



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**“EFICACIA DE TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS MEDIANTE  
HIDROPONÍA A RAÍZ FLOTANTE EN LA PRODUCCIÓN DE  
LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) var. *Crispa* EN INVERNADERO”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**AUTOR: ANTONIO ALEJANDRO VALLE LATORRE**

**DIRECTOR: Ing. JOSÉ FRANKLIN ARCOS TORRES**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Antonio Alejandro Valle Latorre**

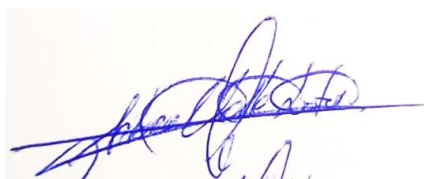
Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de autor.

Yo, ANTONIO ALEJANDRO VALLE LATORRE, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos.

Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

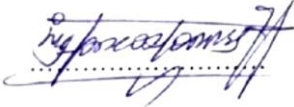
Riobamba, 17 de diciembre del 2021



-----  
**Antonio Alejandro Valle Latorre**  
**060381896-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación, Tipo: Proyecto de Investigación, “**EFICACIA DE TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS MEDIANTE HIDROPONÍA A RAÍZ FLOTANTE EN LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa EN INVERNADERO**”, realizado por el señor: **ANTONIO ALEJANDRO VALLE LATORRE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Norma Erazo Sandoval <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2021-12-17
Ing. José Franklin Arcos Torres <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2021-12-17
Ing. Víctor Alberto Lindao Córdova <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2021-12-17

## **DEDICATORIA**

A Dios, que gracias a la salud y vida que me ha brindado he logrado conseguir una meta más en vida, de la cual me siento orgulloso

A mi padre Antonio Valle, que gracias a su esfuerzo y su paciencia en el trayecto de mi vida estudiantil me supo guiar por el camino correcto para alcanzar este anhelo.

A mi madre Myriam Latorre, la persona que estuvo conmigo en los momentos más difíciles, apoyándome y siendo esa luz para seguir adelante cada día para conseguir mis objetivos.

A mis hermanas Vivi y Andrea, que siempre han sido un pilar fundamental en mi vida, aconsejándome y también guiándome para no cometer errores.

A mi Abuelita Mami Cori, que desde el cielo siento que estará orgullosa ya que siempre fue el sueño de ella verme culminar mi carrera profesional.

Antonio

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres Antonio Valle y Myriam Latorre, quienes siempre estuvieron a mi lado para apoyarme en cualquier circunstancia, siendo ellos la principal inspiración que tuve para alcanzar este sueño, son los mejores padres, los quiero mucho.

A mis hermanas Vivi y Andrea, por siempre ayudarme en cada cosa que les solicitaba son las mejores

A la ESPOCH y en específico a los profesores de la Escuela de Ingeniería Agronómica, por brindarme todos sus conocimientos para crecer personalmente y profesionalmente, gracias de todo corazón.

A mi tutor Ing. Franklin Arcos y mi asesor Ing. Víctor Lindao, quienes durante la carrera y en la realización de este trabajo de titulación supieron aconsejarme, me brindaron su amistad y hasta darme jalones de orejas cuando hacía las cosas mal, de todo corazón un gracias eterno, todas sus enseñanzas las llevare presente en mi vida profesional.

Antonio

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Hidroponía.....</b>	<b>3</b>
1.1.1. <i>Elementos del sistema hidropónico.....</i>	3
1.1.2. <i>Ventajas de los cultivos hidropónicos.....</i>	3
1.1.3. <i>Especies recomendadas para hidroponía.....</i>	4
<b>1.2. Técnicas hidropónicas.....</b>	<b>4</b>
1.2.1. <i>Técnica hidropónica de mecha.....</i>	4
1.2.2. <i>Técnica de raíz flotante.....</i>	4
1.2.3. <i>Técnica de goteo con o sin recuperación de la solución nutritiva.....</i>	5
1.2.4. <i>Técnica de inundación y drenaje (Ebb and Flow).....</i>	5
1.2.5. <i>Técnica de película de nutrientes (Nutrient Film Technique, NFT).....</i>	5
1.2.6. <i>Aeroponía.....</i>	6
<b>1.3. Sistema a raíz flotante.....</b>	<b>6</b>
1.3.1. <i>Componentes de un sistema de cultivo hidropónico de raíz flotante.....</i>	6
1.3.1.1. <i>Oxígeno.....</i>	7
1.3.1.2. <i>Agua.....</i>	7
1.3.1.3. <i>Nutrientes.....</i>	7
<b>1.4. Ventajas.....</b>	<b>7</b>
1.4.1. <i>Menor número de horas de trabajo.....</i>	7
1.4.2. <i>Rotación de cultivos.....</i>	7
1.4.3. <i>Competencia por nutrientes.....</i>	8
1.4.4. <i>Mínima pérdida de Agua.....</i>	8
1.4.5. <i>Reducción en aplicación de Agroquímicos.....</i>	8
<b>1.5. Condiciones físicas del sistema a raíz flotante.....</b>	<b>8</b>

1.5.1.	<i>Temperatura</i> .....	8
1.5.2.	<i>Monitoreo de nivel de oxígeno</i> .....	8
1.5.3.	<i>Oscuridad para la solución nutritiva</i> .....	9
1.5.4.	<i>Circulación de la solución nutritiva</i> .....	9
1.5.5.	<i>Calentamiento</i> .....	9
1.6.	<b>Condiciones químicas del sistema hidropónico</b> .....	9
1.6.1.	<i>pH</i> .....	9
1.6.2.	<i>Conductividad eléctrica (CE)</i> .....	9
1.6.3.	<i>Calidad del agua</i> .....	10
1.7.	<b>Condiciones ambientales del sistema hidropónico</b> .....	10
1.7.1.	<i>Luz</i> .....	10
1.7.2.	<i>Temperatura</i> .....	11
1.7.3.	<i>Humedad relativa</i> .....	11
1.8.	<b>Soluciones nutritivas</b> .....	11
1.8.1.	<i>Requerimientos nutrimentales para preparar soluciones nutritivas</i> .....	12
1.8.2.	<i>Preparación de la solución nutritiva</i> .....	12
1.8.3.	<i>Fertilizantes simples usados para realizar soluciones nutritivas</i> .....	13
1.8.4.	<i>Compatibilidad de fertilizantes</i> .....	13
1.9.	<b>Control de la solución nutritiva</b> .....	14
1.9.1.	<i>Temperatura</i> .....	14
1.9.2.	<i>Solubilidad</i> .....	14
1.9.3.	<i>pH</i> .....	14
1.9.4.	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	15
1.9.5.	<i>Dureza</i> .....	15
1.10.	<b>Funciones de los nutrimentos en las plantas</b> .....	15
1.10.1.	<i>Nitrógeno</i> .....	15
1.10.2.	<i>Fósforo</i> .....	16
1.10.4.	<i>Calcio</i> .....	16
1.10.5.	<i>Magnesio</i> .....	17
1.10.6.	<i>Azufre</i> .....	17
1.10.7.	<i>Cloro</i> .....	17
1.10.8.	<i>Hierro</i> .....	18
1.10.9.	<i>Manganeso</i> .....	18
1.10.10.	<i>Cobre</i> .....	18
1.10.11.	<i>Zinc</i> .....	19
1.10.12.	<i>Boro</i> .....	19
1.10.13.	<i>Molibdeno</i> .....	19



1.11.	<b>Soluciones nutritivas para el cultivo de lechuga</b> .....	20
1.12.	<b>Cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)</b> .....	20
1.13.	<b>Taxonomía</b> .....	21
1.14.	<b>Producción y distribución geográfica.</b> .....	21
1.15.	<b>Descripción de la planta</b> .....	21
1.15.1.	<i>Raíz</i> .....	22
1.15.2.	<i>Hojas</i> .....	22
1.15.3.	<i>Tallo</i> .....	22
1.15.4.	<i>Flores:</i> .....	22
1.15.5.	<i>Semillas</i> .....	22
1.15.6.	<i>Variedades</i> .....	22
1.15.6.1.	<i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>Crispa</i> L. ....	23
1.16.	<b>Valor nutricional</b> .....	23
1.17.	<b>Requerimientos edafoclimáticos</b> .....	23
1.18.	<b>Plagas y enfermedades</b> .....	24
1.19.	<b>Índice de crecimiento vegetal</b> .....	24

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	31
2.1.	<b>Características del lugar</b> .....	31
2.1.1.	<i>Localización</i> .....	31
2.1.2.	<i>Ubicación geográfica *</i> .....	31
2.1.3.	<i>Características climáticas dentro del invernadero **</i> .....	31
2.1.4.	<i>Características del agua</i> .....	31
2.2.	<b>Materiales y Equipos</b> .....	32
2.2.1.	<i>Material biológico</i> .....	32
2.2.2.	<i>Material de campo</i> .....	32
2.2.3.	<i>Insumos</i> .....	32
2.2.4.	<i>Materiales y equipos de oficina</i> .....	32
2.3.	<b>Métodos</b> .....	32
2.3.1.	<i>Diseño experimental</i> .....	32
2.3.2.	<i>Factores en estudio</i> .....	33
2.3.3.	<i>Tratamientos en estudio</i> .....	33
2.4.	<b>Especificaciones del ensayo experimental</b> .....	33
2.4.1.	<i>Tratamiento</i> .....	33
2.4.2.	<i>Pozas</i> .....	34

2.4.3.	<i>Distancia de trasplante</i> .....	34
2.4.4.	<i>Esquema de análisis de varianza</i> .....	34
2.4.5.	<i>Análisis funcional</i> .....	34
2.5.	<b>Métodos de evaluación y datos registrados</b> .....	35
2.5.1.	<i>Determinación del prendimiento de la lechuga</i> .....	35
2.5.2.	<i>Determinación del Índice absoluto de crecimiento (IAC)</i> .....	35
2.5.3.	<i>Determinación del Índice de asimilación neta (IAN)</i> .....	35
2.5.4.	<i>Determinación de la razón del peso radical (RPR)</i> .....	35
2.5.5.	<i>Determinación de la razón del peso foliar (RPF)</i> .....	36
2.5.6.	<i>Determinación del índice de cosecha (K)</i> .....	36
2.5.7.	<i>Determinación del rendimiento por hectárea (kg/ha)</i> .....	36
2.5.8.	<i>Determinación relación beneficio costo</i> .....	36
2.6.	<b>Manejo del ensayo</b> .....	37
2.6.1.	<i>Instalación del sistema hidropónico a raíz flotante</i> .....	37
2.6.2.	<i>Instalación del temporizador electrónico para el hidropónico a raíz flotante</i> .....	37
2.6.3.	<i>Análisis de agua</i> .....	37
2.6.4.	<i>Trasplante de la lechuga en el sistema hidropónico</i> .....	37
2.6.5.	<i>Preparación de las soluciones nutritivas</i> .....	37
2.6.6.	<i>Balace Iónico de la solución nutritiva</i> .....	38
2.6.7.	<i>Aplicación de los fertilizantes</i> .....	39
2.6.8.	<i>Medición del pH y CE en el medio de cultivo</i> .....	39
2.6.9.	<i>Control fitosanitario</i> .....	40
2.6.10.	<i>Cosecha</i> .....	40

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	41
3.1.	<b>Resultados y discusión</b> .....	41
3.1.1.	<i>Porcentaje de prendimiento a los 15 días después de colocado en el sistema (ddcs)</i> 41	41
3.2.	<b>Índice absoluto de crecimiento (IAC)</b> .....	42
3.2.1.	<i>Índice absoluto de crecimiento a los 15 ddc</i> .....	42
3.2.2.	<i>Índice absoluto de crecimiento a los 30 ddc</i> .....	43
3.2.3.	<i>Índice absoluto de crecimiento a los 45 ddc</i> .....	44
3.3.	<b>Índice de asimilación neta (IAN)</b> .....	46
3.3.1.	<i>Índice de asimilación neta a los 15 ddc</i> .....	46
3.3.2.	<i>Índice de asimilación neta a los 30 días ddc</i> .....	47
3.3.3.	<i>Índice de asimilación neta a los 45 ddc</i> .....	48

<b>3.4.</b>	<b>Razón del peso radical (RPR)</b> .....	50
<b>3.4.1.</b>	<i>Razón del peso radical a los 15 ddc</i> .....	50
<b>3.4.2.</b>	<i>Razón del peso radical a los 30 ddc</i> .....	51
<b>3.4.3.</b>	<i>Razón del peso radical a los 45 ddc</i> .....	52
<b>3.5.</b>	<b>Razón del peso foliar (RPF)</b> .....	53
<b>3.5.1.</b>	<i>Razón del peso foliar a los 15 ddc</i> .....	53
<b>3.5.2.</b>	<i>Razón del peso foliar a los 30 ddc</i> .....	55
<b>3.5.3.</b>	<i>Razón del peso foliar a los 45 ddc</i> .....	56
<b>3.6.</b>	<b>Índice de cosecha (K)</b> .....	58
<b>3.6.1.</b>	<i>Índice de cosecha a los 45 ddc</i> .....	58
<b>3.7.</b>	<b>Rendimiento por hectárea kg/ha</b> .....	59
<b>3.8</b>	<b>Análisis económico</b> .....	61
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	62
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	63
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Nutrientes recomendados para una solución nutritiva, en ppm. ....	12
<b>Tabla 2-1:</b>	Fertilizantes usados para realizar soluciones nutritivas .....	13
<b>Tabla 3-1:</b>	Soluciones nutritivas propuestas por diversos autores para cultivo de lechuga en sistemas hidropónicos. (ppm) .....	20
<b>Tabla 4-1:</b>	Valor nutricional de la lechuga en 100 g .....	23
<b>Tabla 5-1:</b>	Plagas y enfermedades del cultivo de lechuga.....	24
<b>Tabla 6-1:</b>	Fórmulas matemáticas para estimar los índices fisiológicos usados en estudios de crecimientos. ....	25
<b>Tabla 1-2:</b>	Análisis químico de agua de pozas de invernadero ESPOCH .....	32
<b>Tabla 2-2:</b>	Dosificación de nutriente/tratamiento .....	33
<b>Tabla 3-2:</b>	Esquema del análisis de varianza.....	34
<b>Tabla 4-2:</b>	Requerimientos nutritivos de acuerdo con Shippers, et. ....	38
<b>Tabla 5-2:</b>	Fuentes de fertilizantes .....	38
<b>Tabla 6-2:</b>	Rangos para cálculo de balance iónico dosis media 100% .....	38
<b>Tabla 7-2:</b>	Rangos para cálculo de balance iónico dosis baja 75% .....	39
<b>Tabla 8-2:</b>	Rangos para cálculo de balance iónico dosis alta 125% .....	39
<b>Tabla 9-2:</b>	Rangos de pH y CE tomados de agua de pozas .....	39
<b>Tabla 1-3:</b>	Análisis de Varianza para porcentaje de prendimiento a los 15 ddc. ....	41
<b>Tabla 2-3:</b>	Análisis de la Varianza para Índice absoluto de crecimiento a los 15 ddc.....	42
<b>Tabla 3-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para el Índice absoluto de crecimiento a los 15 ddc.....	42
<b>Tabla 4-3:</b>	Análisis de varianza para el Índice absoluto de crecimiento a los 30 ddc.....	43
<b>Tabla 5-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para Índice absoluto de crecimiento a los 30 ddc.....	43
<b>Tabla 6-3:</b>	Análisis de Varianza para el Índice absoluto de crecimiento a los 45 ddc.....	44
<b>Tabla 7-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para Índice absoluto de crecimiento a los 45 ddc.....	44
<b>Tabla 8-3:</b>	Análisis de varianza para el Índice de asimilación neta a los 15 ddc .....	46
<b>Tabla 9-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para índice de asimilación neta a los 15 ddc .....	46
<b>Tabla 10-3:</b>	Análisis de varianza para índice de asimilación neta a los 30 ddc .....	47
<b>Tabla 11-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para el índice de asimilación neta a los 30 ddc .....	48
<b>Tabla 12-3:</b>	Análisis de Varianza para el índice de asimilación neta a los 45 ddc .....	48
<b>Tabla 13-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para el índice de asimilación neta a los 45 ddc. ....	49
<b>Tabla 14-3:</b>	Análisis de Varianza para razón del peso radical a los 15 ddc.....	50
<b>Tabla 15-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para razón del peso radical a los 15 ddc.....	50
<b>Tabla 16-3:</b>	Análisis de Varianza para razón del peso radical a los 30 ddc.....	51
<b>Tabla 17-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para razón del peso radical a los 30 ddc.....	51
<b>Tabla 18-3:</b>	Análisis de Varianza para la razón del peso radical a los 45 ddc.....	52

<b>Tabla 19-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para razón del peso radical a los 45 ddc	52
<b>Tabla 20-3:</b>	Análisis de Varianza para la razón del peso foliar a los 15 ddc	54
<b>Tabla 21-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para la razón del peso foliar a los 15 ddc	54
<b>Tabla 22-3:</b>	Análisis de Varianza para la razón del peso foliar a los 30 ddc	55
<b>Tabla 23-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para la razón del peso foliar a los 30 ddc	55
<b>Tabla 24-3:</b>	Análisis de Varianza para razón de peso foliar a los 45 ddc	56
<b>Tabla 25-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% razón de peso foliar a los 45 ddc	57
<b>Tabla 26-3:</b>	Análisis de Varianza para el índice de cosecha a los 45 ddc	58
<b>Tabla 27-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para el índice de cosecha a los 45 ddc	58
<b>Tabla 28-3:</b>	Análisis de Varianza para rendimiento por hectárea kg/ha	60
<b>Tabla 29-3:</b>	Prueba de Tukey al 5% para rendimiento por hectárea kg/ha	60
<b>Tabla 30-3:</b>	Análisis económico mediante la relación beneficio/costo	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1-1:** Compatibilidad química para mezclar fertilizantes en seco y estanque ..... 14

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Índice absoluto de crecimiento a los 15 ddc	43
<b>Gráfico 2-3:</b>	Índice absoluto de crecimiento a los 30 ddc	44
<b>Gráfico 3-3:</b>	Índice absoluto de crecimiento a los 45 ddc	45
<b>Gráfico 4-3:</b>	Índice de asimilación neta a los 15 ddc	47
<b>Gráfico 5-3:</b>	Índice de asimilación neta a los 30 ddc	48
<b>Gráfico 6-3:</b>	Índice de asimilación neta a los 45 ddc	49
<b>Gráfico 7-3:</b>	Razón del peso radical a los 15 ddc	51
<b>Gráfico 8-3:</b>	Razón del peso radical a los 30 ddc	52
<b>Gráfico 9-3:</b>	Razón del peso radical a los 45 ddc	53
<b>Gráfico 10-3:</b>	Razón del peso foliar a los 15 ddc	54
<b>Gráfico 11-3:</b>	Razón del peso foliar a los 30 ddc	56
<b>Gráfico 12-3:</b>	Razón del peso foliar a los 45 ddc	57
<b>Gráfico 13-3:</b>	Índice de cosecha a los 45 ddc	59
<b>Gráfico 14-3:</b>	Rendimiento por hectárea a los 45 ddc	60
<b>Gráfico 15-3:</b>	Relación beneficio/costo	61

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** PRESUPUESTO PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA HIDROPÓNICO PARA UNA HECTÁREA
- ANEXO B:** FERTILIZANTES
- ANEXO C:** PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y COLOCACIÓN DE PLANTAS EN EL SISTEMA
- ANEXO D:** COSECHA
- ANEXO E:** SELECCIÓN DE PLANTAS A EVALUAR
- ANEXO F:** TOMA Y REGISTRO DE DATOS
- ANEXO G:** COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL SISTEMA HIDROPÓNICO
- ANEXO G:** COSTOS DE FERTILIZANTES



## RESUMEN

En la presente investigación se propuso: evaluar la eficacia de tres soluciones nutritivas mediante hidroponía a raíz flotante en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa en el invernadero del departamento de Horticultura, de la Facultad de Recursos Naturales, ESPOCH, en la cual se aplicó un diseño completamente al azar DCA; con tres tratamientos y tres repeticiones. Los parámetros evaluados fueron: prendimiento de la lechuga, índice absoluto de crecimiento (IAC), índice de asimilación neta (IAN), razón del peso radical (RPR), razón del peso foliar (RPF), índice de cosecha (K), rendimiento por hectárea, análisis económico y la relación beneficio costo. El mejor tratamiento fue el T1 al (75%) de la solución nutritiva compuesta por: N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm; donde se obtuvo los mejores resultados con los siguientes parámetros morfológicos y fisiológicos: % de prendimiento de 98%, un IAC de 2,51 g/día, un IAN de 0,19g/cm<sup>2</sup>/día, un RPR con 27,26%, un RPF del 64,57%, el K fue del 87,96% y un rendimiento por hectárea de 14215,50 kg/ha. Mientras que en la relación B/C fue se obtuvo 1,68 dólares presentando así una rentabilidad de 67,64%. Por lo tanto, el tratamiento T1 al 75% de solución nutritiva N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm, supera en rendimiento y reduce los costos de producción dando así una mejor rentabilidad que los tratamientos T2 (100%) y T3 (125%). Se recomienda utilizar la solución nutritiva N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm, para un mejor desempeño en el sistema hidropónico a raíz flotante.

