



Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas

**EFFECTO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CULTIVO
HIDROPÓNICO DE *Lactuca Sativa L.* TRATADAS CON
SOLUCIÓN DE ALGAS MARINAS**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

AUTOR

Salazar Huari, Luis Ángel

ASESOR

Ing. Bazán Briceño, José

JURADO

Mg. Benavides Cavero, Oscar

Dr. Flores Vidal, Higinio Exequiel

Mg. Huiman Sandoval, José Alberto

Lima - Perú

2019

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

Mis padres Emilia Huari y José Salazar, por darme la vida e iluminarme el camino del manantial de la esperanza, por su esfuerzo y ejemplo de vida, es un orgullo para mí ser su hijo.

A mi hermano José por su comprensión y apoyo de cuando necesité para comenzar este camino.

A mis abuelos, que en paz descansen, que siempre por sus grandes experiencias supieron guiarme en este proceso.

A la familia Salazar Huari quienes siempre confiaron en mí para cumplir mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante, porque sigo aprendiendo día a día, en cada victoria y en cada caída; por ser la luz que guía mis objetivos y a esta casa de estudios, la Universidad Nacional Federico

Villarreal y a todos los maestros que me toco aprender, así también a mis asesores, Ing. Julio Celso Carbajal y el Ing. José Bazan Briceños que me apoyaron a alcanzar este objetivo.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Descripción y formulación del problema	2
1.1.1	Descripción del problema	2
1.1.2	Formulación del problema	3
1.1.2.1	Preguntas principales	3
1.1.2.2	Preguntas secundarias	3
1.2	Antecedentes	4
1.3	Objetivos	5
1.3.1	Objetivo general:	5
1.3.2	Objetivo específico:	5
1.4	Justificación	5
1.4.1	Relevancia Científica	5
1.4.2	Relevancia Social	5
1.4.3	Relevancia Económica	5
1.4.4	Relevancia Ambiental	5
1.5	Hipótesis	6
1.5.1	Hipótesis general	6
1.5.2	Hipótesis específica	6
II.	MARCO TEORICO	7
2.1	Bases teóricas sobre el extracto de algas marinas:	7
2.1.1	Algas marinas en el litoral peruano	7
2.1.2	Importancia de extracto de algas marinas en la agricultura	7
2.1.3	Composición nutricional de la <i>Macrocystis pyrifera</i>	8
2.2	Hidroponía	8
2.2.1	Definición	8
2.2.2	Sistemas hidropónicos en agua	9
2.3	Soluciones hidropónicas	10
2.3.1	Definición	10
2.3.2	Macro nutrientes y micronutrientes	11

2.3.3	Recomendaciones para disolver nutrientes para uso hidropónico	11
2.4	Formulación de soluciones hidropónicas	12
2.5	Calidad de la lechuga hidroponía durante su crecimiento vegetativo.	12
2.5.1	Evaluación de la calidad de hoja y masa seca total de lechuga hidropónica	12
2.5.2	Evaluación de la cantidad de clorofila durante el crecimiento vegetativo	12
2.5.3	Método de determinación de clorofilas totales ley de lamber beer	13
2.6	Métodos estadísticos aplicar	14
2.6.1	Método de Taguchi	14
2.6.2	Análisis de Varianza (ANOVA)	14
2.6.3	Análisis de diferencia de medias o t-student	14
III.	MÉTODO	15
3.1	Tipo de investigación	15
3.2	Ámbito temporal y espacial	15
3.3	Diseño de la investigación y determinación de variables	15
3.3.1	Determinación de variables	16
3.3.2	Operacionalización de variables	17
3.4	Población y muestra	18
3.4.1	Población	18
3.4.2	Muestra	18
3.5	Instrumentos	18
3.5.1	Técnicas estadísticas de análisis de datos	18
3.5.2	Instrumentación	18
3.6	Procedimientos	19
3.6.1	Elaboración del Extracto de Alga marina (<i>Macrocystis Perifera</i>)	19
3.6.2	Desarrollo de las <i>Lactucas Sativas L.</i> en el sistema hidropónico	21
3.6.3	Obtención de muestras	21
3.6.4	Métodos de Análisis de datos	21
3.6.5	Extracción de clorofilas	21
3.6.6	Determinación de contenido de Clorofila	22
3.7	Análisis de datos	22

IV. RESULTADOS	24
4.1 Formulación de Soluciones Hidropónicas a Base de Algas	24
4.2 Pruebas de Normalidad para el análisis (peso/planta) y cantidad de clorofilas	25
4.3 Interacción entre Peso de <i>Lactuca Sativa</i> cosechada y formulación Suministrada	26
4.4 Espectro UV-Vis de las clorofilas totales	28
4.5 Interacción entre Cantidad de clorofilas totales de <i>Lactuca Sativa</i> cosechada y formulación Suministrada	29
4.6 Conductividad Eléctrica de las Formulaciones (mS/cm)	31
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
VI. CONCLUSIONES	33
VII. RECOMENDACIONES	34
VIII. REFERENCIAS	35
IX. ANEXOS	39
Anexo N°1: Ejemplares para la investigación	39
Anexo N°2: Sistema Hidropónico implementado durante la investigación	40
Anexo N°3: Ejemplares de algas marinas recolectadas (<i>Macrocystis pyrifera</i>) y elaboración de la formulaciones.	41
Anexo N°4: Cuantificación de cantidad de clorofilas	42
Anexo N°5: Proceso de extracción de clorofilas	44
Anexo N°6: Hoja de recogida de datos para la determinación de cantidad de clorofila	45
Anexo N°7: Hoja de recogida de datos para la determinación de conductividad de formulaciones	46
Anexo N°8: Hoja de recogida de datos para la determinación de del espectro UV-Vis de las clorofilas totales	47
Anexo N°9: Hoja de recogida de datos para la determinación del rendimiento post cosecha	48
Anexo N°10: Logros de la investigación	49
Anexo N°10. Diagrama de Gantt	50

Índice de tablas

Tabla N° 1: Formulación química de las soluciones hidropónicas Ay B	
Tabla N° 2. Niveles considerados en el diseño experimental Taguchi	15
Tabla N° 3. Formulaciones experimentales obtenidas con el diseño de Taguchi	16
Tabla N° 4. Formulaciones Obtenidas Por el Método de Taguchi	24
Tabla N° 5. ANOVA: PESO vs. FORMULACION	26
Tabla N° 6. Medias obtenidas del Peso post cosecha	26
Tabla N° 7. T – Student: Peso - f2; Peso - f0	27
Tabla N° 8. Barrido espectral – Absorbancia vs Longitud de onda	28
Tabla N° 9. ANOVA: CLOROFILAS TOTALES (mg/kg) vs. FORMULACION	29
Tabla N° 10. Medias obtenidas de Clorofilas totales	30
Tabla N° 11. Prueba T – Student: Cantidad de clorofila - f2; Cantidad de clorofila - f0	31
Tabla N° 12. Conductividad Electrica de las Formulaciones (mS/cm)	31

Índice de figuras

Figura N° 1. Procesos para la Elaboración del Extracto de Alga Marina	20
Figura N° 2. Esquema del diseño experimental y análisis de datos	23
Figura N° 3. Prueba de Normalidad de Shapiro – Wilk del peso del <i>Lactuca Sativa</i> cosechada	25
Figura N° 4. Prueba de Normalidad de Shapiro – Wilk de la cantidad de clorofilas del <i>Lactuca Sativa</i> cosechada	25
Figura N° 5. Grafica de Cajas del Efecto de las Formulaciones de Extracto de Algas marinas en el Peso de <i>Lactuca Sativa</i> cosechada en su última semana de crecimiento	26
Figura N° 6. Efecto de las Formulaciones de Extracto de Algas marinas (F2) frente a la Formulación Comercial (F0) respecto al Peso de la Cosecha de <i>Lactuca Sativa</i>	27
Figura N° 7. Espectros de Absorción de los extractos de clorofilas extraídas de las <i>Lactuca Sativa L.</i>	29
Figura N° 8. Grafica de Cajas del Efecto de las Formulaciones de Extracto de Algas marinas en la cantidad de clorofila de <i>Lactuca Sativa</i> cosechada.	30
Figura N° 9. Efecto de las Formulaciones de Extracto de Algas marinas (F2) frente a la Formulación Comercial (F0) respecto al la cantidad de clorofila de las hojas de la Cosecha de <i>Lactuca Sativa</i>	31

RESUMEN

En la presente tesis se evaluó el efecto en el rendimiento y calidad del cultivo hidropónico de *Lactuca Sativa L.* tratada con solución de algas marinas. Se aplicó el modelo ortogonal de Taguchi obteniendo cuatro formulaciones para su elaboración a base de extracto de alga marinas y agua; las formulaciones fueron aplicadas a 5 camas de *Lactuca sativa.L* una por cada cama, siendo los parámetros a evaluar rendimiento (peso/planta) y calidad del cultivo (mg/g de clorofilas) en la etapa de cosecha, la aplicación y cambio de solución nutritiva se realizó en intervalos de 7 días. Se obtuvo como resultados que la formulación hidropónica F2 (10% de extracto de algas marinas) presentó un efecto mayor sobre el rendimiento y calidad de *Lactuca sativa.L* a comparación de las concentraciones de 12,5; 30 y 25 % de extracto de algas marinas; obteniendo un peso de 64,38 g/planta y 1,948 ug/g de clorofilas totales. Sin embargo, la formulación F2 no superó al control comercial (F0) debido a la elevada conductividad llegando a la conclusión que la aplicación de la solución de extracto de algas marinas en las cuatro formulaciones, contienen los nutrientes necesarios para permitir el crecimiento del cultivo de lechugas hidropónicas.

Palabras clave: Algas marinas, solución hidropónica, cultivo hidropónico, *Lactuca Sativa L.*

ABSTRACT

The objective of this thesis is to evaluate the effect on the yield and quality of the hydroponic culture of *Lactuca Sativa L.* was treated with seaweed solution in order to evaluate the effect on the yield and quality. Four formulations were obtained using the orthogonal model of *Taguchi* based on seaweed extract and water; the formulations were applied to 5 beds of *Lactuca Sativa* one for each bed, being the parameters to evaluate yield (weight /plant) and quality of the crop (mg/g of chlorophylls) in the harvest stage, application and change of nutritive solution being in intervals of 7 days. The formulation F2 (10% of seaweed extract) had a greater effect on the yield and quality of *Lactuca Sativa* compared to the concentrations of 12.5; 30 and 25% of seaweed extract, obtaining a weight of 64.38 g / plant and 1,948ug/g of total chlorophylls. However, the formulation F2 did not surpass the commercial control (F0) due to the high conductivity. Concluding that the application of the seaweed extract solution in the four formulations contains the necessary nutrients to allow the growth of the lettuce crop hydroponics.

Keywords: *Seaweed, nutritive solution, hydroponic culture, Lactuca Sativa L.*

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el consumo de alimentos orgánicos aparece como una opción inteligente. El Perú no ha sido ajeno a ello, en 10 años, según el grupo de productores Ecológica Perú, el consumo de estos productos se ha incrementado en 70% y la tendencia apunta a que siga creciendo (Fernandez, El consumo de productos orgánicos crece entre los peruanos, 2015). A su vez la hidroponía, como técnica de producción de alimentos, especialmente de hortalizas de alta sanidad y calidad, es también considerada en distintos países de América Latina como una alternativa tecnológica (Hernandes Alarcon, Evaluación de un extracto alcalino del Alga (*Macrocystis pyrifera*), (L) C. Agarch, sobre el crecimiento de vegetales terrestres, 2014).

