidad	1	20	20
Mano de obra control fitosanitario	Unidad	1	10	10
Mano de obra para trasplante	Unidad	1	20	20
Mano de obra cosecha	Unidad	1	40	40
Insumos	varios	1	5	5
TOTAL (1m²)				105,60

Cálculo de Depreciación

Nombre de los recursos	Precio de adquisición	Cantidad	Precio total (Bs)	Años de vida útil	Depreciación anual (Bs)
Herramientas del Sistema hidropónico	333,5	1	333,5	2,5	168,035
Otros	560	varios	560	5	23,3
TOTAL DEPRECIACIÓN					191,335
DEPRECIACIÓN POR CICLO PRODUCTIVO (2 cortes)					191,335

Costos Variables en (1 m²)

TRATAMIENTOS				T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Insumos	Unidad	P.U.(Bs)	Cantidad	Costos por tratamiento								
SEMILLA												
Var.Americana	Unidad	0,1	114	3,8			3,8			3,8		
Var. Sucre	Unidad	0,03	114		1,14			1,14			1,14	
Var. Superbo	Unidad	0,03	114			1,14			1,14			1,14
FERTILIZANTES												
Sol. Cabezas												
Fosfato monoamonico	kg	20,00	0,016	0,11	0,11	0,11						
Sulfato de potasio	kg	9,60	0,053	0,17	0,17	0,17						
Cosmoquel	kg	75,00	0,014	0,35	0,35	0,35						
Nitrato de calcio	kg	1,79	0,179	0,11	0,11	0,11						
Sulfato de magnesio	kg	8,80	0,115	0,34	0,34	0,34						
Nitro-S	kg	6,20	0,019	0,04	0,04	0,04						
Nitrato de Potasio	kg	14,40	0,086	0,41	0,41	0,41						
Sol. FAO												
Fosfato mono amónico	kg	20,00	0,0123				0,08	0,08	0,08			
Sulfato de potasio	kg	9,60	0,1241				0,40	0,40	0,40			
Cosmoquel	kg	75,00	0,0204				0,51	0,51	0,51			
Nitrato de calcio	kg	10,00	0,2470				0,82	0,82	0,82			
Sulfato de magnesio	kg	8,80	0,0882				0,26	0,26	0,26			
Nitro-S	kg	6,20	0,0050				0,01	0,01	0,01			
Nitrato de Potasio	kg	14,40	0,0601				0,29	0,29	0,29			
Sol. Hochmuth												
Fosfato mono amónico	kg	20,00	0,02065							0,14	0,14	0,14
Sulfato de potasio	kg	9,60	0,06717							0,21	0,21	0,21
Cosmoquel	kg	75,00	0,03458							0,86	0,86	0,86
Nitrato de calcio	kg	10,00	0,17858							0,60	0,60	0,60
Sulfato de magnesio	kg	8,80	0,1935							0,57	0,57	0,57
Nitro-S	kg	0,00	0							0,00	0,00	0,00
Nitrato de Potasio	kg	14,40	0,05733							0,28	0,28	0,28
Total de costos que varía en Bs/ 1 m²				5,32	2,66	2,66	6,17	3,51	3,51	6,46	3,80	3,80

Calculo del Beneficio Neto

Factores	S. Cabezas			S. FAO			S. Hochmuth		
	Americana	Sucre	Superbo	Americana	Sucre	Superbo	Americana	Sucre	Superbo
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Rendimiento medio (kg/m ²)	0,637	0,556	0,527	0,451	0,321	0,315	0,297	0,235	0,243
Rendimiento medio (kg/m ²)(-5%)	0,032	0,028	0,026	0,023	0,016	0,016	0,015	0,012	0,012
Precio del producto (Bs/kg)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Beneficio bruto (kg/m ²)	36,320	31,703	30,062	25,753	18,314	17,955	16,929	13,400	13,851
Total de costo que varían (Bs/m ²)	4,0	2,0	2,0	4,6	2,6	2,6	4,9	2,9	2,9
Beneficio neto (Bs/m²)	32,318	29,701	28,059	21,113	15,674	15,315	12,075	10,546	10,997