**Palabras claves:** <HIDROPONÍA>, <SISTEMA RAÍZ FLOTANTE>, <INVERNADERO>, <LECHUGA (*lactuca sativa* L.) >, <HORTICULTURA>.



D.B.R.A.I.  
D. Cristhian Castillo



0979-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

The objective of this research work was to evaluate the effectiveness of three nutrient solutions through floating root hydroponics in the production of lettuce (*Lactuca sativa l.*) var. *Crispa* in the greenhouse of the Department of Horticulture, Faculty of Natural Resources, ESPOCH; in which a completely randomized design CNR was applied with three treatments and three replications. The parameters evaluated were lettuce apprehension, absolute growth index (AGI), net assimilation index (NAI), root weight ratio (RWR), leaf weight ratio (LWR), harvest index (*K*), yield per hectare, economic analysis, and cost-benefit ratio. The best treatment was T1 at (75%) of the compound nutrient solution of *N*: 153.75; *P*: 37.5; *K* 157.5; *Ca* 142.5; *Mg* 22.5; *S* 29.25; *Fe* 2.25; *Mn* 0.37; *Zn* 0.06, and *B* 1.5 ppm; where the best results were obtained with the following morphological and physiological parameters: percentage of apprehension of 98%, an AGI of 2.51 g/day, an NAI of 0.19g/cm<sup>2</sup> /day, an RWR with 27.26%, an LWR of 64.57%, *K* was 87.96% and a yield per hectare of 14215.50 kg/ha. While the *B/C* ratio was US\$1.68, giving profitability of 67.64%. Therefore, treatment T1 at 75% nutrient solution *N*: 153.75; *P*: 37.5; *K* 157.5; *Ca* 142.5; *Mg* 22.5; *S* 29.25; *Fe* 2.25; *Mn* 0.37; *Zn* 0.06, and *B* 1.5 ppm, outperforms in yield and reduces production costs thus giving better profitability than treatments T2 (100%) and T3 (125%). It is recommended to use the nutrient solution *N*: 153.75; *P*: 37.5; *K* 157.5; *Ca* 142.5; *Mg* 22.5; *S* 29.25; *Fe* 2.25; *Mn* 0.37; *Zn* 0.06, and *B* 1.5 ppm for better performance in the floating root hydroponic system.

**Keywords:** <HYDROPONIC>, <FLOATING ROOT SYSTEM>, <GREENHOUSE>, <LETTUCE (*Lactuca sativa l.*)>, <HORTICULTURE>.



Firmado electrónicamente por:  
**SILVANA  
PATRICIA  
CELLERI QUINDE**

## INTRODUCCIÓN

En un mundo con una creciente población, con suelos erosionados e índices cada vez mayores de contaminación, con climas cambiantes, la hidroponía, por sus especiales características, brinda nuevas posibilidades donde los cultivos tradicionales están agotados como alternativa (Ortiz, S, 2007, p. 16).

Hoy en día, la técnica de hidroponía juega un papel muy importante en el desarrollo global de la agricultura. 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. (Resh, 1997, pp. 29-30).

El uso de estas tecnologías modernas nos ha permitido cultivar plantas de forma más rápida, saludables, libres de plagas y enfermedades, considerando a la hidroponía un sistema de producción en el cual las raíces de las plantas no se encuentran establecidas en el suelo, si no en una solución nutritiva, encontrando los elementos necesarios para el crecimiento de la planta. (Beltrano & Gimenez, 2016, pp. 1-10).

Según FAO (2003, pp. 1-10), esta revolucionaria técnica contribuye a la solución de dos problemas vitales del fin de siglo: la pobreza y la escasez de espacios cultivables.

En el Ecuador, la empresa GREENLAB que se encuentra ubicada en San Vicente-Pintag-Quito, está dedicada a la producción de lechuga hidropónica, y tiene la capacidad de producir 90.000 lechugas al mes, en un área de 7.000 m<sup>2</sup>, de ellos el 80% es colocado en Supermaxi y el 20% restante se vende directamente a restaurantes y a distribuidores en Guayaquil. (Guanochanga y Betancourt, 2001, p. 78).

La problemática que existe en la contaminación del agua, la baja fertilidad de los suelos, el uso indiscriminado de plaguicidas, el incremento de la población mundial y el calentamiento global obligan al productor emplear técnicas alternativas de producción agrícola para reducir los problemas antes mencionados, con el fin de obtener mejores rendimientos en los cultivos y mejorando la calidad del producto, tomando en cuenta que los costos de producción se verán incrementados por la aplicación de las nuevas técnicas. Por lo tanto se considera importante evaluar la eficacia de tres soluciones nutritivas mediante el sistema hidropónico a raíz flotante en la producción de lechuga en invernadero.

## **OBJETIVOS**

### **General**

- Evaluar la eficacia de tres soluciones nutritivas mediante hidroponía a raíz flotante en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa en invernadero.

### **Específicos**

- Evaluar el efecto de macro y micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B) en los parámetros fisiológicos y morfológicos del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a través de soluciones nutritivas en el sistema hidropónico a raíz flotante en invernadero.
- Realizar el análisis económico por medio de la relación beneficio costo de cada uno de los tratamientos.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis nula**

Las soluciones nutritivas utilizadas en hidroponía a raíz flotantes en invernadero no influyen en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa.

### **Hipótesis alterna**

Una de las soluciones nutritivas utilizadas en hidroponía a raíz flotantes en invernadero influye en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa.

### **Operacionalización de las variables**

#### **Variable dependiente**

- a. Rendimiento y
- b. Características agronómicas

#### **Variable independiente:**

- a. Concentración de macro y micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, S, Mn, B)

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Hidroponía

Es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en un medio libre de suelo. La hidroponía accede a estructuras simples o complejas para producir plantas principalmente de tipo herbáceo cultivando en sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados o no, etc. Partiendo del concepto se desarrollaron técnicas que se apoyan en sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin perder de vista los requerimientos de la planta como la temperatura, humedad, agua y nutrientes (Beltrano, J, et al. 2015, pp. 1-10).

##### *1.1.1. Elementos del sistema hidropónico*

- ✓ Aireación
- ✓ Agua
- ✓ Solutos
- ✓ Temperatura (Infoagro, 2019, pp. 75-79)

##### *1.1.2. Ventajas de los cultivos hidropónicos*

Los cultivos hidropónicos en la actualidad toman importancia por las grandes ventajas que presentan entre las cuales podemos destacar:

- ✓ Cultivos libres de patógenos y contaminación
- ✓ Reducción de costos de producción
- ✓ Evita la contaminación de los recursos naturales.
- ✓ Se puede producir en cualquier época del año, precocidad en los cultivos
- ✓ Ahorro de agua, fertilizantes, plaguicidas, etc.
- ✓ Se evita la utilización de maquinaria agrícola (tractores, rastras, etcétera).
- ✓ Mayor limpieza e higiene en el manejo del cultivo.
- ✓ Alto porcentaje de automatización
- ✓ Se puede cultivar en lugares donde la agricultura tradicional no es factible
- ✓ Rápida recuperación de la inversión inicial (Beltrano, J. et al. 2015 pp. 18-19).

### ***1.1.3. Especies recomendadas para hidroponía***

La planta es el elemento más significativo de los sistemas hidropónicos, ya que de la correcta funcionalidad de los demás elementos dependerá la calidad de planta que se tenga y, por tanto, los rendimientos, las plantas que frecuentemente se cultivan en hidroponía son especies de alto valor comercial, las cuales son beneficiosos para sus usos alimenticios u ornamentales, dentro de ellas se puede mencionar: (Oasiseasyplant, 2017, p. 70).

**Hortalizas de hoja:** Lechuga, acelga, espinaca, col, apio, berros.

**Hortalizas de flor:** Brócoli, coliflor, alcachofa, etc.

**Hortalizas de fruto:** Tomate, pimiento morrón, pepino, melón, sandía, berenjena, fresa, entre otros.

**Especies aromáticas:** Albahaca, menta, cilantro, perejil.

**Ornamentales:** Anturios, nochebuenas, orquídeas, crisantemos, lilis, etc. (Oasiseasyplant, 2017, p. 45).

## **1.2. Técnicas hidropónicas**

El cultivo hidropónico abarca una gran diversidad de técnicas tratando de adecuarse a las formas, tamaños, procesos fisiológicos y crecimiento de las plantas. No obstante, todas estas técnicas son una variación (o combinación) de estos seis sistemas básicos: (Cardador, M. 2019. p. 56).

### ***1.2.1. Técnica hidropónica de mecha***

Las plantas se soportan en cestas llenas de un sustrato inerte (Perlita, vermiculita, Pro-Mix y fibra de coco) al que llega la solución nutritiva desde el reservorio por medio de una mecha (Cardador, M. 2019, p. 54).

### ***1.2.2. Técnica de raíz flotante***

El sistema de Raíz Flotante es una técnica de cultivo en agua, en la cual las plantas crecen y desarrollan su parte aérea flotando en una plancha de espuma Flex, que se mantiene a flote dentro de un recipiente o tanque contenedor, teniendo siempre sus raíces dentro de la solución nutritiva (Infocampo, 2017, p. 34).

### ***1.2.3. Técnica de goteo con o sin recuperación de la solución nutritiva***

Dentro de los sistemas de riego podemos decir que el goteo es el más ahorrativo en agua y nutrientes puesto que permite al agua gotear con lentitud hacia las raíces de los vegetales y hortalizas.

El reparto de agua con riego por goteo se realiza a través de tuberías de fácil montaje en la cual se pincha una válvula que regula el ritmo del goteo (Hidrocultiva, s.f).

Este tipo de riego de bajo caudal es muy eficiente en cuanto al uso del agua, ya que evita el desperdicio debido a la evaporación al proporcionar la humedad a través de un lento goteo en la base de las plantas en lugar de imitar la lluvia desde arriba. (Plantas de interiores, sf)

Cuando se diseña para plantas en contenedores separados que se regulan individualmente, un sistema hidropónico de goteo proporcionará lenta y constantemente humedad y nutrientes exactamente cuando y donde se necesitan (Plantas de interiores, sf, 2019. p. 38).

### ***1.2.4. Técnica de inundación y drenaje (Ebb and Flow)***

Los contenedores contienen un sustrato inerte que no aporta nutrientes a las plantas, pero permite anclar las raíces y se drena lentamente. Se colocan en una bandeja de cultivo, que se coloca sobre un depósito de agua rica en nutrientes. Esta agua se bombea desde el depósito hacia la bandeja de cultivo, donde fluye hasta las raíces a través de unos agujeros en los contenedores. Luego, el agua se drena lentamente, y vuelve al depósito mediante la fuerza de la gravedad. Entonces se deja un período de tiempo para que las raíces se sequen y se oxigenen (Royal Queen Seeds, 2021, p. 45).

### ***1.2.5. Técnica de película de nutrientes (Nutrient Film Technique, NFT)***

Se basa en la circulación continua o intermitente de una fina lámina de solución nutritiva a través de las raíces del cultivo, sin que éstas por tanto se encuentren inmersas en sustrato alguno, sino que simplemente quedan sostenidas por un canal de cultivo, en cuyo interior fluye la solución en donde no existe pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se considera un sistema de tipo cerrado. El principio del sistema consiste en recircular continuamente una solución nutritiva por una serie de canales de PVC de forma rectangular, llamados canales de cultivo. En cada canal hay agujeros donde se colocan las plantas, y estos canales están apoyados sobre mesas o caballetes con una ligera pendiente o desnivel que facilita la circulación de la solución. Luego la solución es recolectada y almacenada en un tanque (Incap, 2006, p. 90).

### ***1.2.6. Aeroponía***

Es el proceso de cultivar en un entorno de niebla si hacer uso de suelo o sumergiendo la raíz total o parcialmente en una solución nutritiva, es una técnica avanzada y de tecnología un poco más compleja, el principio básico es hacer crecer en un entorno cerrado o semicerrado pulverizando con nebulizadores o aspersores, las raíces colgantes y el bajo tallo con una solución rica en nutrientes, dentro del contenedor se genera un microambiente con alta humedad relativa, lo que produce que las raíces crezcan suspendidas en el aire (Pizarro, J. 2015, p. 39).

### **1.3. Sistema a raíz flotante**

El sistema de raíz flotante es excelente para el cultivo de plantas de bajo tamaño por ejemplo las lechugas y algunas plantas aromáticas, al tener las condiciones ambientales adecuadas propicia que el ciclo de la planta se reduzca y se obtenga cosechas con excelentes rendimientos. Este sistema no es ideal para plantas altas y pesadas, debido a que la bandeja puede romperse fácilmente, ni para plantas de crecimiento subterráneo (cebolla, zanahoria, papa, rábano, etc.) debido al exceso de humedad. El sistema de raíz flotante fue uno de los primeros sistemas hidropónicos que se utilizó a nivel experimental y a nivel de producción comercial, el cual maximiza la utilización del área de cultivo (Hydroenvironment, sf, 2019, p. 57).

Permite obtener una mayor producción en comparación a otros métodos de cultivo convencionales; inclusive debido a sus características es posible producir alimentos para autoconsumo más sanos y 100 por ciento libres de productos químicos; cabe destacar que gracias a su estructura es posible generar un ahorro significativo de los recursos como el agua, los nutrientes y los fertilizantes (Hidroponía, 2015, p. 66).

Se recomienda el uso de un contenedor que tenga resistencia al peso del agua que se desea almacenar, impermeabilizado con plástico negro para evitar pérdida de agua y disminuir el desarrollo de algas; una bomba que, a través, de pulsos diarios permita oxigenar las raíces que crecen en la solución nutritiva; y planchas de plumavit que permitan la flotabilidad de las plantas que se deseen cultivar. La dimensión del contenedor dependerá del espacio destinado a la producción que se desee alcanzar (Portalfruticola, 2019, p. 29).

#### ***1.3.1. Componentes de un sistema de cultivo hidropónico de raíz flotante***

La solución en la que se desarrollan las plantas debe beneficiarse de ciertos componentes para asegurarse de que le suministra todos los elementos indispensables para el crecimiento y nutrición (Baissetto 2004, p. 88).



Estos componentes son:

#### *1.3.1.1. Oxígeno*

Dado que las plantas son organismos vivos, requieren oxígeno para su respiración, las raíces de las plantas en el suelo reciben oxígeno a través de los poros presentes en las partículas del suelo. Sin embargo, en un sistema de cultivo de raíz flotante, es indispensable bombear oxígeno al agua para que esté utilizable para las células de la raíz (Baissetto 2004, p. 77).

#### *1.3.1.2. Agua*

El agua debe ser abundante en un sistema de raíz flotante. El desafío es asegurar que el gran volumen de agua en el sistema no origine problemas en el suministro de oxígeno y nutrientes a las plantas para que crezca y prospere (Baissetto 2004, p. 69).

#### *1.3.1.3. Nutrientes*

Adicionar las cantidades correctas de nutrientes a la solución asegura que las plantas estén bien nutridas y puedan desarrollar todo su potencial, el agua en los sistemas de cultivo de raíz flotante debe complementarse con los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas (Baissetto 2004, p. 56).

### **1.4. Ventajas**

#### *1.4.1. Menor número de horas de trabajo*

Estos sistemas requieren de un menor número de horas de trabajo que los sistemas convencionales de producción, ya que no sólo pueden automatizarse, sino que además la naturaleza de las tareas es sensiblemente diferente en estos sistemas. Además, en general las tareas son más livianas que en los sistemas convencionales, por lo que puede existir un ahorro sensible en mano de obra y por lo tanto en costos (Gilsanz 2007, pp. 11-24).

#### *1.4.2. Rotación de cultivos*

En estos sistemas no es necesaria la rotación de cultivos en el sentido estricto como se utiliza en los sistemas convencionales, fundamentalmente por la no existencia de suelo (Martinez A, 2015, p. 67).

### ***1.4.3. Competencia por nutrientes***

Las raíces se desenvuelven en mejores condiciones de crecimiento tanto en medios artificiales como en agua el desarrollo radicular obtiene su mejor desarrollo sin inconvenientes físicos ni nutricionales, comparados con los sistemas tradicionales donde suceden problemas de compactación, baja infiltración, condiciones de anaerobiosis para las raíces, que conspiran en su desarrollo (Gilsanz 2007, p. 89).

### ***1.4.4. Mínima pérdida de Agua***

Estos sistemas se realizan el uso eficiente del agua, ya que aporta las cantidades necesarias y en forma controlada. Además, en sistemas hidropónicos se disminuyen las pérdidas por infiltración y evaporación (Gilsanz 2007, p. 28).

### ***1.4.5. Reducción en aplicación de Agroquímicos***

Permite un gran ahorro de fertilizantes y plaguicidas, ya que las plantas se cultivan en condiciones controladas que favorecen su crecimiento óptimo y libre de parásitos, bacterias fitopatógenas, hongos y toxinas. A su vez, esto hace que los cultivos sean más precoces y uniformes (Generación verde, 2017, p. 78).

## **1.5. Condiciones físicas del sistema a raíz flotante**

### ***1.5.1. Temperatura***

La temperatura influye en la capacidad de absorción de agua y nutrientes. Cuando la temperatura es muy alta o baja provoca un decrecimiento de las raíces de las plantas, por encima de 30 °C y debajo de 12 °C la absorción de iones se ve muy limitada (Santos & Ríos, 2016, pp. 20-54).

### ***1.5.2. Monitoreo de nivel de oxígeno***

El contenido de oxígeno de la solución nutritiva y en consecuencia afectará la actividad de las raíces, particularmente la absorción de agua y nutrientes. Como se indicó anteriormente, en sistemas de raíz flotante la oxigenación puede lograrse con 15 bombas aireadoras o centrífugas. En sistemas tipo NFT el movimiento de la solución en los caños, la caída de ésta al tanque y el retorno son suficientes para lograr la oxigenación (Castañares J, s.f., 2019, p. 65).

### ***1.5.3. Oscuridad para la solución nutritiva***

Se debe mantener la oscuridad 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 (Oasiseasyplant 2017, p. 45).

### ***1.5.4. Circulación de la solución nutritiva***

Favorece una mejor distribución de los iones nutritivos y una mejor aireación. El movimiento de la solución a través de las raíces ayuda a estabilizar su ambiente, siempre y cuando el movimiento sea lo suficientemente lento como para no perjudicar a las raíces (Beltrano 2015, p. 66).

### ***1.5.5. Calentamiento***

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 (Oasiseasyplant 2017, p. 47).

### ***1.5.6. Soporte para las plantas***

Se puede usar una canastilla o planchas de espuma flex para sostener a las plantas (Cardador, M. 2019, p. 34).

## **1.6. Condiciones químicas del sistema hidropónico**

### ***1.6.1. pH***

El monitoreo del pH de una solución es importante porque controla la disponibilidad de sales fertilizantes, un pH de 5.8 es considerado óptimo para el sistema de crecimiento de las lechugas, aunque entre 5.6 y 6.0 es aceptable (Resh, 1997, p. 56).

### ***1.6.2. Conductividad eléctrica (CE)***

La conductividad eléctrica (CE) es una medida de la concentración de las sales disueltas en el agua. Para su determinación se utiliza un conductímetro y las unidades de expresión pueden ser milisiemens/cm, decisiemens/m o microsiemens/cm (1 mS/ cm = dS/m = 1000 µS/cm)

(Castañares J.) El rango de conductividad eléctrica recomendable es de 1.5 mS a 3 mS o de 750 a 1500 ppm. Por debajo de este rango la planta podría tener carencias nutricionales se debe agregar solución nutritiva (minerales), hasta que llegue al rango antes mencionado, por lo contrario, cuando el medidor marca arriba de 3 mS o 1500 ppm entonces se deberá agregar agua a la solución para diluir la cantidad de sales (Hydroenvironment s.f, 2019, p. 45).