Según Almodóvar (2000) pueden ocurrir síntomas de deficiencia o toxicidad nutricional si no hay prácticas de manejo adecuadas de la solución de nutrientes. Para lograr una buena producción es muy importante airear la solución nutritiva; esto se puede hacer inyectando aire por medio de un compresor o en forma manual, utilizando un batidor plástico limpio, moviendo la solución por lo menos dos veces al día. Esta acción permite redistribuir los nutrientes y oxigenar la solución. La presencia de raíces de color oscuro es un indicador de una mala oxigenación y esto limita la absorción de agua y nutrientes, afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas. (Hernandes, 2014).

Los extractos de algas marinas son preparaciones acuosas que se obtienen por procesos de extracción utilizando agua, álcalis o ácidos y, en la actualidad, muchos de estos extractos de macro algas se han convertido en productos comerciales disponibles en el mercado para la agricultura. (Laura Vasquez, Bioactividad tipo auxina y citoquinina de extractos de macroalgas sobre cotiledones de *Cucumis Sativus L.*, 2014). La importancia de los extractos de algas marinas en la agricultura se debe a que son ricos en citoquininas y auxinas, fitoreguladores involucrados en el crecimiento y en la movilización de nutrientes en los órganos vegetativos. Otros beneficios de la aplicación de los extractos de algas en los cultivos, son los de mejorar el crecimiento de las raíces, incrementar la cosecha de frutos y semillas, e incrementar el grado de maduración de los frutos (Medjdoub, 2016). Por ello es conveniente formular una solución a base de algas marinas que permita obtener un producto orgánico y que a su vez mantenga o incremente las propiedades nutricionales, rendimiento y calidad en comparación con las soluciones concentradas A y B (testigo comercial).

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Descripción del problema

El interés en productos como lechugas hidropónicas está creciendo en consonancia con más consumidores que prestan mayor atención a la salud digestiva, debido a su contenido de clorofila y minerales, sin embargo durante la producción por medio de los sistemas hidropónicos pueden ocurrir síntomas de deficiencia o toxicidad nutricional si no hay prácticas de manejo adecuadas de la solución de nutrientes, esto debido a su completa dependencia a los fertilizantes (Almodóvar, 2000).

Entre los problemas más comunes son acerca de las dosis requeridas de los micronutrientes. Sin embargo, tanto una toxicidad como una deficiencia de estos limita el ciclo de vida de la planta, provocando graves anomalías en su crecimiento y desarrollo, lo que desde el punto de vista agronómico son perjudiciales para la producción (Rodríguez, 1996).

Según (Vidal, 2007) citado por (Fischer, Wilckens, Vidal, & Astete, 2016) Tanto la sobredosis como la carencia de nutrientes se manifiesta externamente en la planta a través de síntomas visuales característicos, aunque esta sintomatología puede confundirse en algunos casos con enfermedades u otros daños fisiológicos, por lo que deben ser determinadas con métodos cuantitativos, tales como análisis de la planta entera o de alguna de sus partes, como hojas o raíz.

Asimismo, los fertilizantes usados en hidroponía son cada vez más caros y representan un porcentaje alto del costo de producción en sistemas hidropónicos (Wen Yuan, 2009).

Según (Proyecto Centro de Desarrollo Rural FSG 963 , 2008) A nivel comercial el gasto inicial es relativamente alto y se requiere de un abastecimiento continuo de agua para las instalaciones de centros hidropónicos.

Por ello es conveniente formular una solución a base de algas marinas que permita obtener un producto orgánico y que a su vez mantenga o incremente las propiedades nutricionales, rendimiento y calidad en comparación con las soluciones concentradas A y B (testigo comercial).

1.1.2 Formulación del problema

Se tiene en consideración que para evaluar la formulación a base de algas marinas deberán de ser validadas frente a los ejemplares de *Lactuca Sativa L* respondiendo las siguientes preguntas:

1.1.2.1 Preguntas principales

- ¿La solución hidropónica a base de algas marinas tendrá igual, superior o inferior efecto en el rendimiento y calidad en el cultivo de lechugas hidropónicas?

1.1.2.2 Preguntas secundarias

- ¿Cuál será la mejor formulación de solución hidropónica a base de algas marinas para la aplicación en cultivo de lechugas durante su etapa vegetativa?
- ¿La cantidad de clorofila y peso por planta en cultivo de lechugas tratadas con la formulación de algas marinas será mayor a las obtenidas con el testigo comercial?

1.2 Antecedentes

En búsqueda del mejoramiento en cultivos orgánicos, (Canales Lopez, 2000) reporta que la incorporación de algas al suelo incrementa las cosechas y favorece la calidad de los frutos básicamente porque se administra a los cultivos no sólo todos los macro y micro nutrimentos que requiere la planta, sino también 27 sustancias naturales cuyos efectos son similares a los reguladores de crecimiento. Su uso es ya común en muchos países del mundo y, a medida que esta práctica se extienda, irá sustituyendo el uso de los insumos químicos por orgánicos, favoreciendo así la agricultura sustentable. (Almodóvar, 2000) .

Según Méndez (2014) el incremento en los rendimientos y la buena calidad de los frutos como efecto del uso de las algas marinas y/o sus derivados en la agricultura, se debe a que las algas marinas contienen todos los elementos mayores, todos los elementos menores y todos los elementos de traza que ocurren en las plantas ; además 27 sustancias naturales reportadas hasta ahora cuyos efectos son similares a los de los reguladores de crecimiento de crecimiento de las plantas; vitaminas , carbohidratos, proteínas, sustancias biocidas que actúan contra algunas plagas y enfermedades y agentes quelantes como ácidos orgánicos y manitol.

Los estudios han demostrado que la aplicación foliar de extractos de algas marinas conduce a aumentos en la formación de raíces laterales y longitud de la raíz. Mejora del crecimiento de las raíces y la eficiencia de absorción de nutrientes y el agua también puede aumentar el crecimiento por encima del suelo de planta y rendimiento, así como la resistencia a estrés abiótico y bióticos (Khan W, 2009)

Según Reyna (2009) reporta que el uso de extractos de algas marinas no sólo tiene una mayor eficacia como inhibidor de hongos, sino que también permite un crecimiento superior del forraje (aumenta la producción de biomasa).

Sin embargo, existen muy pocos estudios sobre el efecto que pueda tener la utilización de extractos de algas sobre los cultivos hidropónicos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

- Evaluar el efecto en el rendimiento y calidad del cultivo de lechugas hidropónicas tratadas con solución de algas marinas.

1.3.2 Objetivo específico:

- Elaborar la mejor formulación de solución nutritiva a base de algas marinas para la aplicación en cultivos hidropónicos de lechuga.
- Comparar la cantidad de clorofila y peso del cultivo de lechugas tratadas con la formulación de algas marinas, frente a un testigo comercial.

1.4 Justificación

1.4.1 Relevancia Científica

El presente trabajo de investigación solucionara uno de los problemas en la Hidroponía que es la dependencia hacia los fertilizantes. Por ende se las soluciones nutritivas a base de extractos de algas marinas (*Macrocystis piryfera*) favorecerá la calidad de los productos hidropónicos debido a que no sólo se administran todos los macro y micro nutrimentos que requiere estos sino también 27 sustancias naturales cuyos efectos son similares a los reguladores de crecimiento.

1.4.2 Relevancia Social

Implementar nuevos tratamientos para el cultivo hidropónico de hortalizas orgánicas empleando algas marinas como fuente de nutrientes, ya que, en 10 años, según el grupo de productores Ecológica Perú, el consumo de estos productos se ha incrementado en 70% y la tendencia apunta a que siga creciendo.

1.4.3 Relevancia Económica

La siguiente propuesta de trabajo aportaría al agricultor alternativas de cultivo que ayudaran a mejorar sus rendimientos y rentabilidad así también aportara en la post cosecha de productos agroindustriales envasados al vacío, reduciendo costos en consumo de agua y soluciones nutritivas de alto costo, dándole así oportunidades de mejora y crecimiento.

1.4.4 Relevancia Ambiental

Esta propuesta busca el aprovechamiento sostenible de estos recursos, ya que en la actualidad las algas marinas como las algas pardas *Macrocystis piryfera* se encuentran varadas en las orillas de las playas, siendo desechadas por las personas de limpieza del distrito de Punta Hermosa, Pucusana y San Bartolo.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

- **Hipótesis alternativa (H_a)**

H_a : La solución hidropónica a base algas marinas tendrá igual, superior o inferior efecto en el rendimiento y calidad en el cultivo de *Lactuca Sativa L.*

- **Hipótesis nula (H_0)**

H_0 : La solución hidropónica a base algas marinas no tendrá igual, superior o inferior efecto en el rendimiento y calidad en el cultivo de *Lactuca Sativa L.*

1.5.2 Hipótesis específica

a) **Hipótesis específica 1**

- **Hipótesis alternativa (H_{a1})**

La mejor formulación de solución nutritiva hidropónica a base de algas marinas para la aplicación en cultivos hidropónicas de *Lactuca Sativa L* es significativa.

- **Hipótesis nula (H_{01})**

La mejor formulación de solución nutritiva hidropónica a base de algas marinas para la aplicación en cultivos hidropónicas de *Lactuca Sativa L* no es significativa.

b) **Hipótesis específica 2**

- **Hipótesis alternativa (H_{a2})**

La cantidad de clorofila y peso del cultivo de lechugas tratadas con la mejor formulación de algas marinas, frente a un testigo comercial es significativa.

- **Hipótesis nula (H_{02})**

La cantidad de clorofila y peso del cultivo de lechugas tratadas con la mejor formulación de algas marinas, frente a un testigo comercial no es significativa.

II. MARCO TEORICO

2.1 Bases teóricas sobre el extracto de algas marinas:

2.1.1 Algas marinas en el litoral peruano

El mar provee de una gran cantidad de recursos, uno de los cuales lo constituye las algas que arrastradas por las mareas y la acción del viento, arriban a las costas, se menciona para el Perú un aproximado de 225 especies, de las cuales 160 son rojas, 31 pardas y 37 verdes (Lara Pecho, Torres Anaya, & Vargas Arteaga, 2015). Las algas son consideradas como una de las fuentes sostenibles de biomasa más prometedoras. Son capaces de producir y almacenar una gran cantidad de biomoléculas de importancia como potenciales combustibles, alimentos para seres humanos y animales, fármacos y aditivos para alimentos, productos agroindustriales, cosméticos e incluso para tratamiento de aguas. El mar, los ríos y los lagos del Perú constituyen el hábitat de muchas especies de algas. (Ayarza Leon, 2015).

En la zona sur del litoral peruano se encuentran tres especies de algas pardas que vienen siendo extraídas regularmente, tales como: *Macrocystis pyrifera*, (sargazos), *Lessonia trabeculata* y *Lessonia nigrescens* las cuales forman bosques y cinturones densos, y en muchos de los casos de regular extensión, en ambientes inter y submareales. (Lara Pecho, Torres Anaya, & Vargas Arteaga, 2015).

2.1.2 Importancia de extracto de algas marinas en la agricultura

Los extractos de algas son preparaciones acuosas que varían en color, desde casi incoloros hasta un marrón oscuro intenso; del mismo modo, varían también ampliamente en olores, viscosidades y contenido de compuestos. Se obtienen por procesos de extracción utilizando agua, álcalis o ácidos y, en la actualidad, muchos de estos extractos de macro algas se han convertido en productos comerciales disponibles en el mercado para la agricultura. (Laura Vasquez, Bioactividad tipo auxina y citoquinina de extractos de macroalgas sobre cotiledones de *Cucumis Sativus* L., 2014).

