

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



**TESIS DE GRADO**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE TRES NIVELES DE CITOQUININA EN EL  
DESARROLLO Y RENDIMIENTO PRODUCTIVO DEL CULTIVO HIDROPÓNICO DE  
BERRO (*Nasturtium officinale*) EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA**

**KEVIN ALEXANDER SANCHEZ MORALES**

**La Paz - Bolivia**

**2022**

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

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE TRES NIVELES DE CITOQUININA EN EL  
DESARROLLO Y RENDIMIENTO PRODUCTIVO DEL CULTIVO HIDROPÓNICO DE  
BERRO (*Nasturtium officinale*) EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA**

*Tesis de Grado presentada como requisito*

*Parcial para optar al Título de*

*Ingeniero Agrónomo*

**SANCHEZ MORALES KEVIN ALEXANDER**

**Asesores:**

Ing. M. Sc. Wily Marco Flores Mancilla

Ing. Willams Alex Murillo Oporto

**Comité Revisor:**

Lic. Cynthia Lara Pizarroso

Ing. Luis Humberto Ortuño Rojas

Ing. M. Sc. Celia María Fernández Chávez

**APROBADO**

Presidente Tribunal Examinador

**LA PAZ - BOLIVIA**



**DEDICATORIA:**

*Esta tesis está dedicada a:*

*A mi madre Victoria, por ser el pilar más importante en mi vida y  
por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.*

*A mi padre Omar por haber depositado toda su confianza en mí  
a lo largo de mis estudios.*

*A mi hermano Benjamín, por siempre estar presente,  
acompañándome y por el apoyo moral.*

*Y a toda mi familia y amigos.*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Mayor de San Andrés, por abrirme las puertas y a los docentes de la Carrera de Ingeniería Agronomía por compartirme su conocimiento.

Al Centro Experimental Cota Cota de la Facultad de Agronomía – UMSA, por el apoyo brindado tanto en infraestructura, materiales e instrumentos para que se haga realidad esta investigación exitosa.

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

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

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

A mi madre Victoria que siempre me impulso al éxito, brindándome y transmitiéndome los principios y valores más importantes en mi vida.

A mi padre Omar que me alentó en todo momento para ser una persona de bien.

A toda mi familia por haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que pudieron presentarse.

## CONTENIDO DE LA INVESTIGACIÓN

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE CUADROS.....	IV
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	X

### ÍNDICE GENERAL

<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Justificación .....	3
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos .....	4
<b>3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
3.1 Generalidades.....	5
3.2 Importancia del consumo de hortalizas .....	5
3.3 Generalidades del cultivo .....	5
3.4 Origen .....	6
3.4.1 Clasificación taxonómica .....	7
3.4.2 Descripción botánica del cultivo del berro.....	7
3.4.3 Enfermedades y plagas .....	10
3.4.4 Propiedades nutricionales.....	11
3.4.5 Características especiales .....	14

3.4.6	Variedades .....	16
3.4.7	Ecología del cultivo del berro.....	17
3.4.8	Manejo del cultivo del berro .....	19
3.5	Ambiente atemperado.....	24
3.5.1	Características del invernadero .....	24
3.5.2	Tipos de carpas solares.....	25
3.6	Fitohormonas.....	25
3.6.1	Sistema de acoplamiento estímulo respuesta.....	26
3.6.2	Percepción de la señal hormonal.....	27
3.6.3	Citoquinina .....	27
3.7	Hidroponía .....	30
3.7.1	Ventajas y desventajas.....	31
3.7.2	Componentes de los sistemas hidropónicos.....	32
3.7.3	Riego y drenaje .....	42
3.7.4	Condiciones climáticas .....	42
3.7.5	Sistema de producción hidropónica .....	43
3.7.6	Sistema de riego en hidroponía .....	45
<b>4</b>	<b>LOCALIZACIÓN .....</b>	<b>47</b>
4.1	Ubicación geográfica.....	47
4.1.1	Suelo .....	48
4.1.2	Vegetación y pecuaria .....	48
4.2	Características del invernadero.....	49
<b>5</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>50</b>
5.1	Materiales .....	50
5.1.1	Material vegetal .....	50
5.1.2	Material químico foliar.....	51
5.1.3	Material de campo .....	52
5.1.4	Materiales para el acondicionamiento del sistema hidropónico.....	52
5.1.5	Material químico líquido.....	52

5.1.6	Materiales de control .....	53
5.1.7	Material de escritorio .....	53
5.2	Metodología .....	53
5.2.1	Procedimiento experimental .....	55
5.2.2	Diseño experimental .....	61
<b>6</b>	<b>  RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>69</b>
6.1	Comportamiento de la temperatura en el invernadero.....	69
6.2	Variables de respuesta para el desarrollo .....	70
6.2.1	Longitud de la raíz (cm) .....	70
6.2.2	Altura de planta (cm) .....	77
6.2.3	Número de hojas (n <sup>o</sup> ).....	83
6.2.4	Índice de área foliar (cm <sup>2</sup> ) .....	90
6.3	Variables de respuesta del rendimiento .....	97
6.3.1	Peso fresco (g) .....	97
6.3.2	Rendimiento (Kg/m <sup>2</sup> ).....	103
6.4	Análisis económico .....	109
6.4.1	Rendimiento ajustado .....	109
6.4.2	Beneficio bruto.....	110
6.4.3	Costos variables .....	112
6.4.4	Costos fijos .....	112
6.4.5	Costos totales.....	113
6.4.6	Beneficio neto.....	113
6.4.7	Relación Beneficio / Costo.....	114
<b>7</b>	<b>  CONCLUSIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>8</b>	<b>  RECOMENDACIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>9</b>	<b>  BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>117</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro 1:</b> Clasificación taxonómica.	7
<b>Cuadro 2:</b> Comparación de cantidad de minerales del cultivo de berro con otros cultivos.	13
<b>Cuadro 3:</b> Análisis bromatológico del cultivo de berro.	13
<b>Cuadro 4:</b> Formula del jarabe de rábano compuesto por berro.	15
<b>Cuadro 5:</b> Valores recomendados de CE y pH de soluciones nutritivas.	39
<b>Cuadro 6:</b> Conductividad eléctrica por cultivo.	41
<b>Cuadro 7:</b> Cantidades de ácidos y bases para ajustar el pH.	42
<b>Cuadro 8:</b> Cantidad de material biológico	51
<b>Cuadro 9:</b> Formulación nutricional	59
<b>Cuadro 10.</b> Análisis de varianza para la longitud de la raíz en el sistema (NFT)	71
<b>Cuadro 11:</b> Test Duncan al 5% para el Factor "A" Variedades	73
<b>Cuadro 12:</b> Test Duncan al 5% para el Factor "B" Dosis	74
<b>Cuadro 13.</b> Análisis de varianza para la altura de la planta en el sistema (NFT)	77
<b>Cuadro 14:</b> Test Duncan al 5% para el Factor "A" Variedades	79
<b>Cuadro 15:</b> Test Duncan al 5% para el Factor "B" Dosis	80
<b>Cuadro 16:</b> Análisis de varianza para el LN número de hojas en el sistema (NFT)	84
<b>Cuadro 17:</b> Test Duncan al 5% para el Factor "A" Variedades	86
<b>Cuadro 18:</b> Test Duncan al 5% para el Factor "B" Dosis	87
<b>Cuadro 19:</b> Análisis de varianza para el índice de área foliar	91
<b>Cuadro 20:</b> Test Duncan al 5% para el Factor "A" Variedades	93

<b>Cuadro 21:</b> Test Duncan al 5% para el Factor “B” Dosis	<b>94</b>
<b>Cuadro 22.</b> Análisis de varianza para el peso fresco sin raíz (g)	<b>97</b>
<b>Cuadro 23:</b> Test Duncan al 5% para el Factor “A” Variedades	<b>99</b>
<b>Cuadro 24:</b> Test Duncan al 5% para el Factor “B” Dosis	<b>100</b>
<b>Cuadro 25.</b> Análisis de varianza para el rendimiento (Kg/m <sup>2</sup> )	<b>103</b>
<b>Cuadro 26:</b> Test Duncan al 5% para el Factor “A” Variedades	<b>105</b>
<b>Cuadro 27:</b> Test Duncan al 5% para el Factor “B” Dosis	<b>106</b>
<b>Cuadro 28:</b> Rendimiento ajustado	<b>109</b>
<b>Cuadro 29:</b> Beneficio bruto expresado en kilogramos	<b>110</b>
<b>Cuadro 30:</b> Costos variables para un m <sup>2</sup>	<b>112</b>
<b>Cuadro 31:</b> Costos fijos para un m <sup>2</sup>	<b>112</b>
<b>Cuadro 32:</b> Costos totales para un m <sup>2</sup>	<b>113</b>
<b>Cuadro 33:</b> Beneficio neto para un m <sup>2</sup>	<b>113</b>
<b>Cuadro 34:</b> Relación Beneficio / Costo	<b>114</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
<b>Gráfico 1.</b> Temperaturas máximas y mínimas	69
<b>Gráfico 2.</b> Interacción entre los factores para la longitud de raíz	76
<b>Gráfico 3.</b> Interacción entre los factores para la altura de la planta	82
<b>Gráfico 4.</b> Interacción de factores para el número de hojas	89
<b>Gráfico 5.</b> Interacción de factores para el IAF (cm <sup>2</sup> )	96
<b>Gráfico 6.</b> Interacción de factores para el peso	102
<b>Gráfico 7.</b> Interacción de factores para el rendimiento (Kg/m <sup>2</sup> )	108
<b>Gráfico 8.</b> Beneficio bruto en bolivianos por (Kg/m <sup>2</sup> )	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Componentes del sistema hidropónico	33
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica del trabajo de investigación	47
<b>Figura 3.</b> Metodología de la investigación	54
<b>Figura 4.</b> Dimensiones del sistema hidropónico NFT	64
<b>Figura 5.</b> Croquis Experimental	65

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Morfología berro de agua ( <i>Nasturtium officinale</i> var. <i>Water cress</i> )	<b>1</b>
<b>Anexo 2.</b> Morfología berro hortense ( <i>Nasturtium officinale</i> var. <i>Barbarea verna</i> )	<b>2</b>
<b>Anexo 3.</b> Fitohormona a base de citoquinina	<b>3</b>
<b>Anexo 4.</b> Acondicionamiento de pirámide y componentes del sistema NFT	<b>4</b>
<b>Anexo 5.</b> Procedimientos para el almacigo	<b>5</b>
<b>Anexo 6.</b> Paso a piscina y crecimiento	<b>6</b>
<b>Anexo 7.</b> Trasplante a pirámide, crecimiento y 1er dosificación con citoquinina	<b>7</b>
<b>Anexo 7.</b> Crecimiento y 2da dosificación con citoquinina	<b>8</b>
<b>Anexo 8.</b> Análisis químico del agua	<b>9</b>
<b>Anexo 9.</b> Elementos de la solución nutritiva	<b>10</b>
<b>Anexo 10.</b> Registro de temperaturas máximas y mínimas en el invernadero	<b>11</b>

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la carpa de producción intensiva en los predios del Centro experimental de Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía, ubicada en la provincia Murillo de la ciudad de La Paz. Geográficamente el campus este situado a 16°32'44" de Latitud Sur y 68°05'44" de Longitud Oeste y se encuentra a una altitud de 3445 m.s.n.m. El objetivo del presente trabajo fue la evaluación de la aplicación de un fertilizante foliar a base de citoquininas en dos variedades de Berro (*Nasturtium officinale*): Berro de Agua (*Water cress*) y Berro Hortense (*Barbarea verna*), con tres niveles de dosificación (Mínima, Intermedia y Máxima), con el fin de avaluar su efecto sobre el cultivo y determinar las dosificaciones apropiadas para cada variedad, además de denotar que dosificación mostraba mayor desarrollo fisiológico y mayor rendimiento.

Para este efecto se utilizó el "Diseño de Bloques al Azar con arreglo bifactorial" con ocho tratamientos y cuatro repeticiones, la superficie utilizada dentro del invernadero fue de 9 m<sup>2</sup>, largo del sistema NFT 6,96 m, anchó del sistema NFT 2,20 m y una altura del sistema NFT 1,64 m, en el que se determinó el efecto que tendrían las dosificaciones en el desarrollo fisiológico y rendimiento de ambas variedades. El ciclo del cultivo en el sistema hidropónico fue de 57 días hasta la cosecha de ambas variedades.

Las dosificaciones fueron; B1 - Sin aplicación), B2-Mínima - (0,25 ml citoquinina x m<sup>2</sup>), B3 - Intermedia-(0,37 ml citoquinina x m<sup>2</sup>), B4 - Máxima - (0,5 ml citoquinina x m<sup>2</sup>).

Respecto a la longitud de la raíz se demuestra una respuesta positiva en el desarrollo fisiológico para ambas variedades siendo para el berro hortense (*Barbarea verna*) las longitudes promedio de raíz; B1 - 21,1 cm, B2 - 23,1 cm, B3 - 23,6 cm y B4 - 24,5 cm. Para la variedad berro de agua (*Water cress*) las longitudes promedio de la raíz son; B1 - 22 cm, B2 - 25,1 cm, B3 - 27,5 cm y B4 - 28 cm.

Para la altura de planta, se demuestra positivo en el desarrollo fisiológico para ambas variedades siendo para el berro hortense (*Barbarea verna*) las alturas promedio de planta; B1 - 23 cm, B2 - 23,3 cm, B3 - 26,9 cm y B4 - 27,4 cm. Para la variedad berro

de agua (*Water cress*) las longitudes promedio de raíz; B1 - 42,5 cm, B2 - 50 cm, B3 - 51,2 cm y B4 - 63,9 cm. Para esta variable de estudio la variedad (*Water cress*) demostró mayor efecto por el fertilizante foliar.

En el caso del número de hojas, para el berro hortense (*Barbarea verna*) el número de hojas promedio fue; B1 - 53, B2 - 55, B3 - 70 y B4 - 75. Para la variedad berro de agua (*Water cress*) el número de hojas promedio fue; B1 - 105, B2 - 248, B3 - 255 y B4 - 258. Para esta variable de estudio la variedad (*Water cress*) demostró un efecto desmesurado por el fertilizante foliar.

Para esta última variable para evaluar el desarrollo fisiológico se tomó en cuenta el Índice de Área Foliar (IAF) dando resultados para el berro hortense (*Barbarea verna*) el IAF promedio fue; B1 - 105,4 cm<sup>2</sup>, B2 - 106,7 cm<sup>2</sup>, B3 - 379,9 cm<sup>2</sup> y B4 - 402,4 cm<sup>2</sup>. Para la variedad berro de agua (*Water cress*) el IAF promedio fue; B1 - 78,4 cm<sup>2</sup>, B2 - 174,4 cm<sup>2</sup>, B3 - 222,3 cm<sup>2</sup> y B4 - 334,9 cm<sup>2</sup>. Para esta variable de estudio la variedad (*Barbarea verna*) demostró un efecto desmesurado debido a la interacción de la morfología por las dosificaciones, lo demostró que esta variedad tiene hojas muy grandes a comparación de la variedad (*Water cress*).

Respecto a las variables para determinar el rendimiento de cada variedad se tiene el Peso fresco sin raíz para ambas variedades siendo para el berro hortense (*Barbarea verna*) los pesos promedio de planta; B1 - 53,79 g, B2 - 78,41 g, B3 - 113,19 g y B4 - 115,19 g. Para la variedad berro de agua (*Water cress*) los pesos promedio de planta; B1 - 78,14 g, B2 - 150,41 g, B3 - 153,21 g y B4 - 164,58 g. Este resultado nos demuestra que la variedad (*Water cress*) responde abruptamente a las dosificaciones haciéndolo la variedad más eficiente.

La relación beneficio / costo entre los tratamientos T1, T3, T4, T5, T6, T7 y T8 muestran valores positivos, mientras que el T2 muestra un valor negativo lo que nos infiere que no es rentable, cabe recalcar que los tratamientos T5 y T7 son los mejores y los más rentables.

## SUMMARY

The present research work was carried out in the intensive production tent on the premises of the Cota Cota University Campus dependent on the Faculty of Agronomy, located in the Murillo province of the city of La Paz. Geographically the campus is located at 16°32'44" South Latitude and 68°05'44" West Longitude and is located at an altitude of 3445 m.a.s.l. The objective of the present work was the evaluation of the application of a foliar fertilizer based on cytokinins in two varieties of Watercress (*Nasturtium officinale*): Watercress (Water cress) and Watercress Hortense (*Barbarea verna*), with three dosage levels (Minimum, Intermediate and Maximum), in order to assess its effect on the crop and determine the appropriate dosages for each variety, in addition to denoting, which dosage showed greater physiological development and higher yield.

For this effect, the "Random Block Design with bifactorial arrangement" was used with eight treatments and four repetitions, the surface used inside the tent 9 m<sup>2</sup>, length of the NFT system 6,96 m, width of the NFT system 2,20 m and a height of the NFT system 1,64 m, in which the effect that the dosages would have on the physiological development and yield of both varieties was determined. The cultivation cycle in the hydroponic system was 57 days until the harvest of both varieties.

The dosages were; B1 - Without application), B2 – Minimum - (0,25 ml cytokinin x m<sup>2</sup>), B3 – Intermediate - (0,37 ml cytokinin x m<sup>2</sup>), B4 – Maximum - (0,5 ml cytokinin x m<sup>2</sup>).

Regarding the length of the root, a positive response in the physiological development is demonstrated for both varieties, being for the hortense watercress (*Barbarea verna*) the average root lengths; B1 - 21,1 cm, B2 - 23,1 cm, B3 - 23,6 cm and B4 - 24,5 cm. For the variety watercress of water (*Water cress*) the average root lengths; B1 - 22 cm, B2 - 25,1 cm, B3 - 27,5 cm and B4 - 28 cm.

For the plant height, it is shown positive in the physiological development for both varieties being for the hortense watercress (*Barbarea verna*) the average plant heights; B1 - 23 cm, B2 - 23,3 cm, B3 - 26,9 cm and B4 - 27,4 cm. For the Water watercress

variety (Water cress) the average root lengths; B1 - 42,5 cm, B2 - 50 cm, B3 - 51,2 cm and B4 - 63,9 cm. For the this variable of study the variety (Water cress) demonstrated greater effect by the foliar fertilizer.

In the case of the number of leaves, for the watercress hortense (*Barbarea verna*) the average number of leaves was; B1 - 53, B2 - 55, B3 - 70 and B4 - 75. For the Water cress variety the average number of leaves was; B1 - 105, B2 - 248, B3 - 255 and B4 - 258. For this variable of study the variety (Water cress) demonstrated an excessive effect by the foliar fertilizer.

For this last variable to evaluate the physiological development, the Leaf Area Index (IAF) was taken into account, giving results for the hortense watercress (*Barbarea verna*) the average IAF was; B1 - 105,4 cm<sup>2</sup>, B2 - 106,7 cm<sup>2</sup>, B3 - 379,9 cm<sup>2</sup> and B4 - 402,4 cm<sup>2</sup>. For the Water cress variety, the average IAF was; B1 - 78,4 cm<sup>2</sup>, B2 - 174,4 cm<sup>2</sup>, B3 - 222,3 cm<sup>2</sup> and B4 - 334,9 cm<sup>2</sup>. For this variable of study the variety (*Barbarea verna*) demonstrated an excessive effect due to the interaction of morphology by dosages, which showed that this variety has very large leaves compared to the variety (Water cress).

Regarding the variables to determine the yield of each variety, the fresh weight without root is obtained for both varieties, being for the hortense watercress (*Barbarea verna*) the average plant weights; B1 - 53,79 g, B2 - 78,41 g, B3 - 113,19 g and B4 - 115,19 g. For the Water watercress variety, the average plant weights; B1 - 78,14 g, B2 - 150,41 g, B3 - 153,21 g and B4 - 164,58 g. This result shows us that the variety (Water cress) responds abruptly to dosages making it the most efficient variety.

The benefit / cost ratio between treatments T1, T3, T4, T5, T6, T7 and T8 show positive values, while T2 shows a negative value which infers that it is not profitable, it should be emphasized that treatments T5 and T7 are the best and the most profitable.

## 1 INTRODUCCIÓN

Las hortalizas se definen como plantas herbáceas cultivadas con fines de autoconsumo como también para su comercialización en mercados internos y externos, de esta manera tener ingresos adicionales (Silva, 2017).

El mismo autor indica que las hortalizas son una fuente muy rica en nutrientes, vitaminas y otros, los cuales aportan al cuerpo muchos beneficios como ser: reconstrucción de tejidos (proteínas), producir energías (carbohidratos), regular condiciones corporales (vitaminas) y tener buena digestión (fibras).

El Berro (*Nasturtium officinale*), no es la excepción. También posee características de mucho interés para la salud. Esta hortaliza ha sido bastante dejada de lado por los consumidores debido a los problemas de fascioliasis que muchas veces presenta, cuando es cosechada en forma silvestre (Saavedra *et al.*, 2020).

Según Saavedra *et al.*, (2020), esta verdura, es muy consumida en Europa no sólo como ensalada, es un miembro de la familia Brassicaceae, a la cual pertenecen también hortalizas como los repollos, coliflores brócolis, kale, mostazas y nabos, entre otras. Ha sido consumida desde tiempos muy antiguos, tanto así que griegos y romanos creían que el berro promovía la fortaleza y el carácter.

En la actualidad, la conservación de salud en forma natural y la prevención de enfermedades han producido en la actualidad un incremento en consumo de frutas y verduras con características especiales de acumulación de fitonutrientes. Sin embargo, se debe considerar que toda fruta y verdura posee nutraceuticos como parte de su estructura, sólo que algunas acumulan mayores cantidades de alguno en específico y otras tienen combinaciones más amplias de diferentes compuestos secundarios importantes para la salud humana. Las hortalizas acumulan estos elementos como respuesta a factores ambientales a que son sometidas durante su periodo de desarrollo, tales como: cambio de temperaturas intensidades de luz, agresiones bióticas y otros (Saavedra *et al.*, 2020).

El desarrollo de las plantas está afectado por un gran número de sustancias orgánicas. El reconocimiento como hormona de cualquiera de estas sustancias depende, en última instancia, de su aislamiento y de la determinación de sus propiedades biológicas y químicas. Ha existido un acuerdo general en clasificar como hormonas vegetales a auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico, que constituyen los cinco grupos hormonales clásicos (Segura, 2008).

Según Azcón-Bieto y Talón (2008), indican que, en las plantas, la comunicación química se establece fundamentalmente a través de hormonas o fitohormonas, aunque no se excluye la existencia de otros posibles mediadores químicos cuya naturaleza, por el momento se desconoce.

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

Resh (2001), fundamenta que, para justificar los costos en la producción agrícola, es necesario obtener una elevada cosecha, una selecta calidad y a la vez, utilizar la menor mano de obra posible, manteniendo un elevado porcentaje de garantías de éxito del cultivo.

## **1.1 Planteamiento del problema**

En Bolivia, el cultivo de berro sigue siendo una planta silvestre y de baja calidad, incluso ha sido rechazada por los productores debido a las condiciones climáticas que requiere el cultivo del berro, sus demandas nutritivas y sobre todo el abundante requerimiento de riego, es por eso que dicho cultivo ha sido dejado de lado por los

---

productores y consumidores debido a los problemas de Fascioliasis, a pesar de tener características de mucho interés para la salud como vitaminas B6 y C, carotenos y manganeso. Además, son una buena fuente de fibra, hierro, cobre y calcio, así como de vitaminas B1, B2 y E.

## **1.2 Justificación**

El presente trabajo de investigación demostró una forma de reinserción del cultivo de berro usando dos variedades mejoradas del mismo género en un sistema hidropónico NFT, aplicando tres dosificaciones de fertilizante foliar a base de citoquininas, para mejorar el desarrollo y rendimiento del cultivo.

Para la investigación, se evidenció la correlación entre el cultivo de Berro, el sistema hidropónico NFT y la aplicación del fertilizante foliar.

Argumentado la correlación entre estos tres factores, se tomó el Cultivo de Berro como objeto de estudio para su reinserción en el mercado hortícola ya que es una planta con bastantes beneficios para la salud, este cultivo depende de una característica fundamental que es el riego continuo y para la facilidad de su plantación se tomó como respuesta el sistema hidropónico NFT de esquema piramidal, ya que este sistema simula un entorno bastante similar a su hábitat natural para el berro, es decir es un sistema de riego recirculante en el cual la solución corre con los fertilizantes apropiados para su desarrollo.

La aplicación de fitohormonas foliares a base de citoquininas al cultivo de berro, fue para mejorar las cualidades de dicho cultivo, mejorando su desarrollo biológico, su rendimiento agrícola y también su tolerancia a plagas, enfermedades e incluso a las temperaturas máximas y mínimas que están fuera del rango recomendado.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

- Analizar el efecto de la aplicación de tres niveles de citoquinina en el desarrollo y rendimiento productivo en el cultivo hidropónico de berro (*Nasturtium officinale*) en el Centro Experimental de Cota Cota.

### 2.2 Objetivos específicos

- Evaluar que tratamiento presenta un mayor desarrollo fisiológico para cada variedad de berro (*Water cress* y *Barbarea verna*).
- Determinar que dosificación es la más efectiva en el rendimiento para ambas variedades de berro en el sistema hidropónico (NFT).
- Precisar que variedad de berro (*Water cress* o *Barbarea verna*) es la más efectiva para ser cultivada a gran escala en el cultivo hidropónico (NFT).
- Realizar un análisis económico preliminar de la producción de berro con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes y determinar los tratamientos con mayores beneficios.

### 3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Generalidades

Persa y Turco citado por Benavidez (2010), mencionan que la principal diferencia entre cultivo al aire libre y en ambiente protegido, es el control del ambiente que las plantas necesitan para alcanzar un máximo desarrollo.

Lorente (2007), indica que cuando se habla de un cultivo hortícola se imagina una explotación intensiva con superficies no muy grandes de cultivo y bajo un índice de mecanización.

#### 3.2 Importancia del consumo de hortalizas

Hartman citado por Von (2000) reporta, que la población del altiplano presenta problemas de desnutrición debió a factores ambientales y socioeconómicos. Los pobladores del altiplano y valles adyacentes sufren altos grados de desnutrición provocada por una dieta rica en carbohidratos y bajo en vitaminas.

El mismo autor afirma que las hortalizas y las legumbres constituyen el complemento básico de la población, la demanda de estos productos permite al agricultor producir y comercializar dos o más cosechas por año dependiendo de los cultivos que explota.

#### 3.3 Generalidades del cultivo

Leñano citado por Colodro (2013), el berro ocupa un lugar relativo entre las plantas hortícolas aromáticas, dentro de la misma denominación de berros, se incluyen plantas que ofrecen ciertas diferencias entre sí. Entre las especies más comunes se conoce al llamado berro o ingles acidulo por el sabor picante de sus hojas (*Lepidium sativum*), y el berro de agua, así llamado porque vive y crece en el agua (*Nasturtium officinale*), esta última especie abunda en los remansos y las fuentes.

---

Benavidez (2010), indica que es una planta asociada a cuerpos de agua que crece en climas semicálidos, semisecos y secos, donde existe un matorral xerófilo, bosque de encino y mixto de pino. Se recolecta en las orillas de corrientes de ríos, arroyos y estanques. Es una planta perenne que se puede colectar todo el año. Se reproduce sexual y asexualmente por medio de esquejes (la mayoría de los vástagos crecen con raíces en cada nudo).

### 3.4 Origen

El berro se considera una planta originaria de Europa, de crecimiento silvestre en las zonas cercanas a arroyos y cursos de agua, necesaria para su crecimiento y desarrollo, los persas lo utilizaban por sus grandes cualidades medicinales y era utilizado también en la alimentación de los niños. Los romanos lo utilizaban para evitar la caída del cabello y la caspa (Regmurcia ,2009).

Su cultivo en Francia se remonta al siglo XVII, aunque una centuria antes Ambroise Paré, conocido como padre de la cirugía moderna, lo recetaría para aliviar la sarna en los niños. Sería ya en el siglo XIX cuando se extendería por todo el país, especialmente en los alrededores de París y la región de Normandía.