### ***1.6.3. Calidad del agua***

En los sistemas convencionales la calidad del suelo es determinante del éxito, en los sistemas hidropónicos la calidad del agua es esencial tanto desde el punto de vista microbiológico como en su calidad química. El agua deberá estar exenta de contaminantes microbianos que de alguna manera puedan ser un perjuicio para la salud humana, ya que no se debe 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 un análisis de agua antes de comenzar con estos sistemas, además de análisis cíclicos, en especial cuando la fuente es subterránea (Gilsanz 2007, p. 91).

## **1.7. Condiciones ambientales del sistema hidropónico**

### ***1.7.1. 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 el proceso de conversión de la materia inorgánica en orgánica, constituyendo la base de todas las cadenas alimenticias de la tierra. La luz también interviene en los procesos de movimiento y formación de las plantas en los tropismos, la orientación, el alargamiento del tallo, la formación de pigmentos y la clorofila. Al transformarse de energía lumínica en energía calórica, la luz, interviene en todos los procesos bioquímicos de los vegetales. Así la luz actúa sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas verdes, como fuente energética para la asimilación fotosintética de CO<sub>2</sub>, así como fuente primaria de calor y estímulo para la regulación del desarrollo de todos los tejidos vegetales (Oasiseasyplant 2017, p. 34).

### **1.7.2. 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. La temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre 10° - 25 °C. Las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas durante períodos cortos de tiempo, pero debe evitarse acercarse a este valor letal (Oasiseasyplant 2017, p. 89).

### **1.7.3. 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, si es demasiado baja se cierra las estomas de la planta y se reduce la tasa de fotosíntesis. Una humedad relativa alta también influye sobre la presencia de enfermedades principalmente fungosas (Oasiseasyplant 2017, p. 59).

## **1.8. Soluciones nutritivas**

Una solución nutritiva se detalla como una disolución acuosa que contiene oxígeno y parte o la totalidad de todos los nutrientes totalmente disociados en forma disponible para la planta. Dentro de estos nutrientes se encuentran los siguientes elementos: (Arcos 2013, p. 10).

**Macroelementos primarios:** Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K).

**Macroelementos secundarios:** Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S).

**Microelementos:** Boro (B), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl).

Las soluciones nutritivas se aplican directamente a las raíces de diferente forma, según el método de cultivo que se adopte, (Arcos 2013, p. 11).

- ✓ Humedeciendo el sustrato en el que están ubicadas.
- ✓ Colocando las raíces directamente en el líquido de la solución.

- ✓ Aplicando en forma directa la solución sobre las raíces a manera de spray, con un pulverizador.
- ✓ Mediante los sistemas de riego como: goteo, aspersiones, inundaciones o gravedad denominado fertirriego.

### **1.8.1. Requerimientos nutrimentales para preparar soluciones nutritivas**

Requerimientos nutrimentales, para preparar soluciones nutritivas para diferentes cultivos, en los que se considera los valores mínimos y máximos.

**Tabla 1-1.** Nutrientes recomendados para una solución nutritiva, en ppm.

<b>Elemento</b>	<b>Rango (min-max)</b>	<b>Óptimo</b>
Nitrógeno	150-1000	250
Calcio	100-500	200
Magnesio	50-100	74
Fósforo	50-100	80
Potasio	100-400	300
Azufre	200-1000	400
Cobre	0,1-0,5	0,5
Boro	2-10	1
Hierro	2-10	5
Manganeso	0,5-5	2
Molibdeno	0,01-0,05	0,02
Zinc	0,5-1	0,5

Fuente: Arcos 2013, p. 12- 13.

### **1.8.2. Preparación de la solución nutritiva**

El procedimiento empleado en una solución nutritiva es el siguiente:

- ✓ Establecer las fuentes.
- ✓ Conocer el grado o concentración de las fuentes
- ✓ Establecer la concentración deseada o el requerimiento del cultivo o planta.
- ✓ Dosificar primero los elementos limitantes
- ✓ Repetir el procedimiento anterior, hasta ir hallando la concentración deseada (Arcos 2013, p. 14).

### 1.8.3. Fertilizantes simples usados para realizar soluciones nutritivas

**Tabla 2-1.** Fertilizantes usados para realizar soluciones nutritivas

Fertilizante	Formula química	Reacción
Ácido nítrico	HNO <sub>3</sub>	Ácida
Nitrato cálcico	5Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .10H <sub>2</sub> O.NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Ácida
Nitrato potásico	KNO <sub>3</sub>	Ácida/alcalina
Nitrato amónico	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Ácida
Nitrato de magnesio	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	Ácida
Sulfato amónico	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácida
Fosfato monoamónico	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Ácida
Urea fosfato	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	Ácida
Ácido fosfórico	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ácida
Fosfato monopotásico	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Ácida
Sulfato potásico	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácida / alcalina
Cloruro potásico	KCl	Alcalina
Urea	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	Alcalina

Fuente: (Santos, 2016, p. 12).

### 1.8.4. Compatibilidad de fertilizantes

Consiste en aplicar sustancias nutritivas necesarias por los vegetales en el agua de riego en cantidad, época, proporción y forma química requerida por las plantas de acuerdo a su etapa fenológica, ritmo de crecimiento. Las tres características importantes que deben cumplir los fertilizantes a incorporar en fertirrigación son: alta solubilidad (> 100 g/L), alta pureza (> 95 %), y baja salinidad y toxicidad (Intagri sf, p. 50).

La incompatibilidad química de los materiales fertilizantes puede generarse por las siguientes causas:


- ✓ Desarrollo de calor en la mezcla.
- ✓ Desarrollo de humedad.
- ✓ Producción de gas.
- ✓ Compactación.
- ✓ Aumento de higroscopicidad en la mezcla (Infoagronomo, s.f, p. 67)

Las interacciones más comunes de incompatibilidad son:



Fertilizante	Urea	Nitrato de Amonio	Sulfato de amonio	Nitrato de calcio	Nitrato de potasio	Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Fosfato de amonio	Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn	Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	Sulfato de Magnesio	Acido fósforico	Acido sulfúrico	Acido nítrico	Fosfato mono potásico
Urea	C														
Nitrato de Amonio	C	C													
Sulfato de amonio	C	C	C												
Nitrato de calcio	C	C	I	C											
Nitrato de potasio	C	C	C	C	C										
Cloruro de potasio	C	C	C	C	C	C									
Sulfato de potasio	C	C	CR	I	C	CR	C								
Fosfato de amonio	C	C	C	I	C	C	C	C							
Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn	C	C	C	I	C	C	CR	I	C						
Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	C	C	C	CR	C	C	C	CR	C	C					
Sulfato de Magnesio	C	C	C	I	C	C	CR	I	C	C	C				
Acido fósforico	C	C	C	I	C	C	C	C	C	CR	C	C			
Acido sulfúrico	C	C	C	I	C	C	CR	C	C	C	C	C	C		
Acido nítrico	C	C	C	C	C	C	C	C	C	I	C	C	C	C	
Fosfato mono potásico	C	I	C	I	C	C	C	C	C	C	CR	C	C	C	C

**WWW.AGROPRODUCTORES.COM**



**Figura 1-1.** Compatibilidad química para mezclar fertilizantes en seco y estanque

Fuente: (Agroproductores, s.f).

## 1.9. Control de la solución nutritiva

### 1.9.1. Temperatura

La temperatura óptima de la solución nutritiva debe ser en promedio 22 °C, al situarse por debajo de los 12°C o mayor (a) 30°C grados la raíz deja de crecer, por lo tanto, la absorción y la asimilación disminuirá (Hydroenvironment s.f, p. 87).

### 1.9.2. Solubilidad

Capacidad de las sales para disolverse en agua en un determinado tiempo; si una sal tiene baja solubilidad, solamente una pequeña cantidad de ésta se disolverá en el agua. En la preparación de fertilizantes líquidos, las sales fertilizantes deberán tener una alta solubilidad, puesto que deben permanecer en solución para ser tomadas por las plantas (Arcos 2013, p. 98).

### 1.9.3. pH

El carácter ácido o básico de una solución nutritiva es medido mediante el pH, e influye sobre la solubilidad de los iones. Para la mayoría de las plantas, un pH entre 5 y 7, es el rango donde los



cultivos trabajan más adecuadamente. Por otro lado, en cultivos hidropónicos generalmente se trabaja con un rango de pH entre 5.5 a 5.8, ya que se ha demostrado que es donde se encuentran mejor disueltos los iones, especialmente el fósforo y los micronutrientes (Aguilar, O, 2002, p. 67).

#### ***1.9.4. Conductividad eléctrica***

La concentración de la solución puede deducirse midiendo la conductividad eléctrica de la misma. Las sales nutritivas conducen la corriente eléctrica a mayor cantidad de sales nutritivas habrá mayor conductividad eléctrica. En lechuga, por ejemplo, la conductividad eléctrica de la solución nutritiva no debería superar los 1,5 dS/m. Al sobrepasar los 3,0 dS/m la absorción de agua, y por ende la de nutrientes, disminuye afectando así el crecimiento del cultivo debido a una mayor concentración de elementos minerales disueltos en la solución nutritiva (Carrasco G, 2007. p 15).

#### ***1.9.5. Dureza***

El agua dura muestra problemas cuando se utiliza para preparar soluciones nutritivas; para empezar, los niveles de calcio y magnesio son muy elevados para la planta. Si se utiliza una concentración normal de nutrientes con agua dura, los niveles de calcio y magnesio serán tan altos que el nutriente estará desbalanceado cuando la dureza del agua sea mayor a 150 ppm, se deberá comprobar que la relación entre calcio y magnesio sea de 3-5 ppm de calcio por 1 ppm de magnesio (Arcos 2013, p. 99).

### **1.10. Funciones de los nutrimentos en las plantas**

#### ***1.10.1. Nitrógeno***

Según Beltrano, (2015) es el elemento más abundante en las plantas luego del C, H y O. El N forma parte de las proteínas constituyendo el armazón de la estructura subcelular, y de diversos órganos como cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas dónde ocurren numerosos procesos metabólicos.

Deficiencia: Aspecto enfermizo de la planta, color verde amarillento debido a la pérdida de clorofila, desarrollo lento y escaso, amarillamiento inicial y secado posterior de las hojas de la base de la planta que continua hacia arriba.

Toxicidad: Cuando se le suministra en cantidades desbalanceadas en relación con los demás elementos, la planta produce mucho follaje de color verde oscuro, pero el desarrollo de las raíces es reducido, la floración y la producción de frutos y semillas se retarda.

### ***1.10.2. Fósforo***

Navarro & Navarro (2003); Resh (2006); Taiz y Zeiger, (2006), citado por Lacarra & García, (2011), participa en la constitución de ácidos nucleicos (ADN Y ARN), además cumple un rol en la transferencia y almacenaje de energía (ATP). Una adecuada cantidad da consistencia a los tejidos, favorece la floración, fecundación, fructificación y maduración, influye en la cantidad, peso y sanidad de semillas y frutos, favorece el desarrollo del sistema radicular, participa en la actividad funcional de la planta (fotosíntesis), es un factor de precocidad, es un elemento de calidad, haciendo las plantas más resistentes a plagas y enfermedades.

Deficiencia: Aparición de hojas, ramas y tallos de color purpúreo; este síntoma se nota primero en las hojas más viejas, desarrollo y madurez lenta y aspecto raquíutico en los tallos, mala germinación de las semillas, bajo rendimiento de frutos y semillas.

Toxicidad: Los excesos de fósforo no son notorios a primera vista, pero pueden ocasionar deficiencia de cobre o de zinc.

### ***1.10.3. Potasio***

El potasio se absorbe en forma de  $K^+$ . Es un activador en gran cantidad de procesos, los cuales son necesarios para la conservación del estado del agua de la planta y de la presión de la turgencia de las células, así como para la apertura y el cierre estomático (Preciado; & otros 2006, p. 102).

Deficiencia: Las hojas de la parte más baja de la planta se queman en los bordes y puntas; generalmente la vena central conserva el color verde; también tienden a enrollarse; debido al pobre desarrollo de las raíces, las plantas se degeneran antes de llegar a la etapa de producción. En las leguminosas da lugar a semillas arrugadas y desfiguradas que no germinan o que originan plántulas débiles.

Toxicidad: No es común la absorción de exceso de potasio, pero altos niveles de él en las soluciones nutritivas pueden ocasionar deficiencia de magnesio y también de manganeso, hierro y zinc

### ***1.10.4. Calcio***

El calcio se absorbe en forma de ión  $Ca^{2+}$ . Participa como componente estructural de paredes y membranas celulares, así como cofactor de varias enzimas. Constituye los pectatos de calcio como parte de la estructura celular, lo que contribuye a la rigidez de la pared celular (Preciado; & otros 2006, p. 103).

Deficiencia: Las hojas jóvenes de los brotes terminales se doblan al aparecer y se queman en sus puntas y bordes. Las hojas jóvenes permanecen enrolladas y tienden a arrugarse. En las áreas

terminales pueden aparecer brotes nuevos de color blanquecino. Puede producirse la muerte de los extremos de las raíces.

Toxicidad: No se conocen síntomas de toxicidad por excesos, pero éstos pueden alterar la acidez del medio de desarrollo de la raíz y esto sí afecta la disponibilidad de otros elementos para la planta.

#### ***1.10.5. Magnesio***

El magnesio se absorbe activamente en forma de  $Mg^{2+}$ . Al igual que el Ca, el Mg puede encontrarse en las plantas como elemento estructural (forma parte de la molécula de clorofila) o como cofactor enzimático que actúa sobre sustratos fosforilados, por lo que tiene gran importancia en el metabolismo energético (Preciado; et. al. 2006, p. 103).

Deficiencia: Pérdida del color verde, que comienza en las hojas de abajo y continua hacia arriba, pero las venas conservan el color verde, los tallos se forman débiles, y las raíces se ramifican y alargan excesivamente, las hojas se tuercen hacia arriba a lo largo de los bordes. Toxicidad: No existen síntomas visibles para identificar la toxicidad por magnesio.

#### ***1.10.6. Azufre***

El S forma parte de los aminoácidos azufrados cisteína y metionina, y de las proteínas que los contienen. También forma parte de las vitaminas biotina y tiamina. Se encuentra en la coenzima A, compuesto esencial para la respiración y síntesis y degradación de los ácidos grasos. El etileno, la hormona de la maduración de los frutos, proviene de la metionina (Rodríguez, Chang, Hoyos, & Falcón. 2004, p. 287).

Deficiencia: Cuando se presenta deficiencia, lo que no es muy frecuente, las hojas jóvenes y sus venas toman un color verde claro; el espacio entre las nervaduras se seca, los tallos son cortos, endebles, de color amarillo, el desarrollo es lento y raquítrico.

#### ***1.10.7. Cloro***

El cloro se absorbe activamente como  $Cl^-$ . Aumenta la presión osmótica celular y participa en la regulación del nivel de turgencia de la planta, a través de la regulación de la apertura y cierre de estomas (Preciado; & otros 2006, p. 104).

Toxicidad: Los excesos producen el quemado de los bordes y extremos de las hojas; su tamaño se reduce y hay, en general, poco desarrollo.

### ***1.10.8. Hierro***

Es esencial en la síntesis de clorofila. Forma parte de los citocromos, proteínas integrales de membrana que intervienen en el transporte de electrones en la fotosíntesis y respiración. Es constituyente de enzimas como la catalasa, citocromo oxidasa. Como ferredoxina interviene en la asimilación del nitrato, al participar en la reducción del nitrito a amoníaco (Rodríguez, Chang, Hoyos, & Falcón. 2004, p. 288).

Deficiencia: Causa un color pálido amarillento del follaje, aunque haya cantidades apropiadas de nitrógeno en la solución nutritiva, ocasiona una banda de color claro en los bordes de las hojas y la formación de raíces cortas y muy ramificadas. La deficiencia de hierro se parece mucho a la del magnesio, pero la del hierro aparece en hojas más jóvenes.

Toxicidad: No se han establecido síntomas visuales de toxicidad de hierro absorbido por la raíz.

### ***1.10.9. Manganeso***

La raíz de la planta absorbe el magnesio como  $Mn^{2+}$ . El Mn está envuelto en los procesos de oxidación-reducción en el sistema fotosintético del transporte de electrones. En el fotosistema II, intercede como un puente entre el ATP y el complejo enzimático fosfoquinasa y fosfotrasferasa. (Preciado; & otros 2006, p. 105).

Deficiencia: Presenta síntomas de clorosis, se presenta igualmente entre las venas de las hojas viejas o jóvenes, dependiendo de la especie; estas hojas posteriormente mueren y se caen.

### ***1.10.10. Cobre***

La absorción del cobre tiene lugar en forma de  $Cu^{2+}$ . El Cu es un elemento de la proteína del cloroplasto llamada plastocinina, que toma parte en el sistema de transporte de electrones en el fotosistema I y II; participa en el metabolismo de las proteínas y carbohidratos, en la fijación del N atmosférico (Preciado; et. al. 2006, p. 105).

Deficiencia: Severo descenso en el desarrollo de las plantas, las hojas más jóvenes toman color verde oscuro, se enrollan y aparece un moteado que va muriendo; escasa formación de la lámina de la hoja, disminución de su tamaño y enrollamiento hacia la parte interna, lo cual limita la fotosíntesis.

Toxicidad: Clorosis férrica, enanismo, reducción en la formación de ramas y engrosamiento y oscurecimiento anormal de la zona de las raíces.

### ***1.10.11. Zinc***

El zinc se absorbe de forma activa como  $Zn^{2+}$ . Es elemental en la síntesis de auxinas, principalmente en la ruta metabólica del triptofano que conduce a la formación del ácido indolacético. Las enzimas que demandan zinc para su actividad son: anhidrasa carbónica, alcohol deshidrogenasa, algunas piridin nucleótido deshidrogenas, glucosa-fosfato deshidrogenasa y triosafosfato deshidrogenasa (Preciado; & otros 2006, p. 105).

**Deficiencia:** Su deficiencia ocasiona un engrosamiento basal de los pecíolos de las hojas, pero disminuye su longitud; la lámina foliar toma una coloración pálida y una consistencia gruesa, apergaminada, con enrollamiento hacia fuera y con ondulaciones de los bordes. El tamaño de los entrenudos y el de las hojas se reduce, especialmente en su anchura. **Toxicidad:** Los excesos de zinc producen clorosis férrica en las plantas.

### ***1.10.12. Boro***

La planta absorbe al B en forma de ácido bórico. La función más conocida del B es la transportación de azúcares a través de la planta; además participa en la síntesis del ácido giberélico y en el metabolismo del ARN. Es de vital importancia su función en la germinación del polen y su viabilidad (Preciado; et. al. 2006, p. 106).

**Deficiencia:** Anula el crecimiento de tejidos nuevos y puede causar hinchazón y decoloración de los vértices radicales y muerte de la zona apical (terminal) de las raíces, ocasiona tallos cortos en el apio, podredumbre de color pardo en la cabeza y a lo largo del interior del tallo de la coliflor, podredumbre en el corazón del nabo, ennegrecimiento y desintegración del centro de la betarraga. **Toxicidad:** Se produce un amarillamiento del vértice de las hojas, seguido de la muerte progresiva, que va avanzando desde la parte basal de éstas hasta los márgenes y vértices. No se deben exceder las cantidades de este elemento dentro de las soluciones nutritivas ni dentro de los sustratos, porque en dosis superiores a las recomendadas es muy tóxico.

### ***1.10.13. Molibdeno***

El Molibdeno lo absorbe la planta en forma activa, como anión molibdato ( $MoO_4^{2-}$ ). Su función está relacionada con las reacciones de transferencia de electrones. El Mo es componente de las enzimas nitrato reductasa indispensable en la reducción de los nitratos, y nitrogenasa en la fijación biológica de nitrógeno (Preciado; et. al. 2006, p. 106).