La importancia de los extractos de algas marinas en la agricultura, según (Medjdoub, 2016) se debe a que son ricos en citoquininas y auxinas, fitorreguladores involucrados en el crecimiento y en la movilización de nutrientes en los órganos vegetativos. Otros beneficios de la aplicación de los extractos de algas en los cultivos, son los de mejorar el crecimiento de las raíces, incrementar la cosecha de frutos y semillas, e incrementar el grado de maduración de los frutos.

Las algas empleadas como fertilizantes ya fermentadas o desecados en los cultivos de papa, tomates, remolachas, etc. Tienen ventajas sobre otros abonos comunes como el estiércol, así, impide la introducción de plagas producidas por hongos, insectos y malezas, aumenta la capacidad de las semillas la posibilidad de resistir a las heladas y mejora las condiciones físicas de ciertos suelos, contribuyendo a mantener la humedad edáfica por su alta capacidad hidrosférica. (Layten Vera, Efecto de extractos de algas marinas en el rendimiento y calidad de alcachofa (*Cynara scolymus* L. cv. LORCA), 2015)

2.1.3 Composición nutricional de la *Macrocystis pyrifera*

Actualmente entre las especies de algas más importantes que se conocen, están las algas pardas (*Macrocystis pyrifera*). Las algas pardas son una fuente importante de nitrógeno, por su alto contenido de proteínas, a base de aminoácidos esenciales. Además contienen nitrógeno orgánico, el cual es de fácil asimilación y aporta también elementos importantes como: calcio, fósforo, potasio y magnesio. En este género de algas, se ha reportado su contenido de: materia orgánica en alto porcentaje, minerales, vitaminas, carbohidratos, lípidos y fitohormonas naturales. (Guerrero Ruiz , 2016)

Según (Peña Salamanca, Palacios Peñaranda, & Ospina Alvarez, 2005) la macroalga *Macrocystis spp.* Tiene un alto contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y otros compuestos que contienen propiedades a condicionantes del suelo y estimuladores para el crecimiento vegetal.

2.2 Hidroponía

2.2.1 Definición

La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados Cultivos sin Suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. (C.Gilsanz, 2007)

Es una técnica alternativa y relativamente nueva en nuestro medio para producir cultivos saludables. Esta técnica permite cosechas en períodos más cortos que la siembra tradicional (precocidad), mejor sabor y calidad del producto, mayor homogeneidad y producción. (Guzman, 2004)

2.2.2 Sistemas hidropónicos en agua

Son sistemas hidropónicos por excelencia, pues en ellos las raíces de las plantas están en contacto directo con la solución nutritiva. Entre éstos sistemas los más conocidos son el recirculante o NFT, el aeropónico y raíz flotante. (Perez, Longar, & Rios, El estado de técnica de la hidroponía, 2013)

a) Recirculante o NFT

El principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado. A diferencia del sistema propuesto para las huertas hidropónicas populares, las plantas se cultivan en ausencia de sustrato, por lo cual las plantas se encuentran suspendidas en canales de cultivo con o sin un contenedor de soporte. Otra característica del sistema, es la necesidad de contar con una pendiente o desnivel de la superficie de cultivo, ya que por medio de ésta, se posibilita la recirculación de la solución nutritiva. (Carrasco & Izquierdo, 1986)

b) Aeropónico

En esta técnica las raíces son asperjadas (“atomizadas”) con la solución nutritiva cada cierto tiempo, la frecuencia de aplicación, al igual que en la técnica anterior dependerá principalmente de las condiciones climáticas. A pesar de ser el sistema más moderno, es la técnica menos utilizada comercialmente. (Guzman, 2004)

c) Raíz flotante

Según (Guzman, 2004) en este sistema no se utiliza sustrato sólido, las raíces están sumergidas directamente en la solución nutritiva. Se utilizan láminas de “estereofón” a las que se les perforan agujeros en donde se asientan las plantas y luego se ponen a flotar sobre la solución nutritiva, la cual debe ser aireada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces. En este caso, al contenedor no debe perforarse agujero de desagüe.

Para lograr una buena producción es muy importante airear la solución nutritiva; esto se puede hacer inyectando aire por medio de un compresor o en forma manual, utilizando un batidor plástico limpio, moviendo la solución por lo menos dos veces al día. Esta acción permite redistribuir los nutrientes y oxigenar la solución. La presencia de raíces de color oscuro es un indicador de una mala oxigenación y esto limita la absorción de agua y nutrientes, afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas. (Perez, Longar, & Rios, El estado de técnica de la hidroponía, 2013)

2.3 Soluciones hidropónicas

2.3.1 Definición

Los nutrientes para las plantas cultivadas en hidroponía son suministrados en forma de soluciones nutritivas que se consiguen en el comercio agrícola. Las soluciones pueden ser preparadas por los mismos cultivadores cuando ya han adquirido experiencia en el manejo de los cultivos o tienen áreas lo suficientemente grandes como para que se justifique hacer una inversión en materias primas para su preparación. Alternativamente, si las mismas estuvieran disponibles en el comercio, es preferible comprar las soluciones concentradas, ya que en este caso sólo es necesario disolverlas en un poco de agua para aplicarlas al cultivo.

Las soluciones nutritivas concentradas contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su correcto desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, hojas, flores, frutos o semillas. (Marulanda & Izquierdo, 2003)

De acuerdo con (Regalado, 2009) citado por (Ordoñez Rumiche, 2015) menciona que la solución hidropónica debe utilizarse para riego a partir del día 4 hasta el día 8, post siembra en bandejas, utilizando sólo la dosis media recomendada de las soluciones nutritivas A y B, equivalente a 1 ml de solución A y 0.5 ml de solución B en un litro de agua. Existen infinidad de fórmulas que alimentan las plantas. Hay fórmulas generales que son aptas para más de un tipo de plantas y las estáticas que son solo para un tipo de planta. La fórmula comercial está compuesta según la tabla N°01:

Tabla N° 1: Formulación química de las soluciones hidropónicas Ay B

SOLUCION CONCENTRADA A: (para 5 litros de agua, volumen final)	PESOS
Nitrato de potasio	550.0 g
Nitrato de amonio	350.0 g
Superfosfato triple	180.0 g
SOLUCION CONCENTRADA B: (para 2 litros de agua, volumen final)	PESOS
Sulfato de magnesio	220.0 g
Quelato de hierro 6% Fe	17.0 g
Solución de Micronutrientes	400 ml

Fuente: (Regalado, 2009)

2.3.2 Macro nutrientes y micronutrientes

Según (Instituto Nacional para la Educación de los adultos , 2008), Para un desarrollo adecuado las plantas necesitan de 16 elementos esenciales, de los cuales 9 se requieren en cantidades mayores a 40 ppm conocidos como macro nutrientes (Hidrógeno, Carbono, Oxígeno, Nitrógeno, Calcio, Fósforo, Magnesio, Potasio y Azufre) Y 7 elementos se requieren en cantidades menores a 10 ppm, conocidos como micronutrientes (Cloro, Zinc, Boro, Hierro, Cobre, Manganeseo, Molibdeno) Las plantas obtienen el oxígeno del medio ambiente y del agua, el hidrógeno lo obtienen del agua y el carbono a través del CO₂ del medio ambiente. El resto de los nutrientes se les proporciona a través de sales comúnmente conocidas como fertilizantes.

2.3.3 Recomendaciones para disolver nutrientes para uso hidropónico

Según (Marulanda & Izquierdo, 2003), Hay dos recomendaciones que deben quedar muy claras desde el comienzo:

1. Nunca deben mezclarse la SOLUCION CONCENTRADA A con la SOLUCION CONCENTRADA B sin la presencia de agua, pues esto inactivaría gran parte de los elementos nutritivos que cada una de ellas contiene, por lo que el efecto de esa mezcla sería más perjudicial que benéfico para los cultivos. Su mezcla sólo debe hacerse en agua, echando un primero y la otra después.
2. La proporción original que se debe usar en la preparación de la solución nutritiva es cinco (5) partes de la SOLUCION CONCENTRADA A por dos (2) partes de la SOLUCION CONCENTRADA B por cada litro de solución nutritiva que se quiera preparar.

Según (Proyecto Centro de Desarrollo Rural FSG 963 , 2008) Recomienda que la concentración de la solución pueda ser peligrosa si rebasas las 2000 ppm.

Debido a que las raíces absorben sus nutrientes diluidos gracias a un fenómeno físico denominado presión osmótica. Este fenómeno se refiere al movimiento del líquido, que se efectuará en la dirección de la solución más concentrada (hacia donde hay más sales disueltas). Si la solución más concentrada se encuentra fuera de la raíz, habrá un movimiento de líquido en esa dirección y por lo tanto la planta se deshidratará. Una vez preparada la solución, debe ajustarse el pH. Para una instalación grande se deberán efectuar estudios del agua para descartar las cantidades de calcio y/o magnesio que pudieran estar presentes en aguas "duras". También se pueden efectuar estudios de tejido vegetal e incluso de iones en forma particular, pero este tipo de instalaciones debe ser supervisado por un especialista.

2.4 Formulación de soluciones hidropónicas

“Para evaluar el efecto de uno o más nutrientes de las soluciones nutritivas en el crecimiento, desarrollo, rendimiento, calidad del producto y absorción de los nutrientes por los cultivos se han llevado a cabo numerosas investigaciones, sin que exista una técnica con aceptación general. Se propone el empleo de soluciones nutritivas que correspondan, por su estructura, al diseño experimental factorial completo; con combinaciones de soluciones nutritivas (tratamientos). Dichos tratamientos permiten evaluar los efectos directos de la formulación y de su interacción, sin interferencias de otra índole.” (Ma. De Jesús Juárez Hernández, 2006).

2.5 Calidad de la lechuga hidroponía durante su crecimiento vegetativo.

2.5.1 Evaluación de la calidad de hoja y masa seca total de lechuga hidropónica

Uno de los parámetros de calidad de la lechuga hidropónica es “El crecimiento vegetativo que termina con el inicio de la bandera floral es una de las etapas más importantes de la lechuga (*Lactuca Sativa L.*). Durante la temporada de crecimiento, la mayoría de fotoasimilados se dirige al área de la hoja. Este aumento de la superficie de la hoja se acompaña de un aumento proporcional de la interrupción de la energía, como las plantas vecinas son sombreado pequeña y mutuo casi no existe. La biomasa de las plantas individuales aumenta día a día con una relación constante, lo que lleva a un crecimiento exponencial. Después del cultivo cerca de la superficie en una segunda fase, más hojas crecen sin dar lugar a la interceptación más luz. En esta segunda fase, la mayor parte de la masa seca total se forma”. (Keulen & Wolf, 1986) Citado por (Lopes, y otros, 2007).

Una de las maneras para poder medir la calidad de la lechuga hidropónica durante su crecimiento vegetativo es por medio de *“modelos de simulación para el crecimiento, con el fin de detectar los factores que podrían limitar el crecimiento que influye en el potencial productivo de las especies”* (Lopes Sidinei, Dourado Neto, & Manfron, 2004)

2.5.2 Evaluación de la cantidad de clorofila durante el crecimiento vegetativo

Según (Townsend & Hanover, 1972); (Vermaas, 1998) y (Zarco Tejada, y otros, 2004) Citado por (Cambrón Sandoval, y otros, 2011). Las plantas tienden a responder de forma morfológica y fisiológica a las condiciones ambientales en las que se desarrollan.