Análisis económico para un ciclo (1 campaña de 58 días)

Factores	S. Cabezas			S. FAO			S. Hochmuth		
	Americana	Sucre	Superbo	Americana	Sucre	Superbo	Americana	Sucre	Superbo
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Rendimiento medio (kg/m ²)	0,637	0,556	0,527	0,451	0,321	0,315	0,297	0,235	0,243
Rendimiento medio (kg/m ²)-5%)	0,032	0,028	0,026	0,023	0,016	0,016	0,015	0,012	0,012

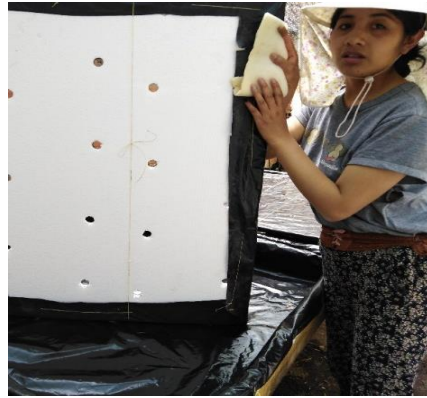
Relación Beneficio-Costo

Descripción de los tratamientos	Beneficio Bruto (BB) (Bs/m ²)	Costo de producción (CP) (Bs/m ²)	B/C
T1 (Sol. Cabezas + var. Americana)	36,320	18,006	2,02
T2 (Sol. Cabezas + var. Sucre)	31,703	16,006	1,98
T3 (Sol. Cabezas + var. Superbo)	30,062	16,006	1,88
T4 (Sol. FAO + var. Americana)	25,753	18,643	1,38
T5 (Sol. FAO + var. Sucre)	18,314	16,643	1,10
T6 (Sol. FAO + var. Superbo)	17,955	16,643	1,08
T7 (Sol. Hochmuth + var. Americana)	16,929	18,857	0,90
T8 (Sol. Hochmuth + var. Sucre)	13,400	16,857	0,79
T9 (Sol. Hochmuth + var, Superbo)	13,851	16,857	0,82

Anexo N° 3. Archivo fotográfico



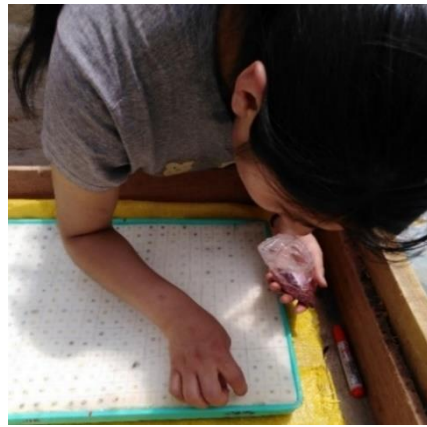
Construcción y armado de las piscinas flotantes



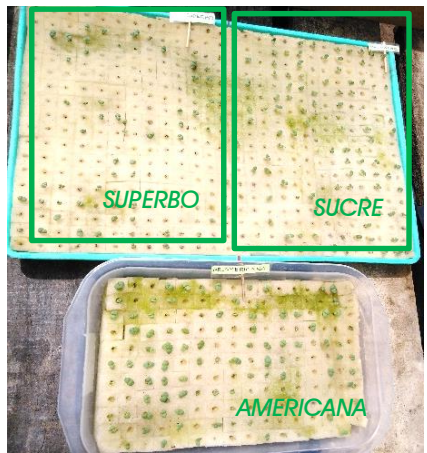
Perforación del Poliestireno (Plastoform)