**Deficiencia:** Los síntomas se parecen a los del nitrógeno, porque la clorosis (amarillamiento) avanza desde las hojas más viejas hacia las más jóvenes, las que se ahuecan y se queman en los bordes, no se forma la lámina de las hojas, por lo que sólo aparece la nervadura central, afecta

negativamente el desarrollo de las especies crucíferas (repollo, coliflor, brócoli), la betarraga, tomates y legumbres.

Toxicidad: En tomate, los excesos se manifiestan con la aparición de un color amarillo brillante; en la coliflor, con la aparición de un color púrpura brillante en sus primeros estados de desarrollo.

### 1.11. Soluciones nutritivas para el cultivo de lechuga

Los requerimientos del cultivo de lechuga en hidroponía según varios autores son los siguientes:

**Tabla 3-1.** Soluciones nutritivas propuestas por diversos autores para cultivo de lechuga en sistemas hidropónicos (ppm).

Nutrimiento	Shippers, et al.,1980	Ananda et al., 2000	Premuzic et a., 2006	Valverde et al. 2009	Scuderi et al., 2009
N	205	198	252	190	212
NO3	195	135	-	130	198
NH4	10	63	-	60	14
P	50	70	54	35	57
K	210	228	312	210	234
Ca	190	143	169	150	170
Mg	30	30	48	45	40
S	39	117	65	70	48
Fe	3	1,5	0,35	1	-
Cu	0,06	0,03	0,32	0,1	-
Mn	0,5	0,3	0,78	0,5	-
Mo	0,1	0,005	0,35	-	-
Zn	0,08	0,03	0,48	1,15	-

Fuente: (Gutierrez 2011, p. 78).

### 1.12. Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.)

La lechuga (*Lactuca sativa* L.), en sus diferentes formas y colores, es una de las hortalizas más comunes y consumidas en todo el mundo, En la actualidad se cultiva al aire libre e invernaderos, en suelo o en forma hidropónica esta evade las limitaciones que provocan las condiciones climáticas, luminosas y de suelo (Saavedra & otros 2017, p. 90).

### 1.13. Taxonomía

La lechuga presenta la siguiente clasificación sistemática:

Reino:	Plantae
Subreino:	Embryobionta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae
Género:	Lactuca
Especie:	Sativa
Nombre científico:	<i>Lactuca sativa</i> L (Saavedra et. al. 2017, pp. 23-24).

### 1.14. Producción y distribución geográfica.

La producción mundial de esta hortaliza se estima en 26 866 557 t anuales con un rendimiento promedio de 21,89 t ha<sup>-1</sup> (FAO, 2019, p. 67), su producción se agrupa en zonas más templadas y subtropicales. Los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), indican que el principal productor de esta especie es España, ya que exporta a más de 53 países superando las 900.000 t anuales. En el mercado hidropónico la lechuga ocupa el 2% en EE. UU., mientras que en Sudamérica el 49% (Intagri, s.f, 2019, p. 45).

Los países con mejores rendimientos de lechuga son China con 13.430.000 toneladas y Estados Unidos con 4.070.780 t, en Latinoamérica los mayores productores de estas hortalizas son México con 370.066 t y Chile con 101.559 t. (Chicaiza 2017, p. 67)

En el Ecuador existen 1.145 has de lechuga con un rendimiento promedio de 7.928 kg/ha según el Ministerio de Agricultura y de las provincias con mayor producción son: Chimborazo (315 t/ha), Tungurahua (518 t/ha) y Pichincha (70 t/ha). Cuando se habla del rendimiento de esta hortaliza se indica a partir de la disponibilidad de los volúmenes de producción (Chicaiza 2017, p.68).

### 1.15. Descripción de la planta

Indica que la lechuga es una planta herbácea anual de rápido crecimiento (Cajo 2016, p. 30).

### **1.15.1. Raíz**

Alcanza una longitud máxima que es de 25 cm de profundidad, muestra una raíz fibrosa, pivotante, superficiales y con muchas ramificaciones (Cajo 2016, p. 31)

### **1.15.2. Hojas**

Están situadas a manera de roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo como la variedad romana, y en otros se acogollan más tarde. Dependiendo de la variedad, el borde puede ser liso, ondulado o aserrado (Cajo 2016, p. 32).

### **1.15.3. Tallo**

Son cortos, lactosas, cilíndricos y blandos, cubiertos de follaje.

### **1.15.4. Flores:**

Se aglomeran en ramilletes, de color amarillo pálido, pequeño y hermafroditas, el ovario es unicelular y su único ovulo maduro es la semilla (Cajo 2016, p. 32).

### **1.15.5. Semillas**

Pueden ser picuda y plana, de color negro, blanco, amarillo o gris, dependiendo la variedad.

### **1.15.6. Variedades**

Dentro de la especie *Lactuca sativa* L. se diferencian cinco variedades botánicas: (Saavedra & otros 2017, p.56).

- ✓ *Lactuca sativa* L. var. *Longifolia*
- ✓ *Lactuca sativa* L. var. *Capitata*
- ✓ *Lactuca sativa* L. var. *Acephala* Dill.
- ✓ *Lactuca sativa* L. var. *Augustuana* All.
- ✓ *Lactuca sativa* L. var. *Crispa* L.



### 1.15.6.1. *Lactuca sativa L. var. Crispa L.*

Se las conoce como lechugas de hoja o de hoja crespa, de corte o de mata o francesa. No forman cabezas, tienen hojas anchas con margen muy recortado, sueltas y dispersas. Sus hojas pueden presentar color verde o morado según cultivar comercial (Castagnino, A.M. 2008, p. 45).

### 1.16. Valor nutricional

**Tabla 4-1.** Valor nutricional de la lechuga en 100 g

NUTRIENTE	CANTIDAD	UNIDADES
Proteínas	0,8	g
Grasas	0,1	g
Carbono	5	mg
Calcio	13	mg
Magnesio	7	mg
Fósforo	25	mg
Potasio	100	mg
Hierro	1,5	mg
Riboflavina	0,03	mg
Tiamina	0,7	mg
Azúcar total	2,2	mg
Vitamina A	300	-
Agua	96	g
Calorías (cal)	11	-

Fuente: (Cajo 2016, p.34).

### 1.17. Requerimientos edafoclimáticos

Los requerimientos edafológicos que se utilizan para implementar un cultivo de lechuga y lograr una excelente producción son los siguientes:

- ✓ La temperatura de germinación de la semilla oscila entre 20 y 26 °C, con óptimas de 24 °C. Durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre 14 y 18 °C con máximas de 24 °C y mínimas de 7 ° (Osorio & Lobo, 2003).
- ✓ La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80% (Alzate y Loaiza, 2008).
- ✓ Suelos ligeros entre arenoso-limosos, con buen drenaje. El pH más apropiado es el de 5,2 a 5,8 en suelos orgánicos y de 5,5 a 6,7 en medios acuosos. (Cásseres, 1980, p. 67).

## 1.18. Plagas y enfermedades

**Tabla 5-1.** Plagas y enfermedades del cultivo de lechuga

Plagas		
Nombre común	Nombre científico	Daño
Trips	<i>(Frankliniella pacispinosa)</i>	Roe el tejido de la hoja del haz y envés. Son transmisores de virus.
Minadores	<i>(Liriomyza trifolii)</i>	En el interior de la hoja de la lechuga la larva excava galerías mientras se alimenta del tejido parenquimatoso.
Mosca blanca)	<i>(Trialeurodes vaporariorum)</i>	Se alimenta de la savia de la planta, provocando amarillamiento de estas y su posterior debilitamiento general de la 14 planta.
Pulgones	<i>(Myzus persicae, Macrosiphum solani y Nasonoviaribisnigri)</i>	Colonizan los cogollos haciendo que se doble y atrofie, y a las hojas, afectando al desarrollo de las misma y haciéndose que se tornen amarillas y marchitas.
Enfermedades		
Botrytis	<i>(Botrytis cinerea)</i>	Los síntomas comienzan en las hojas más viejas con unas manchas de aspecto húmedo que se tornan amarillas, y seguidamente se cubren de mohos gris que genera enorme cantidad de esporas
Mildiu veloso	<i>(Bremia lactucae)</i>	En el haz de las hojas aparecen anchas amarillas que alcanzan 1cm de diámetro, en cambio en el envés se forman áreas mohosas blanquecinas que se tornan oscuras
Moho blanco o Sclerotinia	<i>(Sclerotinia sclerotiorum)</i>	Marchitez en las hojas externas de la planta, con la presencia de crecimiento micelial algodonoso blanco hacia la parte basal o central del tallo, a partir del cual se forman unos cuerpos compactos
Alternaria	<i>(Alternaria sp)</i>	Se forman unas manchas pequeñas o puntos necróticos de color café rodeados de un margen morado o rojo
Virus del mosaico de la lechuga	<i>(LMV)</i>	Presentan moteados y mosaicos verdosos que se van acentuando al crecer las plantas, dando lugar a una clorosis generalizada

Fuente: (Urrestarazu, M 2015).

## 1.19. Índice de crecimiento vegetal

Con el fin de cuantificar el efecto de diferentes cantidades y calidades de los factores externos sobre el crecimiento, se ha derivado una serie de fórmulas o ecuaciones matemáticas, conocidas como índices de crecimiento (Arcos 2013, p.16).

Estas fórmulas pretenden explicar, cuantificar y evaluar los efectos de la luz, el agua, el CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, temperatura y los nutrimentos sobre el rendimiento de los cultivos en términos fisiológicos y morfológicos (Arcos 2013, p.16).

Para realizar el análisis de crecimiento y aplicar las fórmulas se requieren de 3 datos básicos en función a la unidad de superficie (Arcos 2013, p. 17).

- ✓ Una medida de material vegetal presente (peso seco, producción, biomasa) que se refiere a la producción biológica o agronómica.
- ✓ Una medida de la magnitud del sistema asimilatorio de ese material vegetal, por ej. El área foliar capaz de fotosintetizar.
- ✓ Épocas de muestreo claramente establecidas (muestreos en edades críticas o estados claves de desarrollo del cultivo).

**Tabla 6-1.** Fórmulas matemáticas para estimar los índices fisiológicos usados en estudios de crecimientos.

<b>Parámetro fisiológico</b>	<b>Descripción (unidades)</b>
Índice absoluto de crecimiento $IAC = dP/dt = P2 - P1 / t2 - t1$	Incremento en peso por unidad de tiempo (peso/tiempo)
Índice de asimilación neta $IAN = \frac{PS2 - PS1}{AF2 - AF1} \times \frac{Ln AF2 - Ln AF1}{T2 - T1}$	Incremento de peso por unidad de área fotosintética por unidad de tiempo (peso/área/ tiempo)
<b>Parámetros morfológicos</b>	<b>Unidades</b>
Razón de peso comercial o índice de cosecha $K = \frac{PS \text{ parte comercial}}{PS \text{ planta total}}$	( peso/ peso)
Razón de peso radical $RPR = \frac{PS \text{ de raíces}}{PS \text{ planta total}}$	(peso/peso)
Relación de raíces a hojas $RPF = \frac{PS \text{ de raíces}}{PS \text{ de hojas}}$	(peso/peso)

Fuente:(Arcos 2013, p. 17).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Características del lugar

##### 2.1.1. Localización

La presente investigación se realizó en el invernadero del departamento de Horticultura, de la Facultad de Recursos Naturales, carrera de Ingeniería Agronómica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, cantón Riobamba, Parroquia Lican, provincia de Chimborazo.

##### 2.1.2. Ubicación geográfica \*

Lugar: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH.

Longitud: 0758126 UTM

Latitud: 9816941 UTM

Altitud: 2834 msnm

##### 2.1.3. Características climáticas dentro del invernadero \*\*

Temperatura promedio: 28°C

Humedad relativa promedio: 25 %

##### 2.1.4. Características del agua

###### a. Características físicas

**Color:** Incoloro

**Sabor:** sin sabor

**Olor:** Sin olor

\*Estación meteorológica ESPOCH

\*\*Invernadero ESPOCH

## b. Características químicas

**Tabla 1-2.** Análisis químico de agua de pozas de invernadero ESPOCH

mg/l														(ds/m)	RAS	mg/l dureza
Ca	Mg	Na	K	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	B	P	Zn	Cu	NH <sup>4</sup>	pH	CE		CaCO <sub>3</sub>
60	43	46,5	3,4	0	634,8	40,5	181,6	0,1	0,06			0,32	7,73	1,42	1,1 B	326,8 MD

Fuente: Instituto Nacional de Investigación INIAP, 2016.

## 2.2. Materiales y Equipos

### 2.2.1. Material biológico

Plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L) var. Crispa: 1170 unidades

### 2.2.2. Material de campo

3 bombas de caudal, sistema de aireación, temporizador o timer, cámara fotográfica, Balanza, pH-metro portátil, conductímetro, estufa, planchas de espuma flex, vaso de precipitación, vasos plásticos, baldes, esponjas, fundas de papel, cartón, flexómetro, mangueras, guantes, azadón, 9 pozas, silicona, probeta, estilete, marcador permanente, rastrillo, rótulos de identificación, palillos de identificación.

### 2.2.3. Insumos

Ácido nítrico, Nitrato de potasio, Nitrato de calcio, Ácido fosfórico, Sulfato de amonio, Sulfato de potasio, Sulfato de magnesio, Kelatex hierro, Kelatex manganeso, Kelatex zinc, Cosmoquel boro.

### 2.2.4. Materiales y equipos de oficina

Libreta, esfero, computadora, impresora, calculadora, papel bond A4

## 2.3. Métodos

### 2.3.1. Diseño experimental

Se empleó un diseño completo al azar (DCA), con tres tratamientos y tres repeticiones

### 2.3.2. Factores en estudio

Los factores en estudio fueron las 3 dosis de fertilizantes aplicados al cultivo de lechuga.

### 2.3.3. Tratamientos en estudio

- ✓ A1: dosis baja
- ✓ A2: dosis media
- ✓ A3: dosis alta

**Tabla 2-2:** Dosificación de nutriente/tratamiento

TRATAMIENTOS	DOSIS	CANTIDAD DE NUTRIENTES EXPRESADO EN ppm									
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	B
T1	75%	153,75	37,5	157,5	142,5	22,5	29,25	2,25	0,37	0,06	1,5
T2	100%	205	50	210	190	30	39	3	0,5	0,08	2
T3	125%	256,25	62,5	262,5	237,5	37,5	48,75	3,75	0,62	0,1	2,5

Realizado por: Valle, A., 2021.

## 2.4. Especificaciones del ensayo experimental

### 2.4.1. Tratamiento

Número de tratamientos:	3
Número de repeticiones:	3
Número de unidades experimentales:	9
Ancho de la parcela:	1,18 m
Longitud de la parcela:	10,57 m
Área de cada parcela:	12,47 m <sup>2</sup>
Distancia entre parcela:	0,20 m
Número de plantas por hilera:	34
Número de plantas por parcela:	130
Número de hileras por parcela neta:	2
Número de plantas por hileras por parcela neta:	15
Número de plantas por parcela neta:	30
Número de plantas a evaluar:	10
Número total de plantas:	1170

#### 2.4.2. Pozas

Forma:	Rectangular
Longitud:	33 m
Ancho:	1,80 m
Profundidad	0,30 m
Número de camas por tratamiento:	1
Volumen de agua:	3741,78 L

#### 2.4.3. Distancia de trasplante

Distancia entre hileras:	0,30 m
Distancia entre pozas:	0,30 m
Área neta del ensayo:	49,23 m <sup>2</sup>
Área total del ensayo:	198 m <sup>2</sup>

#### 2.4.4. Esquema de análisis de varianza

**Tabla 3-2.** Esquema del análisis de varianza

Fuente de variación (F.V.)	Fórmula	gl
Repeticiones	$(r - 1)$	2
Tratamientos	$(a - 1)$	2
Error	$(r - 1) * (a - 1)$	4
Total	$(a * r) - 1$	8

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor:  $> 0,01$  y  $> 0,05$  = ns (No significativo)

p-valor:  $> 0,01$  y  $< 0,05$  = \* (Significativo)

P-valor:  $< 0,01$  y  $< 0,05$  = \*\* (Altamente significativo)

#### 2.4.5. Análisis funcional

Se determinó el coeficiente de variación y se expresó en porcentaje (%).

Cuando las diferencias fueron significativas para separar medias para los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey al 5%. El análisis económico se determinó mediante la relación beneficio costo.

## **2.5. Métodos de evaluación y datos registrados**

Para su seguimiento y evaluación se sortearon 10 plantas dentro de cada parcela neta en todos los tratamientos.

### **2.5.1. Determinación del prendimiento de la lechuga**

Se determinó a los 15 días después del trasplante para lo cual se utilizó la siguiente fórmula

$$\% \text{ prendimiento} = \frac{\text{Número de plantas prendidas}}{\text{Número de plantas trasplantadas}} \times 100$$

### **2.5.2. Determinación del Índice absoluto de crecimiento (IAC)**

Se evaluó el IAC a los 15, 30 y 45 días después de colocar las plantas en sistema, esto se realizó tomando el peso inicial (P1) y el peso a los 15 días subsiguientes (P2) de 10 plantas de cada tratamiento, los resultados expresan el incremento en peso por unidad de tiempo (Peso (g)/Tiempo (días)), esto se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$IAC = \frac{P2 - P1}{T2 - T1}$$

### **2.5.3. Determinación del Índice de asimilación neta (IAN)**

Se determinó el IAN a los 15, 30 y 45 días después de colocar las plantas en sistema, esto se realizó obteniendo el área foliar de cada hoja de las plantas de cada tratamiento, también obteniendo los pesos secos de iniciales (PS1) y los pesos secos a los 15 días subsiguientes (PS2), además de los logaritmos naturales de las áreas foliares, los resultados expresan el incremento de peso por unidad de área fotosintética por unidad de tiempo (Peso (g)/Área (m<sup>2</sup>)/Tiempo (día)), mediante la siguiente fórmula:

$$IAN = \frac{Ps2 - Ps1}{AF2 - AF1} * \frac{\ln AF2 - \ln AF1}{T2 - T1}$$

### **2.5.4. Determinación de la razón del peso radical (RPR)**

Se determinó el RPR a los 15, 30 y 45 días después de colocar las plantas en sistema, esto se determinó obteniendo el peso seco de la planta para el peso seco de la raíz, los resultados



expresan el peso de las raíces en comparación con el peso de la planta en seco (peso raíz /peso planta) mediante la siguiente formula:

$$RPR = \frac{Ps\ raiz}{Ps\ planta} * 100$$

#### **2.5.5. Determinación de la razón del peso foliar (RPF)**

Se determinó el RPF a los 15, 30 y 45 días después de colocar las plantas en sistema, esto se determinó mediante el peso seco de la raíz para el peso seco de las hojas, los resultados expresan el peso de las raíces en comparación con el peso de las hojas en seco (peso hojas /peso planta)

$$RPF = \frac{Ps\ raiz}{Ps\ hojas} * 100$$

#### **2.5.6. Determinación del índice de cosecha (K)**

Se determinó el K a los 45 días después de colocar las plantas en sistema, los resultados expresan el peso de la parte comercial de la planta en comparación con el peso total de la misma (peso parte comercial /peso total), se expresó el mismo en porcentaje (%)

$$K = \frac{Ps\ parte\ comercial}{Ps\ planta} * 100$$

#### **2.5.7. Determinación del rendimiento por hectárea (kg/ha)**

Se determinó el rendimiento por hectárea del sistema hidropónico.

#### **2.5.8. Determinación relación beneficio costo**

El análisis económico se realizó mediante la relación beneficio/costo, considerando los ingresos y costos totales.

## **2.6. Manejo del ensayo**

### ***2.6.1. Instalación del sistema hidropónico a raíz flotante***

- ✓ Para el desarrollo del trabajo experimental se realizó la limpieza de las pozas donde se implementó el sistema hidropónico a raíz flotante, para lo cual se divide con una capa de cemento cada una de las pozas en 3 bloques diferentes
- ✓ Se realizó la compactación en cada una de las pozas regadas y se aplica una cubierta con pintura impermeable
- ✓ Instalamos el sistema eléctrico y el sistema de aireación para el correcto funcionamiento de las 3 bombas de caudal utilizadas en el sistema hidropónico.
- ✓ Cortamos, pegamos y perforamos las planchas de espuma flex a una distancia de 30 cm en tres bolillos y las instalamos en el sistema hidropónico.