La clorofila, responsable de la fotosíntesis en que la energía lumínica es transformada en energía química por plantas, algas y algunas bacterias, Se considera una medida indirecta del estado nutricional de la planta, que por la estrecha relación con el nitrógeno total de las hojas, se ha utilizado como un buen estimador de la condición.

La clorofila total es la suma de las clorofilas a y b. La clorofila (a), es el pigmento principal, que transforma la energía lumínica en energía química, la cual se utiliza en el crecimiento de las plantas, por lo que se considera un pigmento activo. Por su parte, la clorofila b absorbe la luz en longitudes de onda diferentes que la clorofila a; la luz se transfiere después a la clorofila a, que la transforma en energía; por esto, a la clorofila b se le considera un pigmento accesorio y forma parte de las antenas colectoras. (Zarco Tejada, y otros, 2004).

2.5.3 Método de determinación de clorofilas totales ley de Lambert Beer

Según (Díaz, y otros, 2016) Esta ley expresa la relación entre Absorbancia de luz monocromática (de longitud de onda fija) y concentración de un cromóforo en solución:

$$A = \log \frac{I}{I_0} = \varepsilon \cdot c \cdot l$$

La Absorbancia de una solución es directamente proporcional a su concentración a mayor número de moléculas mayor interacción de la luz con ellas; también depende de la distancia que recorre la luz por la solución a igual concentración, cuanto mayor distancia recorre la luz por la muestra más moléculas se encontrará; y por último, depende de ε , una constante de proporcionalidad denominada coeficiente de extinción que es específica de cada cromóforo. Como A es adimensional, las dimensiones de ε dependen de las de c y l. La segunda magnitud (l) se expresa siempre en cm mientras que la primera (c) se hace, siempre que sea posible, en M, con lo que las dimensiones de ε resultan ser $M^{-1} \cdot cm^{-1}$. Este coeficiente así expresado, en términos de unidades de concentración molar (o un submúltiplo apropiado), se denomina coeficiente de extinción molar (ε_M). Cuando, por desconocerse el peso molecular del soluto, la concentración de la disolución se expresa en otras unidades distintas de M, por ejemplo $g \cdot L^{-1}$, las dimensiones de ε resultan ser distintas, por ejemplo $g^{-1} \cdot L \cdot cm^{-1}$, y al coeficiente así expresado se denomina coeficiente de extinción específico (ε_s). La ley de Lambert-Beer se cumple para soluciones diluidas; para valores de c altos, ε varía con la concentración, debido a fenómenos de dispersión de la luz, agregación de moléculas, cambios del medio, etc.

2.6 Métodos estadísticos aplicar

2.6.1 Método de Taguchi

Para la obtención de formulaciones a base de algas marinas *macrocystis peryfera* se usó el presente método que según (Zapata Gómez, 2014). El método *Taguchi* ha sido bastante aplicado en la mejora de procesos y productos en diversos sectores como la industria de alimentos, farmacéutica, electrónica, vidrios y envases, aeronáutica, hidrocarburos, *software* y en materiales de construcción.

2.6.2 Análisis de Varianza (ANOVA)

Para poder obtener la mejor formulación que brinde más beneficio al crecimiento del *Lactuca Sativa* con respecto a las cantidades de clorofila totales (mg/g) y peso de la cosecha (g/planta) se aplicara el análisis de Varianza. “El ANOVA permite analizar la variación en una variable de respuesta (variable continua aleatoria) medida en circunstancias definidas por factores discretos (variables de clasificación). Se usa un ANOVA cuando hay mediciones repetidas en más de dos ocasiones o cuando hay dos o más grupos en quienes se hacen mediciones repetidas en dos ocasiones.”. (Dagnino, 2014)

2.6.3 Análisis de diferencia de medias o t-student

Para confrontaran la mejor formulación versus el testigo control (“Macro y Micro nutrientes comercial”) se aplicara el análisis de medias o t-Student esta prueba “se fundamenta en dos premisas; la primera: en la distribución de normalidad, y la segunda: en que las muestras sean independientes. Permite comparar muestras, $N \leq 30$ y/o establece la diferencia entre las medias de las muestras. “El análisis matemático y estadístico de la prueba con frecuencia se minimiza para $N > 30$, utilizando pruebas no paramétricas, cuando la prueba tiene suficiente poder estadístico”. (Sánchez Turcios, 2015).

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

La modalidad de esta investigación es cuantitativa ya que presenta variables que pueden evaluarse con la toma de datos numéricos a nivel de laboratorio.

La presente investigación se realizará con un diseño tipo:

- Experimental (verdadera): se llevará a cabo la evaluación de la formulación y verificación de la mejor solución frente al testigo comercial, se controlarán parámetros de calidad de la lechuga y las formulaciones suministradas (variables dependientes y variables independientes).
- Según su finalidad Explicativa, se buscará una relación de causa y efecto entre la formulación de la solución nutritiva y sus efectos sobre el cultivo.

3.2 Ámbito temporal y espacial

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los laboratorios polivalentes de la Escuela profesional de ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Federico Villarreal, así como los análisis y extracción.

3.3 Diseño de la investigación y determinación de variables

Para asegurar la optimización de la solución hidropónica de algas marinas y la calidad del producto, se determinarán las variables o ingredientes influyentes en el crecimiento de la *Lactuca Sativa L.*

La formulación se obtendrá con 2 variables independientes; extracto de alga marina (EA) y porcentaje de agua (AG); proporcionando dos niveles para cada uno.

Tabla Nº 2. Niveles considerados en el diseño experimental Taguchi

Variables	Nivel*	
	1	2
% Extracto de alga marina (<i>macrocystis pyrifera</i>)	10	30
% Agua	70	90

Fuente: Elaboración propia. *1 = %mínimo; *2 = %máximo

En la siguiente tabla (tabla 3) se presentan las cuatro formulaciones obtenidas del modelo ortogonal de Taguchi, se reflejan diferentes combinaciones de los factores en sus distintos niveles.

Tabla N° 3. Formulaciones experimentales obtenidas con el diseño de Taguchi

FORMULACIONES	EA	AG	FORMULACION FINAL. (% CF)
F ₁	1	1	12.5
F ₂	1	2	10
F ₃	2	1	30
F ₄	2	2	25

Fuente: Elaboración propia. EA: Extracto de algas marinas; AG: Agua; %CF: Concentración final

La elaboración de la solución hidropónica se realizará en base a las combinaciones de niveles propuestos de (EA) Y (AG) obteniendo una formulación final (%CF), de acuerdo a estas concentraciones se suministrarán en un total de cuatro camas de cultivo (una cama por formulación).

Para buscar la interacción de las cuatro formulaciones con respecto a la calidad durante el crecimiento de *Lactuca Sativa L.* se aplicó el diseño factorial con bloques aleatorios (ver figura 2), siendo el factor fijo o control la formulación de solución comercial hidropónica.

El diseño experimental realizado incluye cuatro formulaciones (F1, F2, F3, F4 Y F0).

3.3.1 Determinación de variables

- Independiente: formulaciones de solución hidropónica a base de algas marinas, F1; F2; F3; F4
- Dependiente: El efecto sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechugas.
- Control: Solución hidropónica comercial micro y macro nutrientes B y A (Tabla N° 01)

3.3.2 Operacionalización de variables

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES/INDICADORES	UNIDADES/CATEGORIAS
<p>Preguntas principales ¿La solución hidropónica a base de algas marinas tendrá igual, superior o inferior efecto en el rendimiento y calidad en el cultivo de lechugas hidropónicas?</p>	<p>Objetivo General Evaluar el efecto en el rendimiento y calidad del cultivo de lechugas hidropónicas tratadas con solución de algas marinas.</p>	<p>Hipótesis alternativa (Ha) La solución hidropónica a base algas marinas tendrá igual, superior o inferior efecto en el rendimiento y calidad en el cultivo de <i>Lactuca Sativa L.</i></p> <p>Hipótesis nula (H0) La solución hidropónica a base algas marinas no tendrá igual, superior o inferior efecto en el rendimiento y calidad en el cultivo de <i>Lactuca Sativa L.</i></p>	<p>INDEPENDIENTE Formulaciones de solución hidropónica a base de algas marinas (<i>Macrocystis pyrifera</i>), F1; F2; F3; F4</p> <p>CONTROL Solución hidropónica (micro y macro nutrientes B y A) testigo comercial</p>	<p>CANTIDAD DE EXTRACTO DISUELTO EN AGUA F1: 12.5 % F2: 10% F3: 30 % F4: 25%</p> <p>CANTIDAD DE MICRONUTRIENTES Y MACRONUTRIENTES F0: 5ml/L (macro) + 2ml/L (micro) F0: 0.5% (macro) + 0.2% (micro)</p>	<p>% DE CONCENTRACION DE EXTRACTO DE ALGAS MARINAS</p> <p>% DE CONCENTRACION DE MICRONUTRIENTES Y MACRONUTRIENTES</p>
<p>Preguntas secundarias ¿Cuál será la mejor formulación de solución hidropónica a base de algas marinas para la aplicación en cultivo de lechugas durante su etapa vegetativa?</p> <p>¿La cantidad de clorofila y peso por planta en cultivo de lechugas tratadas con la formulación de algas marinas será mayor a las obtenidas con el testigo comercial?</p>	<p>Objetivos específicos Elaborar la mejor formulación de solución nutritiva a base de algas marinas para la aplicación en cultivos hidropónicos de lechuga.</p> <p>Comparar la cantidad de clorofila y peso del cultivo de lechugas tratadas con la formulación de algas marinas, frente a un testigo comercial.</p>	<p>Hipótesis alternativa (Ha1) La mejor formulación de solución nutritiva hidropónica a base de algas marinas para la aplicación en cultivos hidropónicas de <i>Lactuca Sativa L</i> es significativa.</p> <p>Hipótesis nula (H01) La mejor formulación de solución nutritiva hidropónica a base de algas marinas para la aplicación en cultivos hidropónicas de <i>Lactuca Sativa L</i> no es significativa.</p> <p>Hipótesis alternativa (Ha2) La cantidad de clorofila y peso del cultivo de lechugas tratadas con la mejor formulación de algas marinas, frente a un testigo comercial es significativa.</p> <p>Hipótesis nula (H02) La cantidad de clorofila y peso del cultivo de lechugas tratadas con la mejor formulación de algas marinas, frente a un testigo comercial no es significativa.</p>	<p>VARIABLES DEPENDIENTE</p> <p>El efecto sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechugas</p>	<p>DIMENSIONES/INDICADORES</p> <p>PESO DE PLÁNTULA</p> <p>CANTIDAD DE CLOROFILA</p>	<p>Gramos/planta</p> <p>Cantidad de clorofila/g de muestra</p>

FUENTE: Elaboración propia

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

Nuestra investigación tendrá 60 unidades experimentales de lechuga hidropónica, 12 unidades suministradas con cada formulación F1, F2, F3 y F4 más 12 unidades tratadas como testigo comercial absoluto.

3.4.2 Muestra

Para la elaboración de la solución hidropónica se utilizará las algas marinas *Macrocystis pyrifera* (Sargazo gigante) provenientes de las playas Punta hermosa y Embajadores (Lima).

Para las unidades experimentales se utilizará ejemplares de Plántulas de *Lactuca Sativa L.* de 20 días de crecimiento que serán adquiridas en el centro hidropónico Villa Hermosa, Empresa agrícola -Chorrillos, Lima (Perú).