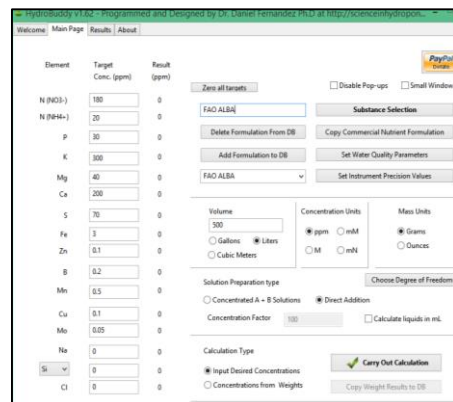
Acondicionamiento del almacigo (Lavado de esponjas)



Siembra en las almacigueras de esponja poliuretano



Germinación de las variedades de la investigación



Programa de Software para la formulación de los nutrientes



Preparación por separado de los fertilizantes sintéticos



Pesaje de los fertilizantes a preparar



Fertilizantes sintéticos



Preparación de las soluciones nutritivas según los autores trabajados



Adición de las soluciones en las piscinas flotantes



Control de PH y conductividad eléctrica



Trasplante de las plántulas de albahaca



Platabandas separadas de acuerdo a las variedades



Desarrollo y crecimiento de la variedad Americana en las piscinas flotantes



Desarrollo y crecimiento de la variedad Sucre en las piscinas flotantes



Desarrollo y crecimiento de la variedad Superbo (italiana) en las piscinas flotantes



Instrumentos utilizados en la medición de variables



Toma de temperatura



Medición de la variable longitud de hoja



Crecimiento en las piscinas flotantes



Desarrollo de las raíces durante el ciclo del cultivo



Cosecha del primer corte



Pesaje de las hojas cosechadas

Anexo N° 4. Análisis del Agua (IBTEN)



MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

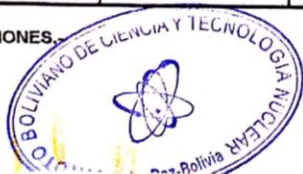
INTERESADO : *GHERY MILENKA AGUILAR PAREDES*
PROCEDENCIA : *Departamento : LA PAZ,*
Provincia : MURILLO
EL ALTO - VENTILLA I

N° SOLICITUD: *171 / 2018*
FECHA DE RECEPCION : *16 / Octubre / 2018*
FECHA DE ENTREGA : *10/ Noviembre/ 2018*

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE AGUA : Ventilla 1*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
512-01 /2018	pH	7,51	-	Potenciometría
512-02 /2018	Conductividad Eléctrica	255,00	µS/cm	Conductancia
512-03 /2018	Calcio	19,51	mg / L	Absorción atómica
512-04 /2018	Magnesio	6,47	mg / L	Absorción atómica
512-05 /2018	Sodio	1,89	mg / L	Emisión atómica
512-06 /2018	Potasio	2,92	mg / L	Emisión atómica
512-07 /2018	Cloruros	14,75	mg / L	Método argentométrico
512-08 /2018	Sulfatos	19,56	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
512-09 /2018	Carbonatos	0,00	mg / L	Volumetría
512-10 /2018	Bicarbonatos	51,74	mg / L	Volumetría
512-11 /2018	Nitritos	5,70	mg / L NO ₂ ⁻	Espectrofotometría UV-Visible
512-12 /2018	Fosfatos	0,46	mg / L PO ₄ ⁻³	Espectrofotometría UV-Visible
512-13 /2018	Amonio	0,02	mg / L NH ₄ ⁺	Espectrofotometría UV-Visible
512-14 /2018	Boro	0,47	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
512-15 /2018	Manganeso	0,07	mg / L	Absorción atómica
512-16 /2018	Hierro	1,26	mg / L	Absorción atómica
512-17 /2018	Cobre	0,05	mg / L	Comparación visual
512-18 /2018	Zinc	0,12	mg / L	Absorción atómica
512-19 /2018	Azufre	8,68	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
512-20 /2018	Molibdano	0,02	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible

OBSERVACIONES:



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.