### ***2.6.2. Instalación del temporizador electrónico para el hidropónico a raíz flotante***

Para controlar el encendido de las 3 bombas de caudal que actuaron como aireadoras del sistema a raíz flotante se instaló un temporizador electrónico digital, que funcionará durante las 24 horas del día y se encenderán durante 1 minuto cada 5 minutos.

### ***2.6.3. Análisis de agua***

Se realizó la toma de muestras del agua en un volumen de 2 litros, los cuales fueron analizados en la Estación Santa Catalina INIAP, y se procedió a la interpretación de los resultados. (Anexo)

### ***2.6.4. Trasplante de la lechuga en el sistema hidropónico***

El trasplante de las plántulas de lechuga al sistema hidropónico se realizó a los 30 días después de la siembra, para ello se realizó el hoyado en los vasos de plásticos con un diámetro de 5cm y se colocó esponja para ayudar como sostén de la plántula.

### ***2.6.5. Preparación de las soluciones nutritivas***

Para elaborar la solución nutritiva se tomó como referencia a (Shippers, et al.,1980,) ver en la tabla 4-2, se realizó el cálculo de fertilización. Se seleccionaron 10 tipos de fertilizantes, basados en la utilidad de los mismos en el sistema hidropónico y se procedió a calcular la cantidad de fertilizantes a incorporar para la solución nutritiva, basados en el análisis de agua realizado.

$$C = \frac{F * DF * n * 100}{a}$$

$$F = \frac{C * a}{DF * n * 100}$$

Donde;

C = Cantidad de fertilizante en g

F = concentración del nutriente en el agua de irrigación.

n = volumen de la solución madre.

a = % de pureza del nutriente en el fertilizante.

DF= factor de dilución.

**Tabla 4-2.** Requerimientos nutritivos de acuerdo con Shippers, et.

Shippers, et al.,1980 (ppm)													
Nutrimiento	N	NO3	NH4	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Mo	Zn
Cantidad	205	195	10	50	210	190	30	39	3	0.06	0.5	0.1	0.08

Fuente:(Gutierrez, 2011).

**Tabla 5-2.** Fuentes de fertilizantes

Fertilizantes a utilizar	Formula química
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Sulfato de amonio	SO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
Ácido fosfórico	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub>
Kelatex hierro	Fe <sup>+</sup>
Kelatex manganeso	Mn <sup>+</sup>
Kelatex zinc	Zn <sup>+</sup>
Cosmoquel boro	B

Realizado por: Valle, A. (2021).

### 2.6.6. Balance Iónico de la solución nutritiva

**Tabla 6-2.** Rangos para cálculo de balance iónico dosis media 100%

FUENTE	NO3	PO4	SO4	K	Ca	Mg	NH4
MIN	20	1,25	10	10	22,5	0,5	0
	60,03		9,04	52,73	31,64	10,55	4,22
MAX	80	10	70	65	65,5	40	15
		24,49					

Realizado por: Valle, A. (2021).

**Tabla 7-2.** Rangos para cálculo de balance iónico dosis baja 75%

FUENTE	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	NH <sub>4</sub>
MIN	20	1,25	10	10	22,5	0,5	0
	48,02		6,78	39,55	23,73	7,91	3,16
MAX	80	10	70	65	65,5	40	15
		18,37					

Realizado por: Valle, A. (2021).

**Tabla 8-2.** Rangos para cálculo de balance iónico dosis alta 125%

FUENTE	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	NH <sub>4</sub>
MIN	20	1,25	10	10	22,5	0,5	0
			11,3		39,55	13,18	5,27
MAX	80	10	70	65	65,5	40	15
	80,04	30,61		65,92			

Realizado por: Valle A, (2021).

### 2.6.7. Aplicación de los fertilizantes

Para aplicar los fertilizantes se tomó en cuenta cada etapa de crecimiento de acuerdo con los tratamientos.

Antes de aplicar las soluciones nutritivas, se reguló el pH del agua, con la ayuda de ácido nítrico hasta obtener un pH de 6,5 -7 para que los nutrientes sean absorbidos con mayor facilidad. Se disolvió los fertilizantes en un balde antes de ser incorporados directamente a las pozas. Se procedió a dotar del 20% del total de la solución nutritiva después de los 7, 15, 21,28, y 35 días después de colocado en el sistema de todas las diferentes concentraciones.

### 2.6.8. Medición del pH y CE en el medio de cultivo

Con la ayuda de un pH metro y conductímetro portátil se controló periódicamente el pH y CE para garantizar el crecimiento normal del cultivo.

**Tabla 9-2.** Rangos de pH y CE tomados de agua de pozas

Tratamientos	pH	CE (mS/cm)
T1 75% (dosis baja)	6.8	1.5
T2 100% (dosis Media)	6.8	1.5
T3 125% (dosis alta)	6.8	1.5

Fuente: Valle A, 2021.

### **2.6.9. Control fitosanitario**

Se realizó un monitoreo y control fitosanitario permanente durante los primeros 15 días de haber colocado la planta en el sistema hidropónico, en el cual no presento ningún signo o síntoma de enfermedades o ataque de plagas

### **2.6.10. Cosecha**

Transcurrido 45 días desde el trasplante al sistema hidropónico se procedió a la cosecha de las lechugas (*Lactuca sativa* L) var. Crispa, el cual se realizó retirando las plantas de las pozas e introduciéndolas en gavetas para su posterior comercialización.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Resultados y discusión

##### 3.1.1. Porcentaje de prendimiento a los 15 días después de colocado en el sistema (ddcs)

Los resultados obtenidos de acuerdo con el análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 15 ddcs (Tabla 1-3), no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 1,03%.

El promedio del porcentaje de prendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa fue del 98%

**Tabla 1-3.** Análisis de Varianza para porcentaje de prendimiento a los 15 ddcs.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	significancia
REPETICIÓN	0,39	2	0,20	0,19	0,8309	ns
TRATAMIENTO	4,13	2	2,06	2,05	0,2436	ns
ERROR	4,02	4	1,01			
TOTAL	8,54	8				
CV	1,03					

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01\*

p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para el porcentaje de prendimiento a los 15 ddcs, presentó diferencias numéricas, pero no estadísticas entre los tratamientos ubicando en un solo rango a la variable evaluada: En el rango “A” se encuentra la dosis al 100% (T2) con una media de 98,21%, seguido de la dosis baja al 75% (T1), con una media de 98,20% y por último la dosis alta al 125% (T3), con una media de 96,80%.

#### Discusión

A los 15 días después del trasplante al sistema hidropónico a raíz flotante, el porcentaje de prendimiento de las lechugas con cada uno de los tratamientos a evaluar en promedio fue del 98%, alcanzando una tasa de crecimiento radicular muy alta. Esto concuerda con Salinas, C. (2013) quien indica que un porcentaje ideal de prendimiento de las hortalizas debe ser mayor al 90%, coincidiendo con los resultados obtenidos en la investigación con un porcentaje de prendimiento del 98% para los tratamientos.

### 3.2. Índice absoluto de crecimiento (IAC)

#### 3.2.1. Índice absoluto de crecimiento a los 15 ddc

El análisis de varianza para el Índice absoluto de crecimiento (IAC) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 15 ddc (Tabla 2-3), presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos con un coeficiente de variación del 21,63%.

**Tabla 2-3.** Análisis de la Varianza para Índice absoluto de crecimiento a los 15 ddc

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	significancia
REPETICIÓN	0,01	2	0,01	1,55	0,3165	ns
TRATAMIENTO	0,17	2	0,09	21,55	0,0072	**
ERROR	0,02	4	4,0E-03			
TOTAL	0,20	8				
CV	21,63					

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

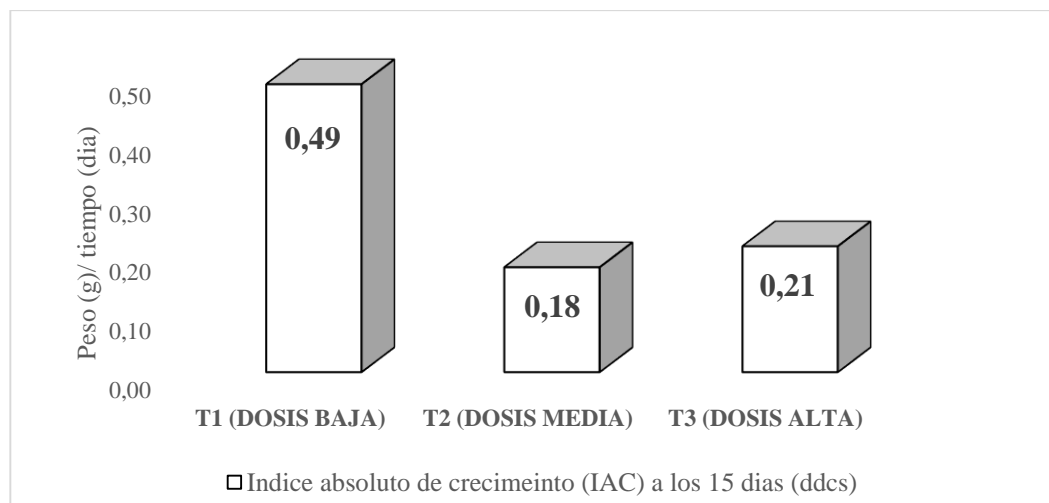
p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para el índice absoluto de crecimiento (IAC) a los 15 ddc (Tabla 3-3, Gráfico 1-3), presentó 2 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis baja 75%(T1) con una media de 0,49 g/d, y en el rango “B” se ubica la dosis alta 125% (T3) y la dosis media 100% (T2) con una media de 0,21 g/d y 0,18 g/d respectivamente.

**Tabla 3-3.** Prueba de Tukey al 5% para el Índice absoluto de crecimiento a los 15 ddc.

Tratamiento	%	Código	Medias (g/d)	Grupo
Dosis baja	75	T1	0,49	A
Dosis alta	125	T3	0,21	B
Dosis media	100	T2	0,18	B

Realizado por: Valle, A., 2021.



**Gráfico 1-3.** Índice absoluto de crecimiento a los 15 ddc

Realizado por: Valle, A., 2021.

### 3.2.2. Índice absoluto de crecimiento a los 30 ddc

El análisis de varianza para el Índice absoluto de crecimiento (IAC) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 30 ddc (Tabla 4-3), presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados, con un coeficiente de variación del 3,54%.

**Tabla 4-3.** Análisis de varianza para el Índice absoluto de crecimiento a los 30 ddc

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	significancia
REPETICIÓN	0,01	2	0,01	1,67	0,2962	ns
TRATAMIENTO	0,24	2	0,12	38,21	0,0025	**
ERROR	0,01	4	3,1E-03			
TOTAL	0,26	8				
CV	3,54					

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

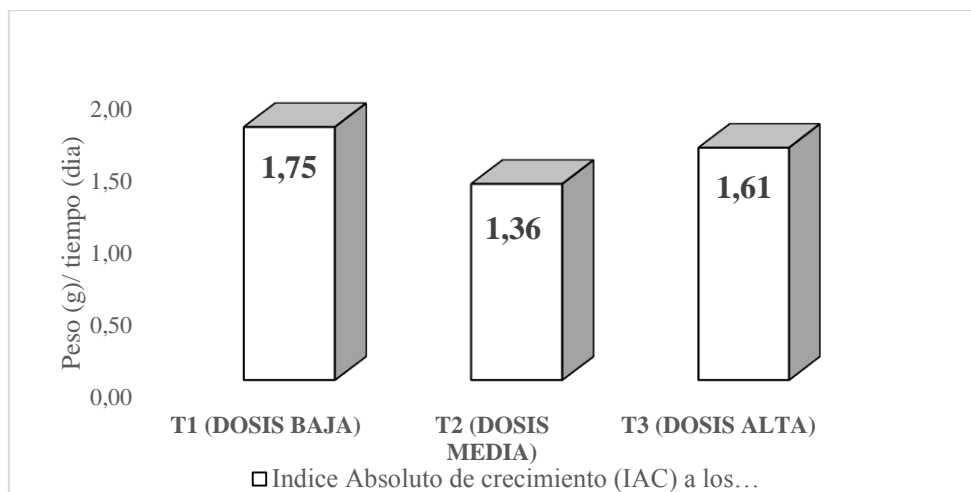
En la prueba de Tukey al 5% para el índice absoluto de crecimiento (IAC) a los 30 ddc (Tabla 5-3, Gráfico 2-3), presentó 2 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis baja 75% (T1) y la dosis alta 125% (T3) con una media de 1,75 g/d y 1,61 g/d respectivamente, y en el rango “B” se encuentra la dosis media 100% (T2) con una media de 1.36 g/d.

**Tabla 5-3.** Prueba de Tukey al 5% para Índice absoluto de crecimiento a los 30 ddc

Tratamiento	%	Código	Medias (g/d)	Grupo
Dosis baja	75	T1	1,75	A
Dosis alta	125	T3	1,61	A
Dosis media	100	T2	1,36	B

Realizado por: Valle, A., 2021.





**Gráfico 2-3.** Índice absoluto de crecimiento a los 30 ddc.

Realizado por: Valle, A., 2021.

### 3.2.3. Índice absoluto de crecimiento a los 45 ddc

El análisis de varianza para el Índice absoluto de crecimiento (IAC) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 45 ddc (Tabla 6-3), presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 6,09%.

**Tabla 6-3.** Análisis de Varianza para el Índice absoluto de crecimiento a los 45 ddc

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	significancia
REPETICIÓN	0,06	2	0,03	2,36	0,2102	ns
TRATAMIENTO	1,75	2	0,87	64,41	0,0009	**
ERROR	0,05	4	0,01			
TOTAL	1,87	8				
CV	6,09					

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

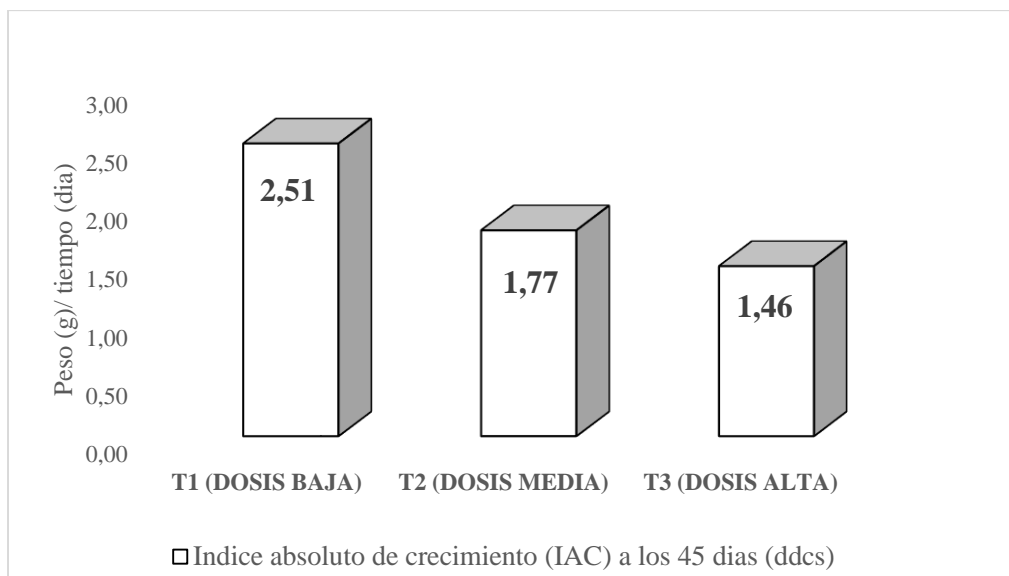
p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para el índice absoluto de crecimiento (IAC) a los 45 ddc (Tabla 7-3, Gráfico 3-3), presentó 2 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis baja 75% (T1) con una media de 2,51 g/d, y en el rango “B” se encuentra la dosis media 100% (T2) y la dosis alta 125% (T3) con una media de 1,77 g/d y 1,46 g/d respectivamente.

**Tabla 7-3.** Prueba de Tukey al 5% para Índice absoluto de crecimiento a los 45 ddc

Tratamiento	%	Código	Medias (g/d)	Grupo
Dosis baja	75	T1	2,51	A
Dosis media	100	T2	1,77	B
Dosis alta	125	T3	1,46	B

Realizado por: Valle, A., 2021.



**Gráfico 3-3.** Índice absoluto de crecimiento a los 45 ddc

Realizado por: Valle, A., 2021.

### Discusión

El mayor índice absoluto de crecimiento a los 45 ddc (cosecha) obtuvo con la aplicación de la dosis baja 75% (T1) de solución nutritiva que contiene: N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm. Con una media de 2,51g/d. El menor índice absoluto de crecimiento se alcanzó con la aplicación de la dosis alta 125% (T3) de solución nutritiva que contiene: N: 256,25; P: 62,5; K 262,5; Ca 237,5; Mg 37,5; S 48,75; Fe 3,75; Mn 0,62; Zn 0,1 y B 2,5 ppm, con una media de 1,46 g/d. El tratamiento T1 superó al T3 en un 71.92% y al T2 en un 41.80 %, el mayor índice de crecimiento alcanzado con la dosis baja pudo deberse a que la CE se encontró cerca del valor adecuado 1,56 dS/m, la CE en el T2 fue de 1,97 dS/m y en el T3 de 1,82 dS/m, estas conductividades obtenidas en los tratamientos T2 y T3 posiblemente no permitió un normal crecimiento, ya que la lechuga está considerada como un cultivo moderadamente sensible a la salinidad, coincidiendo con Carrasco; G; Ramírez, P; Vogel, H (2007), quienes manifiestan que, para lechuga la conductividad eléctrica de la solución nutritiva debe encontrarse en 1,5 dS/m. Cuando los valores son más altos a este valor existe problemas en la absorción de agua, y por ende la de nutrientes, disminuyendo el crecimiento del cultivo debido a una mayor concentración de elementos minerales disueltos en la solución nutritiva.

### 3.3. Índice de asimilación neta (IAN)

#### 3.3.1. Índice de asimilación neta a los 15 ddc

El análisis de varianza para el Índice de asimilación neta (IAN) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 15 ddc (Tabla 8-3), presentó diferencias significativas entre los tratamientos analizados, con un coeficiente de variación del 13,35%.

**Tabla 8-3.** Análisis de varianza para el Índice de asimilación neta a los 15 ddc

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>significancia</b>
<b>REPETICIÓN</b>	6,7E-07	2	3,3E-07	0,11	0,9025	ns
<b>TRATAMIENTO</b>	6,7E-05	2	3,3E-05	10,53	0,0255	*
<b>ERROR</b>	1,3E-05	4	3,2E-06			
<b>TOTAL</b>	8,0E-05	8				
<b>CV</b>	13,35					

**Realizado por:** Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

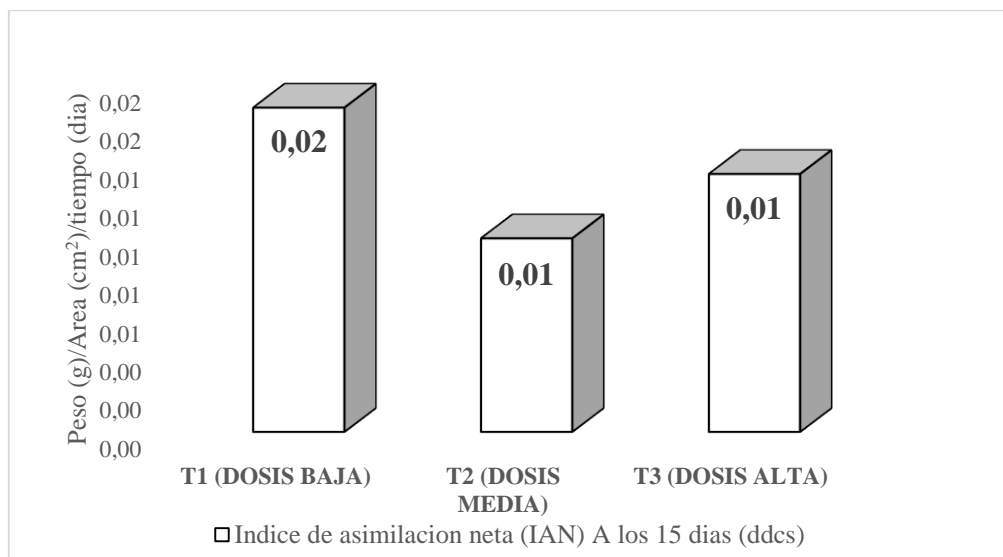
p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para el índice de asimilación neta (IAN) a los 15 ddc (Tabla 9-3, Gráfico 4-3), presentó 3 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis baja 75% (T1) con una media de 0,02 g/cm<sup>2</sup>/d, en el rango “AB” encontramos a la dosis alta 125% (T3) con una media de 0,01 g/cm<sup>2</sup>/d y el rango “B” se encuentra la dosis media 100% (T2) con una media de 0,01 g/cm<sup>2</sup>/d.