3.5 Instrumentos

3.5.1 Técnicas estadísticas de análisis de datos

Para las pruebas estadísticas, de acuerdo a las variables y su tratamiento de datos se utilizará los programas informáticos: Minitab versión 16 y Microsoft Office Excel 2016.

3.5.2 Instrumentación

Según la metodología de cuantificación para clorofilas propuesta por Romero López y otros, (1998) y para la determinación del rendimiento (Peso/planta), se usará como instrumento la hoja o ficha de registro de datos que permitirá controlar y comparar los resultados obtenidos en la evaluación del peso/planta y cantidad de clorofila presentes en *Lactuca Sativa L.* durante su etapa vegetativa.

El tipo de muestreo será simple y la recopilación de datos se llevará a cabo en un periodo de 6 semanas, seguidamente se procederá a validar los datos obtenidos.

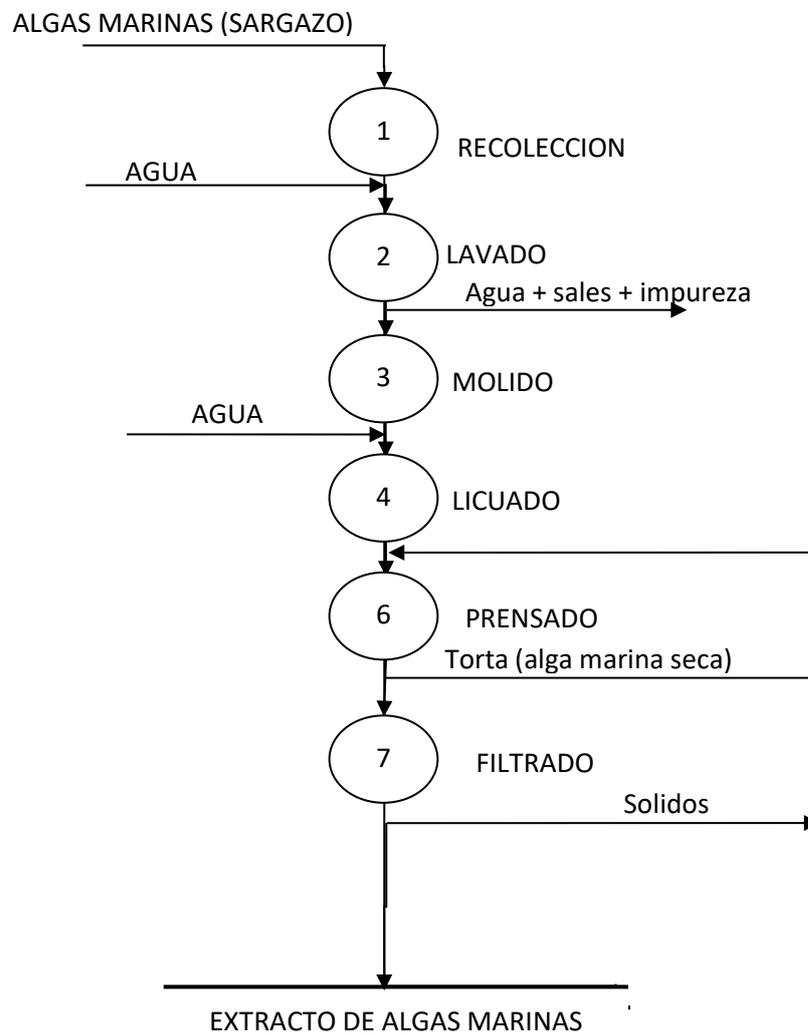
3.6 Procedimientos

3.6.1 Elaboración del Extracto de Alga marina (*Macrocystis Perifera*)

Los extractos de algas marinas se obtuvieron según el presente protocolo que fue usado para elaborar extractos de *Ascophyllum nodosum*, *Fucus serratus*, *Fucus vesiculosus*, *Laminaria hyperborea* y *Sargassum muticum* según (Hernandes Alarcon, Evaluación de un extracto alcalino del Alga (*Macrocystis pyrifera*), (L) C. Agarch, sobre el crecimiento de vegetales terrestres, 2014); esta fue adaptado a las características de pH y conductividad de las soluciones comercial (6.5 y de 1 a 1.5 dS/m) (Oasis grower solutions, 2008) .

1. Se procede a un riguroso lavado con agua de llave debido que en el mar por tener un gran contenido de sales afectan a la conductividad del medio de cultivo y de esta manera a las lechugas hidropónicas.
2. Una vez lavado se procede a secar a temperatura ambiente y reposar a 24 horas.
3. Se realiza una molienda con el fin de aumentar la superficie de exposición de las algas marinas, que es lo que contiene en mayor proporción de nutrientes.
4. Se pesó 4 kg. de la muestra de algas marinas trituradas y se licuo con 4 litro agua de llave.(Proporción 1-1)
5. Los extractos obtenidos fueron filtrados utilizando papel filtro Whatman N° 1 con ayuda de un equipo de vacío. (El filtrado se consideró como la concentración al 100%)
6. Finalmente se procederá envasado y etiquetado, para su posterior aplicación a las camas del sistema hidropónico de raíz flotante.

Figura N° 1. Procesos para la Elaboración del Extracto de Alga Marina



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2 Desarrollo de las *Lactucas Sativas L.* en el sistema hidropónico

Las lechugas (*Lactuca sativa*) que se adquirieron fueron plántulas de 20 días de crecimiento que se trasplantaron al sistema hidropónico flotante. Se realizó 5 camas de las cuales, las cuatro primeras fueron suministradas por las formulaciones obtenidas (ver tabla 4) y la última cama fue tratada con la formulación comercial (control), estas fueron oxigenadas cada 6 horas; el cambio del medio se realizó cada semana. Al final de la cosecha (5ta semana de tratamiento) se evaluó el peso (g/planta) y cantidad de clorofilas totales (mg/g).

3.6.3 Obtención de muestras

- Tipo de muestro: Aleatorio Simple.

De cada cama se seleccionó al azar 12 plántulas (1 hoja por planta) para la determinación de clorofilas. Al mismo tiempo se escogió la misma cantidad de plantas por cama para realizar el seguimiento por triplicado (3 hojas por planta). Para el peso de las plantas se seguirá el mismo procedimiento.

3.6.4 Métodos de Análisis de datos

Con el fin de obtener la mejor formulación hidropónica a base de algas marinas que influencia en la calidad y producción de lechugas se realizaran las siguientes experimentaciones.

3.6.5 Extracción de clorofilas

El extracto de clorofila se obtuvo a partir de 2 g de muestra fresca tomada de la superficie foliar de la planta. La muestra debe ser lo más representativa posible, por lo que se evitó el nervio central.

Esta porción se trituró en un mortero de porcelana y con la ayuda de 12 ml de etanol al 80% de riqueza, se trasvasó la totalidad de la muestra a un tubo de ensayo que inmediatamente se cubrió, para evitar la evaporación del disolvente. Se agitó para conseguir su homogenización. Para una correcta extracción de la clorofila, esta dilución se mantuvo un día o día y medio en condiciones de oscuridad y a una temperatura de 4 o 5°C, evitando su degradación a causa de la luz o el calor. (Gil Perez, 2004).

Posteriormente La separación del extracto se hizo por centrifugación a 3.000 g durante 5 min. (Rodríguez Gaviria & Cayón, Efecto de *Mycosphaerella fijiensis* sobre la fisiología de la hoja de banano, 2008).

3.6.6 Determinación de contenido de Clorofila

Los espectros se realizan en un rango de longitud de onda de 400 a 700 nm en un espectrofotómetro METASH UV-6000 en cubetas de cuarzo de 10nm y se utilizó etanol como solvente (UTIM, 2010). El contenido de clorofilas totales se determinó según el método descrito por (Romero López y otros, 1998) usando para las lecturas de Absorbancia extractos etanolitos y longitudes de onda a 664 nm y 649 nm en un espectrofotómetro UV VIS y finalmente el contenido de clorofilas totales (mg. L-1) / (mg/kg) se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$Ct = 5.24 \cdot A_{664} + 22.24 \cdot Abs_{649}$$

$$Ca = 13.36 \cdot A_{664} - 5.19 \cdot A_{649}$$

$$Cb = 27.43 \cdot A_{649} - 8.12 \cdot A_{664}$$

Dónde:

Ca = concentración de clorofila a (mg/L)

A₆₄₉ = Absorbancia a 649 nm

Cb = concentración de clorofila b (mg/L)

A₆₆₄ = Absorbancia a 664 nm

Ct = concentración de clorofila total (mg/L)

3.7 Análisis de datos

Empleando el modelo ortogonal de Taguchi, se espera la obtención de 4 formulaciones a base de extracto de alga marina, que serán incorporadas durante el desarrollo del cultivo hidropónico de lechuga y se comparará frente al testigo comercial. Para ello se evaluará la concentración de clorofila y peso por plántula de cosechada por formulación.

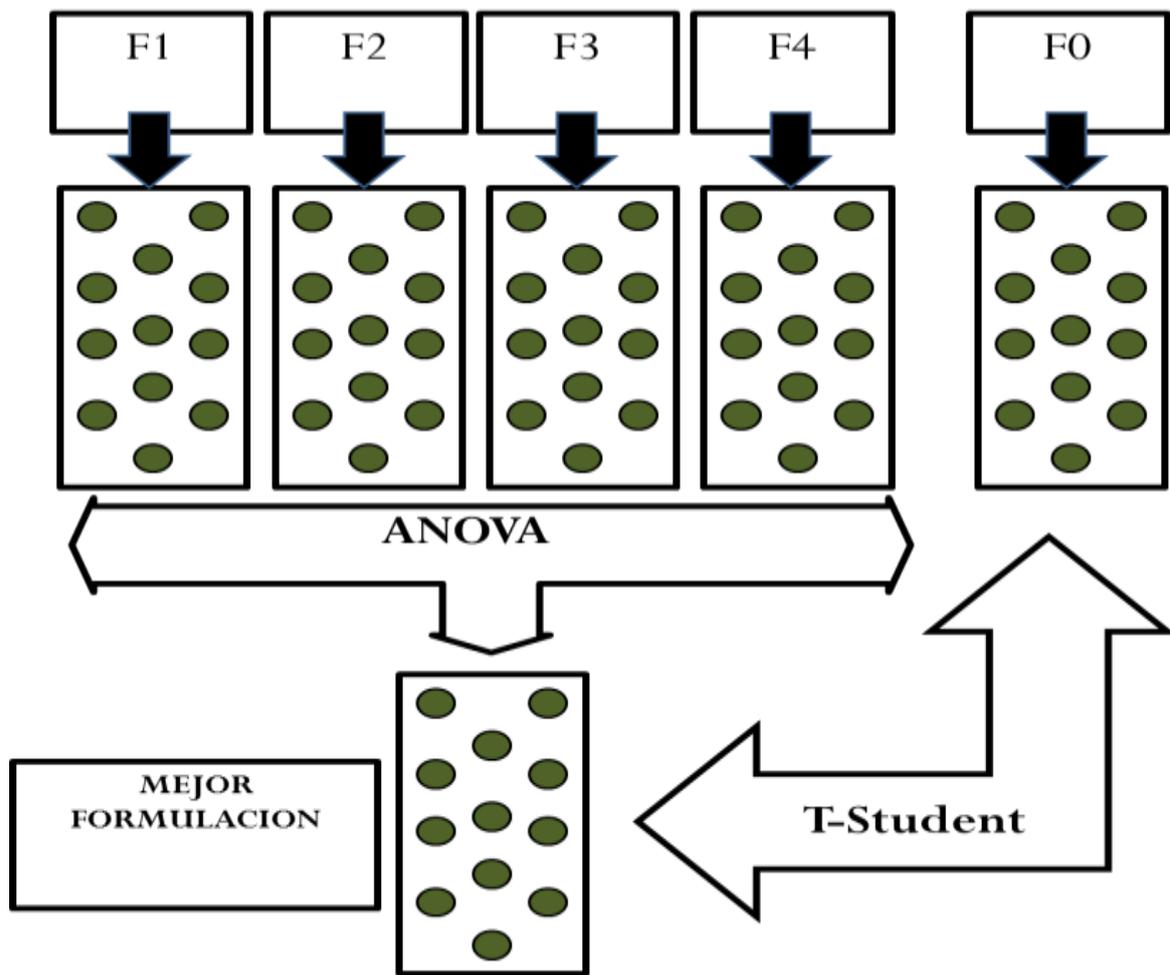
Los datos obtenidos serán sometidos a la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk debido a que es recomendable para muestras pequeñas ($n < 30$), como paso previo a realizar el análisis estadístico. Considerándose un nivel de confianza al 95%, un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ y $p > \alpha$; esta última indicará si la distribución es aproximadamente normal.