Así mismo Pierre y Galbain, (2009), menciona sus propiedades antiescorbúticas ya eran conocidas desde la más remota antigüedad. En su historia natural Plinio el Viejo indica que etimológicamente el nombre de la especie *Nasturtium* viene de *nasus tortus* que quiere decir “que hace torcer la nariz” en alusión a la mueca que algunas personas hacen cuando se consume un berro.

Leñano citado por Colodro (2013), en Francia y Suiza su cultivo ocupa considerables extensiones y constituye uno de los productos de mayor consumo en los meses de invierno, el berro acidulo lo cultivan en invernadero para disponer incluso en los meses más fríos del año una ensalada con sabrosas hojuelas de sabor áspero y picante.

---

Los berros son originarios de Asia Septentrional y Europa. Los principales países productores son: Dinamarca, Holanda, Francia, Bélgica e Inglaterra; siendo transportados y distribuidos de una manera muy particular y dinámica por los nómadas, a varias partes del mundo (Salas, 2007).

### 3.4.1 Clasificación taxonómica

Según Lorente (2007), la clasificación taxonómica se especifica en el cuadro 1:

**Cuadro 1: Clasificación taxonómica**

Clasificación taxonómica	
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Orden:</b>	Brassicales
<b>Familia:</b>	Brassicaceae
<b>Género:</b>	<i>Nasturtium</i>
<b>Especie</b>	<i>Nasturtium officinale</i> R. Brown

Fuente: Lorente (2007)

### 3.4.2 Descripción botánica del cultivo del berro

La planta del berro, también conocida como berro de agua o berro amargo, crece habitualmente en los costados de los riachuelos. Es una planta categorizada como semiacuático, ya que en algunas ocasiones sus tallos y hojas se encuentran sobre los cursos de agua superficial (Saavedra *et al.*, 2020).

Indica Lorente (2007), se trata de una planta vivaz, de tallo rastrero, que pertenece a las dicotiledóneas y que posee raíces subterráneas finas y blancas que le permiten alimentarse, además de fijarse fuertemente al sustrato.

Leñano citado por Colodro (2013), indica que el berro es una planta crucífera que supera ligeramente los 20 cm de altura, tienen hojas radicales recortadas, de color verde intenso, que forman un denso copete.

#### **3.4.2.1 Raíz**

Pierre y Galbuin (2009), indica que las raíces subterráneas son finas y blancas, permitiendo la fijación de la planta y su alimentación.

Chuncho *et al* (2019), afirman las siguientes características: geotropismo positivo; crecen de nudos y yemas, generalmente no poseen cloroplastos y almacenan grandes cantidades de sustancias de reserva. En este sistema la raíz principal crece poco, y más las raíces secundarias y adventicias, que pronto forman una especie de cabellera, en las que todas las raíces tienen más o menos las mismas dimensiones.

#### **3.4.2.2 Tallo**

Para Regmurcia (2009), su tallo muestra una longitud cercana a los 50 cm aproximadamente, de textura robusta, hueca y ramificada.

Pierre y Galbuin (2009), indica tallo ascendente es más o menos robusto, según las variedades, es largo, robusto, hueco y ramificado. Cada nudo está provisto de estas finas raíces adventicias, blancas, flotantes, que sirven para la alimentación de la planta.

#### **3.4.2.3 Hoja**

Para Regmurcia (2009), las hojas del berro son pinnatisectas, con segmentos abóbales u oblongos, siendo el segmento del extremo de mayor tamaño que el resto. Las hojas con marcadas nervaduras, alternas, enteras, opuestas y de tonos verdosos.

Las hojas son alternas, son enteras de color verde oscuro, son pinnatisectas, los lóbulos de la cima son oblongos, los de la base obovados (Pierre y Galbain, 2009).

Salas (2007), indica que las hojas que oscilan entre 5 a 7 cm son ovales o redondas, con nervaduras muy marcadas, siendo la ultima la más grande.

#### **3.4.2.4 Flor**

Sus flores, amarillas o blancas, tienen cuatro sépalos, cuatro pétalos, seis estambres y un único pistilo, agrupadas en inflorescencias axilares y terminales. Florece el berro en primavera y verano (Regmurcia, 2009).

Pierre y Galbain (2009), indican que las inflorescencias son racimos laxos. La floración se produce de mayo a septiembre.

El mismo autor menciona que las flores, blancas o amarillentas, se disponen en pedicelos insertos perpendicularmente en el eje de la inflorescencia. Son completas y regulares, es decir son actinomorfas.

- El cáliz comprende 4 sépalos iguales, extendidos en la base y dispuestos en cruz.
- La corola está formada por 4 pétalos dos veces más largos que el cáliz.
- El androceo consta de 6 estambres de los que 4 son mayores y sobresalen de la corola.
- El gineceo está formado por 2 carpelos abiertos, soldados por sus márgenes. Los óvulos son bastante numerosos. El estilo es muy corto.

#### 3.4.2.5 Fruto

Regmurcia (2009), menciona que los frutos del berro son silicuas patentes, cortas, cilíndricas, algo arqueadas y más largas que los pedicelos.

Salas (2007), rescata que el fruto es seco y delgado, con muchas semillas de color amarillo-rojizo que germinan en pocos días y que al secarse se pueden utilizar como condimento.

#### 3.4.2.6 Semilla

Para Pierre y Galbuin (2009), las semillas están dispuestas en dos filas en cada lóculo. Son globulosas, marrones, exalbuminadas y llevan, en su superficie, ornamentos hexagonales en forma de panales de abejas ligeramente deprimidos.

#### 3.4.3 Enfermedades y plagas

Vanhaeff y Berilijn (2011), mencionan que las hortalizas están expuestas a enfermedades, plagas y desordenes fisiológicos, sin embargo, como las hortalizas son cultivos intensivos, aun los daños aparentemente leves pueden afectar el rendimiento y la calidad de la producción.

Para Maroto (2002), los berros de agua se ven afectados por diversos coleópteros, dípteros minadores, por ejemplo, *Hidrellia nasturtii* Collin, roedores gasterópodos y diversas enfermedades criptogámicas como el mildiu de las crucíferas (*Peronospora parasítica* De By), así como por algas y plantas adventicias diversas.

El berro, al ser una planta en constante contacto con el agua, queda expuesto a contaminaciones como la duela (parásito que se transmite a través de los excrementos de los animales), por lo que es recomendable en cocina utilizar aquél que procede de cultivos controlados (Regmurcia, 2009).

---

Salas (2007), destaca que las plagas y enfermedades que se detallan a continuación son muy nocivas para los cultivos de berros en sus 4 clases, las plagas si no son controladas a tiempo pueden terminar con cultivos, como también producen efectos secundarios por el abuso de pesticidas para el control de plagas y se debe esperar un mínimo de 2 meses para el nuevo cultivo.

- Mosca blanca (Colémbolos). - En el momento de la germinación provocan malformaciones y desarrollo insuficiente de la planta.
- Gusano del alambre (Coleóptero). - Raíces y tallo alteren el paso normal de los nutrientes por medio de las raíces, provocando un desarrollo insuficiente.
- Gardamas y prodenias (Noctuidos defoliantes). - Toda la planta, puede llegar a ser destruido totalmente en la parcela. Es muy resistente.

#### **3.4.4 Propiedades nutricionales**

Al igual que otras hortalizas y verduras, el berro es un alimento muy rico en nutrientes. Contiene altos niveles de vitaminas A, B y C, así como cantidades considerables de yodo siempre que el suelo y el agua lo contengan (200 a 500 microgramos en cada kilo), entre los minerales contiene calcio y hierro mostrando niveles superiores a las espinacas (Saavedra *et al.*, 2020).

Pierre y Galbuin (2009), también menciona que el berro contiene un glucósido: la gluconasturtina que es próxima al glucotropeolósido de la capuchina. La masticación o la cocción causa la ruptura de los comportamientos celulares, la gluconasturtina se pone entonces en contacto con una enzima; la mirosinasa, lo que produce el feniletilesenevol o isocianato de feniletilo, responsable del gusto específico del berro.

El mismo autor también indica que el berro es rico en yodo si el suelo y el agua lo contienen, contiene también una provitamina A y vitaminas B1, B2 y C. De las verduras habituales es la más rica en calcio y una de las más ricas en hierro.

Leñano citado por Colodro (2013), el berro es una hortaliza de notable valor alimenticio, por su rico contenido en vitaminas y sales minerales, entre las que destacan las de hierro y yodo, a las cuales se debe su sabor característico.

Los berros contienen calcio, magnesio, potasio, sodio, cloro, azufre, hierro y yodo (Duran, 2009).

Salas (2007), destaca que el hierro tiene un alto contenido de sales y minerales como potasio, calcio, hierro, azufre y sodio por lo que es muy utilizado en tratamientos para enfermedades relacionadas con las defensas del cuerpo; también es muy rico en fibra por lo que es utilizado como un gran digestivo y rica en vitaminas como la C, E y beta carotenos de gran utilidad como antioxidantes que eliminan los radicales libres teniendo una importante acción en la prevención de los cánceres por este motivo. Aporta entre 15 a 21 calorías por cada 100 gramos.

#### **3.4.4.1 Composición química**

Niñirola (2010), indica que el berro contiene vitaminas A, B2, B3, B5, B6, B17, C, D, E y K. También cuenta con minerales como calcio, fósforo, potasio, hierro, sodio, magnesio, cobre, manganeso, flúor, azufre, cloro, yodo, germanio, silicio y zinc.

Duran (2009), indica la composición bioquímica del berro en la cantidad que tienen de agua, proteínas, hidratos de carbono, grasa, ceniza y calorías.

**Cuadro 2: Comparación de cantidad de minerales del cultivo de berro con otros cultivos.**

Especies	K (330 µg)	A (3000 IU)	B1 (1.5 mg)	B3 (1.6 mg)	C (75 mg)	K (330 mg)	Fe (12 mg)	Ca (1000 mg)
BERRO	541	4530	0,08	0,169	65.5	330	1,8	300
Espárrago	122	1000	0,16	0,17	33	---	---	21
Brócoli	180	1500	0,09	0,21	118	325	1,3	130
Zanahoria	---	13000	0,07	0,06	52	---	0,8	39
Lechuga	35	1620	0,07	0,07	8	290	1,1	62
Pepino	---	360	0,04	0,09	8	---	0,3	10

Fuente: Niñirola (2010)

Según Salas (2007), el cultivo de berro tiene bastantes propiedades nutritivas como vitaminas, minerales y proteínas, los cuales describe en su análisis bromatológico del berro. Ver cuadro 3.

**Cuadro 3: Análisis bromatológico del cultivo de berro**

FRESCO, CRUDO. Por cada 0.1 kg de porción comestible					
Proteína	1,7	G	Sodio	60	Mg
Lípidos	0,3	G	Calcio	222	Mg
Agua	93,6	G	Potasio	314	Mg
Energía	23	Kcal.	Hierro	1,62	Mg
H. Carbono	3,3	G	Vitamina A	119	Mg
Vitamina B2	0,5	G	Vitamina C	111,3	Mg
Cenizas	1,1	G	Niacina	0,6	Mg
Yodo	0,4	G	Tiamina	0,118	Mg
Fósforo	52	Mg	Riboflavina	0,207	Mg

Fuente: Salas (2007)

### **3.4.5 Características especiales**

#### **3.4.5.1 Usos culinarios**

Según Saavedra *et al.*, (2020), es posible encontrar berros en el mercado durante todo el año, normalmente agrupados en manojos por sus tallos. Para adquirir berros frescos es necesario elegir los que presenten un aspecto vivo, de color verde intenso, con tallos y hojas en perfectas condiciones, sin impurezas ni picados.

Pierre y Galbuin (2009), dice que el olor característico del berro de agua solo se desarrolla por trituración o por cocción. El berro a menudo se consume crudo, en ensalada, junto con nueces a dados de queso, frecuentemente sirve como elemento de decoración para platos de carnes asadas o a la parrilla, al igual que perejil.

El berro hervido se consume como las espinacas, después de escaldo en agua hirviendo con sal y refrescarlo inmediatamente después en agua helada.

Duran (2009), menciona que los berros se los consideraba como una legumbre predilecta, porque son refrescantes, aperitivas y fortificantes para las personas débiles. Su consumo se recomienda hacerlo desde jugos mezclados con leche, caldos, papillas, etc. Para evitar el peligro, el berro se remoja durante cinco minutos en una solución de ácido tartárico al 2% después de lavarlo en agua se puede comer sin peligro.

#### **3.4.5.2 Usos medicinales**

Niñirola (2010), señala que el consumo de berro puede disminuir el colesterol, se ha conseguido disminuir los triglicéridos y las lipoproteínas de baja densidad (LDL-C), esta cualidad se le atribuye debido a su gran potencial antioxidante.

Además, el mismo autor indica que otro efecto positivo del berro en la salud humana es que, al igual que todas las brassicáceas, es rico en glucosinolatos. Los

---

glucosinolatos son unos glucósidos que contienen azufre y que pueden ser hidrolizados, de forma enzimática o no, dando a lugar a isocianatos y/o nitrilos.

Según Pierre y Galbuin (2009), el berro de agua está inscrito en el Codex medicus de 1949. El berro se ha utilizado con frecuencia para prevenir o combatir el escorbuto, es muy rico en ácido ascórbico (vitamina C) y 75g de la planta fresca bastan para cubrir las necesidades cotidianas.

Ya estaba presente en las farmacopeas en el siglo XVII, el jugo de berro entra en la fórmula del jarabe de rábano, compuesto administrado por sus propiedades antiescorbúticas. A continuación, se muestra la formula del jarabe de rábano que contiene berro en su composición, indica el mismo autor en el cuadro 4.

**Cuadro 4: Formula del jarabe de rábano compuesto por berro.**

<b>Formula del jarabe de rábano compuesto de Berro</b>	
Cocleria fresca	1000 g
<b>Berro</b>	<b>1000 g</b>
Rábano (raíces frescas)	1000 g
Menianto (hojas secas)	100 g
Naranjas amargas (cascaras)	200 g
Canela de Ceilan	50 g
Vino blanco	4000 g
Azúcar (sacarosa)	5000 g

**Fuente:** Dorvault (2010)

El jarabe antiescorbútico de Portal, también contiene berro en gran cantidad.

En veterinaria, el berro se ha utilizado igualmente por sus propiedades sialagógicas con los grandes herbívoros domésticos.

Duran (2009), indica que su consumo se recomienda a los enfermos afectados de tuberculosis, dispepsia y especialmente a los diabéticos, limpian el hígado y los riñones de arenilla y cálculos, aumentan la secreción de orina y flujo menstrual; fortifican las encías débiles, favorecen la expectoración, activan la transpiración y aumentan la secreción de la saliva, es bueno el consumo por ser nutritivos y a la vez medicinales.

Duran (2007), menciona que los berros son recomendados para la bronquitis y dermatosis, son muy diuréticos, previenen la anemia, son tonificantes, depurativos y antiinflamatorios.

#### **3.4.6 Variedades**

Salas (2007), indica que existe cuatro variedades o tipos de berro que se muestran a continuación.

- **Berro de fuente o de agua:** Es el más común, crece en arroyos, manantiales, así como también en terrenos húmedos. Este tiene un origen oriental, introducidos posteriormente a Europa y América; en los Estados Unidos, es conocida como una mala hierba no comestible llamada capuchina. Una de sus particularidades es que crece muy rápidamente y se puede recoger dos o tres días después de su germinación, cuando todavía no ha terminado de desarrollarse, pero este fenómeno se da en condiciones de humedad apropiadas.

- **Berro de mastuerzo u hortense:** Crece dentro del agua. Son los más nutritivos con hojas grandes de color oscuro, es una de las mejores clases en cuanto a que esta posee una gran cantidad de minerales, como hierro, sodio y fósforo, ideales para personas anémicas.

- **Berro cocleacia:** Que se caracteriza por poseer sus hojas en forma de cuchara. Esta especie crece silvestre en la zona septentrional y occidente de Europa. En Alemania es conocida con el nombre del escorbuto, ya que, por su alto contenido de vitamina C antiguamente se empleaba para paliar esta enfermedad.

- **Berro de invierno:** Es cultivada en muy pequeña escala en Francia y Estados Unidos. Llamado berro de invierno porque crece con mayor facilidad en esta temporada por los torrenciales y continuos aguaceros y mayor fluidez de agua. Posee una característica especial en sus hojas y tallo, ya que normalmente tiene una cubierta cerosa para no absorber más agua de lo que necesita y para hacer a esta impermeable, el berro de invierno, posee esta capa cerosa un poco más pronunciada que las demás, lo que la hace ver más grande y con hojas más gruesas y prominentes.

Las dos primeras variedades son las más recomendadas para esta zona, ya que no son tan exigentes en el aspecto de clima, considerando además que son las únicas variedades que encontramos en nuestro país, para su respectivo estudio, por esta razón se amplificara sus cualidades a continuación.

### **3.4.7 Ecología del cultivo del berro**

#### **3.4.7.1 Temperatura**

Vanhaeff y Berilijn (2011), menciona que, respecto al clima, la temperatura, la luz y la precipitación son factores importantes, además el viento puede ser un factor limitante, particularmente en la producción de hortalizas delicadas. La mayoría de las hortalizas crecen razonablemente bien en climas con temperaturas promedio entre 10 a 30° C.

Maroto (2002), indica que el berro se ve afectado por bajas temperaturas, por lo que en invierno se le protege en las zonas que es cultivado, recubriéndolo de una lámina de agua. Como es una planta acuática, hay que hablar de las propiedades que deben

reunir las aguas del cultivo, que han de ser ferruginosas, no ser calcáreas ni residuales y estar a una temperatura de 10 a 11° C.

Salas (2007), rescata que esta especie requiere de un gran énfasis en la temperatura ya que no debe rebasar los 32 grados centígrados, temperatura ambiente para que no se deshidraten, y también hay que proteger los sembríos de las heladas con una bolsa de plástico, para que el intenso frio no quemase sus hojas.

#### **3.4.7.2 Suelo**

Vanhaeff y Berilijn (2011), menciona que muchas hortalizas pueden cultivarse también en suelos franco – arcillosos y franco – arenosos. El desarrollo óptimo de las hortalizas depende también del pH del suelo y para las crucíferas el promedio es de 6,0 a 7,0, la topografía del terreno determina su aptitud para la producción efectiva de hortalizas así que terrenos con desniveles altos no son muy apropiados para el cultivo de hortalizas.

Ruano citado por Colodro (2013), indica que se precisa una tierra ligera, fértil, trabajada y con bastante materia orgánica. Los suelos más adecuados son neutros, nunca ácidos, incluso pueden ser algo alcalinos, esto también es válido para todas las hortalizas crucíferas.

Pierre y Galbain (2009), afirma que el suelo debe ser preferentemente arcillo – arenoso o limoso – arcilloso, está ligeramente en pendiente para asegurar un flujo lento de agua y la renovación de la misma.

Para el cultivo de esta planta es necesario proveer de un sustrato especial, este debe ser en extremo húmedo (Regmurcia, 2009).

Leñano citado por Colodro (2013), menciona que para obtener un producto tierno, se prefiere suelos ligeros y exposiciones semisombreadas y frescas, especialmente en verano. Así mismo se debe disponer de un suelo limpio de hierbas, porque un desherbaje posterior suele resultar caro y difícil.

### **3.4.8 Manejo del cultivo del berro**

#### **3.4.8.1 Preparación del cultivo**

Maroto (2002), indica que la preparación del terreno debe ser una labor profunda para favorecer la evacuación del agua de riego principalmente en suelos de textura pesada. El mismo autor da a conocer que el Reino Unido, el terreno para berro se sistematiza en tablas de 50-70 m de longitud y 6-5 m de ancho, en grupos intercomunicados.

Laumonier (2004), indica que se cultiva en fosas de 2-3 m de largo, 0,6 m de ancho y 0,4-0,7 m de profundidad, separadas entre sí por pasillos de 1 m. Al fondo de las fosas, 200 kg de estiércol bovino, 10 kg de sangre desecada, 6 kg de superfosfato de cal del 18 por 100 y 3 kg de  $SO_4K_2$  por área.

Pierre y Galbuin (2009), aclaran que se llenan de tierra vegetal las fosas, de fondo firme e impermeable, de 50 m de largo por 2,5 m de ancho y 0,5 m de profundidad. El suelo, preferentemente arcillo – arenoso o limoso – arcilloso, está ligeramente en pendiente para asegurar un flujo lento de agua y la renovación de la misma.

El mismo autor indica que las siembras se hacen desde primavera hasta julio, sobre el terreno, en un suelo muy húmedo y a la sombra, en líneas paralelas esparcidas alrededor de 15 cm, es necesario regar abundantemente.

#### **3.4.8.2 Siembra**

Según Saavedra *et al.*, (2020), el berro puede ser reproducido a partir de semillas o multiplicado por esquejes. Es recomendable cultivarlo a partir de esquejes, ya que para que ocurra la germinación de la semilla deben asignársele una gran cantidad de cuidados. La siembra tiene lugar durante los meses primaverales, si se siembra a partir de esquejes tienen que ser de aproximadamente 15 centímetros de largo.

Pierre y Galbuin (2009), dicen que la multiplicación está asegurada por semilla, la siembra en las en las fosas se realiza en primavera, se recubren con 5 cm de agua aproximadamente, a medida que se desarrolla la planta, se va aumentando el nivel de agua hasta alcanzar de 15 a 20 cm al final del cultivo.

Para Maroto (2002), las siembras se realizan entre marzo y julio en el hemisferio norte en el fondo de las fosas, a veces las siembras se hacen sobre cubos de turba prensada y posteriormente las plantitas se trasplantan a terreno definitivo. También se puede multiplicar por esquejes, aunque este procedimiento hoy en día está algo desechado.

Menciona Leñano citado por Colodro (2013), la siembra se efectúa en primavera, en suelos saturados de humedad, se utilizan generalmente, barreños o macetas; su desarrollo es muy rápido. Es conveniente sembrar en superficies reducidas y repetir la siembra cada 20 a 30 días, para tener una producción continua.

#### **3.4.8.3 Densidad de siembra**

Regmurcia (2009), indica que estos deben ser plantados con una separación de 20 centímetros entre cada planta y si es cultivado en más de una hilera, estas deben estar separadas por al menos 10 centímetros.

Pierre y Galbuin (2009), menciona que las siembras se hacen desde primavera hasta julio, sobre el terreno, en un suelo muy húmedo (fresco) y a la sombra, en líneas paralelas espaciadas alrededor de 15 cm, es necesario regar abundantemente.

Leñano citado por Colodro (2013), indica que la simbra puede realizarse al voleo o en hileras separadas entre sí unos 10 cm a razón de 3 a 4 semillas por m<sup>2</sup>. En invierno se simbra en recipientes con tierra cocida y mantenerlos en sitios cálidos para favorecer el crecimiento.

En parajes que se disponga de un arroyuelo limpio, es fácil el cultivo abriendo una excavación de dos metros de anchura y 80 centímetros de profundidad, se abona el fondo de la excavación con estiércol y se siembran las plantillas en líneas, distantes entre sí 30 centímetros y también a tres bolillos (Duran, 2009).

#### **3.4.8.4 Riego**

Según Saavedra *et al.*, (2020), indica que cuando las nuevas plantas hayan crecido hasta los 20 – 25 centímetros y hayan surgido las primeras hojas, es necesario inundar con abundante agua la zona donde se encuentra el cultivo.

Regmurcia (2009), dice que a su interior se ubicará un fondo de tierra en pendiente que asegure el flujo de agua y su renovación, agua muy oxigenada, con pH neutro o ligeramente ácido, de temperatura que ronde los 10°C, sin estancamientos ni materia orgánica contaminante.

Maroto (2002), menciona que el berro al ser una planta acuática, se debe hablar de las propiedades que deben reunir las aguas del cultivo, que han de ser ferruginosas, no ser calcáreas ni residuales y estar a una temperatura de 10 – 11°C.

Como norma general, y aproximadamente 7 – 10 días tras la siembra, cuando las plantas han alcanzado una altura de unos 2 cm, se dejan pasar por una tenue lámina de agua corriente, que progresivamente se va elevando con el desarrollo de la planta, hasta alcanzar un nivel de 10 – 12 cm, que se mantiene a lo largo de todo el ciclo.

Pierre y Galbain (2009), asegura que la producción de los mejores berros se da en primavera, en agua oxigenada, de pH neutro o ligeramente ácido, con una temperatura del agua cercana a los 10°C. No debe contener ninguna materia orgánica ni contaminante. La calidad del berro producido depende mucho de la regularidad de los riegos.

#### **3.4.8.5 Recolección**

Pierre y Galbain (2009), dicen que se puede hacer de 8 a 10 semanas después de la siembra. Los tallos se cortan con 20 cm de largo aproximadamente.

Se deben cortar los tallos de berro, aproximadamente de 5 a 8 cm del nivel del suelo respetando las raíces. Las hojas pueden recolectarse regularmente, con una media de 18 recolecciones al año, evitando de esta forma su putrefacción en el agua perjudicando las raíces y se atan en pequeños manojos. Estos, manojos bien lavados, se ponen agua para conservarlos frescos hasta su consumo (Regmurcia, 2009).

Maroto (2002), indica que la recolección se hace manualmente, iniciándose a las 5 – 6 semanas tras la siembra, colocando tablas sobre los bordes de las fosas y consiguiéndose rendimientos de hasta 10 ton/ha.

La floración prematura del berro de agua interfiere negativamente sobre la productividad, existiendo diversos factores que pueden influir en este desorden fisiológico, como una excesiva densidad de plantación, deficiencia en N, cambio

climático hacia bajas temperaturas, fecha de siembra, trasplante demasiado tardío, etc (Saavedra *et al.*, 2020).

Leñano citado por Colodro (2013), aclara que es conveniente que las hojuelas tiernas y picantes sean recolectadas antes de que la planta florezca. La recolección se efectúa cortando las hojas y parte del tallo, después del corte se ramifica y la planta se desarrolla mejor, obteniéndose rápidamente otra cosecha.

#### **3.4.8.6 Conservación**

La conservación del berro, al igual que otras verduras y hortalizas ricas en agua, se debe introducir en el refrigerador a una temperatura máxima de 8°C, siempre resguardado con papel film. Si aún conserva sus raíces, también es posible conservarlo en un bol con agua a temperatura ambiente (Regmurcia, 2009).

Pierre y Galbuin (2009), dice que, como todas las plantas ricas en agua, el berro se conserva con dificultad. Debe guardarse en frío (8°C), embollado en un film protector. También se puede conservar a temperatura ambiente, en un recipiente lleno de agua, si todavía tiene raíces.

#### **3.4.8.7 Comercialización**

Según Maroto (2002), la comercialización se hace en manojos de 150 – 300 gramos/manejo, que previamente han sido lavados con agua. La conservación frigorífica se hace a 1°C y una humedad relativa superior al 95%.

Benavidez (2010), indica que los brotes se cortan principalmente al ras del suelo y se forman manojos, o bien se cortan las hojas y se depositan en recipientes. Las hojas deben lavarse y desinfectarse cuidadosamente, para eliminar larvas e insectos, ya que incluso pueden alojar el virus de la hepatitis A.

### **3.5 Ambiente atemperado**

Bernat et al., (2017), recomienda que la construcción del ambiente atemperado se inicia como parte fundamental de una actividad económica para la producción de un tipo de cultivo, ello implica cuidadoso estudio.

Hartman citado por Mendoza (2011), mencionó que los materiales de cobertura en los ambientes protegidos son importantes los materiales más utilizados pueden dosificarse en materiales de vidrio y material de plástico.

Reetz (2016), indican que los invernaderos solo surgen en el país como respuesta a la frustración de no encontrar soluciones a problemas estructurales en el altiplano, sin embargo, el ambiente atemperado no pone soluciones a problemas de fondo si pueden tener una función como componentes de desarrollo.

#### **3.5.1 Características del invernadero**

Pizarro (2022), indica que un invernadero es una estructura de soporte, generalmente de madera o metálica, con una cubierta transparente o traslúcida, que favorece la transmisión de la radiación solar, con el objetivo de modificar el ambiente interior para lograr un mejor rendimiento de los cultivos, con dimensiones que permitan a las personas trabajar en su interior. La hidroponía en invernadero puede alcanzar una mayor densidad de planta y rentabilidad, pero requiere de manejos adecuados y especialización permanente de parte de los productores.