**Tabla 9-3.** Prueba de Tukey al 5% para índice de asimilación neta a los 15 ddc

<b>Tratamiento</b>	<b>%</b>	<b>Código</b>	<b>Medias (g/cm<sup>2</sup>/d)</b>	<b>Grupo</b>
<b>Dosis baja</b>	75	T1	0,02	A
<b>Dosis alta</b>	125	T3	0,01	AB
<b>Dosis media</b>	100	T2	0,01	B

**Realizado por:** Valle, A., 2021.



**Gráfico 4-3.** Índice de asimilación neta a los 15 ddc

Realizado por: Valle, A., 2021.

### 3.3.2. Índice de asimilación neta a los 30 días ddc

El análisis de varianza para el Índice de asimilación neta (IAN) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 30 ddc (Tabla 10-3), presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos analizados, con un coeficiente de variación del 6,55%.

**Tabla 10-3.** Análisis de varianza para índice de asimilación neta a los 30 ddc

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>significancia</b>
<b>REPETICIÓN</b>	9,5E-05	2	4,7E-05	2,55	0,1933	ns
<b>TRATAMIENTO</b>	1,3E-03	2	6,6E-04	35,40	0,0029	**
<b>ERROR</b>	7,4E-05	4	1,9E-05			
<b>TOTAL</b>	1,5E-03	8				
<b>CV</b>	6,55					

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

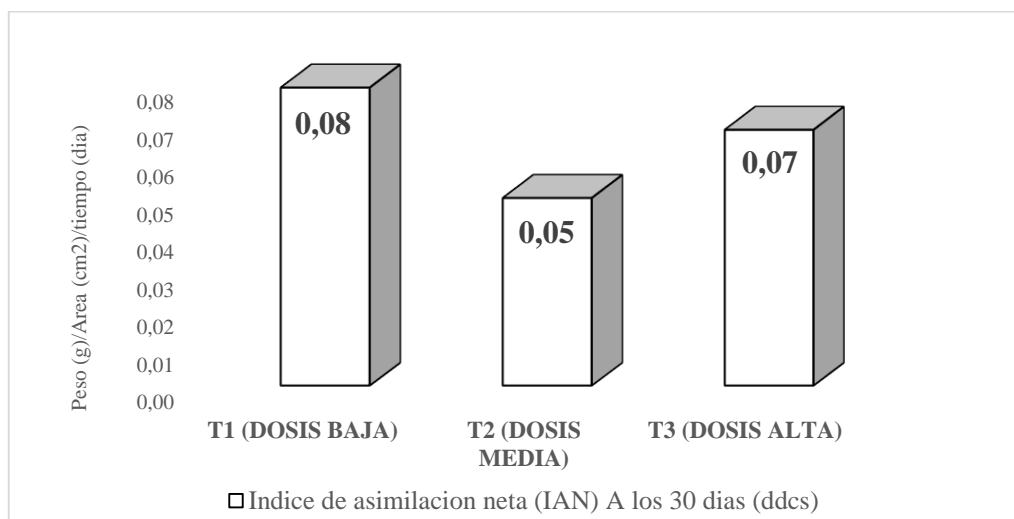
p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para el índice de asimilación neta (IAN) a los 30 ddc (Tabla 11-3, Gráfico 5-3), presentó 2 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis baja 75% (T1) y la dosis alta 125% (T3) con una media de 0,08 g/cm<sup>2</sup>/d y 0,07 g/cm<sup>2</sup>/d respectivamente, en el rango “B” está la dosis media 100% (T2) con una media de 0,05 g/cm<sup>2</sup>/d.

**Tabla 11-3.** Prueba de Tukey al 5% para el índice de asimilación neta a los 30 ddc

Tratamiento	%	Código	Medias (g/cm <sup>2</sup> /d)	Grupo
Dosis baja	75	T1	0,08	A
Dosis alta	125	T3	0,07	A
Dosis media	100	T2	0,05	B

Realizado por: Valle, A., 2021.



**Gráfico 5-3.** Índice de asimilación neta a los 30 ddc

Realizado por: Valle, A., 2021.

### 3.3.3. Índice de asimilación neta a los 45 ddc

El análisis de varianza para el Índice de asimilación neta (IAN) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 45 ddc (Tabla 12-3), presentó diferencias significativas entre los tratamientos analizados, con un coeficiente de variación del 5,28%.

**Tabla 12-3.** Análisis de Varianza para el índice de asimilación neta a los 45 ddc

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	significancia
REPETICIÓN	1,5E-04	2	7,5E-05	0,93	0,4655	ns
TRATAMIENTO	3,5E-03	2	1,7E-03	21,78	0,0071	**
ERROR	3,2E-04	4	8,0E-05			
TOTAL	4,0E-03	8				
CV	5,28					

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

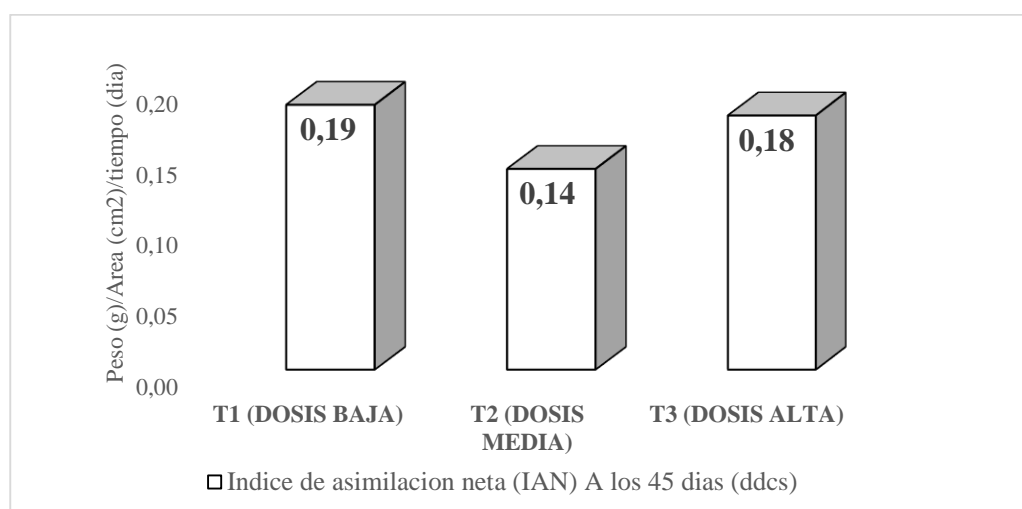
En la prueba de Tukey al 5% para el índice de asimilación neta (IAN) a los 45 ddc (Tabla 13-3, Gráfico 6-3), presentó 2 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis baja 75% (T1) y la dosis

alta 125% (T3) con una media de 0,19 g/cm<sup>2</sup>/d y 0,18 g/cm<sup>2</sup>/d respectivamente, mientras que en el rango “B” esta la dosis media 100% (T2) con una media de 0,14 g/cm<sup>2</sup>/d.

**Tabla 13-3.** Prueba de Tukey al 5% para el índice de asimilación neta a los 45 ddc.

Tratamiento	%	Código	Medias (g/cm <sup>2</sup> /d)	Grupo
Dosis baja	75	T1	0,19	A
Dosis alta	125	T3	0,18	A
Dosis media	100	T2	0,14	B

Realizado por: Valle, A., 2021.



**Gráfico 6-3.** Índice de asimilación neta a los 45 ddc

Realizado por: Valle, A., 2021.

### Discusión

El mayor índice de asimilación neta obtenido a los 45 ddc indicaron que el tratamiento con mejor asimilación de nutrientes fue la dosis baja 75% (T1) de solución nutritiva que contiene: N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm, con una media de 0,19 g/cm<sup>2</sup>/d, el menor índice absoluto de crecimiento se encontró en la dosis media 100% (T2) de solución nutritiva que contiene: N 205; P 50; K 210; Ca 190; Mg 30; S 39; Fe 3; Mn 0,5; Zn 0,08 y B 2g. N 205; P 50; K 210; Ca 190; Mg 30; S 39; Fe 3; Mn 0,5; Zn 0,08 y B 2 ppm, con una media de 0,14 g/cm<sup>2</sup>/d y la dosis alta 125% (T3) de solución nutritiva que comprende: N: 256,25; P:62,5; K 262,5; Ca 237,5; Mg 37,5; S 48,75; Fe 3,75; Mn 0,62; Zn 0,1 y B 2,5 ppm, con una media de 0,18 g/cm<sup>2</sup>/d. El T1 superó al T2 en un 35,71%, y al T3 5,55%. El mayor índice de asimilación neta obtenido por el T1, pudo deberse a la salinidad presente en el T2 y T3, esto causa considerables pérdidas en el rendimiento en una amplia variedad de cultivos, esto supera Carranza, C; Lancho, O; Miranda, D; Chaves, B (2009) que obtuvieron valor máximo de TAN 0,00046 g/cm<sup>2</sup>/d también indican que la salinidad puede inhibir el crecimiento de la planta y reducir la productividad.

### 3.4. Razón del peso radical (RPR)

#### 3.4.1. Razón del peso radical a los 15 ddc

El análisis de varianza para razón del peso radical (RPR) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 15 ddc (Tabla 14-3), presentó diferencias significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 15,96%.

**Tabla 14-3.** Análisis de Varianza para razón del peso radical a los 15 ddc

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>significancia</b>
<b>REPETICION</b>	1,65	2	0,82	0,25	0,7926	ns
<b>TRATAMIENTO</b>	8,15	2	4,08	1,22	0,3855	ns
<b>ERROR</b>	13,35	4	3,34			
<b>TOTAL</b>	23,15	8				
<b>CV</b>	15,96					

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

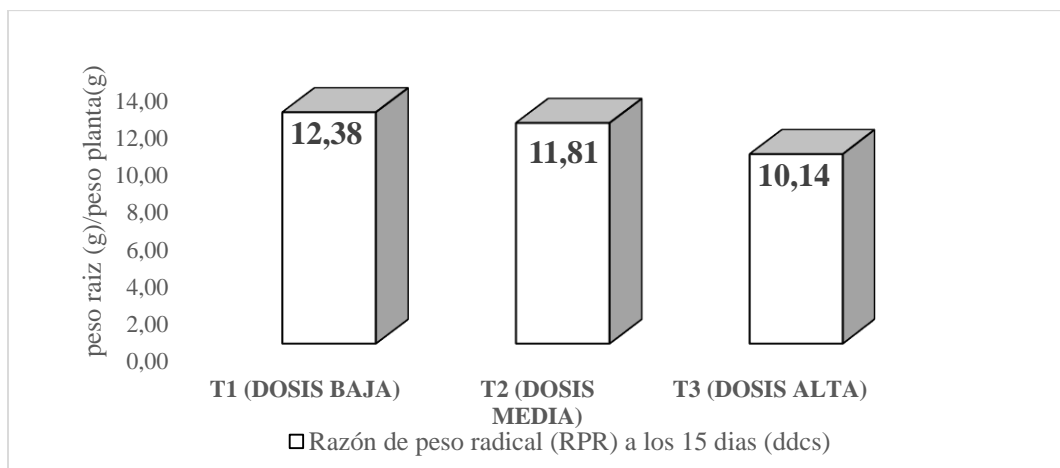
p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para razón de peso radical (RPR) a los 15 ddc (Tabla 15-3, Gráfico 7-3), presentó un solo rango “A”, en el cual se encuentran la dosis baja 75% (T1) con una media de 12,38%, la dosis media 100% (T2) con una media de 11,81% y la dosis alta 125% (T3) con una media de 10,14 %

**Tabla 15-3.** Prueba de Tukey al 5% para razón del peso radical a los 15 ddc

<b>Tratamiento</b>	<b>%</b>	<b>Código</b>	<b>Medias %</b>	<b>Grupo</b>
<b>Dosis baja</b>	75	T1	12.38	A
<b>Dosis media</b>	100	T2	11.81	A
<b>Dosis alta</b>	125	T3	10.14	A

Realizado por: Valle, A., 2021.



**Gráfico 7-3.** Razón del peso radical a los 15 ddc

Realizado por: Valle, A., 2021.

### 3.4.2. Razón del peso radical a los 30 ddc

El análisis de varianza para la razón del peso radical (RPR) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 30 ddc (Tabla 16-3), presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos con un coeficiente de variación de 6,98%

**Tabla 16-3.** Análisis de Varianza para razón del peso radical a los 30 ddc.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	significancia
REPETICION	2,48	2	1,24	0,31	0,7486	ns
TRATAMIENTO	194,25	2	97,12	24,38	0,0057	**
ERROR	15,93	4	3,98			
TOTAL	212,66	8				
CV	6,98					

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

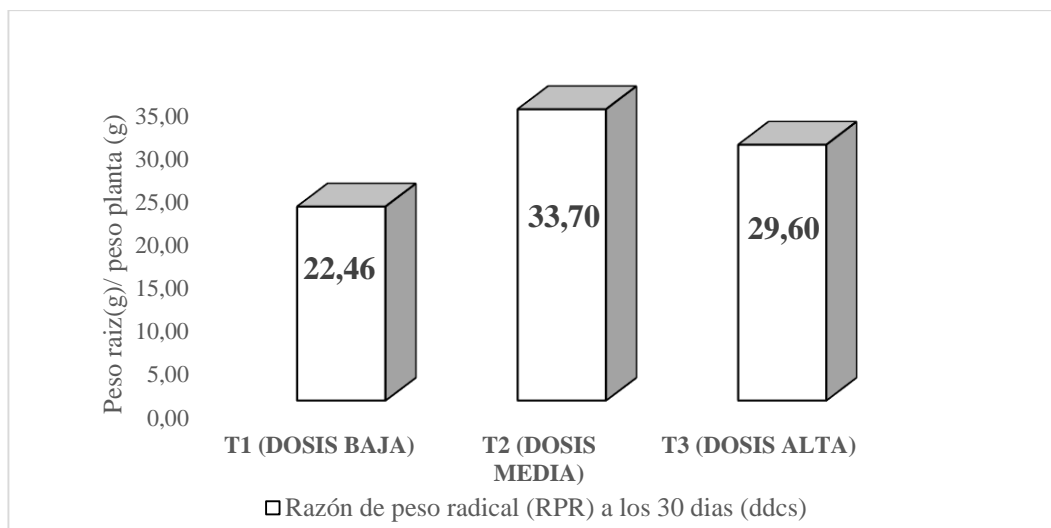
En la prueba de Tukey al 5% para razón de peso radical (RPR) a los 30 ddc (Tabla 17-3, Gráfico 8-3), presentó 2 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis media 100% (T2) y la dosis alta 125% (T3) con una media de 33,70% y 29,60% respectivamente, mientras que en el rango “B” está la dosis baja 75% (T1) con una media de 22,46%.

**Tabla 17-3.** Prueba de Tukey al 5% para razón del peso radical a los 30 ddc

Tratamiento	%	Código	Medias %	Grupo
Dosis media	100	T2	33,70	A
Dosis alta	125	T3	29,60	A
Dosis baja	75	T1	22,46	B

Realizado por: Valle, A., 2021.





**Gráfico 8-3.** Razón del peso radical a los 30 ddc  
Realizado por: Valle, A., 2021.

### 3.4.3. Razón del peso radical a los 45 ddc

El análisis de varianza para la razón del peso radical (RPR) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 45 ddc (Tabla 18-3), presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 9,37%.

**Tabla 18-3.** Análisis de Varianza para la razón del peso radical a los 45 ddc

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	significancia
REPETICION	7,04	2	3,52	0,79	0,5142	ns
TRATAMIENTO	180,32	2	90,16	20,20	0,0081	**
ERROR	17,85	4	4,46			
TOTAL	205,22	8				
CV	6,49					

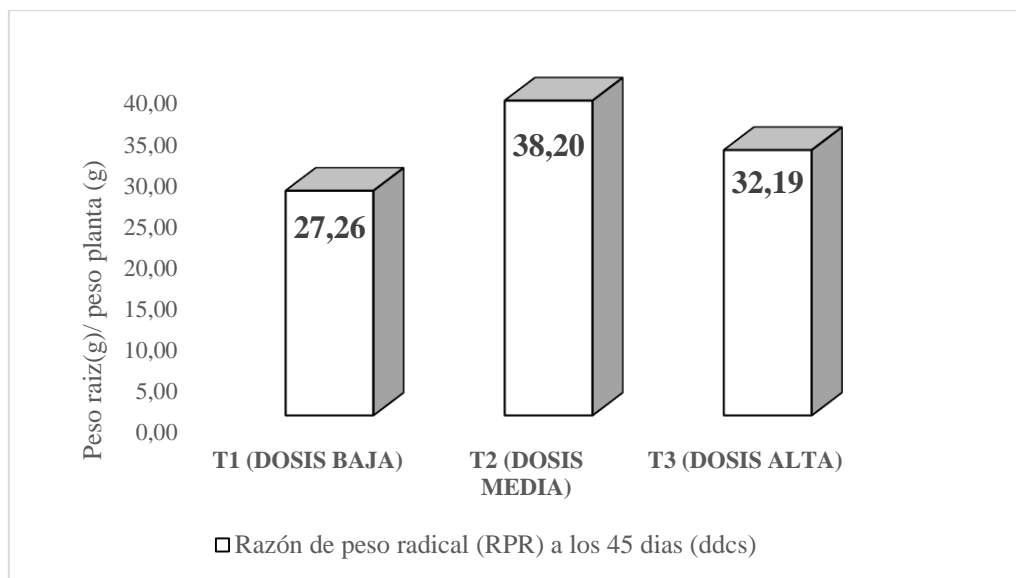
Realizado por: Valle, A., 2021.  
p-valor > 0,05 y > 0,01 ns  
p-valor < 0,05 y > 0,01 \*  
p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para razón de peso radical (RPR) a los 45 ddc (Tabla 19-3, Gráfico 8-3), presentó 3 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis media 100% (T2) con una media de 38,20 %, un rango intermedio “AB” está la dosis alta 125% (T3) con una media de 32,19%, y el rango “B” la dosis baja 75% (T1) con una media de 27,26%.

**Tabla 19-3.** Prueba de Tukey al 5% para razón del peso radical a los 45 ddc

Tratamiento	%	Código	Medias %	Grupo
Dosis media	100	T2	38,20	A
Dosis alta	125	T3	32,19	AB
Dosis baja	75	T1	27,26	B

Realizado por: Valle, A., 2021.



**Gráfico 9-3.** Razón del peso radical a los 45 ddc

Realizado por: Valle, A., 2021.

## Discusión

La razón de peso radical a los 45 ddc (cosecha), indica al mejor tratamiento a la dosis media 100% (T2) de solución nutritiva que comprende: N 205; P 50; K 210; Ca 190; Mg 30; S 39; Fe 3; Mn 0,5; Zn 0,08 y B 2 ppm, con una media de 38,20%, la más baja razón de peso radical fue la dosis baja 75% (T1) de solución nutritiva comprendida por: N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm; con una media de 27,26%, el T2 supero al T1 en un 40,13% y al T3 en un 18,67%, esto supera a Nuñez G (2020),. Quien obtuvo un peso seco de raíz a la cosecha de 16,9 g, esto puede deberse a que el T1 dosis baja es el que recibió menor cantidad de fosforo, nutriente clave para el crecimiento radicular, dentro de los macronutrientes que favorecen y estimulan la rápida formación y crecimiento de las raíces es el Fosforo (P), corroborando que los porcentajes de este utilizados en la solución nutritiva contribuyeron para un mayor crecimiento en su raíz, a comparación de su follaje.

### 3.5. Razón del peso foliar (RPF)

#### 3.5.1. Razón del peso foliar a los 15 ddc

El análisis de varianza para la razón del peso foliar (RPF) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 15 ddc (Tabla 20-3), presentó diferencias significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 9,77%.