En aquellos casos los cuales los datos cumplen los criterios de normalidad se aplicará las pruebas de análisis estadísticos *paramétricos*: ANOVA de dos factores y t student.

Para la comparación de varios grupos o tratamientos (F1, F2, F3 Y F4) serán evaluados con la prueba estadística de ANOVA de dos factores usando un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, esto con el fin de estudiar los diversos tratamientos suministrados en cada cama de lechuga y su variación en intervalos de 7 días (6 semanas). De esta manera se podrá determinar la formulación a base de algas marinas más efectiva y favorable en la calidad y rendimiento de *Lactuca Sativa* durante su crecimiento (H_a) si el valor de p es < 0.05 se comprueba que existen diferencias significativas y se rechaza la hipótesis Nula (H₀).

Finalmente se confrontarán la mejor formulación versus el testigo control (“Macro y Micro nutrientes comercial”), por medio del análisis de diferencia de medias o t-student, pudiendo observar de esta manera en una gráfica de cajas la lejanía y diferencia entre ambos grupos y

determinar cuándo se acerca la efectividad de la mejor formulación al de testigo comercial. Para este análisis se ofrecerá un intervalo de confianza de 95 % para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, obteniendo un P que nos indicara si es mayor o menor a los niveles de significancia en caso el $P > 0,05$, significara que no hay tanta diferencia en el uso de solución hidropónica comercial con la mejor formulación a base de algas marinas obtenidas sobre la calidad y rendimiento de *Lactuca Sativa* rechazando nuestra Hipótesis Nula (H_0).



* F0: Testigo control; * F1, F2, F3, F4: Formulaciones

Figura N° 2. Esquema del diseño experimental y análisis de datos
Fuente: Elaboración Propia

IV. RESULTADOS

4.1 Formulación de Soluciones Hidropónicas a Base de Algas

A partir del extracto de alga marina obtenida se procedió a realizar el modelo ortogonal de taguchi obteniendo cuatro formulaciones (Ver tabla N° 4) tras las combinaciones entre las variables, extracto de alga marina y agua.

Tabla N° 4. Formulaciones Obtenidas Por el Método de Taguchi

FORMULACIONES	% EA	% AG	FORMULACION FINAL. (% CF)
F ₁	10	70	12.5
F ₂	10	90	10
F ₃	30	70	30
F ₄	30	90	25

Nota: % EA: Porcentaje de Extracto de algas marinas; % AG: Porcentaje de Agua; %CF: Porcentaje de Concentración final de Algas marinas Fuente: Elaboración propia.

A la vez de estas fórmulas obtenidas por el método taguchi se lograron tener cuatro formulaciones finales debido a que las concentraciones en base al extracto de algas marinas varían de acuerdo al % de agua suministrado en consecuencia algunas formulaciones la suma del % de agua y % extracto de algas marinas no cumple el 100%, de esta manera se tuvo que realizar en base a proporción sus formulaciones verdaderas.

4.2 Pruebas de Normalidad para el análisis (peso/planta) y cantidad de clorofilas

Los datos obtenidos del Peso de *Lactuca Sativa* (g/planta) cosecha y los datos obtenidos con respecto a la cantidad de clorofilas (mg/kg) en la Última semana fueron sometidos a la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk ($n < 30$) con un nivel de confianza del 95% obteniendo para ambos casos un $p > 0.100$ (Ver figura N° 3 y 4) resultando esta una distribución normal y pudiendo aplicar pruebas estadísticas paramétricas (ANOVA de un Factor).

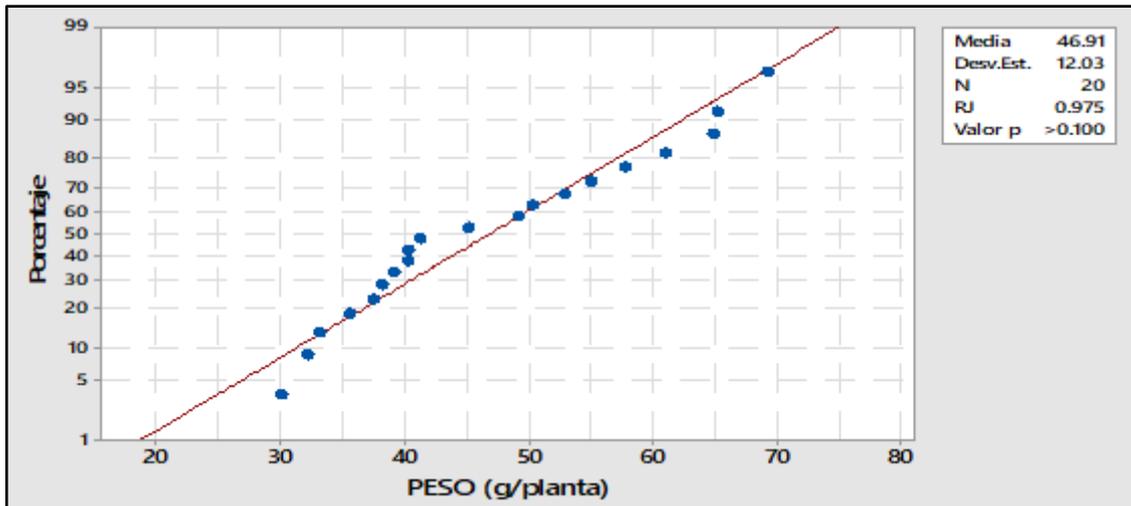


Figura N° 3. Prueba de Normalidad de Shapiro – Wilk del peso del *Lactuca Sativa* cosechada

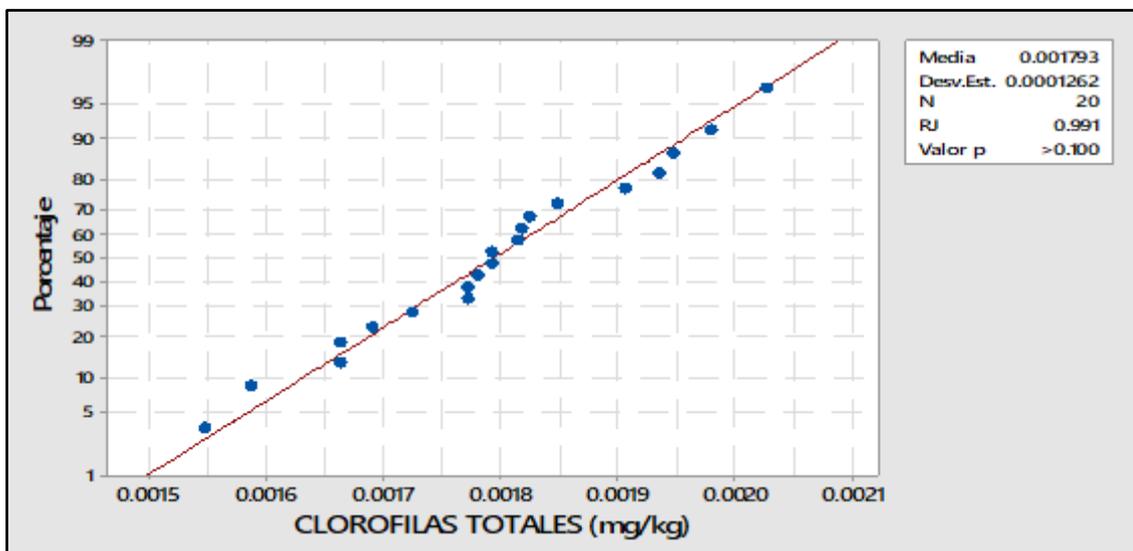


Figura N° 4. Prueba de Normalidad de Shapiro – Wilk de la cantidad de clorofilas del *Lactuca Sativa* cosechada

4.3 Interacción entre Peso de *Lactuca Sativa* cosechada y formulación Suministrada

En la Figura N° 5. La formulación de extractos de algas marinas que tuvo mayor influencia en el peso de la cosecha de *Lactuca Sativa* fue la Formulación (F2) estas serán sometidas a la prueba estadística t-Student con relación a la Formulación comercial (F0) con un tamaño de muestra de 12 unidades experimentales.

En la Tabla N°5. El Peso de las Lactucas Sativas cosechadas en la Última semana tuvo valores significativamente diferentes entre formulaciones y control ($\alpha=0,05$; $p=0,000 < 0,05$; $gl: 3$; $R^2: 84,97\%$).

Tabla N° 5. ANOVA: PESO vs. FORMULACION

Fuente	GL	SC	CM	F	P
FORMULACION	3	2400,9	800,3	36,79	0,000
Error	16	348,0	21,8		
Total	19	2748,9			

S = 4,664 R-cuad. = 87,34% R-cuad. (ajustado) = 84,97%

GL: Grados de Libertad; SC: Suma de cuadrados; CM: cuadrados Medias
Fuente: Elaboracion propia

Tabla N° 6. Medias obtenidas del Peso post cosecha

FORMULACION	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	5	48.51	5.94	(44.09, 52.93)
2	5	63.58	4.37	(59.16, 68.00)
3	5	41.80	4.91	(37.38, 46.22)
4	5	33.73	2.90	(29.31, 38.15)

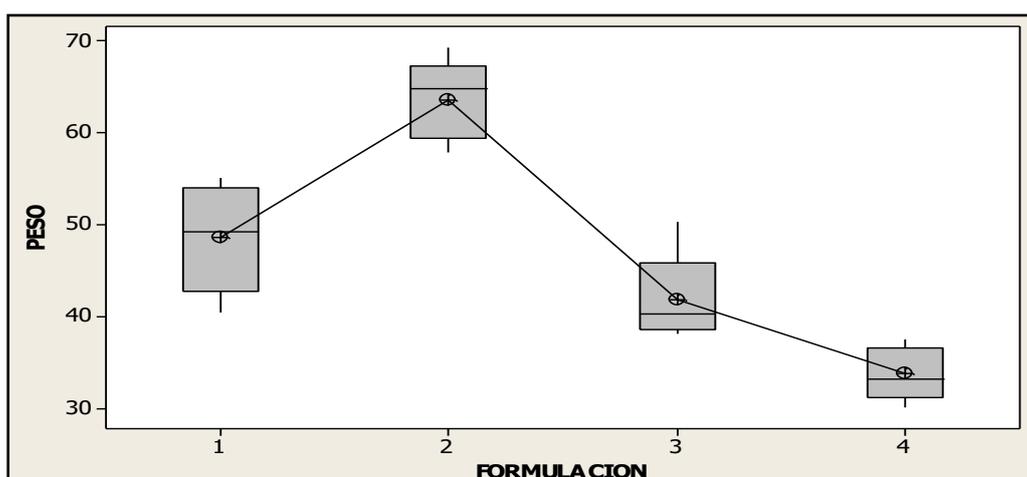


Figura N° 5. Grafica de Cajas del Efecto de las Formulaciones de Extracto de Algas marinas en el Peso de *Lactuca Sativa* cosechada en su última semana de crecimiento

En la Fig. 6. El rendimiento de las lechugas cosechadas tratadas con el extracto de algas marinas fue 64,39 g/planta estas presentaron mayor peso promedio a diferencia a las tratadas por F1, F3 y F4, respecto al control (F0) presento como rendimiento 67,05 g/planta teniendo una diferencia de medias de 2,66 g/planta.