Lorente (2007), señala que la falta de condiciones ambientales y el interés del horticultor es conseguir el incremento de la cosecha y de alargar las épocas de producción, que a impulsado a la empresa hortícola a practicar diferentes técnicas y crear instalaciones especiales para la producción de hortalizas.

### **3.5.2 Tipos de invernaderos**

Hartman citado por Mendoza (2011), manifiesta que en el altiplano boliviano se ha desarrollado diferentes tipos de invernaderos, las más comunes son túneles, medio túnel, dos aguas y el que mejor resultado dio fue el de media agua. La construcción por lo general es sencilla donde se utiliza adobes para muros de madera o fierro de construcción para el armazón de la cubierta y agro film o calamina plástica para la cubierta.

### **3.6 Fitohormonas**

El funcionamiento normal de los organismos pluricelulares exige mecanismos precisos de regularización que permita una perfecta coordinación de las actividades de sus células, tejidos y órganos. Además, el organismo debe ser capaz de percibir y responder a las fluctuaciones de su ambiente. Entre los posibles mecanismos de regulación, el más conocido es el sistema de mensajeros químicos, que permite la comunicación entre células y coordina sus actividades (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

El mismo autor indica que en las plantas, la comunicación química se establece fundamentalmente a través de hormonas o fitohormonas, aunque no se excluye la existencia de otros posibles mediadores químicos cuya naturaleza, por el momento se desconoce.

El desarrollo de las plantas está afectado por un gran número de sustancias orgánicas. El reconocimiento como hormona de cualquiera de estas sustancias depende, en última instancia, de su aislamiento y de la determinación de sus propiedades biológicas y químicas. Ha existido un acuerdo general en clasificar como hormonas vegetales a auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico, que constituyen los cinco grupos hormonales clásicos (Segura, 2008).

### **3.6.1 Sistema de acoplamiento estímulo respuesta**

Azcón-Bieto y Talón (2008), indican que el mecanismo de acción de una hormona se define como la reacción primaria capaz de iniciar una serie de eventos moleculares que, en última instancia, conducen a un efecto fisiológico mensurable. Por tanto, la célula debe estar programada para responder a señales hormonales (primeros mensajeros) mediante mecanismos específicos.

El mismo autor, menciona que el mecanismo de acción tiene lugar mediante un acoplamiento estímulo-respuesta, que puede dividirse en tres fases:

- Percepción de la señal (Primer mensajero) por parte de la célula.
- Generación y transmisión de la señal (transducción).
- Activación de un cambio bioquímico (respuesta).

Segura (2008), menciona que la denominada cadena de percepción y transducción de la señal o ruta de señalización, que requiere el reconocimiento del primer mensajero por un receptor y la utilización subsiguiente de una serie de moléculas (segundos mensajeros o proteínas efectoras) capaces de transmitir la señal que activara la respuesta. Esta cadena es la vía que utilizan las plantas, para responder a todos los estímulos, tanto externos (luz, temperatura, fuerzas mecánicas, agua, etc.) como internos (hormonas, fuerzas mecánicas generadas por la pared, etc.), que modulan su desarrollo.

### 3.6.2 Percepción de la señal hormonal

Como en todos los organismos vivos, las células vegetales están equipadas con una serie de receptores, de naturaleza proteica, capaces de reconocer las señales hormonales. Los receptores deben cumplir dos propiedades fundamentales: unión específica y reversible a la hormona y, como consecuencia, inducción de una respuesta biológica (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

El mismo autor, indica que los receptores identificados son tanto proteínas quinasas ligadas a las membranas (receptores de brasinoesteroides, ABA, oligopéptido CLV3, etileno o citoquininas) como proteínas solubles, localizadas en el citoplasma, en el núcleo, o en ambos.

Los receptores no solo detectan la señal, sino que actúan como transductores de ésta. La formación del complejo hormona-receptor provoca un cambio conformacional en el receptor que causa su activación. En su estado activado, el receptor inicia la cadena de transducción (Segura, 2008).

El mismo autor, menciona que la cadena de transducción generada depende del tipo de receptor. Si el receptor es una proteína quinasa (RPK), la unión de ligando induce la actividad quinasa del receptor y la cadena de transducción tiene lugar a través de una cascada de proteínas quinasas que se fosforilan secuencialmente. Las proteínas quinasas fundamentalmente en esta cascada pertenecen a la familia de las MAP-quinasas (*mitogen activated protein kinases*), proteínas quinasas activadas por agentes mitógenos, MAPK.

### 3.6.3 Citoquinina

Históricamente, el término citoquinina se acuñó como nombre genérico de una serie de sustancias, naturales o sintéticas, capaces de estimular la división celular en

---

presencia de auxinas. Hoy sabemos que las citoquininas, como las restantes hormonas vegetales, ejercen multitud de efectos sobre el desarrollo de las plantas. No obstante, y dado que las interacciones, sinérgicas y antagónicas, entre auxinas y citoquininas son la base para explicar una serie de procesos fisiológicos, entre ellos la regulación de la división celular, esta denominación continúa siendo válida (Segura, 2008).

### **3.6.3.1 Efectos fisiológicos de las citoquininas**

Azcón-Bieto y Talón (2008) menciona que entre los procesos en los que las citoquininas están implicadas cabe señalar la división celular, la proliferación de yemas axilares (ruptura de la dominancia apical), la neoformación de órganos *in vitro*, la senescencia foliar, el desarrollo de cloroplastos y la floración. En la mayor parte de estos procesos, las citoquininas actúan en concierto con otros estímulos, especialmente hormonales y ambientales. De particular importancia a este respecto son las interacciones de las citoquininas con las auxinas y con la luz.

### **3.6.3.2 Control del ciclo celular**

Azcón-Bieto y Talón (2008) indican que, en el conjunto de la planta, la importancia de las citoquininas en la regulación del ciclo celular se pone de manifiesto por la participación de estas hormonas en el mantenimiento de los meristemos. De hecho, las mutaciones de pérdida de función de los tres receptores de citoquininas causan drásticas reducciones de la división celular en los meristemos apicales del tallo y la raíz.

### **3.6.3.3 Regulación de la neoformación de órganos**

La totipotencia celular hace posible que los tejidos vegetales cultivados *in vitro* tengan capacidad para diferenciar los meristemos adventicios y regenerar nuevos órganos

(organogénesis). Aunque la organogénesis es el resultado de una interacción entre el material vegetal (explante), el medio de cultivo y las condiciones ambientales, las fitohormonas desempeñan el papel principal (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

#### **3.6.3.4 Retraso de la senescencia foliar**

A escala molecular, las citoquininas pueden inhibir la senescencia suprimiendo la expresión de los genes específicos de senescencia o favoreciendo la actividad de los genes implicados en la fotosíntesis (primer proceso afectado por la senescencia). Las alteraciones en los cloroplastos marcan el inicio de la senescencia, por lo que cabe suponer que estos orgánulos sean también la diana de la acción anti senescente de las citoquininas (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

#### **3.6.3.5 Promueven la expansión celular**

Las citoquininas exógenas inducen un importante incremento en el tamaño de las células de los cotiledones y las hojas de las plantas. El proceso se lleva a cabo exclusivamente por alargamiento celular. Las citoquininas también pueden modificar la forma de las hojas en las plantas intactas; esta acción puede estar relacionada con la interdependencia entre las citoquininas y los genes KNOX (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

El mismo autor indica que la expresión constitutiva de estos genes provoca en las hojas un crecimiento indeterminado, así como cambios muy llamativos en su forma (formación de tallos ectópicos en las hojas simples o un incremento muy considerable del número de folíolos en las hojas compuestas).

### **3.7 Hidroponía**

Rodríguez et al citado por Urey (2007), menciona que el término “hidroponía” es usado solo para describir sistemas basados en agua. Pero en el sentido más amplio, el término es el de cultivo sin suelo. Por tanto “un cultivo hidropónico o cultivo sin suelo”, es un sistema aislado del suelo utilizado para cultivar diversos tipos de plantas de importancia económica. El crecimiento de las plantas es posible por un suministro adecuado de todos sus requerimientos nutricionales a través del agua o solución nutritiva.

Se entiende el “cultivo sin tierra” al método que provee los alimentos que requieren las plantas para su perfecto desarrollo, no por intermedio de su vía natural, la tierra, sino que por intermedio de una solución sintética de agua y sales minerales adecuadas (Barros, 2000).

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

Resh (2001), menciona en cuanto a la salud y alimentación, este sistema es importante porque la hidroponía provee de alimentos frescos de alto valor nutritivo (vitaminas, proteína, fibra y minerales), siendo de mejor calidad el producto, ante la menor presencia de plagas y enfermedades y por lo tanto de contaminación de productos tóxicos por el menor uso de pesticidas contribuyendo así en la conservación del medio ambiente.

La hidroponía es considerada como un sistema de producción agrícola apto para la siembra de hortalizas, plantas ornamentales y medicinales, almácigos, forrajes, producción de algas y semillas certificadas en lugares donde estos productos son de difícil accesibilidad, pudiendo ser posible la obtención de varias cosechas al año y de la misma especie (Malca, 2001).

### **3.7.1 Ventajas y desventajas**

Nuez, Barrios (2004), Barbados (2005) citado por Lacarra y Garcia (2011) señalan que los sistemas de cultivos hidropónicos como cualquier sistema de producción agrícola presentan ventajas y desventajas, las cuales a continuación se mencionan:

#### **a) Ventajas**

- Los cultivos están exentos de problemas fitopatológicos relacionados con enfermedades producidas por hongos del suelo, lo que permite reducir el empleo de sustancias desinfectantes.
- Reducen el costo de energía empleado en las labores relacionadas con la preparación del terreno para la siembra o plantación.
- Mayor eficiencia de agua utilizada, lo que representa un menor consumo de agua por kilogramo de producción obtenida.
- Respecto a los cultivos establecidos sobre un suelo normal, los cultivos hidropónicos aprovechan mejor los nutrientes minerales de manera más eficiente.
- Permite aprovechar suelos o terrenos no adecuados para la agricultura tradicional.

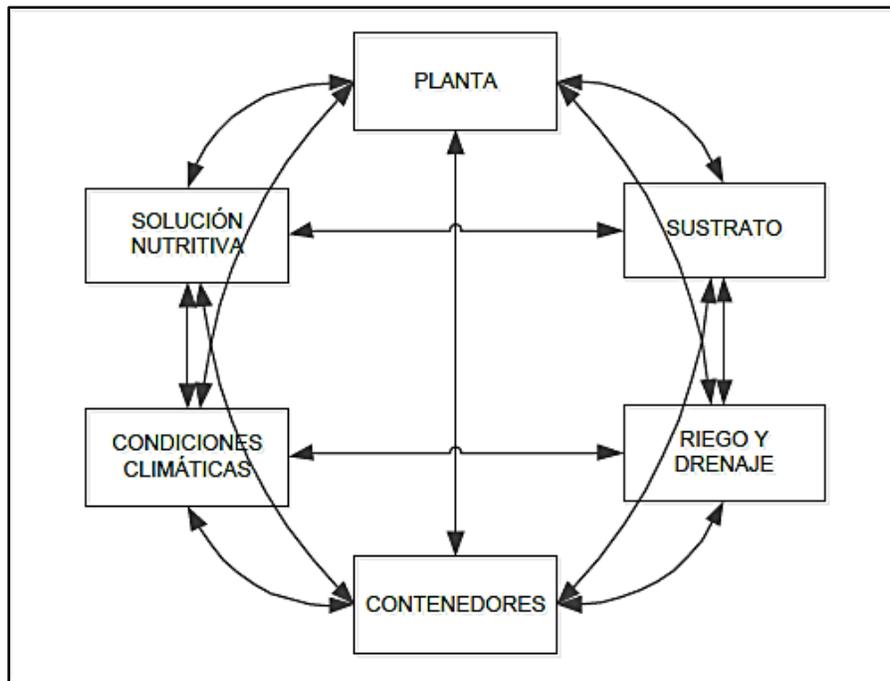
- Producción intensiva escalonada, lo que permite un mayor número de cosechas por año, por tanto, se tiene mayor rendimiento en comparación con los sistemas de producción en suelo.
- Ausencia de malezas.
- Ausencia de plagas y enfermedades en la raíz, al menos inicialmente.

#### **b) Desventajas**

- El costo inicial es elevado por concepto de infraestructura e instalaciones que integran el sistema.
- Se requiere de mano de obra calificada para las diferentes etapas en el proceso de producción.
- Problemas fitosanitarios por el uso del agua de riego de mala calidad.
- Contaminación de acuíferos por manejo inadecuado de agroquímicos.
- Riesgo a la salud humana por el manejo y la aplicación inadecuada de agroquímicos.
- Falta de equipo e insumos nacionales.

### **3.7.2 Componentes de los sistemas hidropónicos**

Rivasplata (2012), indica que los componentes del sistema hidropónico están relacionados unos con otros como se aprecia en la figura 1.



**Figura 1. Componentes del sistema hidropónico**

Fuente: Elaboración propia

De estos componentes podemos agrupar a aquellos que están enfocados con la parte radicular de la planta, estos son; sustrato, contenedor, solución nutritiva, riego y drenaje, de los cuales, al definirlos podremos establecer el tipo de sistema hidropónico a utilizar. Por otro lado, el componente nombrado como condiciones climáticas engloba a la temperatura, la humedad atmosférica y la luz, que son factores indispensables para la vida de las plantas independientemente del sistema hidropónico o no.

### 3.7.2.1 Planta

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

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

- Hortalizas de hoja: Lechuga, acelga, espinaca, col, apio, rúcula, berros.
  - Especies aromáticas: Albahaca, menta, cilantro y perejil.
  
- Hortalizas de flor: Brócoli, coliflor, alcachofa, y otros cultivos.
  - Especies ornamentales: Rosas, anturios, nochebuenas, orquídeas, crisantemos y otros cultivos.
  
- Hortalizas de fruto: Tomate, pimiento morrón, pepino, chile manzano, melón, sandía, calabacín, berenjena y fresa.

### **3.7.2.2 Sustrato**

Sustrato son materiales distintos al suelo que permite la germinación y el anclaje de las raíces de la planta. Los sustratos se clasifican por su origen en:

Sustratos orgánicos:

- Naturales: Sujetos a descomposición biológica, peat-moss y turbas.
  
- Subproductos y residuos de actividades agrícolas, industriales y urbanas: fibra de coco, aserrín, cortezas, virutas de madera, cascarilla de arroz, entre otros.

### Sustratos inorgánicos:

- Naturales: Que se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso y no requieren un proceso de transformación, como la arena del río, arena de minas, arena de mar, gravas y piedra.

**Propiedades físicas**, las propiedades físicas de los sustratos son las más importantes porque deben reproducir las condiciones óptimas para el desarrollo de las plantas. Es importante conocerlas ya que una vez que la planta esté creciendo en él, es muy difícil modificar las características básicas de dicho medio:

- Porosidad total: Es el volumen total del sustrato no ocupado por la fracción sólida, el nivel óptimo se sitúa por encima de un 85%.
- Capacidad de aireación: Es la proporción de volumen del sustrato que contiene aire después de que ha sido saturado con agua y su posterior drenaje, usualmente a 10 cm de tensión.
- Agua fácilmente disponible: Es el volumen de agua que libera el sustrato al aumentar la tensión de 10 a 50 cm de columna de agua de potencial matricial y se considera que en estas condiciones hídricas la planta tiene un crecimiento óptimo.
- Distribución del tamaño de las partículas: Los sustratos pueden estar constituidos por partículas de un solo tamaño o por una mezcla de tamaños distintos. Pueden ser granulares.
- Densidad aparente: Se define como la materia seca en gramos contenida en un cm<sup>3</sup> de sustrato. Los sustratos con valores bajos de densidad aparente son fáciles de manipular.

**Propiedades químicas**, en un sustrato se busca la inactividad química. Se desea que sean estables químicamente, que presenten una baja o nula salinidad y un pH neutro o ligeramente ácido.

El sustrato ideal es un material inerte y estéril, el cual debe proporcionar a la planta un balance adecuado de agua y oxígeno ideal para su mejor crecimiento. Un buen sustrato debe tener porosidad alta, buena capacidad de retención de agua fácilmente disponible, drenaje rápido, buena aireación, baja densidad aparente y estabilidad.

### **3.7.2.3 Contenedor**

Es el que contiene al sustrato y/o solución nutritiva, y por lo tanto, alberga las raíces. Estos deben ser fabricados de materiales inertes que no liberen sustancias tóxicas o reaccionen con la solución nutritiva, prefiriéndose así los de plástico, PVC. Las formas dependen principalmente del sistema hidropónico elegido, destacándose las bolsas y sacos de plástico, macetas, tubos, canaletas, tinas o camas de cultivo construido a medida.

### **3.7.2.4 Solución nutritiva**

Rodríguez et al (2002) indica que, “la solución nutritiva se puede preparar a través de soluciones concentradas, una solución concentrada contiene varios nutrientes en altas concentraciones y no pueden ser suministrados directamente a las plantas. Se toman pequeños volúmenes de la solución concentrada para preparar la solución nutritiva”.

Mientras ciertos investigadores indican que no existe una solución ideal para un cultivo en particular y que las concentraciones de nutrientes a suministrar a los mismos dependen directamente de la etapa de desarrollo en que se encuentre la parte de la planta a cosechar, la calidad del agua, o de las condiciones climáticas en determinada etapa; existe otra corriente con autores que han elaborado soluciones propias

(direccionadas a cultivos específicos y otras especialmente hacia las diferentes técnicas hidropónicas). Es posible encontrar soluciones nutritivas ya preparadas, con diferentes niveles de sales minerales (Guzmán, 2004).

Gilda (2005), menciona que, a través de la disolución de fertilizantes, altamente solubles en agua, se producen elementos minerales esenciales para el cultivo en cualquier etapa de su desarrollo.

Para Lacarra y García (2011), la solución nutritiva debe tener seis macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Estos pueden ser aportados por medio de tres sales inorgánicas: nitrato de calcio, fosfato de potasio y sulfato de magnesio. También es necesaria la presencia de siete micronutrientes: hierro, cobre, zinc, manganeso, boro, molibdeno y cloro.

El mismo autor indica que la cantidad de nutrientes que requieren las plantas depende de la especie, variedad, etapa fenológica y condiciones ambientales.

#### **3.7.2.4.1 Soluciones nutritivas utilizadas en hidroponía**

No existe una solución teórica ideal para un cultivo en particular, ya que la concentración óptima de elementos nutritivos para una especie vegetal en particular, depende de la parte de la planta que se va a cosechar, la estación del año, el clima, la calidad del agua y el estado de desarrollo de la planta (Bautista, 2000).

#### **3.7.2.4.2 pH de la solución nutritiva**

El pH de una solución nutritiva marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones. El pH actúa manteniendo los iones solubles para planta y, por tanto, mejorando la nutrición.

Valores extremos pueden provocar la precipitación de los iones. Con un pH superior a 7,5 puede verse afectada la absorción del fósforo, de hierro y de manganeso; la corrección del pH puede evitar los estados carenciales por lo cual es necesario hacer una lectura diaria (Baixauli y Aguilar, 2002).

#### **3.7.2.4.3 Efecto del pH en cultivos**

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

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

Rodríguez et al (2001), afirma que en un sistema recirculante el pH tiende a elevarse (pH > 7,0) y tiene que ser ajustado a 6,5 añadiendo una solución ácida (ácido nítrico, fosfórico o sulfúrico) a la solución nutritiva. Esto permite que se mantenga el pH dentro de un rango adecuado por mayor tiempo, (es necesario conocer rangos de pH adecuados para los cultivos sin necesidad de ajustar diariamente el pH), ver cuadro 5.

**Cuadro 5. Valores recomendados de CE y pH de soluciones nutritivas**

Cultivo	CE (sD/cm)	pH
Albahaca	1,8 – 2,2	5,5 – 6,5
Apio	2,5 – 3,0	6,0 – 6,5
<b>BERRO</b>	<b>2,5 – 3,0</b>	<b>6,0 – 6,8</b>
Cebolla	1,4 – 1,8	6,0 – 7,0
Col	2,5 – 3,0	6,5 – 7,0
Coliflor	1,5 – 2,0	6,5 – 7,0
Espinaca	1,4 – 1,8	6,0 – 7,0
Lechuga	0,8 – 1,6	5,0 – 6,5
Melón	2,0 – 2,5	5,5 – 6,0
Pepinillo	1,0 – 2,5	5,5 – 6,0
Sandia	1,7 – 2,5	5,8 – 6,2
Tomate	2,0 – 5,0	5,5 – 6,5

Fuente: Rodríguez, Hoyos y Chang (2001)

#### 3.7.2.4.4 Conductividad eléctrica (CE)

Según Álvarez citado por Murillo (2010), la conductividad eléctrica se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura prácticamente no conduce la corriente, sin embargo, el agua con sales disueltas conduce corriente eléctrica.

Por otra parte, Fernández (2014), afirma que la conductividad eléctrica es una forma de medir las sales disueltas en la solución, pero esto no quiere decir que es la sumatoria de las cargas de cada compuesto inicialmente utilizado.

#### **3.7.2.4.5 Conductividad eléctrica de la solución nutritiva**

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de sales disueltas en el agua y el valor se expresa en dS/cm, este valor multiplicado por un factor de corrección 0,7 o 0,9 en función de la calidad del agua, nos permite conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en g/L. La conductividad eléctrica expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica (Baixauli y Aguilar, 2002).

#### **3.7.2.4.6 Efecto de la CE en cultivos hidropónicos**

En los sistemas hidropónicos el manejo de la solución nutritiva es crucial para la obtención, tanto de altos rendimientos, así como la calidad, pues es la vía a través de la cual se proporcionan nutrimentos necesarios para el desarrollo de la planta (Carrasco et al. 2007).

En estas soluciones la conductividad eléctrica (CE) tiene una estrecha relación con la concentración total de sales de la solución nutritiva es un estimador indirecto del potencial osmótico, y determina el crecimiento, rendimiento y la calidad de los cultivos (Bugarín et al., 2003).

#### **3.7.2.4.7 Conductividad eléctrica por cultivo**

Luego del agregado de las sales, al formular la solución, la conductividad dependerá del cultivo y del estado de crecimiento, por ejemplo, la lechuga tiene márgenes bajos para su desarrollo (entre 2-2,5), el tomate tolera valores más altos. Al tener valores más altos de sales disueltas en la solución, la absorción de nutrientes por la planta se ve limitada, repercutiendo en el normal desarrollo del cultivo (Gilsanz, 2007).

En el cuadro 6, se detalla la conductividad eléctrica y la tolerancia a la salinidad para cada cultivo, estos datos deben considerarse al momento de preparar la solución nutritiva.

---

**Cuadro 6. Conductividad eléctrica por cultivo**

Cultivo	CE (sD/cm)	Tolerancia a la salinidad
Arroz	2,0	Moderadamente sensible
Apio	1,2	Moderadamente sensible
Beterraga	2,7	Tolerante
<b>BERRO</b>	<b>1,9</b>	<b>Moderadamente sensible</b>
Cebolla	0,8	Sensible
Espinaca	1,3	Moderadamente sensible
Lechuga	0,9	Moderadamente sensible
Maíz	1,1	Moderadamente sensible
Poroto	0,7	Sensible
Tomate	1,7	Moderadamente sensible
Zanahoria	0,7	Sensible
Zapallo	3,1	Tolerante

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

#### 3.7.2.4.8 Vida útil de la solución nutritiva

La vida útil de la solución nutritiva dependerá de las correcciones oportunas que se hagan durante las lecturas de pH, CE y el nivel de agua (Urey, 2007).

En el cuadro 7, se muestran las cantidades de ácidos y bases para ajustar el pH.

**Cuadro 7. Cantidades de ácidos y bases para ajustar el pH.**

Compuestos	Peso molecular (g/mol)	Cantidad / Litro	C (N)
KOH	56,09	56,09 g	1
HCL (37%)	36,47	82,83 ml	1
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (85%)	98,00	22,70 ml	1
HNO <sub>3</sub> (65%)	63,00	69,23 ml	1
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (85%)	98,00	31,36 ml	1

Fuente: Rodríguez, Hoyos y Chang (2002)

### 3.7.3 Riego y drenaje

Rivasplata (2012), señala que le objetivo central del riego como componente de los sistemas hidropónicos es poner la solución nutritiva a disponibilidad de las raíces de las plantas y satisfacer las necesidades hídricas y de nutrimentos de los cultivos, en el momento adecuado y con la cantidad necesaria.

### 3.7.4 Condiciones climáticas

Rivasplata (2012), indica que las características climáticas de una zona deben analizarse con relación a las necesidades de las plantas a cultivar, principalmente las siguientes:

- **Luz**, de ella depende la mayoría de los procesos biológicos, incluyendo la fotosíntesis. 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.
- **Temperatura**, la temperatura interviene directamente en las funciones de la fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de

agua y nutrientes, transpiración, etc. La temperatura óptima varía según las especies, pero el promedio está comprendido entre 10 a 25 °C.

- **Humedad relativa**, es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene aire y la que tendría si estuviera completamente saturada. La humedad ambiental afecta el metabolismo de la planta, ya que la humedad es demasiado alta el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración, por consiguiente, la absorción de nutrientes; y si es demasiado baja se cierran los estomas de la planta y se reduce la tasa de fotosíntesis. Una humedad relativa alta también tiene influencia sobre la presencia de enfermedades fúngicas.

### **3.7.5 Sistema de producción hidropónica**

Básicamente los sistemas de producción de cultivo hidropónico se pueden clasificar en dos grandes grupos según el tipo de sustrato que utilizan como sigue:

- Sistema hidropónico con sustrato líquido
- Sistema hidropónico con sustrato sólido

Cada uno de estos dos tipos de sistemas hidropónicos cuenta una serie de variantes, que dependen básicamente de la forma en que se dispone el sustrato y el recipiente utilizado para ello. Por ejemplo, en los sistemas hidropónicos con sustrato líquido se encuentran: el sistema de raíz flotante y el sistema recirculante o NFT. Para los sistemas hidropónicos que emplean sustratos sólidos se cuenta con el sistema de canales, sistema de cajuela y el sistema de mangas colgantes (Platax, 2013).

### **3.7.5.1 Sistema hidropónico con sustrato líquido**

Son los sistemas realizados siempre en una disolución nutritiva, sin ningún tipo de anclaje sólido en el cual se desarrolla y vive el aparato radical. De todos los sistemas de cultivo sin suelo es el que más se ajusta al término hidropónico, al menos por su propia etimología (Urrestarazu, 2004).

#### **3.7.5.1.1 Sistema hidropónico de raíz flotante**

En este sistema no se utiliza sustrato sólido; las raíces están sumergidas directamente en la solución nutritiva. Se utiliza láminas de estereofón, a las que se perforan agujeros, en donde se asienta la planta y luego se pone a flotar sobre la solución nutritiva, la cual debe ser aireada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces (Guzmán, 2004).

En este tipo de sistema hidropónico, las plantas están soportadas en una plancha de duroport perforado para permitir el paso de las raíces hacia el medio líquido (solución nutritiva) (DCT y AIT, 2000).

#### **3.7.5.1.2 Técnica del cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT)**

Esta técnica de cultivo en agua consiste en el crecimiento de las plantas, teniendo su sistema radicular dentro de una lámina de plástico, a través de la cual circula continuamente la solución de nutrientes.

La profundidad del flujo líquido que pasa a través de las raíces de la planta debe ser muy pequeño (laminar), de esta forma siempre pueda disponer del oxígeno necesario (Resh, 2001).

### **3.7.5.2 Sistema hidropónico con sustrato sólido**

Son aquellos que utilizan como medio de soporte para la planta, material sólido que presenta cierto grado de porosidad, tamaño apropiado sin bordes cortantes y que sea químicamente inerte para poder llevar a cabo una eficiente interacción de la solución nutritiva en la raíz de la planta, mediante un sistema de riego manual o por goteo (Resh, 2001).

Como sustrato pueden utilizarse material de origen inorgánico o mineral: la piedra volcánica, grava, arena y piedra pómez, como también materiales de origen orgánico, tales como: fibra de coco, carbón vegetal, cascarilla de arroz y cubierta de nuez de macadamia. Incluso se han utilizado materiales artificiales como el poliestireno expandido (Guzmán, 2004).