**Tabla 20-3.** Análisis de Varianza para la razón del peso foliar a los 15 ddc.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	significancia
REPETICION	7,93	2	3,96	2,17	0,2306	ns
TRATAMIENTO	29,72	2	14,86	8,12	0,0391	*
ERROR	7,32	4	1,83			
TOTAL	44,97	8				
CV	9,77					

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

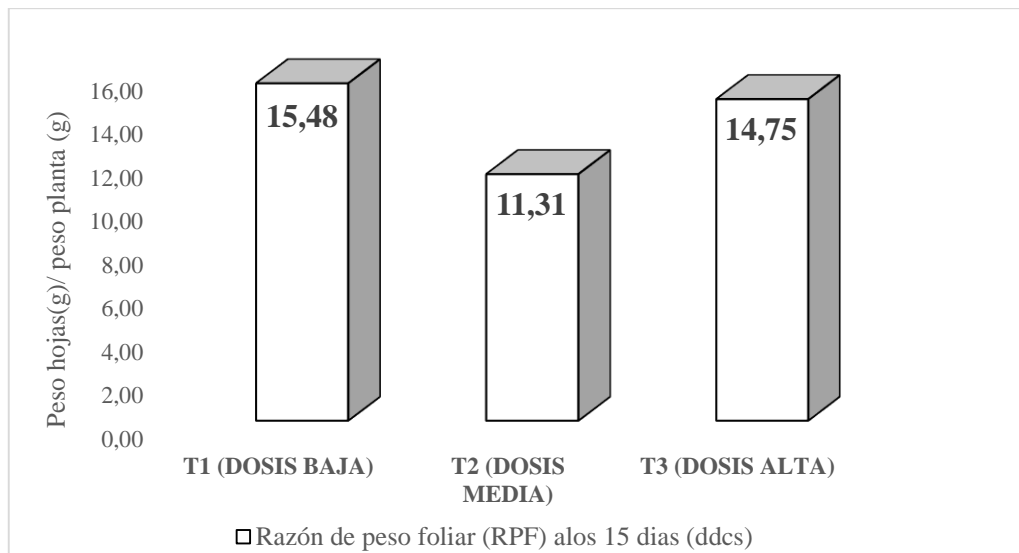
p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para razón de peso radical foliar (RPF) a los 15 ddc (Tabla 21-3, Gráfico 9-3), presentó 3 rangos para los tres tratamientos: En el rango “A”, se encuentra la dosis baja 75% (T1) con una media de 15,48 %; en un rango intermedio “AB” se encuentra la dosis alta 125% (T3) con una media de 14,75%; y en un rango “B” la dosis media 100% (T2) con una media de 11,31g.

**Tabla 21-3.** Prueba de Tukey al 5% para la razón del peso foliar a los 15 ddc

Tratamiento	%	Código	Medias %	Grupo
Dosis baja	75	T1	15,48	A
Dosis alta	125	T3	14,75	AB
Dosis media	100	T2	11,31	B

Realizado por: Valle, A., 2021.



**Gráfico 10-3.** Razón del peso foliar a los 15 ddc

Realizado por: Valle, A., 2021.

### 3.5.2. Razón del peso foliar a los 30 ddc

El análisis de varianza para la razón del peso foliar (RPF) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 30 ddc (Tabla 22-3), presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 5,88%.

**Tabla 22-3.** Análisis de Varianza para la razón del peso foliar a los 30 ddc

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>significancia</b>
<b>REPETICIÓN</b>	69,88	2	34,94	3,93	0,1137	ns
<b>TRATAMIENTO</b>	2692,74	2	1346,37	151,50	0,0002	**
<b>ERROR</b>	35,55	4	8,89			
<b>TOTAL</b>	2798,17	8				
<b>CV</b>	5,88					

**Realizado por:** Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

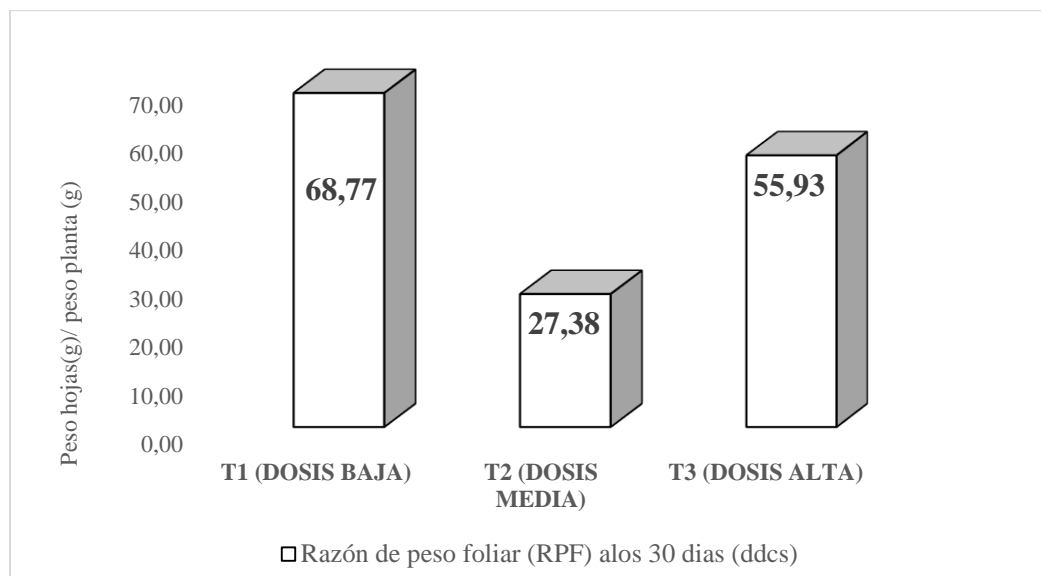
p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para razón de peso foliar (RPF) a los 30 ddc (Tabla 23-3, Gráfico 11-3), presentó 3 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis baja 75% (T1) con una media de 68,77%; en el rango “B” está la dosis alta 125% (T3) con una media de 55,93 %; y el rango “C” la dosis media 100% (T2) con una media de 27,38.

**Tabla 23-3.** Prueba de Tukey al 5% para la razón del peso foliar a los 30 ddc

<b>Tratamiento</b>	<b>%</b>	<b>Código</b>	<b>Medias %</b>	<b>Grupo</b>
<b>Dosis baja</b>	75	T1	68,77	A
<b>Dosis alta</b>	125	T3	55,93	B
<b>Dosis media</b>	100	T2	27,38	C

**Realizado por:** Valle, A., 2021.



**Gráfico 11-3.** Razón del peso foliar a los 30 ddc  
Realizado por: Valle, A., 2021.

### 3.5.3. Razón del peso foliar a los 45 ddc

El análisis de varianza para la razón del peso foliar (RPF) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 45 ddc (Tabla 24-3), presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 4,60%.

**Tabla 24-3.** Análisis de Varianza para razón de peso foliar a los 45 ddc

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	significancia
REPETICIÓN	40,43	2	20,22	4,14	0,1062	ns
TRATAMIENTO	1265,90	2	632,95	129,53	0,0002	**
ERROR	19,55	4	4,89			
TOTAL	1325,87	8				
CV	4,60					

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

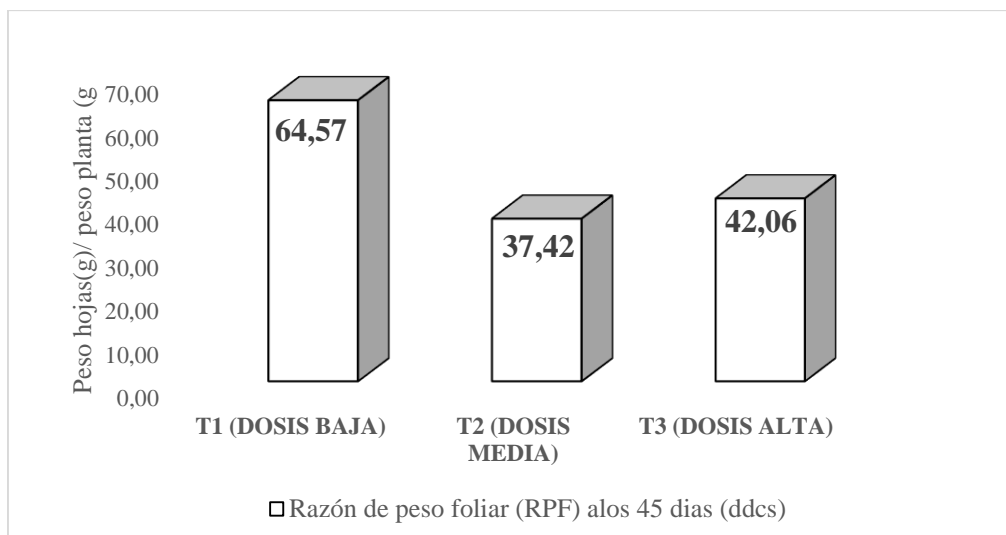
p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para razón de peso foliar (RPF) a los 45 ddc (Tabla 25-3, Gráfico 12-3), presentó 2 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis baja 75% (T1) con una media de 64,57 %; en el rango “B” está la dosis alta 125% (T3) y la dosis media 100% (T2), con una media de 42,07% y 37,42% respectivamente.

**Tabla 25-3.** Prueba de Tukey al 5% razón de peso foliar a los 45 ddc

Tratamiento	%	Código	Medias %	Grupo
Dosis baja	75	T1	64,57	A
Dosis alta	125	T3	42,06	B
Dosis media	100	T2	37,42	B

Realizado por: Valle, A., 2021.



**Gráfico 12-3.** Razón del peso foliar a los 45 ddc

Realizado por: Valle, A., 2021.

### Discusión

La razón del peso foliar obtenida a los 45 ddc,(cosecha) indican al mejor tratamiento a la dosis baja 75% (T1) de solución nutritiva que contiene: N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm; con una media de 64,57%, la más baja la razón de peso foliar alcanzo la dosis media 100% (T2) de solución nutritiva que contiene: N 205; P 50; K 210; Ca 190; Mg 30; S 39; Fe 3; Mn 0,5; Zn 0,08 y B 2 ppm, con una media de 37,42. El T1 supero al T2 en un 72,55% y al T3 en un 53,51%, el mayor índice de crecimiento alcanzado con la dosis baja pudo deberse a la salinidad presente con las alta concentraciones de nutrientes esto concuerda con Carranza C, et al (2009) que menciona que la tasa de crecimiento de las hojas depende de la masiva e irreversible expansión de células jóvenes, la salinidad puede afectar principalmente la elongación foliar, y de ahí el desarrollo del área foliar fotosintética en algunas especies y la capacidad fotosintética en otras, en su trabajo de investigación obtuvieron un peso seco foliar máximo de 42,44g superando así en un 52,14%

### 3.6. Índice de cosecha (K)

#### 3.6.1. Índice de cosecha a los 45 ddc

El análisis de varianza para el índice de cosecha (K) en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa a los 45 ddc (Tabla 25-3), presentó diferencias significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 1,34%.

**Tabla 26-3.** Análisis de Varianza para el índice de cosecha a los 45 ddc

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>significancia</b>
<b>REPETICIÓN</b>	10,09	2	5,05	3,85	0,1167	ns
<b>TRATAMIENTO</b>	26,02	2	13,01	9,94	0,0281	*
<b>ERROR</b>	5,24	4	1,31			
<b>TOTAL</b>	41,35	8				
<b>CV</b>	1,34					

**Realizado por:** Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

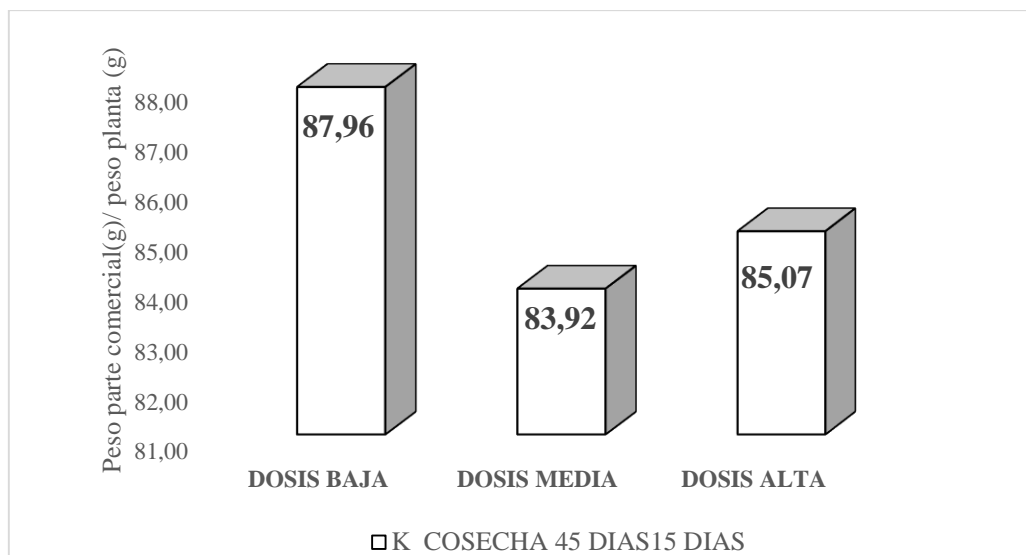
p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para el índice de cosecha (K) a los 45 ddc (Tabla 27-3, Gráfico 13-3), presentó 3 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis baja 75% (T1) con una media de 87,96% ; en el rango intermedio “AB” está la dosis alta 125% (T3), con una media de 85,07% ; y en el rango “B” se encuentra la dosis media 100% (T2) con una media de 83,92%.

**Tabla 27-3.** Prueba de Tukey al 5% para el índice de cosecha a los 45 ddc

<b>Tratamiento</b>	<b>%</b>	<b>Código</b>	<b>Medias %</b>	<b>Grupo</b>
<b>Dosis baja</b>	75	T1	87,96	A
<b>Dosis alta</b>	125	T3	85,07	AB
<b>Dosis media</b>	100	T2	83,92	B

**Realizado por:** Valle, A., 2021.



**Gráfico 13-3.** Índice de cosecha a los 45 ddc  
**Realizado por:** Valle, A., 2021.

### Discusión

El mejor índice de cosecha obtenido en la investigación indica al mejor tratamiento a la dosis baja 75% (T1) de solución nutritiva comprendida por: N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm; con una media de 87,96% el menor resultado del índice de cosecha alcanza la dosis alta 125% (T3) con la aplicación de solución nutritiva: N: 256,25; P:62,5; K 262,5; Ca 237,5; Mg 37,5; S 48,75; Fe 3,75; Mn 0,62; Zn 0,1 y B 2,5 ppm, con una media de 83,92%. El T1 (dosis baja) supero al T2 (dosis media) en un 4,81% y al T3 (dosis alta) en un 3,39%, alcanzando un rendimiento de 14215,50 kg/ha, seguido del tratamiento T2 (dosis media) con un rendimiento de 8387,34 kg/ha y se consideró al de menor rendimiento al T3 (dosis alta) alcanzando 5458,64 kg/ha. La lechuga es uno de los cultivos que se adapta muy fácilmente a la hidroponía, concordando con Sapúlveda, G. (2021) que indica que el índice de cosecha es la relación proporcional entre masa fresca del órgano de interés comercial y la del resto de planta, para hortalizas, se presentan mayores índices de cosecha, en relación con frutos o granos, en esta investigación obtuvieron un índice de cosecha máximo de 83% superando así en un 5,97%.

### 3.7. Rendimiento por hectárea kg/ha

El análisis de varianza para el rendimiento por hectárea en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa (Tabla 29-3), presentó diferencias altamente significativas entre los tres tratamientos, con un coeficiente de variación 10,71.



**Tabla 28-3.** Análisis de Varianza para rendimiento por hectárea kg/ha.

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor	Significancia
REPETICIÓN	1282017,13	2	641008,57	0,64	0,5744	ns
TRATAMIENTO	119227446,59	2	59613723,30	59,42	0,0011	**
ERROR	4012886,24	4	1003221,56			
TOTAL	124522349,97	8				
C.V	10,71					

Realizado por: Valle, A., 2021.

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 \*

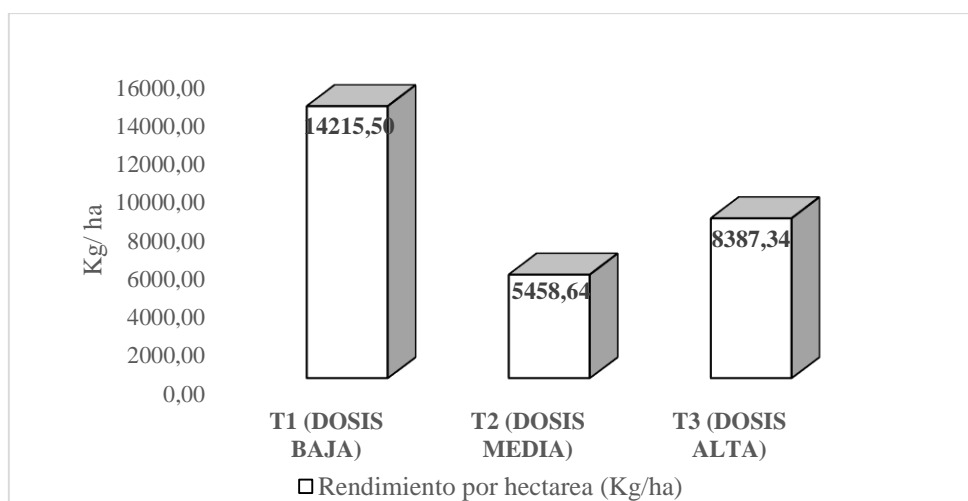
p-valor < 0,05 y < 0,01 \*\*

En la prueba de Tukey al 5% para el rendimiento por hectárea (Tabla 30-3, Gráfico 15-3), presentó 3 rangos: En el rango “A”, se encuentra la dosis baja 75% (T1) con una media de 14215,50 kg/ha ; en el rango “B” está la dosis alta 125% (T3) con una media de 8387,34 kg/ha; en el rango “C” se encuentra la dosis media 100% (T2) con una media de 5458,64 kg/ha.

**Tabla 29-3.** Prueba de Tukey al 5% para rendimiento por hectárea kg/ha.

Tratamiento	%	Código	Medias (Kg/ha)	Grupo
Dosis baja	75	T1	14215,50	A
Dosis alta	125	T3	8387,34	B
Dosis media	100	T2	5458,64	C

Realizado por: Valle, A., 2021.



**Gráfico 14-3.** Rendimiento por hectárea a los 45 ddc

Realizado por: Valle, A., 2021.

## Discusión

Los resultados obtenidos para el rendimiento por hectárea kg/ha, indicaron al mejor tratamiento a las dosis baja 75% (T1) de solución nutritiva comprendida por: N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm; con un rendimiento de 14215,50 kg/ha , seguido de la dosis media 100% (T2) de solución nutritiva comprendida por: N 205; P 50;

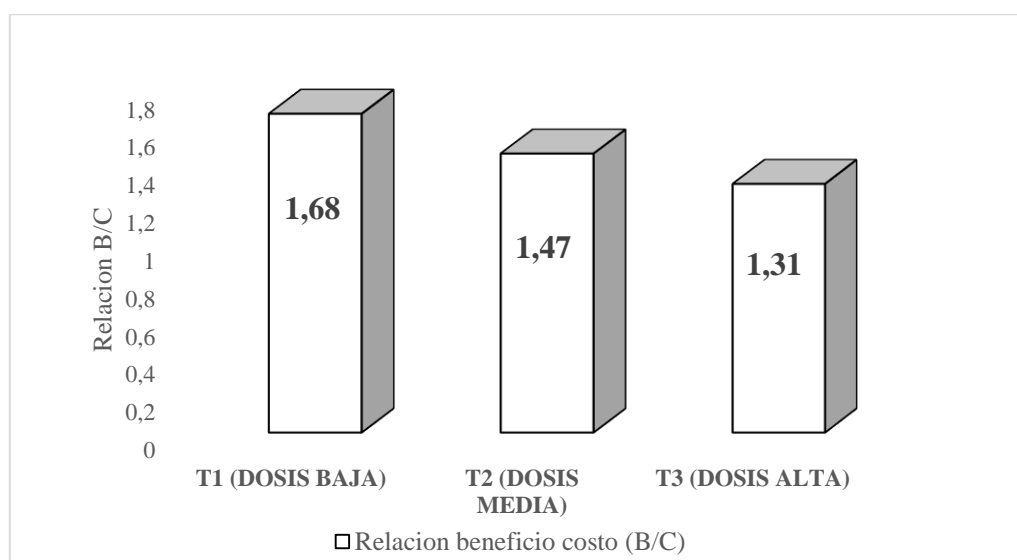
K 210; Ca 190; Mg 30; S 39; Fe 3; Mn 0,5; Zn 0,08 y B 2 ppm; con un rendimiento de 8387,34 kg/ha y se consideró al de menor rendimiento a la dosis alta 125% (T3) de solución nutritiva compuesta por: N: 256,25; P:62,5; K 262,5; Ca 237,5; Mg 37,5; S 48,75; Fe 3,75; Mn 0,62; Zn 0,1 y B 2,5 ppm; alcanzando 5458,64 kg/ha. Al comparar con Perez J. (2021) el cual obtuvo un rendimiento de 12660 kg/ha, observamos que el tratamiento dosis baja 100% (T1) supera en un 12,28% al obtenido en esa investigación.