Observándose en la Figura N° 6 y la Tabla N° 7, señala un nivel de confianza de 95% es (-5,5732; 0,25101), que incluye al cero, ello sugiere que no existe mucha diferencia y para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ se obtuvo un $P = 0,935 > 0,05$, esto indica que no existe evidencia que haya diferencia en el uso de la formulación (F2) y la de la solución hidropónica comercial porque su efecto de la cosecha se asemejan.

Tabla N° 7. T – Student: Peso - f2; Peso - f0

T de dos muestras para FORMULACION - F2 vs. FORMULACION - F0				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
FORMULACION - F2	12	64,39	3,65	1,1
FORMULACION - F0	12	67,05	4,57	1,3

Diferencia = μ (FORMULACION - F2) - μ (FORMULACION - F0)
 Estimado de la diferencia: -2,66
 IC de 95% para la diferencia: (-5,5732; 0,25101)
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. >): Valor T = -1,58 Valor P = 0,935 GL = 20

Fuente: Elaboracion propia

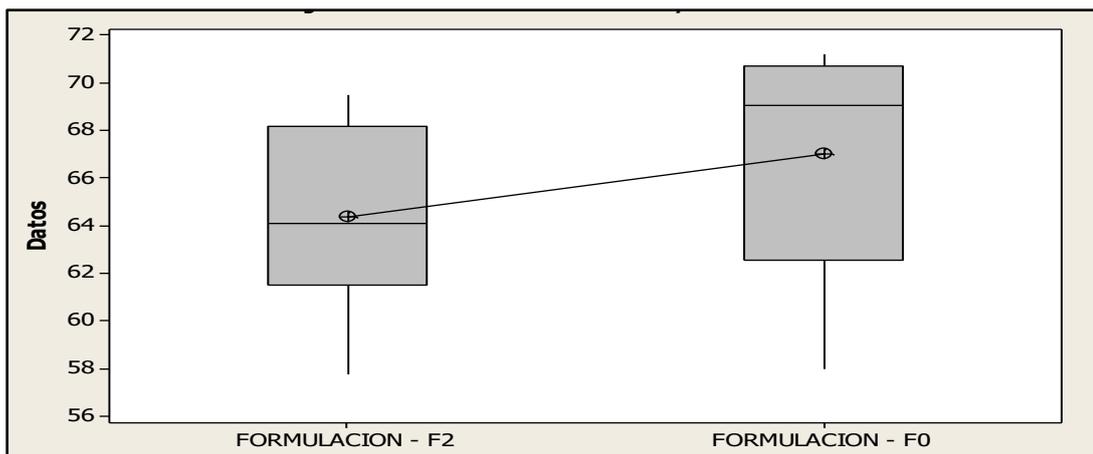


Figura N° 6. Efecto de las Formulaciones de Extracto de Algas marinas (F2) frente a la Formulación Comercial (F0) respecto al Peso de la Cosecha de *Lactuca Sativa*

4.4 Espectro UV-Vis de las clorofilas totales

Una vez suministrado las formulaciones y después de los 7 días de tratamiento del cultivo de *Lactuca sativas.L* se extrajeron las clorofilas totales de las hojas, con el fin de validar que lo extraído son clorofilas totales, se realizó un barrido espectral que se identificó por medio del espectro de absorción, cuyos resultados se muestran en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8. Barrido espectral – Absorbancia vs Longitud de onda

Absorbancia	Longitud de onda (nm)	Absorbancia	Longitud de onda (nm)
0.511	390	0.037	536
0.507	394	0.037	538
0.51	398	0.039	540
0.515	400	0.038	550
0.534	404	0.041	556
0.566	408	0.043	560
0.584	410	0.047	564
0.624	416	0.054	570
0.63	420	0.06	576
0.628	422	0.064	580
0.623	424	0.07	590
0.625	426	0.082	600
0.642	428	0.1	610
0.655	430	0.104	620
0.686	436	0.103	630
0.68	438	0.104	632
0.659	440	0.11	636
0.598	444	0.128	640
0.455	454	0.137	642
0.435	460	0.128	644
0.449	468	0.11	646
0.442	470	0.182	648
0.4	474	0.204	650
0.266	480	0.228	652
0.203	484	0.331	660
0.125	490	0.334	662
0.056	500	0.333	664
0.045	504	0.332	666
0.038	510	0.314	668
0.033	520	0.254	670
0.028	524	0.16	674
0.03	526	0.139	676
0.033	528	0.114	678
0.037	534	0.041	674

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7. Se representa el espectro de absorción visible del extracto de clorofilas extraídas cuyos valores máximos para la clorofila "s" fueron entre 436 y 662 nm y para la clorofila "b" fueron entre 468 y 642 nm

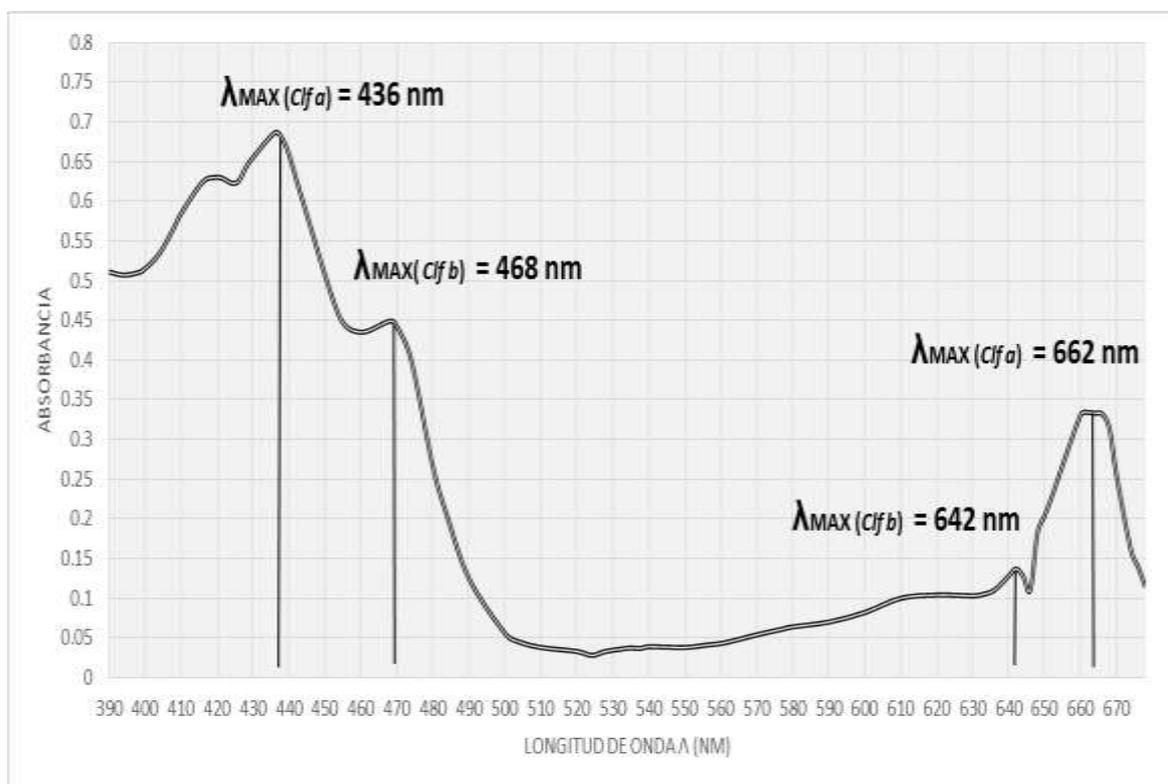


Figura N° 7. Espectros de Absorción de los extractos de clorofilas extraídas de las *Lactuca Sativa L.*

4.5 Interacción entre Cantidad de clorofilas totales de *Lactuca Sativa* cosechada y formulación Suministrada

En la figura 8. Por los resultados del ANOVA, la cantidad de clorofilas de las hojas de las lechugas cosechadas en la Última semana tuvo valores significativamente diferentes entre formulaciones y control ($\alpha = 0,05$; $p = 0,000 < 0,05$; $gl: 3$; $R^2: 89,41\%$).

Tabla N° 9. ANOVA: CLOROFILAS TOTALES (mg/kg) vs. FORMULACION

Fuente	GL	SC	CM	F	P
FORMULACION	3	0,0000007	0,0000002	30,23	0,000
Error	16	0,0000001	0,0000000		
Total	19	0,0000008			

S = 0,0000411 R-cuad. = 91,08% R-cuad. (ajustado) = 89,41%

Fuente: Elaboración propia

Tabla Nº 10. Medias obtenidas de Clorofilas totales

FORMULACION	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	5	0.001818	0.000020	(0.001779, 0.001857)
2	5	0.001958	0.000046	(0.001919, 0.001997)
3	5	0.001768	0.000026	(0.001729, 0.001807)
4	5	0.001629	0.000060	(0.001591, 0.001668)

Fuente: Elaboracion propia

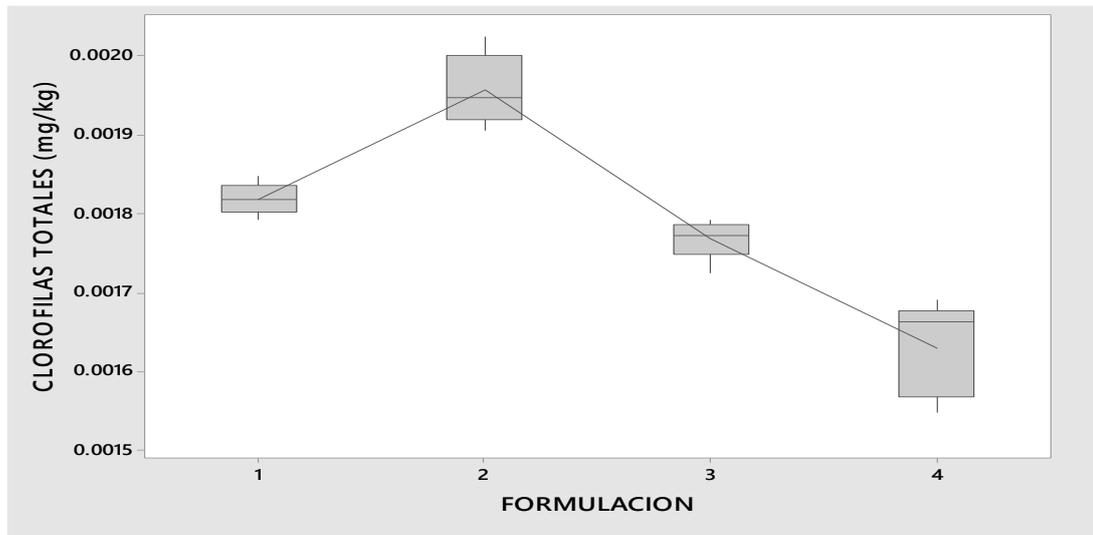


Figura Nº 8. Grafica de Cajas del Efecto de las Formulaciones de Extracto de Algas marinas en la cantidad de clorofila de *Lactuca Sativa* cosechada.