### **3.7.6 Sistema de riego en hidroponía**

Los sistemas hidropónicos son versátiles, debido a lo práctico que resultan al ofrecer formas eficientes para el manejo del agua y fertilizantes. Los sistemas que pueden implementarse son: riego manual, aspersión basal, sub-irrigación y riego por goteo o localizado. El riego por goteo o localizado constituye un sistema de aplicación de agua al suelo o sustrato a través de unos emisores situados en las tuberías de riego. Mediante estos dispositivos se pone el agua a disposición de la planta, a bajo caudal y de forma frecuente, originando en el sustrato una zona húmeda en el cual se mantiene la humedad constante. En este sistema de riego, además se suministran los fertilizantes y ciertos productos, como insecticidas, fungicidas, herbicidas, disueltos en agua. Está junto a la solución nutritiva, es trasladada desde un embalse a cada planta por una red de tuberías, previo filtrado, hasta el elemento fundamental del sistema que es el emisor, donde se produce una descarga gota a gota (Barbado, 2005).

### **3.7.6.1 Manejo del cultivo**

#### **3.7.6.1.1 Siembra**

Murillo (2010) recomienda que para la siembra de este cultivo se deben seguir los siguientes pasos:

1ro. A la espuma sintética de dos centímetros de espesor se debe realizar huecos de aproximadamente dos milímetros de profundidad, para depositar la semilla.

2do. Posteriormente la espuma sintética se los lava con vinagre para eliminar los elementos tóxicos retenidos por la fabricación de la espuma, y seguidamente se las enjuaga con abundante agua para eliminar el exceso de acidez.

3ro. Sembrar las semillas en los huecos, regar la espuma con agua y cubrir con plástico negro para mantener la humedad; continuar con el microambiente hasta que germinen las semillas en unos tres días.

#### **3.7.6.1.2 Plagas y enfermedades en los cultivos hidropónicos**

Sandoval (2004) señala, el producir plantas en cultivo hidropónico puede reducir la incidencia de un gran número de enfermedades que se encuentran asociadas al suelo. De esta forma, el utilizar esta modalidad de producción puede constituir una alternativa de control de estas patologías. Sin embargo, es importante asegurar que el agua de riego o el sustrato empleado no se encuentren contaminados, ya que, en el caso contrario, la gravedad e incidencia de la enfermedad puede ser mucho mayor que lo que ocurriría en un cultivo tradicional en suelo. El mismo autor indica también, que las condiciones de alta humedad existentes en este tipo de producción (más aún si ella se realiza dentro de un invernadero) pueden ser propicias para la infección, desarrollo y diseminación de muchos organismos fitopatógenos como hongos, bacterias y virus.

## 4 LOCALIZACIÓN

### 4.1 Ubicación geográfica

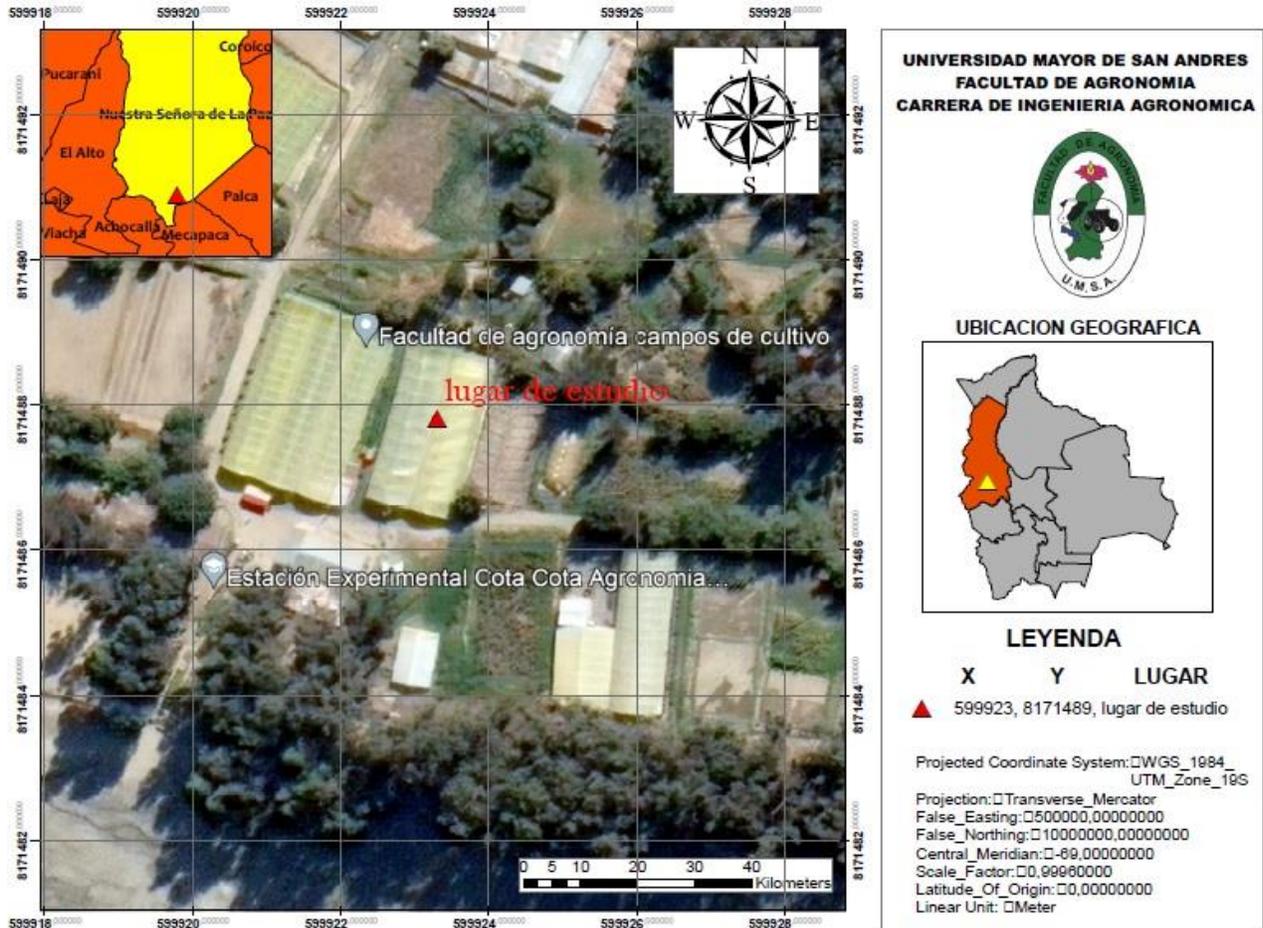


Figura 2. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

Fuente: Elaboración propia

El trabajo de investigación se desarrolló en el Centro Experimental Cota Cota de la Facultad de Agronomía dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés, en el departamento de La Paz – Bolivia, a 16°32'04" de latitud sur, 68°03'44" de longitud oeste del Meridiano de Greenwich y 3445 m.s.n.m.

Las condiciones climáticas son de cabecera de valle con veranos calurosos y temperatura promedio de 21°C, en la época invernal la temperatura puede bajar hasta 2°C incluso llegar hasta 1°C, en los meses de agosto y noviembre se presentan vientos fuertes con dirección este, la temperatura media es de 13,5°C, con una precipitación pluvial de 400 mm, las heladas se manifiestan en 15 días de los años con temperaturas por debajo de 0°C, la humedad relativa media es 46% (SENAMHI, 2021).

#### 4.1.1 Suelo

La comunidad presenta en las zonas de colina suelos muy superficiales, limitados por el contacto lítico, con muy poco desarrollo genético. Es de textura franco-arenosa. Presenta grava, grava pequeña y regular materia orgánica. Los suelos de la planicie son más profundos (0,20 m – 0,40 m) aptos para la agricultura intensiva. Existe menor proporción de terrazas naturales formadas a niveles anteriores a la planicie; y generalmente son destinadas a la explotación agrícola.

#### 4.1.2 Vegetación y pecuaria

Está comprendida por árboles como eucaliptos (*Eucalyptus globulus*), pinos (*Pinus radiata*) y ciprés (*Cupressus sp*). Arbustos: acacia (*Acacia sp*), retama (*Spartium junceum*) y chilca (*Baccharis salicifolia*) entre otros. El centro experimental se dedica a la producción agrícola, pecuaria (ganado menor) y apícola.

La producción agrícola se realiza a campo abierto mediante la rotación de cultivos y comprende: maíz, papa, haba, arveja, cebolla, beterraga ente otros. En ambiente protegido (carpas solares) la producción es hortofrutícola: frutilla, pepinillo, tomate, lechuga y otros de acuerdo a los trabajos de investigación que se desarrollen. La producción pecuaria comprende la crianza y manejo de aves (gallinas ponedoras y pollos de engorde), porcinos, cuyes y conejos.

## **4.2 Características del invernadero**

El invernadero donde se realizó la investigación es de dos aguas, su estructura es mayormente metálica y en menor parte de madera, a los costados y el posterior presentan ventanas cubiertas por malla semisombra que regulan la temperatura y la humedad relativa dentro del ambiente. El invernadero está recubierto por agrofilm de color amarillo. El área del invernadero es de 16 m<sup>2</sup>.

El invernadero es hortícola la cual tiene dos propósitos y se encuentra dividida longitudinalmente para cada propósito, en un sector se encuentra un cultivo intensivo tradicional de lechugas con un sistema de riego por goteo y en el sector continuo se encuentran las pirámides y piscinas hidropónicas, este último sector es el destinado para investigaciones con diversidad de hortalizas.

## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Materiales

#### 5.1.1 Material vegetal

El material vegetal que se implementó en la investigación fueron dos variedades comerciales de Berro:

- **Berro de agua mejorado** (*Nasturtium officinale* var. *Water cress*), es una variedad muy exigente en agua. Mantiene el suelo siempre muy mojado. Es una variedad vigorosa y frondosa con hojas pequeñas y numerosas, de coloración verde oscura. Presenta agradable sabor para consumo en ensaladas. La germinación ocurre entre 4 y 10 días. La cosecha se inicia a los 50 días después de la siembra.

Feltrin Sementes Ltda. (Porto Alegre - Brasil).

**Ver anexo 1: Morfología del berro de agua mejorado.**

- **Berro hortense mejorado** (*Nasturtium officinale* var. *Barbarea verna*), Una planta que forma una roseta de hojas gruesas. Es una variedad vigorosa, altamente productiva y uniforme. Produce hojas redondeadas y tiernas con un sabor picante. Indicada para el cultivo durante todo el año, con mejor adaptación en temperaturas suaves y frías. Puede ser utilizado en cultivo hidropónico.

AgriStar do Brasil Ltda. (Campinas - Brasil).

**Ver anexo 2: Morfología del berro hortense mejorado.**

Las cantidades de semilla usadas de ambas variedades se especifican en el cuadro 8.

**Cuadro 8: Cantidad de material biológico**

Semilla	Unidad	Cantidad
<i>Nasturtium officinale</i> var. <i>Water Cress</i>	mg	300
<i>Nasturtium officinale</i> var. <i>Barbarea verna</i>	mg	300

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.2 Material químico foliar

El material químico foliar aplicado es un regulador de crecimiento vegetal:

- **X-CYTE**, es un concentrado soluble, regulador de crecimiento vegetal a base de citoquininas que promueve la división celular en todo tejido nuevo (hojas y frutos) con la finalidad de incrementar el tamaño de las hojas y el calibre de los frutos.

Dosis recomendada; 25 – 50 ml / mochila de 20 Lts.

STOLLER Perú S.A. (Lima - Perú).

Según las recomendaciones del agroquímico en base a las dosis máximas y mínimas, se tomó bajo el criterio de seguridad, 3 dosificaciones dentro del rango establecido como:

- Mínima (0,25 ml x 0,2 lts de agua x m<sup>2</sup>)
- Intermedia (0,37 ml x 0,2 lts de agua x m<sup>2</sup>)
- Máxima (0,5 ml x 0,2 lts de agua x m<sup>2</sup>)

Considerando que el área de trabajo es una pirámide hidropónica, se transformaron las unidades de dosificación para 0,2 litros de agua por metro cuadrado, las cuales en dosificación llegan a ser; (0,25 ml - 0,37 ml - 0,5 ml) por m<sup>2</sup>.

### **Ver anexo 3: Fitohormona a base de citoquinina (X-CYTE)**

#### **5.1.3 Material de campo**

El material de campo que se utilizó para la limpieza y funcionalidad del sistema hidropónico NFT fueron los siguientes: picota, pala, rastrillo, estacas, martillo, nivel de burbuja y estropajos con lavandina.

Se utilizó cinta aislante de color azul para delimitar los tratamientos, cámara fotográfica, libreta de campo y atomizadores.

#### **5.1.4 Materiales para el acondicionamiento del sistema hidropónico**

El material de acondicionamiento del sistema hidropónico NFT fueron los siguientes: lona color azul, remaches, remachadora y taladro.

Puesto que el sistema hidropónico de recirculación ya existía para propósitos de investigación, el sistema existente cuenta con un armazón de metal, conexión de tuberías y accesorios para direccionar el sistema de riego re-circulante, llave de paso, temporizador, bomba de agua y tanque de 1200 litros de capacidad.

#### **5.1.5 Material químico líquido**

El material químico líquido es una solución nutritiva a base de; (16-16-16) NPK, Nitrato de Amonio, Nitrato de Calcio, Nitrato de Potasio, Sulfato de Magnesio, Quelato de

Hierro y micro nutrientes (Triada S.A. - Colombia), como una solución estándar de hortalizas.

### **5.1.6 Materiales de control**

Los materiales que se manipularon fueron; termómetro (de máximas y mínimas) para cuantificar la variación del ambiente dentro de la carpa solar, pH-metro y conductímetro para registrar el progreso de la solución nutritiva. Entre otros materiales que fueron empleados como una balanza de precisión SF-400C (300,00 ± 0,01) g, flexómetro (5 m) y regla milimétrica (60 cm).

### **5.1.7 Material de escritorio**

Se empleó una computadora portátil, los programas Excel e Infostat para el análisis estadístico de los datos registrados de cada variable de respuesta propuesto y para el cálculo de Análisis de Varianza y su prueba de significancia. Cuaderno de campo, planillas de registro y paquete Office.

## **5.2 Metodología**

Zorrilla y Torrez citado por Terrazas (2013) mencionan, la metodología es un orden, un camino. La metodología no surge como una especulación aislada de la investigación de los objetos, sino que se va desarrollando conjuntamente con la investigación. De ahí que el método tenga una relación directa con la estructura del conocimiento humano; lo que proporciona el fundamento de validez a las teorías metodológicas.

Las actividades se agrupan en dos etapas, la primera consistió en el acondicionamiento del sistema hidropónico y la segunda correspondió al manejo del cultivo (actividades de invernadero).

El la figura 3 se detalla en un flujograma el seguimiento de la metodología de la investigación realizada.

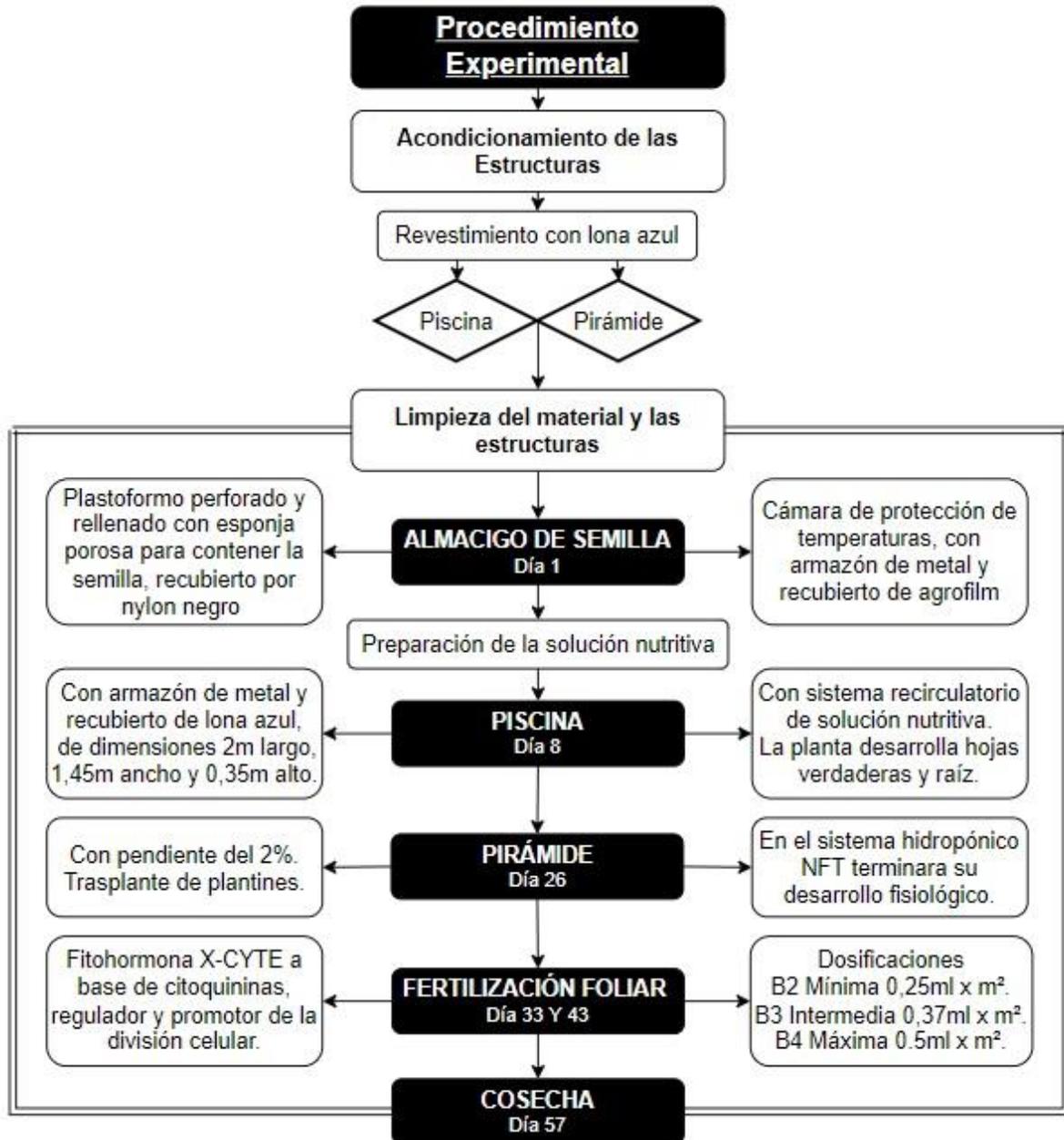


Figura 3. Metodología de la investigación

Fuente: Elaboración propia

## **5.2.1 Procedimiento experimental**

### **5.2.1.1 Acondicionamiento del sistema hidropónico**

Para el desarrollo de la investigación el Centro Experimental de Cota Cota, proporcionó un ambiente protegido en la cual utilizamos la mitad de un sistema hidropónico piramidal (NFT), el cual ya existía.

**a) Acondicionamiento de la pirámide:** Las pirámides existentes son de medio tubo utilizado como canal y protegido con lona blanca, eso facilita la cosecha, y la observación de las raíces y la limpieza del sistema hidropónico.

El acondicionamiento se llevó a cabo incrementando una lona azul debajo de la lona blanca, esto para evitar el paso de luz hacia las raíces y evitar la proliferación de algas que se aferren a las raíces y obstruyendo el sistema hidropónico.

**Ver anexo 4: Acondicionamiento de pirámide y componentes del sistema NFT**

### **5.2.1.2 Almacigo de semilla**

Para el área de almacigo de semilla de berro:

Ya existía una cámara para proteger los almácigos del calor excesivo y/o de bajas temperaturas, esta cámara tiene un armazón de metal y esta recubierto de agrofílm, las dimensiones son de 1,10 m x 0,93 m x 0,60 m de forma rectangular.

- Se corto esponjas obteniéndose piezas de 2 cm x 2 cm x 3 cm, luego se procedió a lavarlas con vinagre para eliminar los restos químicos propios de su fabricación, luego se enjuago con abundante agua para eliminar el vinagre, quedando listo para la siembra.

- Se acomodaron las piezas de esponja lavadas y enjuagadas en 3 bandejas que median 37 cm de largo y 27 cm de ancho, ya perforadas para el encaje de las piezas de esponja.
- En el sustrato ya húmedo se realizó la siembra dejando caer 5 semillas en cada hoyo de cada pieza, el sustrato es poliuretano (esponja).
- Luego se envuelve con agrofilm negro para mantener la temperatura y humedad hasta su emergencia, posteriormente se destapo del agrofilm y se llevó las bandejas de plastofomo a la piscina, en el cual la plántula crecería hasta lograr mínimamente 5 cm de altura para el trasplante definitivo.

### **Ver Anexo 5: Procedimientos para el almacigo**

#### **5.2.1.3 Piscina**

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

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

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

### **Ver Anexo 6: Paso a piscina y crecimiento**

#### **5.2.1.4 Pirámide hidropónica**

##### **5.2.1.4.1 Pendiente**

Según Resh (2001), en el sistema de NFT la pendiente debe tener entre 1,5% a 2,5%, dependiendo al tipo de cultivo y al largo de la carpa. El tránsito y la circulación de la solución debe ser lo más favorable posible para obtener buenos rendimientos, no debe ser muy rápida pues afectaría en la asimilación de nutrientes de las raíces; no debe ser muy lenta pues provocaría el encharcamiento y precipitación de la solución, lo cual tendría como consecuencia la falta de oxigenación de las raíces y la presencia de enfermedades y algas en los cultivos.

Terminando el acondicionamiento y reparación de la infraestructura se usó una pendiente de 2% para un largo de 6,96 m.

##### **5.2.1.4.2 Trasplante a pirámide**

Se realizó el trasplante después de 26 días de haber almacigado la semilla y que los plantines tuvieron alrededor de 2 a 3 hojas verdaderas en piscina, se trasladó cada plantín en los diferentes canales, tomando cuidado de que toda la raíz entre y este en contacto con la solución recirculante aquí permanecerá hasta la cosecha.

##### **5.2.1.4.3 Aplicación del fertilizante foliar a base de citoquininas**

Se aplicó las diferentes dosis ya disueltas en agua potable a los 33 días y la segunda aplicación a los 43 días, tomando en cuenta que para la cosecha esté libre de agroquímicos y proporcionar una cosecha de calidad.

**Ver Anexo 7: Trasplante a pirámide, crecimiento y dosificación con fertilizante foliar**

## **5.2.1.5 Proceso productivo o manejo del cultivo**

### **5.2.1.5.1 Formulación de las soluciones nutritivas**

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

#### **5.2.1.5.1.1 Análisis del agua**

De acuerdo a Resh (2001), se recomienda usar agua de uso humano para cultivos hidropónicos, cuidando de que este no tenga concentraciones de hipoclorito de sodio que sea perjudicial para el cultivo. Para tal fin se realizó análisis químico del agua.

**Ver Anexo 8: Análisis químico del agua**

#### **5.2.1.5.1.2 Formulación nutricional del cultivo de Berro**

Para el requerimiento del cultivo de Berro se utilizó una fórmula generalizada para cultivos de hoja, de acuerdo a Murillo (2020) en base a Resh (2001) y Cabezas (2012).

La capacidad del tanque es de 1200 L y el cultivo utiliza un promedio de 300 L, se preparó la solución para los 1200 L considerando que existen otros cultivos hidropónicos de hoja en otras pirámides y con el mismo sistema hidropónico, se prepara una sola solución generalizada.

**Ver Anexo 9: Elementos de la solución nutritiva**

**Cuadro 9: Formulación nutricional**

Composición	Fertilizante	Requerimiento en g
<b>Solución Concentrada “A”</b>	16 – 16 – 16	859,19
	Nitrato de Amonio	245,40
	Nitrato de Potasio	354,78
<b>Solución Concentrada “B”</b>	Quelato de Hierro	5,98
	Sulfato de Magnesio	348,23
	Cosmoquel Menores	120
<b>Solución Concentrada “C”</b>	Nitrato de Calcio	1111,58

Fuente: Murillo (2020)

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

- Se desinfecto el tanque con lavandina, así quitando cualquier impureza que comprometa el sistema hidropónico.
- Mientras se va evaporando la lavandina, se procede al pesado de los fertilizantes y disuelto por separado.
- Una vez que la lavandina se evaporó, se realizó el llenado del tanque hasta el nivel de 600 L, tomado en cuenta que el sistema de retorno está cerrado permitiendo así que el agua recircule en el mismo tanque, optimizando la mezcla de las soluciones.
- Se comienza a verter una por una los fertilizantes ya disueltos de la solución concentrada “A”, se aumenta la cantidad de agua hasta el nivel de 900 L y se incorporan los fertilizantes ya disueltos de la solución concentrada “B”.

- Para el último paso se llena el tanque hasta el nivel de 1200 L, vertiendo el último fertilizante disuelto que es el Nitrato de Calcio perteneciente a la solución concentrada "C", el Nitrato de Calcio se aplica al final, debido a que la mezcla directa de sulfatos y nitratos reaccionan dando paso a la precipitación de los fertilizantes.
- Una vez mezclada la solución final se activa el sistema hidropónico.

#### **5.2.1.5.1.3 Manejo del pH de la solución**

Según Resh (2001), el pH recomendado para la producción de las hortalizas y "La Guía del Huerto Hidropónico" (2000), es de 6,0 a 6,5 valor adecuado para la absorción de nutrientes por las plantas, y para absorción óptima del cultivo del berro es de 6,0 a 6,8 de pH.

En el experimento realizado el pH fue de 6,46 al momento de preparar la solución, respecto al manejo del pH se midió cada vez que en el tanque el volumen de la solución descendía 300 L, dando un pH de 5,8 y se calibraba el pH aumentando agua no más de 150 L así manteniendo el pH en el rango óptimo para el cultivo.

#### **5.2.1.5.1.4 Manejo de la conductividad eléctrica de la solución**

Según Resh (2001), cuando la conductividad eléctrica baja a menos de 800 ds/cm, empiezan a presentarse deficiencias nutricionales, como moteado de las hojas, quemaduras en las puntas de raíces y otras. Por tanto, se debe cambiar de solución cuando la conductividad eléctrica descienda a los 800 ds/cm.

En el experimento realizado, la conductividad eléctrica de la solución, inicialmente fue de 1883 ds/cm, a una temperatura de solución de 18,7°C medidos en el tanque,

aproximadamente lleva 14 a 16 días en los cuales la conductividad eléctrica desciende a 800 ds/cm.

#### **5.2.1.5.1.5 Manejo de temperatura**

##### **a) Temperatura del invernadero**

Se registraron datos de la temperatura cada día considerando máximas y mínimas. De tal manera que se pudo observar que las temperaturas del interior del invernadero fueron diferentes a comparación de la parte externa del invernadero, alcanzando una máxima de 41,4°C y una mínima de 5,94°C.

##### **b) Temperatura de la solución**

El promedio de la temperatura de la solución nutritiva fue de 18,6°C dato que fueron tomados a medio día, los mismos que no afectaron al cultivo.

#### **5.2.2 Diseño experimental**

Para el análisis e interpretación de los datos tomados se empleó el Diseño Experimental Bloques al Azar con arreglo Bifactorial con 4 repeticiones.