### 3.8 Análisis económico

**Tabla 30-3.** Análisis económico mediante la relación beneficio/costo

CÓDIGO	TRATAMIENTO	B/C	%RENT
T1	Dosis Baja	1,68	67,64
T2	Dosis Media	1,47	46,90
T3	Dosis Alta	1,31	30,72

Realizado por: Valle, A., 2021.



**Gráfico 15-3.** Relación beneficio/costo.

Realizado por: Valle, A., 2021.

### Discusión

La mayor relación beneficio/costo alcanzó la dosis baja 100% (T1) con 1.68 dólares, es decir se recuperó el dólar invertido y se obtuvo una ganancia de 0.68 dólares, con una rentabilidad de 67.64%; la menor relación beneficio/costo alcanzó la dosis alta 125% (T3) con 1.31 dólares, recuperando el dólar invertido y obteniendo una ganancia de 0.31 dólares con una rentabilidad del 30.72% (Gráfico 14-3).

## CONCLUSIONES

Con la dosificación de: N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm; que corresponde a la dosis baja 75% (T1) se alcanzó el mayor Índice absoluto de crecimiento (IAC) con 2,51 g/d superando a la dosis alta 125% (T3) en un 71,92% y a la dosis media 100% (T2) en un 41,80%.

Con respecto al índice de asimilación neta (IAN) la dosis baja 75% (T1) de dosificación N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm; con 0,19g/cm<sup>2</sup>/d, superó a la dosis media 100% (T2) en un 35,71% y a la dosis alta 125% (T3) en un 5,55%.

En lo referente a la razón de peso radical (RPR) la dosis media 100% (T2) de solución N 205; P 50; K 210; Ca 190; Mg 30; S 39; Fe 3; Mn 0,5; Zn 0,08 y B 2 ppm; con 38,20%, superó a la dosis baja 75% (T1) en un 40,13% y a la dosis alta 125% (T3) en un 18,67%

Concerniente a la razón de peso foliar (RPF) la dosis baja 75% (T1) de solución N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm; con 64,57%, supero a la dosis media 100% (T2) en un 72,95% y a la dosis alta 125% (T3) en un 53,51%.

Mientras que el mejor índice de cosecha (K) obtuvo la dosis baja 75% (T1) de solución nutritiva: N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm; con 87,96%, superando a la dosis alta 125% (T3) en un 4,81% y a la dosis media 100% (T2) en un 3,39%.

Con la dosificación de la solución nutritiva: N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm; dosis baja 75% (T1) se obtuvo el mayor rendimiento con 14,21 tn/ha,

La mayor relación beneficio/ costo se logró con la dosis baja 75% (T1) compuesta por: N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm con 1.68 y una rentabilidad de 67.64%.

## **RECOMENDACIONES**

Utilizar la dosis N: 153,75; P: 37,5; K 157,5; Ca 142,5; Mg 22,5; S 29,25; Fe 2,25; Mn 0,37; Zn 0,06 y B 1,5 ppm; que corresponde a la dosis baja 75% (T1) para obtener una buena producción y excelentes rendimientos en el sistema hidropónico

Para la realización de este método hidropónico, se recomienda sellar completamente las pozas de agua para impedir el paso de luz y la formación de algas

Implementar este sistema hidropónico con otras especies de importancia económica, para así obtener estudios de rentabilidad y producción.

La calidad del agua es de suma importancia al momento de la preparación de las soluciones nutritivas, así que se recomienda verificar que el pH y la CE del agua que estén en un rango óptimo para que la planta absorban los nutrientes.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUILAR, O.et al.** *Cultivo sin Suelo de Hortalizas.* (España) Aspectos Prácticos y Experiencias. Generalitat Valenciana. p 15-110. 2002.

**AGROPRODUCTORES,** *Compatibilidad de fertilizantes.* [En línea] [Citado el: 3 agosto de 2021.] <https://agroproductores.com/compatibilidad-de-fertilizantes/>

**ALZATE, J., LOAIZA, L.** *Monografía del cultivo de la lechuga.* Monografía del cultivo de la lechuga. Colinagro, p.37

**ARCOS, FRANKLIN.** “*Fertilizantes Y nutrición Vegetal*” *Espoch 2013.* “Fertilizantes Y nutrición Vegetal” *Espoch 2013.*(Ecuador) : Primera edición. p 15-54.

**BAISSETTO, SERGIO.** *Cultivo hidroponico. info.* [blog]. 2004. [Consulta: 5 agosto 2021.]. Disponible en: <https://cultivohidroponico.info/sistemas/de-raiz-flotante/>.

**BLANCO C, MUÑOZ M, TOBAR G.** s.f. *Tipos de lechugas para la zona central de Chile* [En línea] s.f [Consulta: 26 Agosto 2021.] Disponible en:<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/6808/NR41702.pdf?sequence=6&isAllowed=y#:~:text=Lactuca%20sativa%20L.,var.&text=Corresponde%20a%20las%20lechugas%20de,grumo%20central%20compacto%2C%20llamado%20cabeza.>

**BELTRANO, JOSÉ; et al** *Cultivo en hidroponía.* [En línea]. Universidad nacional de la plata, 2015 (Argentina): Editorial de la universidad de la plata, 2015, primera edición, p. 1-78. [Consulta: 3 Agosto 2021]. ISBN 978-950-34-1258-9. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1)

**CAJO, Alba.** *Produccion hidroponica de tres variedades de lechuga.* [En línea] 2016. [Consulta: 15 Agosto 2021.] Disponible en:<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23421/1/Tesis136%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20413.pdf>.

**CARDADOR, MARÍA JOSÉ.** *Hidroponía al cubo.* [Blog]. 2019. [Consulta: 3 agosto 2021.]. Disponible en: <https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/tecnicas/>.

**CASTAGNINO, A.M.** *Manual de cultivos hortícolas innovadores*. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. 356pp. ISBN: 978-950-504-606-5 2008.

**CASTAÑARES JOSÉ.** “*Abc de la hidroponía*” [en línea].INTA, s.f (Argentina): Agencia de Extensión Luján. [Consulta: 3 agosto 2021]. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_amba\\_-\\_abc\\_de\\_la\\_hidroponia.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_amba_-_abc_de_la_hidroponia.pdf)

**CARRAZCO G. et al.** *Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en nft* [en línea].2007 (Chile) Departamento de Horticultura, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca. 25 (2); p. 59-62. [Consulta: 15 agosto 2021]. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292007000200007](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292007000200007)

**CARRANZA CARLOS, et al** *Análisis del crecimiento de lechuga (Lactuca sativa L.) ‘Batavia’ cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá* [en línea].2009 (Colombia) Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 27 (1); p. 41-48. [Consulta: 28 agosto 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v27n1/v27n1a06.pdf>

**CHICAIZA, JENNY.** *Estudio comparativo de producción y comercialización de dos sistemas de producción: convencional y agroecológico del cultivo de lechuga en el cantón Cuenca*. [En línea] 2017. [Consulta: 21 agosto 2021.] Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26364/1/tesis%2004-01-2017.pdf>

**FAO, Huerta hidropónica Popular** [en línea]. Organización de las naciones unidas ,2003 (Chile) oficina regional de la fao para América latina y el caribe, tercera edición, p 1-10 [Consulta: 3 Agosto 2021]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ah501s/ah501s.pdf>

**GENERACION VERDE** *Que es la hidroponía?* [blog]. 2004. [Consulta: 9 agosto 2021.]. Disponible en: <https://generacionverde.com/category/hidroponia/>

**GILSANZ, JUAN.** *Hidroponía*. [En línea] Instituto nacional de investigación agropecuaria. 2007(Uruguay). Primera edición, p 11-110[Consulta: 5 agosto 2021]. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>

**GUANOCHANGA, S., et al,** Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la producción y comercialización de lechugas hidropónicas en la ciudad de Quito [en línea].

(Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. 2010. pp 32-77.  
[Consulta: 3 agosto 2021] Disponible en:  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4580/1/UPS-ST000594.pdf>

**GUTIERREZ, JORGE.** *Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva.* [En línea] diciembre de 2011. [Citado el: 2020 de marzo de 08.]  
<https://www.chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2011120908126441.pdf>.

**HIDROCULTIVA.** *Elegir el sistema de riego hidropónico.* [blog]. s.f. [Consulta: 5 agosto 2021.]. Disponible en: <https://hidrocultiva.com/riego-hidroponico/>

**HYDROENVIRONMENT.** *Qué es el Sistema de Raíz Flotante?* [blog]. s.f. [Consulta: 5 agosto 2021.]. Disponible en: [https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=64](https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=64).

**HYDROENVIROMENT** s.f. *Solución nutritiva: puntos a considerar para tener mejores resultados* [blog]. s.f. [Consulta: 9 agosto 2021.]. Disponible en: <http://hidroponia.mx/solucion-nutritiva-puntos-a-considerar-para-tener-mejores-resultados/>

**HIDROPONIA** *Hidroponía: ¿en qué consiste el sistema de raíz flotante?* [blog] 2015 [Consulta: 5 agosto 2021.]. Disponible en: <http://hidroponia.mx/hidroponia-en-que-consiste-el-sistema-de-raiz-flotante/>

**INCAP.** *Hidroponía: Sistema de cultivo ntf.* [en línea]. Instituto de nutrición de Centroamérica y Panamá ,2006 (Panamá) serie 3, ficha 6. [Consulta: 5 Agosto 2021]. Disponible en <file:///C:/Users/59398/Downloads/Hidroponia.pdf>

**INFOAGRONOMO.** *Incompatibilidad y compatibilidad de los fertilizantes* [blog] s.f [Consulta:15 agosto 2021]. Disponible en: <https://infoagronomo.net/la-compatibilidad-de-los-fertilizantes/>

**INFOAGRO.** *Componentes de un sistema de cultivo sin suelo* [blog].2019. [Consulta: 3 agosto 2021]. Disponible en: <https://mexico.infoagro.com/componentes-de-un-sistema-de-cultivo-sin-suelo/>

**INFOCAMPO** *hidroponía: guía práctica para crear tu propio sistema de raíz flotante en tu hogar.* [blog]. 2017. [Consulta: 3 agosto 2021]. Disponible

en:<https://www.infocampo.com.ar/hidroponia-guia-practica-para-crear-tu-propio-sistema-de-raiz-flotante-en-tu-hogar/>

**INTAGRI.** *Compatibilidad de fertilizantes* [blog]. s.f. [Consulta: 15 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-compatibilidad-de-los-fertilizantes-en-fertirrigacion>

**MARTINEZ A,** “*Biología vegetal*” *cultivo hidropónico* [blog]. 2015 [Consulta: 9 agosto 2021.]. Disponible en <https://biologiavegetaluv.wordpress.com/2015/09/16/cultivo-hidroponico/>

**NÚÑEZ GLORIA,** Producción de lechuga (*Lactuca sativa l.*) bajo distintas concentraciones de solución nutritiva en un sistema de raíz flotante y un sistema con sustrato inerte [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Estatal Península de Santa Elena (Ecuador). 2020. pp 32-84 [Consulta: 28 agosto 2021] Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5664/1/UPSE-TIA-2021-0002.pdf>

**OASISEASYPLANT.** *Manual de hidroponía media.* [blog].2017. [Consulta: 3 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.oasisgrowersolutions.com/pdf/mx/manual-hidroponia.pdf>.

**ORTIZ SEBASTIÁN;** *Producción y calidad de forraje verde hidropónico de tres variedades de alfalfa (Medicago sativa)* [en línea]. Universidad autónoma agraria, 2007, (México) [Consulta: 3 agosto 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6030/T16534%20ORTIZ%20MARTIN,%20SEBASTIAN%20TESIS.pdf?sequence=1>

**OSORIO, J., LOBO, M.** *Hortalizas. Manual de asistencia técnica No. 28.* Hortalizas. Manual de asistencia técnica No. 28. Instituto Colombiano Agropecuario. (2003).

**PIZARRO J.** Que es la aeroponía? [blog].2015. [Consulta: 5 agosto 2021]. Disponible en: <https://agriculturers.com/que-es-la-aeroponia/>

**PORTAL FRUTÍCOLA** *Módulos Hidropónicos Sistema Raíz Flotante (SRF): diseño y construcción* [blog].2019. [Consulta: 5 agosto 2021]. Disponible en <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/10/16/modulos-hidroponicos-sistema-raiz-flotante-srf-diseno-y-construccion/2019>



**PLANTAS DE INTERIORES** ¿*Qué es la hidroponía por goteo?* [blog].s.f. [Consulta: 5 agosto 2021]. Disponible en: <https://plantasdeinteriores.com/que-es-la-hidroponia-por-goteo/>

**PRECIADO, PABLO, et al.** *Manual de preparación de soluciones nutritivas*. [aut. libro] Pablo Preciado. *Manual de preparación de soluciones nutritivas*. Torreon, Coahuila : Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,, 2006.

**ROYAL QUENN SEDES** *El flujo y reflujo: un sistema hidropónico inteligente* [blog].2021. [Consulta: 5 agosto 2021]. Disponible en:<https://www.royalqueenseeds.es/blog-el-flujo-y-reflujo-un-sistema-hidroponico-inteligente-n1054>

**RESH, M. H. 1997.** “*Cultivos Hidropónicos: Nuevas Técnicas de Producción.*” *Mundiprensa* [en línea], 2001, (España) Cuarta Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España pp. 29-30 [Consulta: 3 Agosto 2021]. Disponible en: <https://www.mundiprensa.mx/catalogo/9788484760054/cultivos-hidroponicos>

**RODRÍGUEZ, A., CHANG, M., HOYOS, M., & FALCÓN, F.** *Universidad Nacional Agraria la Molina: Mekanobooks E.I.R.L. Manual Práctico de Hidroponía (4ª ed.)*. Universidad Nacional Agraria la Molina: Mekanobooks E.I.R.L.

**SAAVEDRA, GABRIEL, et. al.** *Manual de producción de lechuga*. [aut. libro] Gabriel Saavedra. *Manual de producción de lec*. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 2017.

**SALINAS, CRISTIAN.** *Introducción de cinco variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) en el barrio santa fe de la parroquia Atahualpa en el cantón Ambato*”. [en línea]. Universidad técnica de Ambato 2013, (Ecuador) [Consulta: 25 Agosto 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6491/1/Tesis63%20%20Ingenier%20c3%a1a%20Agron%20b3mica%20-CD%2020204.pdf>

**SANTOS, BELARMINO et al.** “*Cálculo de Soluciones en suelo y sin suelo*”. *Servicio técnico de agricultura y desarrollo rural área de agricultura, ganadería y pesca* [en línea], 2016. Primera Edición. Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife. P 20-54[Consulta: 3 Agosto 2021].ISBN: 978-84-15012-87-0. Disponible en: [https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro\\_622\\_soluciones\\_nutritivas.pdf](https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf)

**SAPÚLVEDA, GABRIELA.** . *Evaluación de la respuesta de lechuga (Lactuca sativa) cv. crespa verde a diferentes fuentes de fertilización mineral, orgánica y organomineral.* [en línea], Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas, 2021 (Colombia) [Consulta: 12 Octubre 2021]. Disponible en: <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/4284/SepulvedaTrabajof.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**URRESTARAZU, M.** *Manual práctico del cultivo sin suelo.* [en línea]. 2015 (España).ediciones mundiprensa, ISBN 978-84-8476-668-1 p 47-158 [Consulta: 9 agosto 2021.]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=5NE9CwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=hidroponia&hl=es-419&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=hidroponia&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=5NE9CwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=hidroponia&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=hidroponia&f=false)

**VILLACRES, IVÁN.** *Evaluación de tres soluciones nutritivas en la producción de acelga (beta vulgaris l.) var fordhook giant, en hidroponía a raíz flotante en invernadero.* [En línea] 2019. [Citado el: 12 de marzo de 2020.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10733/1/13T0876.pdf>.



## ANEXOS

### ANEXO A: PREPARACIÓN E INSTALACIÓN DEL SISTEMA HIDROPÓNICO



## ANEXO B: FERTILIZANTES



## ANEXO C: PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y COLOCACIÓN DE PLANTAS EN EL SISTEMA



## ANEXO D: COSECHA



## ANEXO E: SELECCIÓN DE PLANTAS A EVALUAR



## ANEXO F: TOMA Y REGISTRO DE DATOS



**ANEXO G: COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL SISTEMA HIDROPÓNICO**

<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNIT.</b>	<b>P. TOTAL</b>
<b>Instalación del sistema hidropónico</b>				
Invernadero	Unidad	1	8000	8000
Enlucida de las paredes de la cama	Unidad	2	160	320
Cemento	Sacos	28	7,5	210
Bloques	Unidad	1000	0,35	350
Macadán	Volqueta	2	70	140
Toma doble	Unidad	3	1,96	5,88
Switch	Unidad	1	1,61	1,61
Teflón	Unidad	3	0,7	2,1
Cajetín rectangular	Unidad	3	0,36	1,08
Silicón	Unidad	10	1	10
Cinta eléctrica	Unidad	5	0,45	2,25
Cable solido	Metros	200	0,54	108
Pitón de bronce	Unidad	40	2,23	89,2
Te IPS	Unidad	40	8,82	352,8
Bushing plas	Unidad	40	1	40
Tapón macho	Unidad	40	1	40
Neplos	Unidad	120	1,1	132
Adaptador	Unidad	120	0,5	60
Abrazadera	Unidad	6	0,25	1,5
Acople bronce	Unidad	2	1,35	2,7
Taco Fisher	Unidad	15	0,05	0,75
Tirafondo	Unidad	15	0,1	1,5
Broca	Unidad	5	2	10
Vasos plasticos	Paquetes	200	0,7	140
Espuma Flex	Planchas	2080	6,5	1690
Rodillo	Unidad	20	2,3	46
Brocha	Unidad	10	6	60
Imperplast	Galón	5	25	125
Cola	Unidad	20	0,6	12
<b>SUBTOTAL</b>				<b>11954,37</b>
<b>Bombas</b>				
Bomba 0,5 HP Paolo	Unidad	3	90	270
Cable	Metros	20	0,5	10
Manguera 1/2"	Metros	1	11	11
Timer		1	250	250
<b>SUBTOTAL</b>				<b>541</b>

## ANEXO G: COSTOS DE FERTILIZANTES

Fertilizantes Para la Solucion Nutritiva				
Nitrato de potasio	Kg	20,91	2,35	49,15
Nitrato de calcio	Sacos	25,50	0,67	17,08
Sulfato de amonio	Sacos	3,18	0,74	2,35
Ácido fosfórico	Galon	14,68	0,32	4,70
Sulfato de potasio	Kg	4,48	0,72	3,23
Sulfato de magnesio	Sacos	21,32	0,62	13,22
Kelatex hierro	Kg	1,11	13,02	14,49
Kelatex manganeso	Kg	0,19	12,24	2,27
Kelatex zinc	Kg	0,03	14,2	0,42
Cosmoquel boro	Kg	0,08	11,18	0,91
<b>SUBTOTAL</b>				<b>107,82</b>
Transplante				
Plantulas de lechuga	Numero	60000	0,01	600
<b>SUBTOTAL</b>				<b>600</b>
Labores culturales				
Cosecha	Jornal	20	15	300
Transporte	Sacos	6136	0,2	1227,2
<b>SUBTOTAL</b>				<b>1527,2</b>
<b>Subtotal</b>				<b>14730,39</b>
<b>Imprevistos 10%</b>				<b>1473,0389</b>
<b>Total</b>				<b>16203,428</b>