##### **5.2.2.1 Modelo lineal estadístico**

Según Calzada (2010), para el Diseño Bloques Completos al Azar se ha empleado el siguiente modelo aditivo para el análisis estadístico:

$$X_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij} - \epsilon_{ijk}$$

$X_{ijk}$  = Una observación cualquiera

---

$\mu$  = Media general

$\beta_k$  = Efecto del k-esimo bloque

$\alpha_i$  = Efecto del i-esimo nivel del factor A

$\gamma_j$  = Efecto del j-esimo nivel del factor B

$(\alpha\gamma)_{ij}$  = Interacción del i-esimo nivel de A con el j-esimo nivel de B

$E_{ijk}$  = Error experimental

#### 5.2.2.2 Factores de estudio

Variedad (A):        A1= Berro de Agua (*Water cress*) (mejorado)

                          A2= Berro Hortense (*Barbarea verna*) (mejorado)

Dosificación (B):    B1= Testigo sin aplicación

                          B2= Dosis Mínima (0,25 ml de citoquinina x 0,2 Lts x m<sup>2</sup>)

                          B3= Dosis Intermedia (0,37 ml de citoquinina x 0,2 Lts x m<sup>2</sup>)

                          B4= Dosis Máxima (0,5 ml de citoquinina x 0,2 Lts x m<sup>2</sup>)

### **5.2.2.2.1 Tratamientos**

Los factores mencionados anteriormente fueron distribuidos al azar en 8 tratamientos, como se muestra a continuación:

Tratamiento 1 = A1B1 = Berro de Agua x Testigo sin aplicación

Tratamiento 2 = A2B1 = Berro Hortense x Testigo sin aplicación

Tratamiento 3 = A1B2 = Berro de Agua x Dosis Mínima (0,25 ml citoquinina x m<sup>2</sup>)

Tratamiento 4 = A2B2 = Berro Hortense x Dosis Mínima (0,25 ml citoquinina x m<sup>2</sup>)

Tratamiento 5 = A1B3 = Berro de Agua x Dosis Intermedia (0,37 ml citoquinina x m<sup>2</sup>)

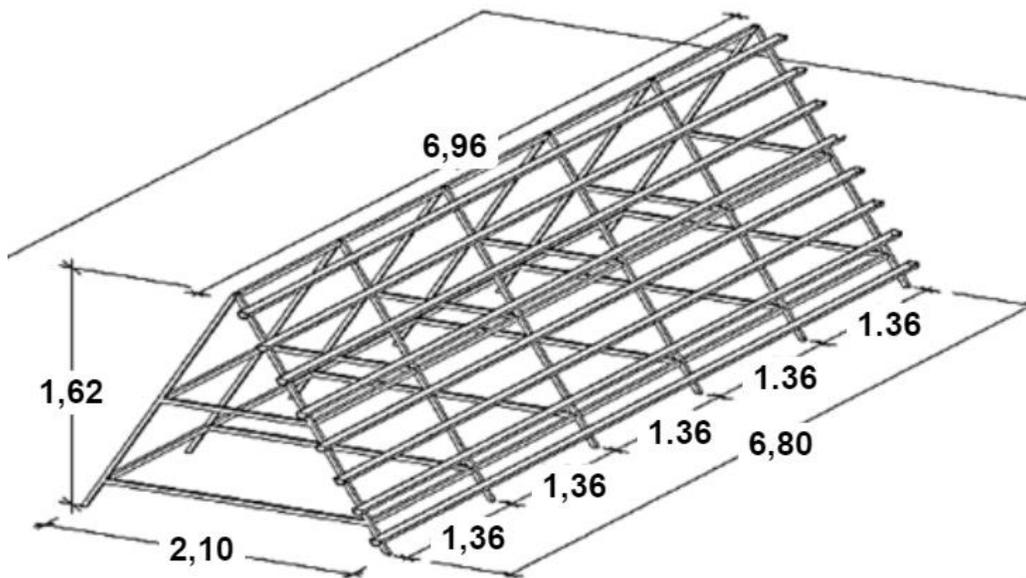
Tratamiento 6 = A2B3 = Berro Hortense x Dosis Intermedia (0,37 ml citoquinina x m<sup>2</sup>)

Tratamiento 7 = A1B4 = Berro de Agua x Dosis Máxima (0,5 ml citoquinina x m<sup>2</sup>)

Tratamiento 8 = A2B4 = Berro Hortense x Dosis Máxima (0,5 ml citoquinina x m<sup>2</sup>)

### **5.2.2.3 Dimensiones del sistema hidropónico NFT**

En la figura 4 se detalla las dimensiones de la estructura hidropónica (NFT), en el cual se observan detalladamente las dimensiones de la pirámide hidropónica.



**Figura 4. Dimensiones del sistema hidropónico NFT**

Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones de la estructura hidropónica NFT presentadas en la figura 4, se detallan a continuación:

- Superficie utilizada dentro de la carpa 14,28 m<sup>2</sup>
- Largo del canal del sistema NFT 6,96 m
- Largo de la base piramidal 6,80 m
- Ancho de la base piramidal 2,10 m
- Altura de la pirámide hidropónica 1,62 m
- Intervalo entre secciones estructurales 1,36 m

#### 5.2.2.4 Croquis experimental

En la figura 5 se señala el esquema de los 8 tratamientos y los 4 bloques utilizados. Debido a que se trabajó en un lado de la pirámide las medidas del área experimental son; ancho 1,70 m y largo 6,96 m, dando un área experimental de 11,8 m<sup>2</sup>. Cabe recalcar que el ancho del área experimental está en diagonal.



**Figura 5. Croquis Experimental**

Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.2.5 Variables de respuesta de desarrollo

##### A) Longitud de la raíz (cm)

Para obtener los datos de esta variable se utilizó una regla metálica milimétrica, se midió desde el cuello de la planta hasta el ápice radicular.

##### B) Altura de la planta (cm)

Para el registro de esta variable se utilizó una regla metálica milimétrica, se midió desde el cuello de la planta hasta el ápice de la planta.

### C) Número de hojas (nº)

Para la obtención de este dato se realizó un conteo manual y metódico de las hojas verdaderas por planta. Se tomo cuatro plantas por unidad experimental de las dos variedades

### D) Índice de área foliar (m<sup>2</sup>)

Watson citado por Mahamat (2022), mencionan que el índice de área foliar (IAF) es el total de área de una cara del tejido fotosintético por la unidad de superficie del terreno.

Una manera más practica y fácil de entender este concepto consiste en verlo como la representación de la cantidad de superficie foliar (m<sup>2</sup>) que se encuentra en una determinada superficie del terreno (m<sup>2</sup>) (Aguirre-Salado *et al.*, 2011).

El mismo autor indica que, para calcular el índice de área foliar, primero se calcula el Área Foliar (AF), se toman medidas del largo y ancho de las hojas al azar, se obtiene un promedio y se multiplica por el factor de corrección (0.75), y a la vez se multiplica por el número de hojas de la planta, posteriormente se aplica la formula a continuación:

$$IAF = \left\{ \frac{(\text{Área Foliar})(\text{Densidad de Población})}{\text{Área Sembrada}} \right\}$$

En el estudio presentado, para el índice de área foliar se tomaron los datos manualmente en el conteo de hojas, y para medir las dimensiones de las hojas se utilizó una regla milimétrica.

### **5.2.2.6 Variables de respuesta de rendimiento**

#### **A) Peso fresco (g)**

Se cosecharon ambas variedades de berro al mismo tiempo, el instrumento que se manipulo para medir el peso fue una balanza de precisión.

#### **B) Rendimiento (Kg/m<sup>2</sup>)**

Para su evaluación se pesaron todas las plantas muestreadas de cada tratamiento después de la cosecha. La unidad utilizada fue: g/m<sup>2</sup>, la cual se transformó a kg/m<sup>2</sup>, considerando el total de las plantas por unidad experimental.

### **5.2.2.7 Variables económicas**

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

- **Beneficio bruto (Bs/Kg/m<sup>2</sup>)**

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

- **Costos variables (Bs)**

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

- **Costos fijos (Bs)**

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

- **Costos totales (Bs)**

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

- **Beneficio neto (Bs)**

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

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

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

La regla básica del beneficio/costo B/C, es que una inversión será rentable, si los beneficios son mayores que la unidad ( $B/C > 1$ ), si es igual a la unidad ( $B/C = 1$ ) no existe pérdida ni ganancia y no es rentable si es menor a la unidad ( $B/C < 1$ ). (Proinpa, 2004).

## 6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

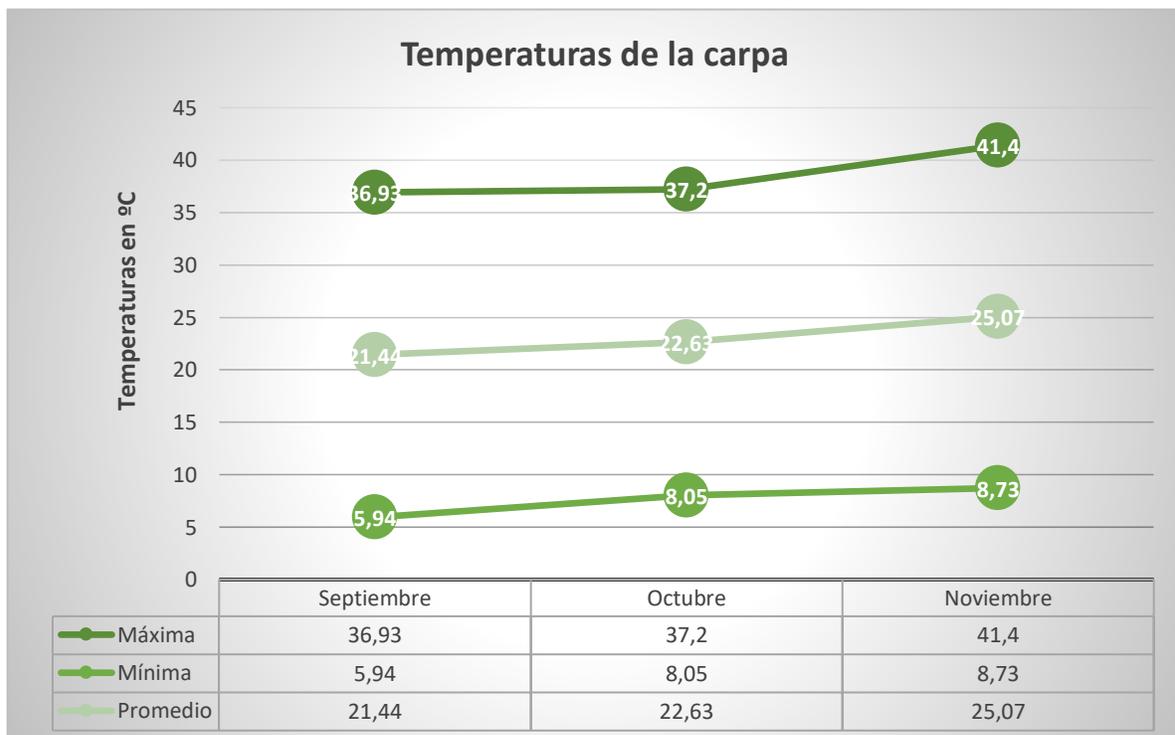
Los resultados que se muestran a continuación, reflejan el efecto de los factores estudiados en el presente trabajo de investigación.

### 6.1 Comportamiento de la temperatura en el invernadero

Las temperaturas registradas en la carpa solar son tomadas constantemente, sin embargo, solo se tomaron en cuenta los datos de temperatura desde la siembra que fue el 10 de septiembre hasta la cosecha que fue el 5 de noviembre de 2021.

En la gráfica 1, se observan las fluctuaciones existentes durante la investigación en el desarrollo del cultivo al interior de la carpa solar entre los meses de septiembre, octubre y noviembre.

Gráfico 1. Temperaturas máximas y mínimas



Fuente: Elaboración propia

## **Ver Anexo 10: Registro de temperaturas máximas y mínimas**

En el tiempo de desarrollo del experimento no se observaron efectos negativos por parte de las plantas, es decir que las plantas se mantuvieron totalmente tolerantes a las temperaturas altas y bajas durante todo su ciclo vegetativo.

Para el desarrollo fisiológico adecuado del cultivo de berro las temperaturas medias óptimas deben ser de 10°C a 24°C, la máxima de 32°C y la mínima de 5°C (Maroto, 2002).

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

## **6.2 Variables de respuesta para el desarrollo**

### **6.2.1 Longitud de la raíz (cm)**

En el cuadro 10, se detallan los resultados del análisis de varianza para la longitud de raíz en el sistema (NFT) por el efecto de tres dosificaciones y dos variedades de berro (*Water cress* y *Barbarea verna*).

**Cuadro 10. Análisis de varianza para la longitud de la raíz en el sistema (NFT)**

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	Significancia
Bloque	3	4,97	1,66	1,45	0,2532	<b>NS</b>
“A” Variedades	1	49,50	49,50	43,36	0,0001	<b>**</b>
“B” Dosis	3	96,23	32,08	28,10	0,0001	<b>**</b>
“A*B” Variedades*Dosis	7	150,70	21,53	18,86	0,0001	<b>**</b>
“EE” Error Experimental	24	27,40	1,14			
Total	31	178,10				

Fuente: Elaboración propia

**CV = 4,38%**

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que, en los bloques el resultado fue no significativo, eso nos indica que no hubo discrepancia entre bloques, es decir que entre variedades y dosis de distintos bloques los resultados fueron similares.

Respecto a las variedades el resultado fue altamente significativo, eso es debido a la morfología y fisiología de las variedades de berro, siendo el berro de agua (*Nasturtium officinale* var. *Water cress*) una variedad que tiene una raíz fibrosa en su morfología básica, al igual que la variedad (*Nasturtium officinale* var. *Barbarea Verna*) berro hortense.

Según Megías et al., (2019), indican que la velocidad de crecimiento o elongación de las raíces depende de las condiciones ambientales como humedad, temperatura, estación del año y especie de la planta.

El mismo autor indica que, el tamaño de la raíz se ve directamente afectado por el tamaño de la planta y el proceso fotosintético, debido a que existe una relación directa entre el tamaño de las plantas y el desarrollo de la raíz, entre mayor sea el tamaño de la planta esta requiere de un sistema radicular más desarrollado para transportar más sustancias.

Así también para las dosis el resultado fue altamente significativo, esto indica que la dosificación mínima, intermedia y máxima con fertilizante foliar a base de citoquinina, fueron efectivos para el desarrollo de la raíz de la planta del berro, esto señala que hubo una respuesta positiva a la señal de la fitohormona a base de citoquinina.

Segura (2008), afirma que las pruebas experimentales disponibles muestran que no todas las células y tejidos tienen la capacidad para sintetizar hormonas, en general, los lugares principales de biosíntesis son los ápices meristemáticos de tallos y raíces, primordios de órganos vegetativos, o reproductores y semillas en desarrollo.

Para la interacción variedad y dosificación, dio como resultado altamente significativo, lo que indica que ambos factores actuaron de manera adjunta para el desarrollo de la raíz de la planta del berro.

En el cuadro 10 el resultado del coeficiente de variación es de 4,38%, lo que indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

Según Arteaga (2013), indica que para el manejo en ambientes atemperados, si el coeficiente de varianza tiene un rango por encima del 15%, hubo un mal manejo de las unidades experimentales, si se encuentra por debajo del 15%, hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Cuadro 11: Test Duncan al 5% para el Factor “A” Variedades (Longitud de raíz)**

FACTOR “A” VARIEDADES			
VARIEDAD	Promedio (cm)	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
A1 ( <i>Water cress</i> )	25,64	0,27	A
A2 ( <i>Barbarea verna</i> )	23,16	0,27	B

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para variedades en el cuadro 11, demuestra que la variedad de Berro (*Water cress*) presentó una mayor longitud de raíz con un promedio de 25,64 cm, lo que infiere que esta variedad presenta un crecimiento mayor en relación a la variedad de Berro (*Barbarea verna*) que presentó menor longitud de raíz con un promedio igual a 23,16 cm.

Los resultados nos indican que cumple el fundamento de Megías et. al (2019), en el que, el tamaño de la raíz se ve directamente afectado por el tamaño de la planta y el proceso fotosintético.

En el cuadro 11, también nos reitera que entre variedades (*Barbarea verna*) y (*Water cress*) son significativamente diferentes. En este sentido, se puede deducir que la diferencia entre las longitudes de raíz es propia de cada genotipo; respecto al fenotipo, el cuidado fue homogéneo para ambas variedades.

**Cuadro 12: Test Duncan al 5% para el Factor “B” Dosis (Longitud de raíz)**

FACTOR “B” DOSIS			
DOSIFICACIÓN	Promedio (cm)	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
B4 (Máxima) (0.5 ml)	26,25	0,38	A
B3 (Intermedia) (0,37 ml)	25,54	0,38	A
B2 (Mínima) (0,25 ml)	24,10	0,38	B
B1 (Sin aplicación)	21,71	0,38	C

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para Dosis en el cuadro 12, demuestra que la dosificación foliar a base de citoquininas, dosis B2, B3 y B4, son significativamente diferentes a la dosis B1 la cual es sin aplicación de la fitohormona que al mismo tiempo sirvió como testigo en la investigación. El mismo cuadro nos infiere que la aplicación del fertilizante foliar afecta positivamente al desarrollo de la raíz.

Azcón-Bieto y Talón (2008), dan a conocer que los principios básicos que regulan la percepción y la traducción de las señales hormonales son tres: rapidez, sensibilidad y especificidad. Todas estas propiedades están, a su vez, controladas por la interacción de una red de elementos que actúan de forma positiva o negativa. Por tanto, los sistemas de transducción hormonal no deben ser contemplados como meras cadenas lineales de causa y efecto.

Observando los resultados del cuadro 12, se precisó que la dosis B1 (sin aplicación) la cual se determinó como testigo para la investigación, presentó una longitud de raíz de promedio 21,71 cm, la cual fue la medida base para la longitud de raíz.

La dosis B2 (Mínima de 0,25ml x m<sup>2</sup>) presentó una longitud de raíz de promedio 24,1 cm que es significativamente diferente a la dosis B1 (sin aplicación), así también la

dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) es significativamente diferente de las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>).

La dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) presentó una longitud de raíz de promedio 25,54 cm, que es significativamente diferente a la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) y axiomáticamente a la dosis B1 (sin aplicación), sin embargo, la dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) no son significativamente diferentes.

La dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) presentó una longitud de raíz de promedio 26,25 cm, que es significativamente diferente a la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) y axiomáticamente a la dosis B1 (sin aplicación), sin embargo, la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) y la dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) no son significativamente diferentes.

Segura (2008), afirma que las citoquininas, como las restantes hormonas vegetales, ejercen multitud de efectos sobre el desarrollo de las plantas. No obstante, y dado que las interacciones, sinérgicas y antagónicas, entre auxinas y citoquininas son la base para explicar una serie de procesos fisiológicos, entre ellos la regulación de la división celular.

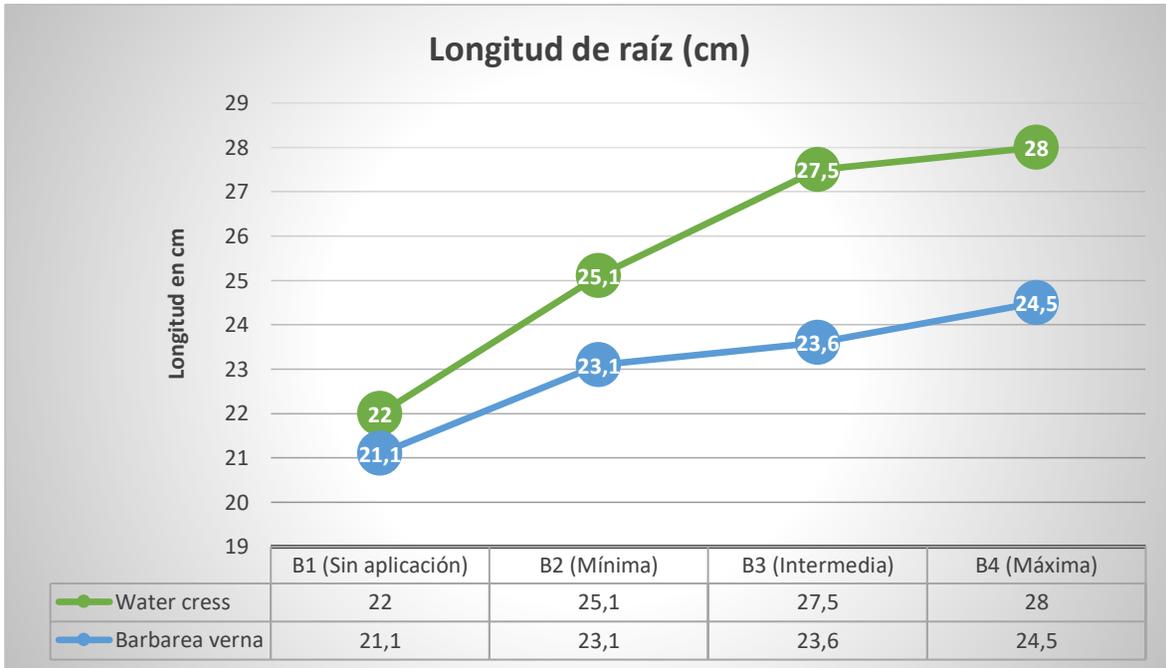
Azcón-Bieto y Talón (2008), mencionan que la acción de las auxinas en el desarrollo vegetal no es una acción aislada, también influyen otras hormonas como el etileno, las giberelinas y las citoquininas. La respuesta a nivel celular (alargamiento o elongación de las células inducidos por auxinas), ha llevado a formular una hipótesis para su mecanismo de acción: la hipótesis del crecimiento por acidificación.

Deduciendo los datos del cuadro 12, la aplicación del fertilizante foliar a base de citoquininas tuvo un efecto positivo en el desarrollo de la raíz, y por la mínima dosificación presentó un efecto fisiológico en el crecimiento de la raíz.

---

En el gráfico 2 se detallan las interacciones entre las variedades de berro (*Water cress* y *Barbarea verna*) y las dosificaciones del estimulante foliar a base de citoquinina, dosis B1 (Sin aplicación), B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>).

**Gráfico 2. Interacción entre los factores para la longitud de raíz**



**Fuente:** Elaboración propia

El gráfico 2 señala las diferencias entre las longitudes de raíz de cada variedad y como la aplicación de fitohormonas a base de citoquininas, incide en el crecimiento de las raíces de la planta del berro, en el presente gráfico se demuestra la interacción de ambos factores.

Siendo para la variedad de berro (*Water cress*), más efectivas las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) para el desarrollo de la raíz.

Y para la variedad de berro (*Barbarea verna*), las dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) tienen resultados semejantes en la longitud de la raíz y siendo la más efectiva la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>).

### 6.2.2 Altura de planta (cm)

El cuadro 13 detalla los resultados del análisis de varianza para la altura de la planta en el sistema (NFT) por el efecto de tres dosificaciones y dos variedades de berro (*Water cress* y *Barbarea verna*).

**Cuadro 13. Análisis de varianza para la altura de la planta en el sistema (NFT)**

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	Significancia
Bloque	3	0,94	0,31	0,02	0,9947	NS
"A" Variedades	1	5724,50	5724,50	445,69	0,0001	**
"B" Dosis	3	702,78	234,26	18,24	0,0001	**
"A*B" Variedades*Dosis	7	6428,22	918,32	71,50	0,0001	**
"EE" Error Experimental	24	308,26	12,84			
Total	31	6736,48				

Fuente: Elaboración propia

**CV = 9,31%**

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que, en los bloques el resultado fue no significativo, eso indica que no hubo discrepancia entre bloques, es decir que entre variedades y dosis de distintos bloques los resultados fueron similares.

Esta variable adquiere relevancia ya que las dos variedades de berro empleadas tienen diferente morfología, la variedad *Water cress* según Rzedowski y Rzedowski

(2001), tiene un tallo carnoso, ramificado, hueco de 40 a 50 cm, con frecuencia presenta raíces en los nudos, muchas de las veces formando densas colonias.

Su contraparte la variedad *Barbarea verna* según Pierre y Galbain (2009), tiene un tallo de 20 a 25 cm ramificado y acostillado, así como las otras especies de la familia Brassicaceae tal como la acelga (*Beta vulgaris var. cicla*).

Igualmente, para las dosis el resultado fue altamente significativo, esto nos indica que la dosificación baja, intermedia y alta con fertilizante foliar a base de citoquinina, fueron efectivos para el desarrollo de la planta del berro, específicamente en la altura de la planta, esto señala que hubo una respuesta positiva y directa a la señal de la fitohormona a base de citoquinina.

Azcón-Bieto y Talón (2008), mencionan que entre los procesos que están relacionadas las citoquininas están implicadas cabe señalar la división celular, la proliferación de yemas axilares (ruptura de la dominancia apical), la neoformación de órganos, la senescencia foliar, el desarrollo de cloroplastos y la floración.

El mismo autor indica que, aunque la organogénesis es el resultado de una interacción entre el material vegetal (explante), el medio de cultivo y las condiciones ambientales, las fitohormonas desempeñan el papel principal.

Para la interacción entre variedad y dosificación, dio como resultado altamente significativo, lo que nos indica que ambos factores actuaron de manera adjunta para el desarrollo de la planta del berro, específicamente en la altura de la planta. Esto es un indicador de que ambas variedades respondieron a la señal hormonal de manera positiva en su propio desarrollo fisiológico.

En el cuadro 13 el resultado del coeficiente de variación es de 9,31%, lo que indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Cuadro 14: Test Duncan al 5% para el Factor "A" Variedades (Altura)**

FACTOR "A" VARIEDADES			
VARIEDAD	Promedio (cm)	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
A1 ( <i>Water cress</i> )	51,88	0,9	A
A2 ( <i>Barbarea verna</i> )	25,13	0,9	B

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para variedades en el cuadro 14, demuestra que la variedad de Berro (*Water cress*) presentó una mayor altura de planta con un promedio de 51,88 cm, lo que infiere que esta variedad presenta un crecimiento mayor en relación a la variedad de Berro (*Barbarea verna*) que presentó menor altura de planta con un promedio igual a 25,13 cm.

En el cuadro 14 también se reitera que entre variedades (*Barbarea verna*) y (*Water cress*) son significativamente diferentes. En este sentido, se puede deducir que la diferencia entre las alturas de planta es propia de cada genotipo; respecto al fenotipo, el cuidado fue homogéneo para ambas variedades.

Esta variable llega a adquirir bastante importancia ya que es el primer fenotipo que demuestra que existe diferencias significativas en la morfología.

La variedad *Water cress* tiene un tallo carnoso, ramificado, hueco de 40 a 50 cm, con frecuencia presenta raíces en los nudos, muchas de las veces formando densas colonias. Su contraparte la variedad *Barbarea verna* según Pierre y Galbuin (2009), tiene un tallo de 20 a 25 cm ramificado y acostillado, así como las otras especies de la familia Brassicaceae tal como la acelga (*Beta vulgaris var. cicla*), (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

**Cuadro 15: Test Duncan al 5% para el Factor “B” Dosis (Altura)**

FACTOR “B” DOSIS			
DOSIFICACIÓN	Promedio (cm)	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
<b>B4 (Máxima) (7.6 ml)</b>	45,63	1,27	A
<b>B3 (Intermedia) (5.6 ml)</b>	39,01	1,27	B
<b>B2 (Mínima) (3.8 ml)</b>	36,64	1,27	B
<b>B1 (Sin aplicación)</b>	32,73	1,27	C

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para el Factor “B” en el cuadro 15, demuestra que la dosificación foliar a base de citoquininas, dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>), son significativamente diferentes a la dosis B1 la cual es sin aplicación de la fitohormona que al mismo tiempo sirvió como testigo en la investigación. El mismo cuadro nos infiere que la aplicación del fertilizante foliar afecta positivamente en el desarrollo fisiológico específicamente a la altura de la planta.

Observando los resultados del cuadro 15, se precisó que la dosis B1 (sin aplicación) la cual se determinó como testigo para la investigación, presentó una altura de planta de promedio 32,73 cm, la cual fue la medida base para la altura de la planta.

La dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) presentó una altura de la planta de promedio 36,64 cm que es significativamente diferente a la dosis B1 (sin aplicación), así también la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) también es significativamente diferente de las dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>), sin embargo, la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) y la dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) no son significativamente diferentes estadísticamente.

La dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) presentó una altura de planta de promedio 39,01 cm, que es significativamente diferente a la dosis B1 (sin aplicación) y también es significativamente diferente a la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>), en cambio la dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) no son significativamente diferentes.

La dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) presentó una altura de planta de promedio 45,63 cm, que es significativamente diferente a las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>), B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) y axiomáticamente a la dosis B1 (Sin aplicación).

Azcón-Bieto y Talón (2008), formulan que la organogénesis es el resultado de una interacción entre el material vegetal (explanto), el medio de cultivo y las condiciones ambientales, las fitohormonas desempeñan el papel principal. Hasta el momento, la hipótesis más aceptada para explicar el control hormonal de la organogénesis postula que dicho proceso está regulado por cambios en los niveles endógenos de auxinas y citoquininas.

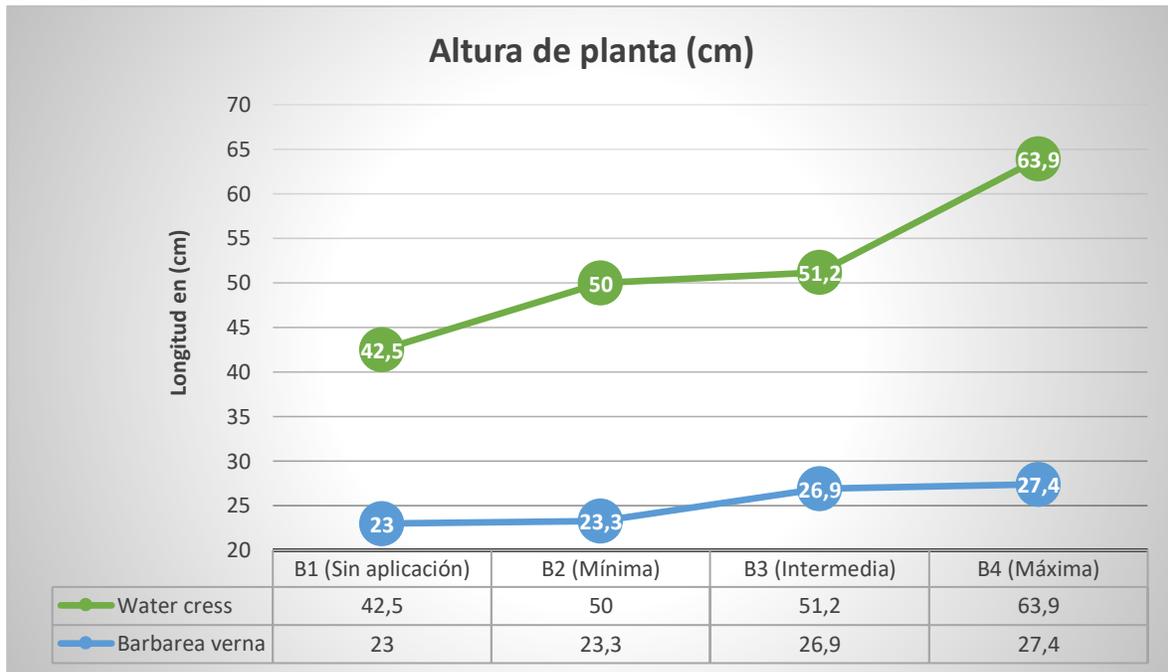
Deduciendo los datos del cuadro 15, la aplicación del fertilizante foliar a base de citoquininas tuvo un efecto positivo en el desarrollo fisiológico de la planta específicamente a la altura de la planta, ya que se observó que incluso con la mínima aplicación del fertilizante foliar se puede apreciar el efecto sobre la altura de la planta.

En el gráfico 3, se detallan las interacciones entre las variedades de berro (*Water cress* y *Barbarea verna*) y las dosificaciones del estimulante foliar a base de citoquinina, dosis B1 (Sin aplicación), B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>).

En el gráfico 3 se denota las diferencias entre las longitudes de altura de planta de cada variedad y como la aplicación de fitohormonas a base de citoquininas, incide en

la longitud de planta del berro, en el presente grafico se demuestra la interacción de ambos factores.

**Gráfico 3. Interacción entre los factores para la altura de la planta**



Fuente: Elaboración propia

Observando el grafico 3, la variedad de berro (*Barbarea verna*) responde mejor con las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) incrementando la altura de la planta, la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) no afectó significativamente a esta variedad.

Y la variedad de berro (*Water cress*) obtiene mejores resultados con todas las dosis aplicadas, siendo que con las dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) y B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) presentaron resultados similares en la altura, pero significativas a comparación del testigo, y la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) siendo la más significativa en el crecimiento de la planta.

### 6.2.3 Número de hojas (nº)

Para esta variable se utilizó la transformación de datos debido a la alta dispersión de estos, específicamente en el número de hojas que presentan las dos variedades (*Water cress* y *Barbarea verna*).

Según McCune y Grace (2002), indican que la transformación de una variable puede solucionar problemas de asimetría, heterogeneidad de varianza, no-linealidad y atípicos (outliers). Transformar una variable tiene cinco objetivos:

- Hacer que la distribución de la variable se acerque a una distribución normal.
- Reducir cualquier relación que pueda existir entre la media y la varianza.
- Reducir la influencia de atípicos (outliers).
- Hacer más lineal la relación entre variables (análisis de regresión).
- Hacer que los efectos que son multiplicativos en la escala original se hagan aditivos en la escala transformada, esto reduce el tamaño de los efectos de interacción.

En el cuadro 16, se detallan los resultados del análisis de varianza para el número de hojas de la Planta en el sistema (NFT) por el efecto de tres dosificaciones y dos variedades de berro (*Water cress* y *Barbarea verna*), los datos para esta variable ya fueron transformados en el cuadro 16, con la función del Logaritmo natural en base a McCune y Grace (2002), sin embargo, los cuadros de análisis de varianza con los datos originales para esta variable pueden ser apreciados en anexos.

**Cuadro 16. Análisis de varianza para el LN Número de hojas en el sistema (NFT)**

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	Significancia
Bloque	3	1,83	6,04	0,02	0,9966	NS
“A” Variedades	1	11,05	11,05	332,98	0,0001	**
“B” Dosis	3	1,89	0,63	19,02	0,0001	**
“A*B” Variedades*Dosis	7	12,95	1,85	55,73	0,0001	**
“EE” Error Experimental	24	0,80	0,03			
Total	31	13,75				

Fuente: Elaboración propia

**CV = 3,85%**

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que, en los bloques el resultado fue no significativo, eso indica que no hubo discrepancia entre bloques, es decir que entre variedades y dosis de distintos bloques los resultados fueron similares.

Respecto a las variedades el resultado fue altamente significativo, eso es debido a la morfología de las variedades de berro.

El berro de agua (*Water cress*) es vigorosa y frondosa, tiene hojas pequeñas, pecioladas de limbo triangular u ovalado, son bastante numerosas y presenta un agradable sabor para el consumo en ensaladas. El berro hortense (*Barbarea verna*) igualmente es vigorosa, en su morfología presenta hojas basales en roseta, caulinares rómbicas y peciolo suculentos (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Igualmente, para las dosis el resultado fue altamente significativo, esto indica que la dosificación mínima, intermedia y máxima con fertilizante foliar a base de citoquinina, fueron sumamente efectivos para el desarrollo de la planta del berro, específicamente

en el número de hojas, esto señala que hubo una respuesta positiva y directa a la señal de la fitohormona a base de citoquinina.

Azcón-Bieto y Talón, (2008), indican que las citoquininas exógenas inducen un importante incremento en el tamaño de las células de los cotiledones y las hojas de las plantas. El proceso se lleva a cabo exclusivamente por alargamiento celular. Las citoquininas también pueden modificar la forma de las hojas en las plantas intactas; esta acción puede estar relacionada con la interdependencia entre las citoquininas y los genes transcripcionales KNOX (Knotted1-like homeobox).

El mismo autor indica que la expresión constitutiva de estos genes provoca en las hojas un crecimiento indeterminado, así como cambios muy llamativos en su forma (formación de tallos ectópicos en las hojas simples o un incremento muy considerable del número de folíolos en las hojas compuestas).

Para la interacción entre variedad y dosis, dio como resultado altamente significativo, lo que indica que, la interacción de los factores variedad y dosis actuaron de manera adjunta para el desarrollo de la planta de berro, en este caso específicamente en el número de hojas. Esto es un indicador de que ambas variedades respondieron a la señal hormonal de manera positiva en su propio desarrollo fisiológico.

En el cuadro 16 el resultado del coeficiente de variación es de 3,85%, lo que indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Cuadro 17: Test Duncan al 5% para el Factor "A" Variedades (nº hojas)**

FACTOR "A" VARIEDADES			
VARIEDAD	Promedio (N.º de hojas)	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
A1 ( <i>Water cress</i> )	216,82	8,57	A
A2 ( <i>Barbarea verna</i> )	63,56	8,57	B

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para variedades en el cuadro 17, demuestra que la variedad de Berro (*Water cress*) presentó un mayor número de hojas con un promedio de 216,82  $\approx$  217 hojas, lo que infiere que esta variedad muestra un crecimiento foliar sumamente mayor en relación a la variedad de Berro (*Barbarea verna*) que presentó un promedio de número de hojas igual a 63,56  $\approx$  64 hojas.

El berro de agua (*Water cress*) es vigorosa y frondosa, tiene hojas pequeñas, pecioladas de limbo triangular u ovalado y son bastante numerosas presenta un agradable sabor para el consumo en ensaladas, el berro hortense (*Barbarea verna*) igualmente es vigorosa, en su morfología presenta hojas basales en roseta, caulinares rómbicas y peciolo suculentos (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

En el cuadro 17, también reitera que entre variedades (*Barbarea verna*) y (*Water cress*) son significativamente diferentes. En este sentido, se puede deducir que la diferencia entre número de hojas es propia de cada genotipo; respecto al fenotipo, el cuidado fue homogéneo para ambas variedades.

**Cuadro 18: Test Duncan al 5% para el Factor “B” Dosis (nº hojas)**

FACTOR “B” DOSIS			
DOSIFICACIÓN	Promedio (N.º de hojas)	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
B4 (Máxima)	166,49	12,11	A
B3 (Intermedia)	162,96	12,11	A
B2 (Mínima)	151,69	12,11	A
B1 (Sin aplicación)	79,61	12,11	B

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para el Factor “B” en el cuadro 18, demuestra que la dosificación foliar a base de citoquininas, dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>), son significativamente diferentes a la dosis B1 la cual es sin aplicación de la fitohormona que al mismo tiempo sirvió como testigo en la investigación. El mismo cuadro infiere que la aplicación del fertilizante foliar afecta positivamente en el desarrollo fisiológico específicamente en el crecimiento foliar.

Observando los resultados del cuadro 18, se precisó que la dosis B1 (sin aplicación) la cual se determinó como testigo para la investigación, presentó un número de hojas de promedio 79,61  $\approx$  80 hojas, la cual fue la medida base para el número de hojas en ambas variedades.

La dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) presentó un número de hojas de promedio 151,69  $\approx$  152 hojas que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación), sin embargo, la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) no es significativamente diferente de las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>).

La dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) presentó un número de hojas de promedio 16,96 ≈ 163 hojas que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación), sin embargo, estadísticamente la dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) no es significativamente diferente de las dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>).

La dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) presentó un número de hojas de promedio 166,49 ≈ 166 hojas que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación), sin embargo, estadísticamente la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) no es significativamente diferente a las dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) y B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>).

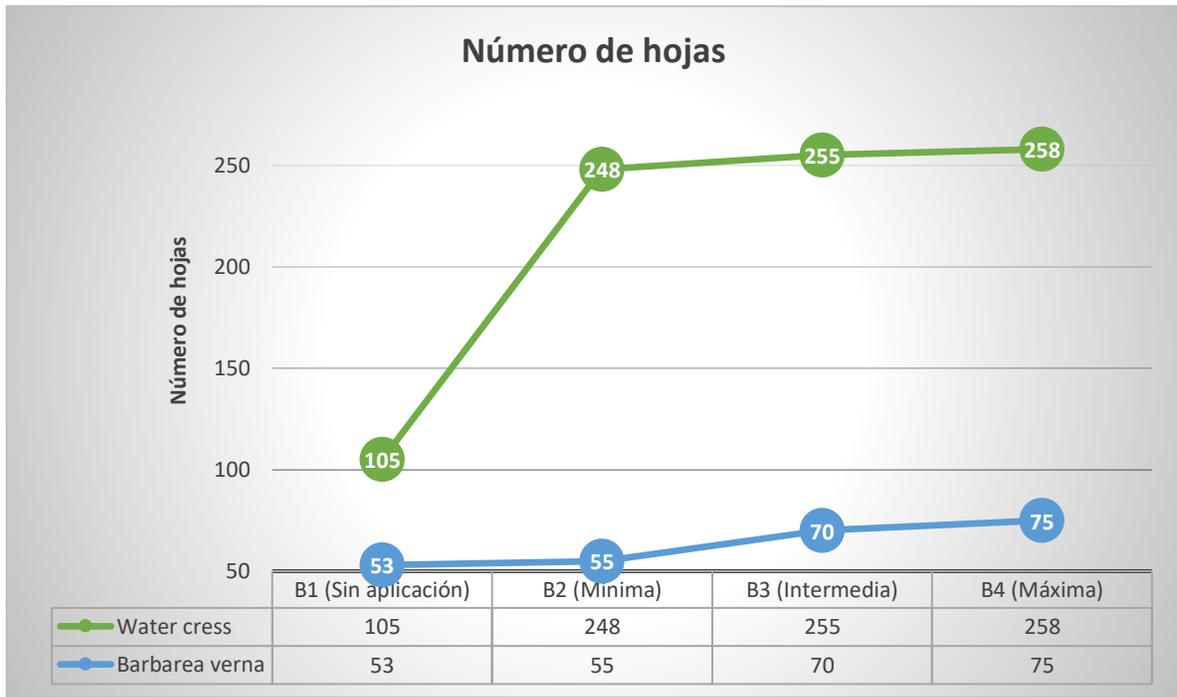
Indica Segura (2008), que la aplicación exógena de citoquininas, retrasa la senescencia foliar tanto de las hojas unidas a la planta como de las aisladas e incubadas en la oscuridad. En las hojas unidas a la planta, el efecto es consecuencia de la habilidad de las citoquininas para dirigir el movimiento de las sustancias hacia las áreas tratadas con ellas, que se transforman en sumideros con una elevada actividad metabólica. Este fenómeno se denomina “acumulación dirigida” o “transporte dirigido” por citoquininas.

Azcón-Bieto y Talón (2008), mencionan que las citoquininas exógenas inducen un importante incremento en el tamaño de las células de los cotiledones y las hojas de las plantas. El proceso se lleva a cabo exclusivamente por alargamiento celular.

Deduciendo los datos del cuadro 18, la aplicación del fertilizante foliar a base de citoquininas tuvo un efecto positivo y desmedido el desarrollo fisiológico de la planta específicamente en el crecimiento foliar de la planta, ya que se observó que incluso con la mínima aplicación del fertilizante foliar se puede apreciar el efecto sobre el número de hojas de la planta.

En el gráfico 4 se demuestran las diferencias entre el número de hojas en la planta de cada variedad y como la aplicación de fitohormonas a base de citoquininas, incide en la neoformación de primordios foliares, la división celular y el alargamiento de las células en las hojas de la planta del berro, en el presente grafico se demuestra la interacción de ambos factores.

**Gráfico 4. Interacción de factores para el número de hojas**



**Fuente:** Elaboración propia

Observando el grafico 4, la variedad de berro (*Barbarea verna*) responde mejor con las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) incrementando el número de hojas significativamente, la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) no afecto significativamente a esta variedad.

Y la variedad de berro (*Water cress*) obtiene mejores resultados e incluso desmedidos con todas las dosis aplicadas, siendo que con la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) presentaron resultados

similares en el número de hojas, pero significativas a comparación del testigo, para esta variedad las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) presentan los mejores resultados.

#### 6.2.4 Índice de área foliar (cm<sup>2</sup>)

El tejido foliar juega un papel clave en procesos de intercambio de energía y gases (ej. CO<sub>2</sub> y vapor de agua) entre el ecosistema terrestre y la atmosfera. Conocer la cantidad y distribución espacial de dicho tejido es fundamental para poder estimar la intercepción de radiación solar, de agua de lluvia y por lo tanto la fotosíntesis, transpiración y respiración de las hojas (Olivas *et al.*, 2013).

En el cuadro 19, se detallan los resultados del análisis de varianza para el Índice de Área Foliar del Berro en el sistema (NFT) por el efecto de tres dosificaciones y dos variedades de berro (*Water cress* y *Barbarea verna*).

Cabe mencionar que, al utilizar la fórmula de índice de área foliar, el área foliar, la densidad de población y el área sembrada se tomaron en (cm<sup>2</sup>), debido a que las dimensiones de cada unidad experimental son reducidas en la pirámide hidropónica.

**Cuadro 19. Análisis de varianza para el Índice de área foliar**

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	Significancia
Bloque	3	139,59	46,53	0,04	0,9903	NS
“A” Variedades	1	40186,13	40186,13	31,80	0,0001	**
“B” Dosis	3	330399,21	110133,07	87,14	0,0001	**
“A*B” Variedades*Dosis	7	370724,92	52960,70	41,91	0,0001	**
“EE” Error Experimental	24	30331,46	1263,81			
Total	31	401056,38				

Fuente: Elaboración propia

**CV = 14,94%**

Observando el análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que, en los bloques el resultado fue no significativo, eso indica que no hubo discrepancia entre bloques, es decir que entre variedades y dosis de distintos bloques los resultados fueron similares.

Respecto a las variedades el resultado fue altamente significativo, eso es debido a la morfología de las variedades de berro, cabe destacar el número de hojas y el tamaño de la planta infieren directamente sobre la densidad foliar.

El berro de agua (*Water cress*) es vigorosa y frondosa, tiene hojas pequeñas, pecioladas de limbo triangular u ovalado, son bastante numerosas y presenta un agradable sabor para el consumo en ensaladas. El berro hortense (*Barbarea verna*) igualmente es vigorosa, en su morfología presenta hojas basales en roseta, caulinares rómbicas y peciolo suculentos (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Indistintamente, para las dosis el resultado fue altamente significativo, esto indica que la dosificación mínima, intermedia y máxima con fertilizante foliar a base de citoquinina,

fueron sumamente efectivos para el desarrollo de la planta del berro, específicamente en el desarrollo fisiológico en la organogénesis de las hojas de la planta del berro, esto señala que hubo una respuesta positiva y directa a la señal de la fitohormona a base de citoquinina.

Azcón-Bieto y Talón (2008), indican que las citoquininas exógenas inducen un importante incremento en el tamaño de las células de los cotiledones y las hojas de las plantas. El proceso se lleva a cabo exclusivamente por alargamiento celular. Las citoquininas también pueden modificar la forma de las hojas en las plantas intactas; esta acción puede estar relacionada con la interdependencia entre las citoquininas y los genes transcripcionales KNOX (Knotted1-like homeobox).

El mismo autor indica que la expresión constitutiva de estos genes provoca en las hojas un crecimiento indeterminado, así como cambios muy llamativos en su forma (formación de tallos ectópicos en las hojas simples o un incremento muy considerable del número de folíolos en las hojas compuestas).

Para la interacción entre variedad y dosis, dio como resultado altamente significativo, lo que nos indica que, la interacción de los factores variedad y dosis actuaron de manera adjunta para el desarrollo de la planta de berro, en este caso específicamente en el índice de área foliar. Esto es un indicador de que ambas variedades respondieron a la señal hormonal de manera desmesuradamente positiva en su propio desarrollo fisiológico para cada variedad.

En el cuadro 19 el resultado del coeficiente de variación es de 14,94%, lo que indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Cuadro 20: Test Duncan al 5% para el Factor “A” Variedades (IAF)**

FACTOR “A” VARIEDADES			
VARIEDAD	Promedio (cm <sup>2</sup> )	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
A1 ( <i>Water cress</i> )	273,35	8,89	A
A2 ( <i>Barbarea verna</i> )	202,48	8,89	B

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para variedades en el cuadro 20, demuestra que la variedad de Berro (*Water cress*) presentó una mayor densidad foliar expresada en el índice de área foliar con un promedio de 273,35 cm<sup>2</sup> por planta, lo que infiere que esta variedad presenta un rendimiento y desarrollo fisiológico mayor en relación a la variedad de Berro (*Barbarea verna*) que presentó un índice de área foliar con un promedio igual a 202,48 cm<sup>2</sup> por planta.

El berro de agua (*Water cress*) es vigorosa y frondosa, que tiene hojas pequeñas, pecioladas de limbo triangular u ovalado, son bastante numerosas y presenta un agradable sabor para el consumo en ensaladas. El berro hortense (*Barbarea verna*) igualmente es vigorosa, en su morfología presenta hojas basales en roseta, caulinares rómbicas y peciolo suculentos (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

El cuadro 20 también reitera que entre variedades (*Barbarea verna*) y (*Water cress*) son significativamente diferentes. En este sentido, se puede deducir que la diferencia entre los índices de área foliar es propia de cada genotipo; respecto al fenotipo, el cuidado fue homogéneo para ambas variedades. Esta variable llega a adquirir suma importancia ya que esta característica demuestra que existe diferencias significativas en el desarrollo y rendimiento en las ambas variedades de berro.

**Cuadro 21: Test Duncan al 5% para el Factor “B” Dosis (IAF)**

FACTOR “B” DOSIS			
DOSIFICACIÓN	Promedio (cm <sup>2</sup> )	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
B4 (Máxima)	368,66	12,57	A
B3 (Intermedia)	301,09	12,57	B
B2 (Mínima)	167,50	12,57	C
B1 (Sin aplicación)	114,40	12,57	D

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para el Factor “B” en el cuadro 21, demuestra que la dosificación foliar a base de citoquininas, dosis B1 (Sin aplicación), B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>), son significativamente diferentes entre sí, la dosis B1 la cual es sin aplicación de la fitohormona que al mismo tiempo sirvió como testigo en la investigación. El mismo cuadro infiere que la aplicación del fertilizante foliar afecta positivamente en el desarrollo fisiológico específicamente en el crecimiento foliar que para este análisis de varianza se ingresó el índice de área foliar.

Observando los resultados del cuadro 21, se precisó que la dosis B1 (sin aplicación) la cual se determinó como testigo para la investigación, presentó un índice de área foliar de promedio 114,40 cm<sup>2</sup>, la cual fue la medida base para la reacción del Berro.

La dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) presentó un índice de área foliar de promedio 167,50 cm<sup>2</sup> que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación), igualmente, la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) es significativamente diferente de las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>).

La dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) presentó un índice de área foliar de promedio 301,09 cm<sup>2</sup> que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación),

igualmente, estadísticamente la dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) es significativamente diferente de las dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>).

La dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) presentó un índice de área foliar de promedio 368,66 cm<sup>2</sup> que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación), estadísticamente la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) es significativamente diferente a las dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) y B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>).

Segura (2008), señala que la aplicación exógena de citoquininas, retrasa la senescencia foliar tanto de las hojas unidas a la planta como de las aisladas e incubadas en la oscuridad. En las hojas unidas a la planta, el efecto es consecuencia de la habilidad de las citoquininas para dirigir el movimiento de las sustancias hacia las áreas tratadas con ellas, que se transforman en sumideros con una elevada actividad metabólica. Este fenómeno se denomina “acumulación dirigida” o “transporte dirigido” por citoquininas.

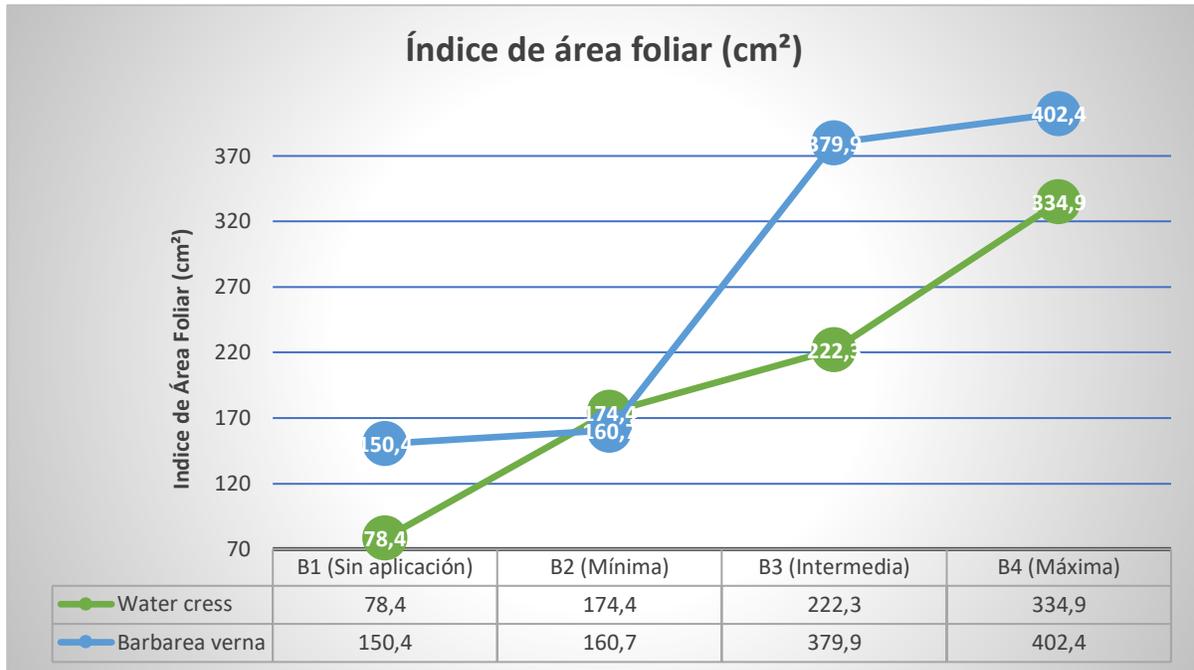
Azcón-Bieto y Talón, (2008), mencionan que las citoquininas exógenas inducen un importante incremento en el tamaño de las células de los cotiledones y las hojas de las plantas. El proceso se lleva a cabo exclusivamente por alargamiento celular.

Deduciendo los datos del cuadro 21, la aplicación del fertilizante foliar a base de citoquininas tuvo un efecto positivo y desmedido el desarrollo fisiológico de la planta específicamente en el crecimiento foliar de la planta, ya que se observó que incluso con la mínima aplicación del fertilizante foliar se puede apreciar el efecto sobre el número de hojas de la planta.

En el gráfico 5 se demuestran las diferencias entre el IAF de cada variedad y como la aplicación de fitohormonas a base de citoquininas incide en la distribución del área en la planta del berro, el presente grafico demuestra la interacción de ambos factores.

---

**Gráfico 5. Interacción de factores para el IAF (cm<sup>2</sup>)**



Fuente: Elaboración propia

Observando el gráfico 5, ambas variedades respondieron de manera diferente pero muy significativamente en el índice de área foliar.

La variedad de berro (*Barbarea verna*) tiene como medida base de índice de área foliar de 150,4 cm<sup>2</sup> y la interacción con las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) tuvo un incremento desmedido en el índice de área foliar, en cambio la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) afectó de manera inferior a las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>), pero sigue siendo significativamente superior al testigo.

Y la variedad de berro (*Water cress*) obtiene mejores resultados e incluso desmedidos con todas las dosis aplicadas, siendo que con la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) tiene un mayor índice foliar significativamente superior, la dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) es significativamente superior a la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) y axiomáticamente a la dosis B1 (Sin aplicación) y la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>)

presento resultados aún superiores a la dosis B3 (Intermedia de 0,37ml x m<sup>2</sup>), esta variedad reacciona de manera más específica con cada dosis.

Como resultado de dichas interacciones, el área foliar variará conforme a procesos hidrológicos, biogeoquímicos y biofísicos (Peduzzi *et al.*, 2012). De la misma manera, el reclutamiento de nuevas plantas en un sitio y su crecimiento y distribución espacial y temporal van a verse afectados directamente por la cantidad de tejido foliar en el dosel que intercepte la luz solar e intercepte y transpire el agua (Mozer *et al.*, 2007).

### 6.3 Variables de respuesta del rendimiento

#### 6.3.1 Peso fresco (g)

En el cuadro 22, se detallan los resultados del análisis de varianza para el peso fresco del Berro en el sistema (NFT) por el efecto de tres dosificaciones y dos variedades de berro (*Water cress* y *Barbarea verna*).

**Cuadro 22. Análisis de varianza para el peso fresco sin raíz (g)**

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	Significancia
Bloque	3	2,48	0,83	0,01	0,9989	NS
“A” Variedades	1	17157,86	17157,86	171,30	0,0001	**
“B” Dosis	3	26867,92	8955,97	89,42	0,0001	**
“A*B” Variedades*Dosis	7	44028,26	6289,75	62,80	0,0001	**
“EE” Error Experimental	24	2403,86	100,16			
Total	31	46432,11				

Fuente: Elaboración propia

**CV = 8,82%**

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que, en los bloques el resultado fue no significativo, eso indica que no hubo discrepancia entre bloques, es decir que entre variedades y dosis de distintos bloques los resultados fueron similares.

Respecto a las variedades el resultado fue altamente significativo, eso es debido a la morfología de las variedades de berro, cabe destacar el número de hojas y el tamaño de la planta infieren directamente sobre el peso de la planta.

Igualmente, para las dosis el resultado fue altamente significativo, esto nos indica que la dosificación mínima, intermedia y máxima con fertilizante foliar a base de citoquinina, fueron sumamente efectivos para el desarrollo de la planta del berro, específicamente en el peso fresco del berro, esto señala que hubo una respuesta positiva y directa a la señal de la fitohormona a base de citoquinina.

Azcón-Bieto y Talón (2008), indican que las citoquininas exógenas inducen un importante incremento en el tamaño de las células de los cotiledones y las hojas de las plantas. El proceso se lleva a cabo exclusivamente por alargamiento celular. Las citoquininas también pueden modificar la forma de las hojas en las plantas intactas; esta acción puede estar relacionada con la interdependencia entre las citoquininas y los genes transcripcionales KNOX (Knotted1-like homeobox).

El mismo autor indica que la expresión constitutiva de estos genes provoca en las hojas un crecimiento indeterminado, así como cambios muy llamativos en su forma (formación de tallos ectópicos en las hojas simples o un incremento muy considerable del número de folíolos en las hojas compuestas).

Para la interacción entre variedad y dosis, dio como resultado altamente significativo, lo que nos indica que, la interacción de los factores variedad y dosis actuaron de manera adjunta para el desarrollo de la planta de berro, en este caso específicamente

en el número de hojas. Esto es un indicador de que ambas variedades respondieron a la señal hormonal de manera positiva en su propio desarrollo fisiológico.

En el cuadro 22 resultado del coeficiente de variación es de 8,82%, lo que indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Cuadro 23: Test Duncan al 5% para el Factor "A" Variedades (peso)**

FACTOR "A" VARIEDADES			
VARIEDAD	Promedio (g)	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
A1 ( <i>Water cress</i> )	136,58	2,50	A
A2 ( <i>Barbarea verna</i> )	90,27	2,50	B

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para variedades en el cuadro 23, demuestra que la variedad de Berro (*Water cress*) presentó un mayor peso fresco de planta con un promedio de 136,58 g, lo que infiere que esta variedad presenta un rendimiento y mayor desarrollo en relación a la variedad de Berro (*Barbarea verna*) que presentó menor peso fresco de planta con un promedio igual a 90,27 g.

El cuadro 23 también reitera que entre variedades (*Barbarea verna*) y (*Water cress*) son significativamente diferentes. En este sentido, se puede deducir que la diferencia entre los pesos de planta es propia de cada genotipo; respecto al fenotipo, el cuidado fue homogéneo para ambas variedades.

Esta variable llega a adquirir bastante importancia, ya que esta característica demuestra que existe diferencias significativas en el desarrollo y rendimiento en ambas variedades de berro.

Conociendo los resultados de altura de planta, número de hojas e índice de área foliar que repercuten en el peso fresco en ambas variedades de berro (*Water cress* y *Barbarea verna*) nos dan a conocer los primeros resultados sobre el rendimiento que puedan tener las variedades.

**Cuadro 24: Test Duncan al 5% para el Factor “B” Dosis (peso)**

FACTOR “B” DOSIS			
DOSIFICACIÓN	Promedio (gr)	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
B4 (Máxima)	140,14	3,54	A
B3 (Intermedia)	133,20	3,54	A
B2 (Mínima)	114,41	3,54	B
B1 (Sin aplicación)	65,96	3,54	C

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para el Factor “B” en el cuadro 24, demuestra que la dosificación foliar a base de citoquininas, dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>), son significativamente diferentes a la dosis B1 la cual es sin aplicación de la fitohormona que al mismo tiempo sirvió como testigo en la investigación. El mismo cuadro infiere que la aplicación del fertilizante foliar afecta positivamente en el desarrollo fisiológico específicamente en el crecimiento foliar y axiomáticamente en el peso fresco del berro.

Observando los resultados del cuadro 24, se precisó que la dosis B1 (sin aplicación) la cual se determinó como testigo para la investigación, presentó un peso fresco de promedio 65,96 g, la cual fue la medida base para el número de hojas en ambas variedades.

La dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) presentó un peso fresco de promedio 114,41 g que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación), igualmente la dosis

B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) es significativamente diferente de las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>).

La dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) presentó un peso fresco de promedio 133,20 g que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación) y a la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), sin embargo, estadísticamente la dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) no es significativamente diferente a la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>).

La dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) presentó un peso fresco de promedio 140,14 g que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación) y a la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), sin embargo, estadísticamente la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) no es significativamente diferente a la dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>).

Segura (2008), indica que la aplicación exógena de citoquininas, retrasa la senescencia foliar tanto de las hojas unidas a la planta como de las aisladas e incubadas en la oscuridad. En las hojas unidas a la planta, el efecto es consecuencia de la habilidad de las citoquininas para dirigir el movimiento de las sustancias hacia las áreas tratadas con ellas, que se transforman en sumideros con una elevada actividad metabólica. Este fenómeno se denomina “acumulación dirigida” o “transporte dirigido” por citoquininas.

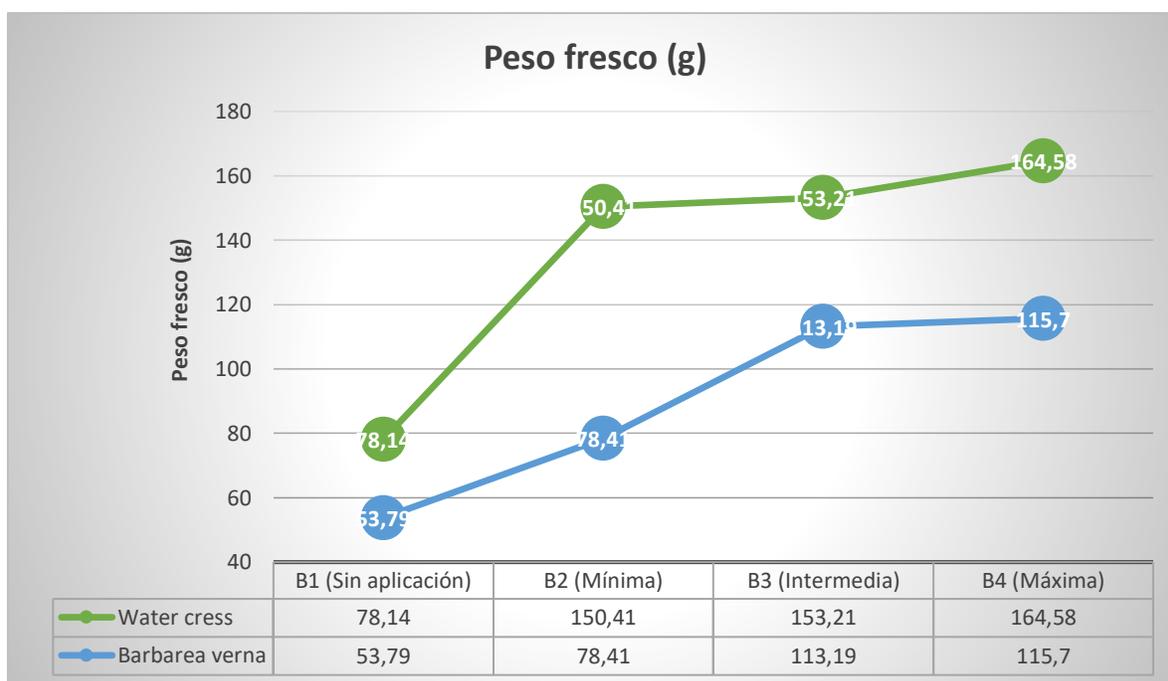
Azcón-Bieto y Talón (2008), mencionan que las citoquininas exógenas inducen un importante incremento en el tamaño de las células de los cotiledones y las hojas de las plantas. El proceso se lleva a cabo exclusivamente por alargamiento celular.

Deduciendo los datos del cuadro 24, la aplicación del fertilizante foliar a base de citoquininas tuvo un efecto positivo y desmedido el desarrollo fisiológico de la planta específicamente en el peso fresco de la planta, ya que se observó que incluso con la mínima aplicación del fertilizante foliar se puede apreciar el efecto sobre el incremento de peso en la planta.

---

En el gráfico 6 se demuestran las diferencias entre el peso fresco en la planta de cada variedad y como la aplicación de fitohormonas a base de citoquininas, incide en la neoformación de primordios foliares, la división celular y el alargamiento de las células en las hojas de la planta del berro que afecta directamente al peso fresco, en el presente grafico se demuestra la interacción de ambos factores.

**Gráfico 6. Interacción de factores para el peso**



Fuente: Elaboración propia

Observando el grafico 6, la variedad de berro (*Barbarea verna*) respondió mejor con las dosis B3 (Intermedia de 0,37ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5ml x m<sup>2</sup>) incrementando el peso fresco de la planta significativamente, la dosis B2 (Mínima de 0,25ml x m<sup>2</sup>) afecto significativamente al peso fresco, pero en menor intensidad.

Y la variedad de berro (*Water cress*) obtiene mejores resultados e incluso desmedidos con todas las dosis aplicadas, siendo que con la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) presentaron resultados similares en el peso fresco sin

raíz de la planta, pero significativas a comparación del testigo, para esta variedad las dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) presenta los mejores resultados.

### 6.3.2 Rendimiento (Kg/m<sup>2</sup>)

En el cuadro 25, se detallan los resultados del análisis de varianza para el Rendimiento del Berro (en Kg/m<sup>2</sup>) en el sistema (NFT) por el efecto de tres dosificaciones y dos variedades de berro (*Water cress* y *Barbarea verna*).

**Cuadro 25. Análisis de varianza para el Rendimiento (Kg/m<sup>2</sup>)**

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	P-valor	Significancia
Bloque	3	1,23	4,04	0,01	0,9989	NS
“A” Variedades	1	8,31	8,31	171,08	0,0001	**
“B” Dosis	3	12,96	4,32	88,89	0,0001	**
“A*B” Variedades*Dosis	7	21,27	3,04	62,54	0,0001	**
“EE” Error Experimental	24	1,17	0,05			
Total	31	22,44	19,76			

Fuente: Elaboración propia

**CV = 8,84%**

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que, en los bloques el resultado fue no significativo, eso indica que no hubo discrepancia entre bloques, es decir que entre variedades y dosis de distintos bloques los resultados fueron similares.

Respecto a las variedades el resultado fue altamente significativo, eso es debido a la morfología de las variedades de berro, cabe destacar el peso de la planta infiere directamente en el rendimiento.

El berro de agua (*Water cress*) es vigorosa y frondosa, tiene hojas pequeñas, pecioladas de limbo triangular u ovalado, son bastante numerosas y presenta un agradable sabor para el consumo en ensaladas. El berro hortense (*Barbarea verna*) igualmente es vigorosa, en su morfología presenta hojas basales en roseta, caulinares rómbicas y peciolo suculentos (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Igualmente, para las dosis el resultado fue altamente significativo, esto nos indica que la dosificación mínima, intermedia y máxima con fertilizante foliar a base de citoquinina, fueron sumamente efectivos para el desarrollo de la planta del berro, específicamente en el rendimiento del berro, esto señala que hubo una respuesta positiva y directa a la señal de la fitohormona a base de citoquinina.

Rosero (2015), registró rendimiento igual a 1,50 kg/m<sup>2</sup> utilizando solución nutritiva Golden Fos (15-50-15 + micronutrientes), 1,30 kg/m<sup>2</sup> con la solución Plant-Prod (15-15-30 + micronutrientes) y el testigo con 0,79 kg/m<sup>2</sup>. El bajo rendimiento en el cultivo hidropónico se asume que fue por la baja densidad de población utilizada (15 cm entre platas) y por las soluciones empleadas.

Para la interacción entre variedad y dosis, dio como resultado altamente significativo, lo que nos indica que, la interacción de los factores variedad y dosis actuaron de manera adjunta para el desarrollo de la planta de berro, en este caso específicamente en el rendimiento. Esto es un indicador de que ambas variedades respondieron a la señal hormonal de manera positiva en su propio desarrollo fisiológico.

En el cuadro 25, el resultado del coeficiente de variación es de 8,84%, lo que indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Cuadro 26: Test Duncan al 5% para el Factor "A" Variedades (rendimiento)**

FACTOR "A" VARIEDADES			
VARIEDAD	Promedio (Kg/m <sup>2</sup> )	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
A1 ( <i>Water cress</i> )	3,00	0,06	A
A2 ( <i>Barbarea verna</i> )	1,99	0,06	B

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para variedades en el cuadro 26, demuestra que la variedad de Berro (*Water cress*) presentó un mayor rendimiento con un promedio de 3,00 kg/m<sup>2</sup>, lo que infiere que esta variedad presenta un rendimiento y mayor desarrollo en relación a la variedad de Berro (*Barbarea verna*) que presentó menor rendimiento con un promedio igual a 1,99 kg/m<sup>2</sup>.

El berro de agua (*Water cress*) es vigorosa y frondosa, que tiene hojas pequeñas, pecioladas de limbo triangular u ovalado, son bastante numerosas y presenta un agradable sabor para el consumo en ensaladas. El berro hortense (*Barbarea verna*) igualmente es vigorosa, en su morfología presenta hojas basales en roseta, caulinares rómbicas y peciolas suculentos (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

En el cuadro 26, también reitera que entre variedades (*Barbarea verna*) y (*Water cress*) son significativamente diferentes. En este sentido, se puede deducir que la diferencia entre los rendimientos es propia de cada genotipo; respecto al fenotipo, el cuidado fue homogéneo para ambas variedades.

**Cuadro 27: Test Duncan al 5% para el Factor “B” Dosis (rendimiento)**

FACTOR “B” DOSIS			
DOSIFICACIÓN	Promedio (kg/m <sup>2</sup> )	E.E.	Duncan $\alpha=5\%$
B4 (Máxima)	3,08	0,08	A
B3 (Intermedia)	2,93	0,08	A
B2 (Mínima)	2,52	0,08	B
B1 (Sin aplicación)	1,45	0,08	C

Fuente: Elaboración propia

En los resultados del Test Duncan al 5% para el Factor “B” en el cuadro 27, demuestra que la dosificación foliar a base de citoquininas, dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>), son significativamente diferentes a la dosis B1 la cual es sin aplicación de la fitohormona que al mismo tiempo sirvió como testigo en la investigación. El mismo cuadro nos infiere que la aplicación del fertilizante foliar afecta positivamente en el desarrollo fisiológico específicamente en el peso fresco y axiomáticamente en el rendimiento del berro.

Observando los resultados del cuadro 27, se precisó que la dosis B1 (sin aplicación) la cual se determinó como testigo para la investigación, presentó un rendimiento de promedio 1,45 kg/m<sup>2</sup>, la cual fue la medida base para el número de hojas en ambas variedades.

La dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) presentó un rendimiento de promedio 2,52 kg/m<sup>2</sup> que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación), igualmente la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) es significativamente diferente de las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0, 5ml x m<sup>2</sup>).

La dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) presentó un rendimiento de promedio 2,93 kg/m<sup>2</sup> que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación) y a la dosis B2

(Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), sin embargo, estadísticamente la dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) no es significativamente diferente a la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>).

La dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) presentó un rendimiento de promedio 3,08 kg/m<sup>2</sup> que es significativamente diferente a la dosis B1 (Sin aplicación) y a la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), sin embargo, estadísticamente la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) no es significativamente a la dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>).

Segura (2008), indica que la aplicación exógena de citoquininas, que retrasa la senescencia foliar tanto de las hojas unidas a la planta como de las aisladas e incubadas en la oscuridad. En las hojas unidas a la planta, el efecto es consecuencia de la habilidad de las citoquininas para dirigir el movimiento de las sustancias hacia las áreas tratadas con ellas, que se transforman en sumideros con una elevada actividad metabólica. Este fenómeno se denomina “acumulación dirigida” o “transporte dirigido” por citoquininas.

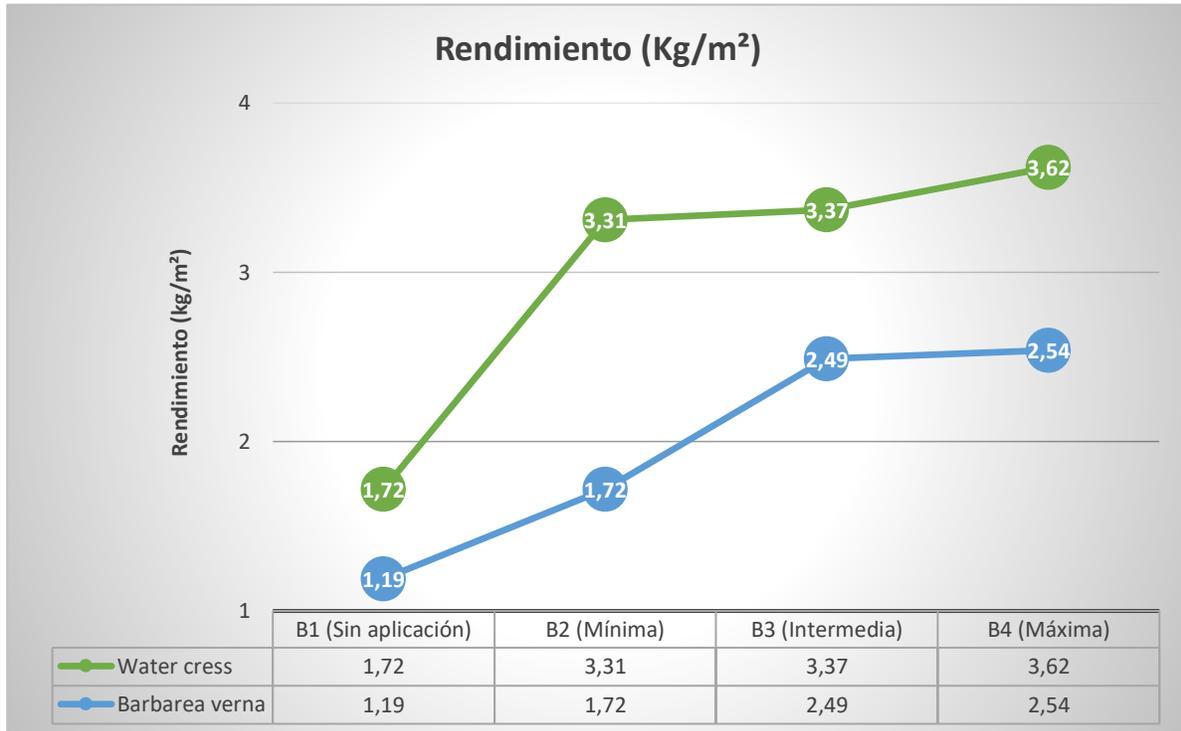
Azcón-Bieto y Talón (2008), mencionan que las citoquininas exógenas inducen un importante incremento en el tamaño de las células de los cotiledones y las hojas de las plantas. El proceso se lleva a cabo exclusivamente por alargamiento celular.

Deduciendo los datos del cuadro 27, la aplicación del fertilizante foliar a base de citoquininas tuvo un efecto positivo y desmedido el desarrollo fisiológico de la planta específicamente en el rendimiento de la planta, ya que se observó que incluso con la mínima aplicación del fertilizante foliar se puede apreciar el efecto sobre el incremento de peso en la planta y axiomáticamente en su rendimiento.

En el gráfico 7 se demuestran las diferencias entre el rendimiento de cada variedad y como la aplicación de fitohormonas a base de citoquininas, incide en la neoformación de primordios foliares, la división celular y el alargamiento de las células en las hojas

de la planta del berro que afecta directamente al peso fresco y axiomáticamente en el rendimiento, en el presente grafico se demuestra la interacción de ambos factores.

**Gráfico 7. Interacción de factores para el rendimiento (Kg/m<sup>2</sup>)**



Fuente: Elaboración propia

Observando el grafico 7, la variedad de berro (*Barbarea verna*) respondió mejor con las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) incrementando el rendimiento de la planta significativamente, la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) afecto significativamente al rendimiento peor en menor cantidad.

Y la variedad de berro (*Water cress*) obtiene mejores resultados e incluso desmedidos con todas las dosis aplicadas, siendo que con la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) presentaron resultados cercanos en el rendimiento de la planta, pero significativas a comparación del testigo, para esta variedad las dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) presenta los mejores resultados.

## 6.4 Análisis económico

En el análisis económico presente se describen los parámetros relevantes para determinar la rentabilidad o no rentabilidad de la producción de las dos variedades de berro y tres dosificaciones con fertilizante foliar a base de citoquinina.

### 6.4.1 Rendimiento ajustado

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

**Cuadro 28: Rendimiento ajustado (Kg/m<sup>2</sup>)**

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Rendimiento Bruto (Kg/m <sup>2</sup> )	1,73	1,19	3,31	1,72	3,37	2,49	3,62	2,54
Rendimiento ajustado (-10%)	1,55	1,07	2,98	1,55	3,03	2,24	3,26	2,29

Fuente: Elaboración propia

## 6.4.2 Beneficio bruto

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

**Cuadro 29: Beneficio bruto expresado en kilogramos**

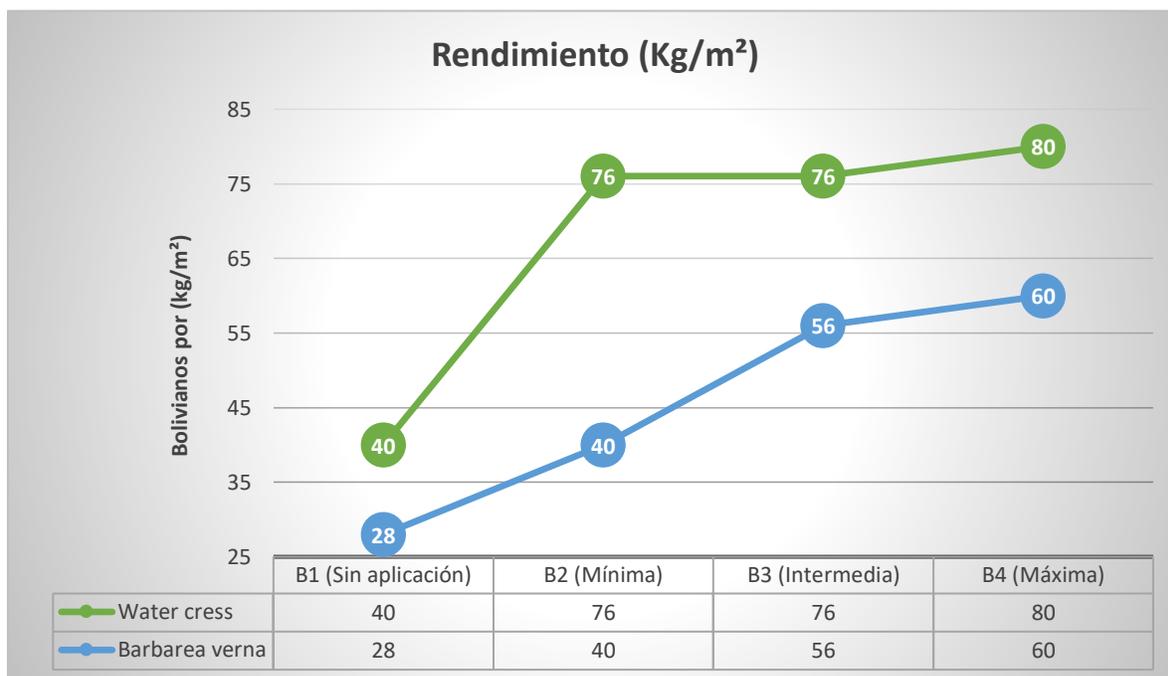
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	A1B1	A2B1	A1B2	A2B2	A1B3	A2B3	A1B4	A2B4
<b>Rend. Bruto (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	1,73	1,19	3,31	1,72	3,37	2,49	3,62	2,54
<b>Rend. Ajustado (-10%)</b>	1,55	1,07	2,98	1,55	3,03	2,24	3,26	2,29
<b>Nº Plantas / m<sup>2</sup></b>	22	22	22	22	22	22	22	22
<b>Gramos / Bolsa</b>	160	160	160	160	160	160	160	160
<b>Nº Bolsas / m<sup>2</sup></b>	10	7	19	10	19	14	20	15
<b>Precio (Bs / Bolsa)</b>	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
<b>Beneficio (Bs*Kg/m<sup>2</sup>)</b>	40	28	76	40	76	56	80	60
<b>Beneficio (Bs*Kg/8m<sup>2</sup>)</b>	<b>320</b>	<b>224</b>	<b>608</b>	<b>320</b>	<b>608</b>	<b>448</b>	<b>640</b>	<b>480</b>

Fuente: Elaboración propia

El rendimiento en la variedad (*Water cress*) es sumamente mayor a la variedad (*Barbarea verna*), y esto es debido en primera parte por la morfología de las variedades de berro y en segunda por su interacción con el fertilizante foliar a base de citoquininas.

En el gráfico 8 se demuestran las diferencias entre el rendimiento bruto en (Bs/Kg/m<sup>2</sup>) de cada variedad y como la aplicación de fitohormonas a base de citoquininas incide en el rendimiento bruto.

**Gráfico 8. Beneficio Bruto en bolivianos por (Kg/m<sup>2</sup>)**



Fuente: Elaboración propia

Observando el gráfico 8, la variedad de berro (*Barbarea verna*) respondió mejor con las dosis B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) incrementando el rendimiento de la planta significativamente, la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) afectó significativamente al rendimiento y desarrollo de esta variedad.

Y la variedad de berro (*Water cress*) obtiene mejores resultados e incluso desmedidos con todas las dosis aplicadas, siendo que con la dosis B2 (Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>), B3 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) presentaron resultados cercanos en el rendimiento de la planta, pero altamente significativas a comparación del testigo, para esta variedad la dosis B4 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) presenta los mejores resultados.

Debe tomarse en cuenta que los resultados son para 1 metro cuadrado del cultivo.

### 6.4.3 Costos variables

Los costos variables son los costos relacionados con los insumos comprados, utilizados para un ciclo productivo que varían entre tratamientos.

**Cuadro 30: Costos variables para un m<sup>2</sup> (Bs)**

Descripción	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
“Semilla”	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Fitohormona “X-Cyte”	0,0	0,0	0,06 ≈ 0,10	0,06 ≈ 0,10	0,08 ≈ 0,10	0,08 ≈ 0,10	0,12 ≈ 0,10	0,12 ≈ 0,10
<b>TOTAL</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>

Fuente: Elaboración propia

### 6.4.4 Costos fijos

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

**Cuadro 31: Costos fijos para un m<sup>2</sup> (Bs)**

Descripción	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Invernadero Y Pirámide	14	14	14	14	14	14	14	14
Luz	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54
Agua	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Almacigo	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Piscina	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Pirámide	6	6	6	6	6	6	6	5
<b>TOTAL</b>	<b>32,1</b>							

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.5 Costos totales

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

**Cuadro 32: Costos totales para un m<sup>2</sup> (Bs)**

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
<b>Costo variable</b>	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>Costo fijo</b>	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1
<b>Imprevistos (+10%)</b>	3,23	3,23	3,24	3,24	3,24	3,24	3,24	3,24
<b>TOTAL</b>	<b>35,53</b>	<b>35,53</b>	<b>35,64</b>	<b>35,64</b>	<b>35,64</b>	<b>35,64</b>	<b>35,64</b>	<b>35,64</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.6 Beneficio neto

El beneficio neto es el valor de todos los beneficios de una producción que se percibirá, menos el costo total de producción. (Sánchez, 2015).

**Cuadro 33: Beneficio neto para un m<sup>2</sup> (Bs)**

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
<b>Beneficio (m<sup>2</sup>)</b>	40	28	76	40	76	56	80	60
<b>Costo total</b>	35,53	35,53	35,64	35,64	35,64	35,64	35,64	35,64
<b>BENEFICIO NETO</b>	<b>4,47</b>	<b>-7,53</b>	<b>40,36</b>	<b>4,36</b>	<b>40,36</b>	<b>20,36</b>	<b>44,36</b>	<b>24,36</b>

Fuente: Elaboración propia

Realizando un análisis en el cuadro 33, entre las variedades y las dosificaciones podemos indicar los siguientes resultados. Para variedad de berro (*Water cress*) el beneficio neto es positivo en todos los tratamientos que son T1, T3, T5 y T7, siendo que los tratamientos T3 (*Water cress* - Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) y T5 (*Water cress* - Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) presentaron resultados similares de 40,36 Bs / cosecha,

siendo bastante elevados para el tratamiento testigo T1 con 4,47 Bs / cosecha, sin embargo, el tratamiento T7 (*Water cress* - Máxima de 0,5ml x m<sup>2</sup>) presenta el mejor beneficio neto con 44,36 Bs / cosecha.

Para la variedad de berro (*Barbarea verna*) el beneficio neto es positivo para los tratamientos que fueron aplicados con el fertilizante foliar que son T4, T6 y T8, dando como resultado de los tratamientos T4 (*Barbarea verna* - Mínima de 0,25 ml x m<sup>2</sup>) con 4,36 Bs / cosecha, el tratamiento T6 (*Barbarea verna* - Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) con 20,36 Bs / cosecha y dando como el mejor beneficio neto para esta variedad el tratamiento T8 (*Barbarea verna* - Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) con 24,36 Bs / cosecha y siendo que el tratamiento testigo para esta variedad T2 con -7,53 Bs / cosecha, dando un beneficio neto negativo.

#### 6.4.7 Relación Beneficio / Costo

En el cuadro 34, se observan los resultados del beneficio total por cada tratamiento estimados en un metro cuadrado para la relación beneficio / costo. Se observa que el tratamiento T2 (*Barbarea verna* - sin aplicación) es el único menor a la unidad en la relación beneficio / costo, por lo tanto, este tratamiento infiere pérdidas por lo cual no es rentable se denota que por unidad invertida se pierden 0.20 Bs. Y se puede deducir por todos los resultados que la variedad de berro (*Water cress*) es la más rentable.

**Cuadro 34: Relación Beneficio / Costo**

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
<b>Beneficio bruto</b>	40	28	76	40	76	56	80	60
<b>Costo total</b>	35.53	35.53	35.64	35.64	35.64	35.64	35.64	35.64
<b>Relación B/C</b>	<b>1.13</b>	<b>0.79</b>	<b>2.13</b>	<b>1.12</b>	<b>2.13</b>	<b>1.57</b>	<b>2.25</b>	<b>1.68</b>
<b>Ganancia por Unidad</b>	<b>0.13</b>	<b>-0.21</b>	<b>1.13</b>	<b>0.12</b>	<b>1.13</b>	<b>0.57</b>	<b>1.25</b>	<b>0.68</b>
<b>Invertida (Bs)</b>	<b>0.10</b>	<b>-0.20</b>	<b><u>1.10</u></b>	<b>0.10</b>	<b><u>1.10</u></b>	<b><u>0.60</u></b>	<b><u>1.30</u></b>	<b><u>0.70</u></b>

Fuente: Elaboración propia

## 7 CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos específicos y los resultados obtenidos en la presente investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

- ❖ Se denota que para la variedad (*Barbarea verna*) el tratamiento T6 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) y T8 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) son similares en cuanto al desarrollo fisiológico que son los resultados más prometedores en la longitud de raíz, altura de planta, numero de hojas e índice de área foliar, sin embargo, para la variedad (*Water cress*) se denota que el tratamiento T7 (*Water cress* - Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) es el más efectivo en el desarrollo fisiológico.
- ❖ Se determinó que la dosis (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) para la variedad (*Barbarea verna*) resulta más efectiva y la dosis (Máxima de 0,5ml x m<sup>2</sup>) e (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) para la variedad (*Water cress*) resultan las más efectivas.
- ❖ Comparando las dos variedades se precisó que la variedad de Berro (*Nasturtium officinale* var. *Water cress*) por sus altos rendimientos con el tratamiento T7 (*Water cress* - Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) con 3,62 kg/m<sup>2</sup>, es la más efectiva para ser cultivada a gran escala en el sistema hidropónico (NFT).
- ❖ De acuerdo al análisis económico realizado en el cultivo de berro y sus variedades, se demostró que para la variedad (*Barbarea verna*) los tratamientos con mayores beneficios son: T6 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) con (1,57 Bs) y T8 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) con (1,68 Bs) y para la variedad (*Water cress*) los tratamientos con mejores beneficios son las dosificaciones T3 (Mínima de 0,25ml x m<sup>2</sup>) y T5 (Intermedia de 0,37 ml x m<sup>2</sup>) con (2,13 Bs) y la mejor es T7 (Máxima de 0,5 ml x m<sup>2</sup>) con (2,25 Bs).

## 8 RECOMENDACIONES

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

- ❖ En el caso de querer obtener una producción intensiva en el sistema hidropónico (NFT), se recomienda utilizar la variedad (*Water cress*) con la dosificación B4 (Máxima de 0,5 ml de citoquinina x m<sup>2</sup>), de forma escalonada, una vez empezado un ciclo de cultivo de Berro repetir el ciclo para poder obtener una producción constante.
- ❖ Se recomienda el cultivo de la variedad de Berro (*Nasturtium officinale var. Water cress*) por ser una hortaliza que tiene un alto contenido de vitamina A y nutrientes, llegando a un buen precio pese a ser limitada la capacidad de demanda en los mercados de nuestro país.
- ❖ De acuerdo al análisis económico realizado en el cultivo hidropónico de berro, no se recomienda seguir investigando con la variedad de Berro (*Nasturtium officinale var. Barbarea verna*) ya que por su beneficio / costo es bajo a comparación de otras variedades y otras hortalizas con morfología similar.
- ❖ Se aconseja que, para siguientes investigaciones en variedades de berro, se obtenga semilla mejorada y de origen brasilero ya que estas muestran una gran adaptación y tolerancia a temperaturas de La Paz.
- ❖ Se reitera el cuidado homogéneo del cultivo ya que necesita bastante humedad en su entorno y la prevención de malezas cerca del cultivo.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

**Aguirre-Salado, C.A., J.R. Valdéz-Lazalde, G. Ángeles-Pérez, H.M. de los Santos-Posadas y A.I. Aguirre-Salado (2011).** Mapeo del Índice del Área Foliar y Cobertura Arbórea Mediante Fotografía Hemisférica y Datos SPOT5 HRG: Regresión y K-NN. *Agrociencia*. 45: 105 – 119 p.

**Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2008).** Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2da Edición. Editorial ISBM, Madrid, España. 421 – 436 p.

**Barbado, J. (2005).** Hidroponía. Buenos Aires – Argentina. Editorial Albatros SACI.

**Barros, P. (2000).** La Hidroponía. 47 p. Disponible en: [www.biblioteca.org.ar](http://www.biblioteca.org.ar).

**Bautista, M. (2000).** Evaluación del rendimiento de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en cultivo hidropónico, utilizando como sustrato arena y cascara de arroz (en línea). Tesis Ing. Agr. San Carlos, Guatemala, Universidad de San Carlos Guatemala. Facultad de Agronomía. Consultado 18 jun 2022. 71 p. Disponible en <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-018339.pdf>.

**Baixauli, C; Aguilar, J. (2002).** Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Generalitat Valencia. Conserjería de agricultura pesca y alimentación. Valencia, España. 110 p.

**Beltrano, J; Giménez, D. O. (2015).** Cultivo en Hidroponía (en línea). Libro digital. Editorial de la Universidad de la Plata. Consultado 28 mayo 2022. Disponible en [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf).

**Benavidez, F. (2010).** Evaluación de tres gramíneas forrajeras a diferentes niveles de asociación con (*Vicia faba*) en el Altiplano Central. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 74 p.

**Bugarín, M; Baca, C; Martínez, H; Tirado, T; Martínez, H; Tirado, T; Martínez, G. (1998).** Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. Crecimiento y floración. Terra. 124 p.

**Chang, M; Hoyos, M; Rodríguez, A. (2000).** Manual práctico de hidroponía: sistema de raíz flotante y sistema de sustrato sólido. Perú, s.e. 42 p.

**Diaz, R. (1996).** Aplicación fraccionada del nitrógeno en tres densidades de plantación de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo carpa solar. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 129 p.

**Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Innovación Tecnológica. (2000).** Guía de producción de lechuga: sistema de raíz flotante (en línea). Honduras, Secretaría de Agricultura y Ganadería. Consultado 18 abr 2022. Disponible en [www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga\\_hidroponica](http://www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga_hidroponica).

**Duran, F. (2007).** Manual con frutas y plantas medicinales: Berro. Editorial Grupo Latino. Bogotá, Colombia. 686 p.

**Duran, F. (2009).** Plantas aromáticas y medicinales: Berro. 1ra Editorial Grupo Latino. Bogotá, Colombia. 160 p.

**Fernández, D. (2014).** Hidroponía, como cultivar sin tierra. Primera edición. La Hidroponía. Lima, Perú.

**Fernández, J. (2012).** Influencia de la aplicación de Rizobacterias en el cultivo de Lechuga y de Berro “Baby leaf” en bandejas flotantes (en línea). Tesis Ing. Agr. Cartagena, España. Universidad Politécnica de Cartagena. 54 p. Disponible en <http://repositorio.uptc.es/bitstream/handle/10317/2928/pfc4431.pdf>.

**Flores, P. (2006).** Invernaderos Construcción y Manejo. Ediciones Ripalme. 1ra Edición. Lima, Perú. 11 p.

**Gilsanz, J. (2007).** Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Montevideo, Uruguay. Unidad de comunicación – Transferencia tecnología. 31 p.

**Guzmán, G. (2004).** Hidroponía en Casa: Una Actividad Familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sistema Unificado de Información Institucional. 25 p.

**Guzmán, G. (2004).** Hidroponía en Casa: Una Actividad Familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, C. R. 10 p.

**Hartman, L. F. (1990).** Invernaderos y Ambientes atemperados: Fundación para Alternativas de Desarrollo (FADES), Editorial FOCET Boliviana Ltda. EDABOL. La Paz, Bolivia. 45 p.

**Lacarra, A; García, C. (2011).** Validación de cinco Sistemas Hidropónicos para la Producción de Jitomate (*Lycopersicum esculentum Mill.*) y Lechuga (*Lactuca sativa L.*) en Invernadero (en línea). Consultado 10 abr 2022. Tesis Lic. Agr. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. 63 p. Disponible en <http://cdigital.uv.mx/bitstream>

**Laumonnier, R. (2004).** Cultures maraicheres (III). J. B. Bailliere et Fils. 4da Ed. Publisher: J.-B. Baillière et Fils, Paris.

**Leñano, F. (1973).** Como se cultivan las hortalizas de hoja. Barcelona, España. 203 – 206 p.

**Lorente, J. (2007).** Agricultura. Ed IDEA BOOKS. Barcelona, España. 519 – 634 p.

**Maroto, J. V. (2002).** Horticultura herbácea especial. 5ta Edición. Madrid, España. 122 p.

**McCune B. y Grace J. (2002).** Analysis of Ecological Communities. Publisher: MJM Software Desing, Gleneden Beach, Oregon USA. 69 p.

**Megías M, Molist P, Pombal MA. (2019).** Atlas de histología vegetal y animal. Órganos vegetales. Recuperado (20 de julio de 2022) de: [http://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/guiada\\_o\\_v\\_inicio.php](http://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/guiada_o_v_inicio.php)

**Moser, G., D. Hertel, y C. Leuschner (2007).** Altitudinal change in LAI and stand leaf biomass in tropical Montane forest: a transect shady in Ecuador and a pan-tropical meta-analysis. Ecosystems 10. 924 p.

**Murillo, W. (2010).** Optimización de la producción de tres especies de hortalizas bajo producción hidropónica en el sistema NFT en los invernaderos “la huerta” en la localidad de Chicani (La Paz). Tesis Lic. La Paz, Bolivia, UMSA. 118 p.

**Niñirola, D. (2010).** Influencia de la densidad de plantación en la producción y calidad de cultivos de berro y canónigo en bandejas flotantes para su producción como “Baby leaf”. Proyecto Fin Master. Cartagena, Colombia. 128 p.

**Olivas, P.C., S.F. Oberbauer, D.B. Clark, D.A. Clark, M.G. Ryan, J.J. O’Brien y H. Ordoñez (2013).** Comparison of direct and indirect methods for assessing leaf area

index across a tropical rain forest landscape. Agricultural and Forest Meteorology. Editing OVB: Methodology. St, Louis, Missouri. USA. 110 p.

**Platax, O. (2013).** Té de lombricomposta y solución nutritiva en la producción de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla*) en invernadero con sistema de raíz flotante. Tesis Lic. Agr. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas.

**Peduzzi, A., R.H. Wynne, T.H: Fox, R.F. Nelson, y V.A. Thomas (2012).** Estimating leaf area index in intensively managed pine plantations using airborne laser scanner data. Forest Ecology and Management. Editing OVB: Methodology. New York, USA. 81 p.

**Perrín, R. (1995).** Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Manual metodológico de evaluación económica. CIMMYT. México Distrito Federal. México. 74 p.

**Pierre, M; Galbain F. (2009).** Especies, aromatizantes y condimentos: Berro y Mastuerzo. Editorial AEDOS, S.A. Madrid, España. 62 – 166 p.

**Pizarro, V; Jana, C; Contreras, C; Alfaro, V; Ibacache, G, (2022).** Invernaderos en hidroponía, funcionalidad y diseño. Editorial INIA. España. 3 p.

**Regmurcia. (2009).** Diponible en: Cultivo del Berro, disponible en: <http://www.regmurcia.com/> Consultado 10 abr 2022.

**Resh, H. M. (2001).** Cultivos hidropónicos. Editorial Mundi – Prensa. Madrid –España. 509 p.

**Reetz, H. F. (2016).** Fertilizers and their Efficient Use. Publisher: IFA, Paris, France. 52 p.

**Rivasplata, J. (2012).** Manual de Hidroponía. Easy Plant Sustratos Hidropónicos. Disponible en: [www.academia.edu](http://www.academia.edu).

**Rodríguez, A; Hoyos, M; Chang, M. (2001).** Soluciones nutritivas en hidroponía, formulación y preparación. Universidad Agraria La Molina. Centro de Investigación de Hidroponía e Investigación Mineral. Lima, Perú. 42 p.

**Rodríguez, A; Hoyos, M; Chang, M. (2002).** Manual práctico de hidroponía. 3ra Edición. Centro de investigación de Hidroponía. Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú. 13 p.

**Rosero, N. (2015).** Respuesta a la aplicación de cuatro soluciones nutritivas en el cultivo hidropónico del berro (*Nasturtium officinale L.*), en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura (en línea). Tesis Ing. Agr. Carchi, Ecuador, Universidad técnica de Babahoyo. Facultad de ciencias agropecuarias. Consultado 21 jul. 2022. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec>.

**Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski, (2001).** Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. 123 p.

**Salas, M. (2007).** Estudio e investigación de la berenjena, berros y zucchini; y propuesta gastronómica. Tesis de Grado. Universidad Tecnológica Equinoccial, Carrera de Gastronomía. Quito, Chile. 35 p.

**Sánchez, L; Urrutia, M. (2001).** La agricultura orgánica. Alternativa para el desarrollo. El Salvador: clusa. 5-9 p.

**Saavedra R, Gabriel V, Blanco M, Carlos, Pino Q, María Teresa y Aspe D, Cristian (2020).** Hortalizas saludables: El Berro [en línea]. Tierra Adentro. no. 95. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/5253> (Consultado: 20 junio 2022).

**Silva, V. M. (2017).** El cultivo de las hortalizas. 1ra. Edición. La oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). Los yungas, La Paz, Bolivia. 5 p.

**Stevens, C. P. (1982).** Watercress. ADAS Grower Books. Londres.

**Urey, G. (2007).** Evaluación de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa L*) en el sistema hidropónico recirculante “NFT”. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia. Universidad Mayor de San Simón, Facultad Ciencias Agrícolas y Pecuarias “Dr. Martin Cárdenas”. 75 p.

**Urrestarazu, G. (2004).** Tratado de cultivo sin suelo. 3ra Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 26 p.

**Vanhaeff, J; Berilijn, J. (2011).** Horticultura: Berro, 5ta Edición. México D. F. 112 p.

**Von, B. W. (2000).** Comportamiento Agronómico de dos variedades de Acelga (*Beta vulgaris var. Cicla*) bajo dosis de abonamiento con Humus de lombriz en Walipini, Viacha, La Paz. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. 23 p.

**Watson, D.J. (1974).** Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. Ann. Bot-London 11, 41 – 76 p.

# ANEXOS

## ANEXO 1

### Morfología Berro de Agua (*Nasturtium officinale* var. *Water cress*)



Fuente: The encyclopedia of medicinal plants (1996)

## ANEXO 2

### Morfología Berro Hortense (*Nasturtium officinale* var. *Barbarea verna*)



Fuente: Atlas des Plantes de France (1891)

## ANEXO 3

### Fitohormona a base de Citoquinina (X-CYTE)

**X-CYTE**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA**

Citoquininas ..... 0.414 gr/ lt

*Regulador de crecimiento vegetal a base de citoquininas que promueve la división celular.*

**DOSIS**

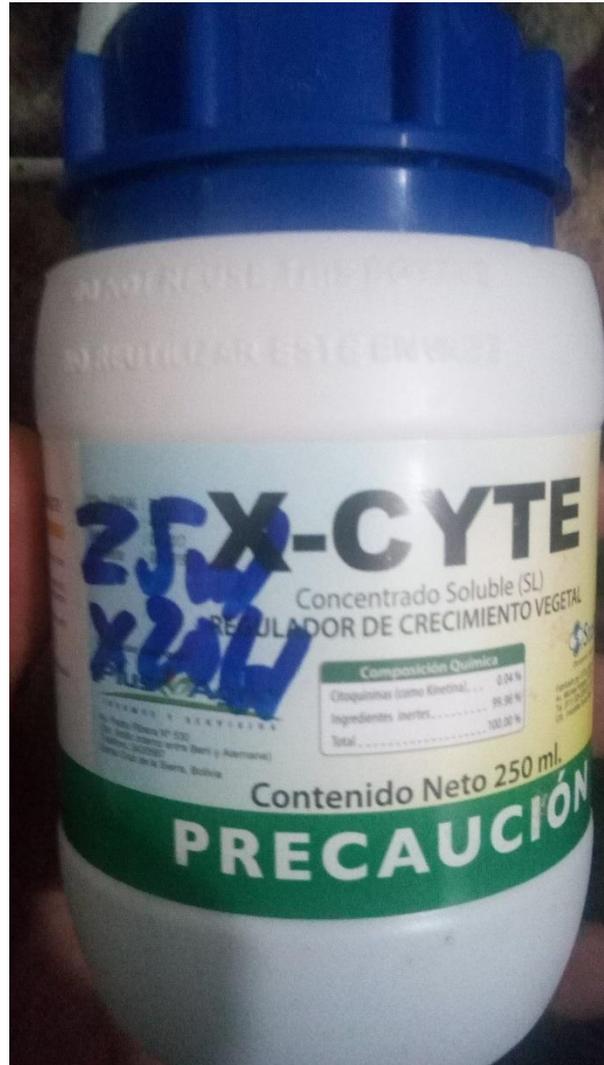
0.25 a 0.5 lt/ha ó  
0.25 a 0.5 lt/200 lts de agua  
25 - 50 ml / mochila de 20 lts

**OBJETIVO**

Promueve la división celular en todo tejido nuevo (hojas y frutos) con la finalidad de incrementar el tamaño de las hojas y el calibre de los frutos.

**OTROS BENEFICIOS**

- ☛ Incrementa el crecimiento de raíces durante el periodo de excesiva humedad
- ☛ Mantiene controlado los niveles de Etileno, previniendo la caída de flores y frutos.
- ☛ Aumenta la resistencia a condiciones de estrés



#### A) Fitorregulador de crecimiento de aplicación foliar

## ANEXO 4

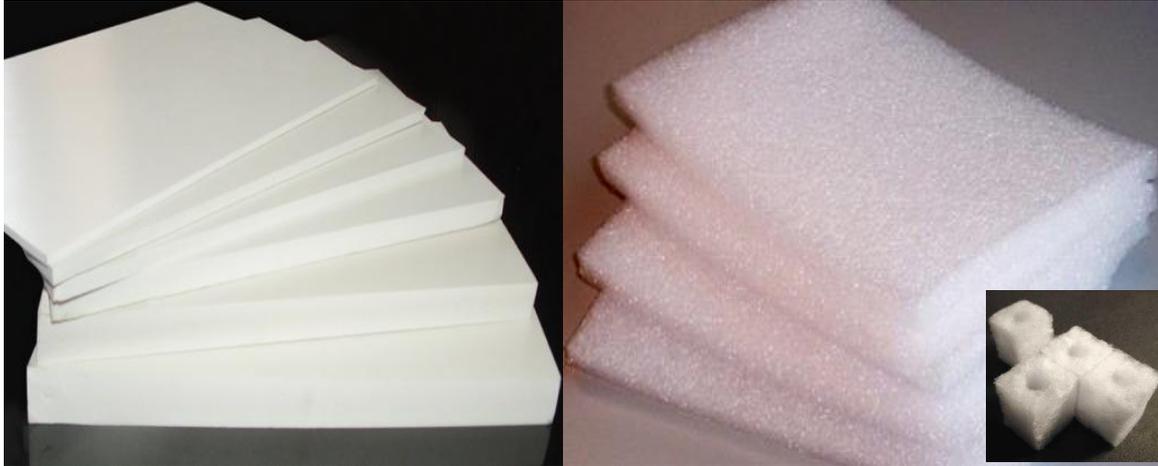
### Acondicionamiento de Pirámide y componentes del sistema NFT



- A) Forrado interior con lona azul. B) Bloque de circuitos automáticos de la bomba.  
C) Tanque de agua de 1200 L.

## ANEXO 5

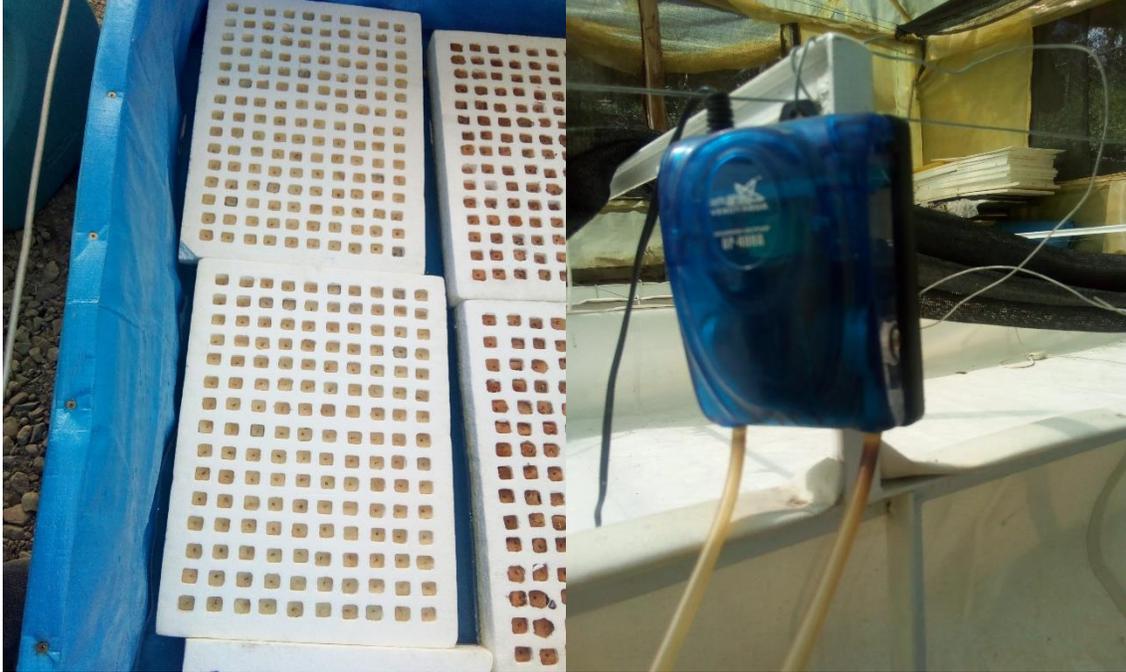
### Procedimientos para el almacigo



- A) Plastoformo perforado. B) Espuma sintética. C) Sembrado en las esponjas.  
D) Cámara de almacigo.

## ANEXO 6

### Paso a piscina y crecimiento



**A) Piscina con nutrientes. B) Oxigenador.**

**C) Crecimiento de plantines**

## ANEXO 7

### Trasplante a pirámide, crecimiento y 1er dosificación con citoquinina



A) Trasplante de plantines. B) Asentamiento de plantines.

C) Primer dosificación con el fertilizante foliar.

## ANEXO 7

### Crecimiento y 2da dosificación con citoquinina



**A) Asimilación del fitonutriente. B) Segunda dosificación con el fertilizante foliar.**

## ANEXO 8

### Análisis químico del agua

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



Informe de Ensayo: A 77/16

Página 1 de 1

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

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

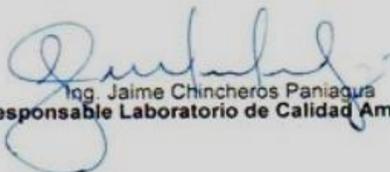
#### Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A -1 77 -1
pH	EPA 150.1		1 - 14	8.3
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1.0	88
Cloruros	SM-4500-Cl--B	mg Cl/l	0.020	1.1
Sulfatos	SM 4500-SO4=E	mg/l	1.0	16
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0.019	2.7
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0.21	0.65
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0.32	11
Magnesio	EPA 242.1	mg/l	0.18	2.5
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO <sub>3</sub> /l	2.0	38
Fósforo total	EPA 385.2	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l	0.010	< 0.010
Nitrógeno total	EPA 351.1	mg/l	0.30	< 0.30

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

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

La Paz, junio 12 de 2020

  
Ing. Jaime Chincheros Paniagua  
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



E.C. A161  
JCH/LCA

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

## ANEXO 9

### Elementos de la solución nutritiva



- A) Solución 'A' (16-16-16), (Nitrato de amonio) y (Nitrato de potasio).
- B) Solución 'B' (Quelato de hierro), (Sulfato de Magnesio) y (Cosmoquel menores).
- C) Solución 'C' (Nitrato de calcio).
- D) Todas las soluciones pesadas y disueltas en el tanque de agua.

## ANEXO 10

### Registro de temperaturas máximas y mínimas en el invernadero

Día	Septiembre		Octubre		Noviembre	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	6,2	34,7	5,1	33,2	9,2	39,5
2	5	38,8	5	38,1	8,3	40,5
3	3,9	34,7	6,1	40,6	8,7	42,3
4	4,6	41,1	6,7	32,1	11,1	44
5	4,5	36,8	8,1	35,1	5,6	43,7
6	7,1	39,5	9	24,5	9,9	42,5
7	6,4	39	9,2	36,7	8,1	41,8
8	2,4	37	10,3	37,5	8,3	44,5
9	5,9	37,3	8,5	32,2	8,7	43,5
10	7,2	39,6	8,7	32,4	8,2	43,4
11	5,3	37,5	8,5	35,4	9,3	43,3
12	4,7	36,3	8	33,5	9,1	46,6
13	4,7	36,3	8,7	37,9	7,9	45
14	6,3	34,3	8,2	38,5	8,8	44
15	6,2	33,3	9,5	43,5	7,5	42,5
16	5,8	36,7	9	40,5	8	45,4
17	6,3	36,2	9,2	39,7	9	44
18	5,1	34	8,5	38,1	8,7	31,8
19	5,8	40,7	9	39,4	9	35,5
20	8,7	38,5	7,8	40,8	8,8	35,6
21	6,8	38,1	9,4	40,1	8,8	30,1
22	6,5	35,6	6,2	38,5	9,1	41,2
23	7,4	33	7,9	40,7	9,9	41,9
24	7,1	31,1	7,7	42	11,5	42,6
25	6,1	38,1	9,6	37,3	10,2	41,8
26	6,8	36,4	10,2	38,7	10,3	41,5
27	5,9	37,2	8,4	41,3	9,5	40
28	6,1	38,5	7	31	9,3	42,7
29	7,5	38,5	8,4	38,6	9,4	42,5
30	5,9	40	7,4	38,6	8,2	41,6
31			8,2	38,6		
<b>Prom.</b>	<b>5,94</b>	<b>36,93</b>	<b>8,05</b>	<b>37,2</b>	<b>8,73</b>	<b>41,4</b>

**Fuente:** Centro experimental de cota cota.