La formulación de extractos de algas marinas que tuvo mayor influencia en su cantidad de clorofila de las hojas del *Lactuca Sativa* cosechada fue la Formulación (F2) estas fueron sometidos a la prueba estadística t-Student para comparación de medias con respecto a la Formulación comercial (F₀). Observándose en la Figura Nº 9 y la Tabla Nº 11, señala un nivel de confianza de 95% es (-0.0001230; 3,3418E-06) como intervalo el cual incluye al cero, lo que sugiere no existe mucha diferencia y para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ se obtuvo un $P = 0.941 > 0.05$, esto indica que no existe evidencia que haya diferencia en el uso de la formulación (F2) y la de la solución hidropónica comercial ya que su efecto en el peso de la *Lactuca Sativa* cosechada se asemejan equiparablemente. Se logro obtener 0.001948mg/kg equivalente a 1.948 ug/g de clorofilas totales de las lechugas tratadas por F2 a diferencia del control que se obtuvo 0,002008 mg/kg equivalente a 2,008 ug/g.

Tabla N° 11. Prueba T – Student: Cantidad de clorofila - f2; Cantidad de clorofila - f0

T de dos muestras para FORMULACION - F2 vs. FORMULACION - F0				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de La media
f2	12	0,0019480	0,0000418	0,000012
f0	12	0,002008	0,000116	0,000034

Diferencia = $\mu (f2) - \mu (f0)$
 Estimado de la diferencia: (-0,0001230; 3,3418E-06)
 Límite inferior 95% de la diferencia: -0,000123
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. >): Valor T = -1,68 Valor P = 0,941 GL = 13

Fuente: Elaboracion propia

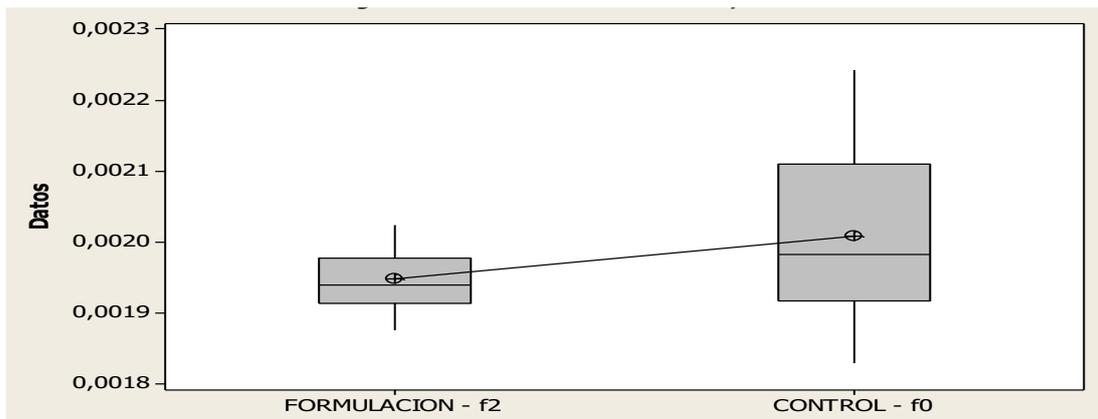


Figura N° 9. Efecto de las Formulaciones de Extracto de Algas marinas (F2) frente a la Formulación Comercial (F0) respecto a la cantidad de clorofila de las hojas de la Cosecha de *Lactuca Sativa*

4.6 Conductividad Eléctrica de las Formulaciones (mS/cm)

Según la tabla N° 3 se muestra la conductividad eléctrica de las formulaciones (mS/cm) que se obtuvo con el conductímetro, para la formulación (f1) se obtuvo 15,06 mS/cm esto debido a que tiene una concentración de algas marinas de 12,5 % mientras que la F3 y F4 tienen concentraciones de 30 y 25 %, esto pudo deberse a que las algas dentro del mar tienen una conductividad de 70 mS/cm.

Tabla N° 12. Conductividad Eléctrica de las Formulaciones (mS/cm)

FORMULACIONES	F1	F2	F3	F4
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA PROMEDIO (mS/cm)	15,06	9,99	20,06	18,15
DESVIACION ESTANDAR	± 0,09660918	± 0,328125992	± 0,15776213	± 0,13540064

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según los resultados obtenidos de las formulaciones, la concentración al 10% (F2) de extracto de algas marinas (*Macrocystis pyrifera*) se asemeja a lo mencionado por Erulan y otros (2009); quien obtuvo valores significativamente más bajos que el control a una concentración de 15% de extracto de *Sargassum polycystum* aplicado en cultivos de guandú o frijol de palo y leguminosa cultivada en la India.

Según Garzon (2006) determina que el peso de lechugas hidropónicas tiene un mínimo de 52 g/planta y un máximo de 167 g/planta, los cuales se asemejan a 64.38 g/planta obtenidos con la formulación F2.

Las clorofilas extraídas cuyos valores máximos para la clorofila "a" fueron entre 436 y 662 nm y para la clorofila "b" fueron entre 468 y 642 nm; valores semejantes a los establecidos con anterioridad para la identificación de la presencia de clorofilas a y b por (UTIM, 2010) que sitúan las Absorbancias máximas en un rango de 400 a 700 nm, característicos de estructuras de las clorofilas así como la presencia en disoluciones alcohólicas que presentan máximos de absorbancias en 430 y 662 nm, mientras que las clorofilas b los presenta en 453 nm y 642 nm. De esta manera se identifica que los extractos extraídos de *la Lactucas Sativa* son clorofilas a y b.

Respecto al contenido de clorofilas totales se obtuvo 1.948 ug/g de clorofila en lechugas tratadas con la formulación F2, teniendo una mínima diferencia con los resultados obtenidos por Coronel (2004) que presentan un contenido de clorofila de 1.57 ug/g como mínimo y un máximo de 2.12 ug/g en cultivo de lechugas.

A pesar de que la formulación F2 obtuvo resultados positivos, no logro superar a la formulación F0 (testigo comercial), que pudo deberse a la conductividad eléctrica de 9.99 mS/cm superior al testigo comercial (2 mS/cm). Dalva (2012) señala que las concentraciones de calcio, magnesio y potasio disminuyen con el aumento de la salinidad de la solución nutritiva. Sin embargo si permitió el crecimiento del cultivo porque la formulación F2 se encuentra dentro del rango de tolerancia de conductividad eléctrica de *Lactuca Sativa* (2 mS/m – 10.4 mS/m) reportado por dicho autor.

Por último, se tiene que en cultivos de cebada se aprecia una resistencia de salinidad $Ce < 17-20$ mS/m; por tanto las formulaciones elaboradas (F1, F3 y F4) podrían ser aplicadas a este cultivo obteniéndose mejores resultados (Isla Climente, 2010).

VI. CONCLUSIONES

- La aplicación de la solución de extracto de algas marinas en las cuatro formulaciones, contienen los nutrientes necesarios para permitir el crecimiento del cultivo de lechugas hidropónicas.
- La formulación F2 con una concentración de 10% de extracto de algas, presenta mejores resultados para el cultivo de *Lactuca sativa*.
- Al comparar la formulación F2 (concentración 10%) frente a la solución comercial utilizada en la experimentación, se logró obtener un rendimiento de 64,38 g/planta y 1,948 ug/g de clorofilas totales en comparación con el testigo (67,05 g/planta y 2,008 ug/g) en contenido de clorofilas, presentando así una diferencia no significativa.
- La formulación que tiene buenos resultados es al 10% de extracto de algas marinas si bien no logro superar al control comercial (F0) tienen un efecto bioestimulante logrando aumentar el rendimiento y calidad del *Lactuca sativa* a comparación a las concentraciones de 12,5; 30 y 25 % de extracto de algas marinas.

VII. RECOMENDACIONES

- Evaluar la conductividad de las formulaciones a base de algas marinas durante el proceso de oxigenación de las *Lactucas sativas* debido a que pueden variar durante el tiempo y tienen una influencia importante en el rendimiento y calidad del crecimiento del *Lactuca Sativa* variedad de seda.
- Durante la fase de experimentación, incluir fitotoldos y observar su efecto bioestimulante frente a las horas luz y Establecer un número de 30 plántulas por formulación para obtener menores errores al 95 % de confianza.
- En caso de realizar una investigación posterior se sugiere reducir el porcentaje de la formulación de extracto de Algas marinas con el fin de poder reducir el factor de salinidad.
- En caso realizar una posterior investigación con las algas *Macrocystis Perifera* se sugiere realizar las experimentaciones en cultivos de cebada o germinados de *Medicago sativa* que puedan ser resistentes a la conductividad o salinidad de la formulación, debido a que estos ejemplares resisten conductividades entre 17 a 20 mS/m.
- Debido a que las algas marinas se encuentran varadas en el mar y no son aprovechadas por algunos distritos de Lima, se sugiere realizar un proyecto de pre factibilidad con el fin de poder aprovechar estos recursos.

VIII. REFERENCIAS

- Almodóvar, W. I. (2000). Enfermedades de los hidroponicos. *Clinica al Dia*, 1-10.
- Ayarza Leon, J. L. (29 de abril de 2015). Extracción y caracterización de alginato de sodio procedente del alga parda *Macrocystis sp.* *Extracción y caracterización de alginato de sodio procedente del alga parda Macrocystis sp.* Lima, Peru: Tesis PUCP.
- C.Gilsanz, J. (2007). *Hidroponía*. Montevideo: INIA.
- Cambrón Sandoval, V. H., España Boquera, M. L., Sánchez Vargas, N. M., Sáenz Romero, C., Vargas Hernández, J. J., & Herrerías Diego, Y. (2011). Producción de clorofila en *Pinus pseudostrobus* en etapas juveniles bajo diferentes ambientes de desarrollo. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(2), 253-260.
- Canales Lopez, B. (2000). Enzimas Algas: Posibilidades de su uso para estimular la producción Agrícola y mejorar los suelos. *Palau Bioquim, S.A.* , 271-275.
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1986). *La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT)*. Chile: Universidad de Talca.
- Coronel, G., Chang, M., & Rodríguez-Delfín, A. (2010). ACTIVIDAD DE LA NITRATO REDUCTASA Y CONTENIDO DE CLOROFILA EN LECHUGA CULTIVADA HIDROPONICA Y ORGANICAMENTE. *Red Hidroponía, Boletín No 48.*, 8-12.
- Dagnino, J. (2014). Bioestadística y Epidemiología: Análisis de Varianza. *Rev Chil Anest*, 306-310.
- Dalva Paulus, E. P. (2012). Crecimiento, consumo hídrico y composición mineral de alface cultivada. *ceres*, 110-117.
- Díaz, N. A., Ruiz, J. A., Reyes, E. F., Cejudo, A. G., Novo, J. J., & Peinado, J. P. (9 de febrero de 2016). *Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. Obtenido de Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas.: http://www.uco.es/dptos/bioquimica-biolmol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETR%C3%8DA.pdf
- Erulan, V., Soundarapandian, P., & Ananthan, G. T. (2009). Studies on the Effect of *Sargassum polycystum* (C.Agardh, 1824) Extract on the Growth and Biochemical Composition of *Cajanus cajan* (L.) Mill sp. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 392-399.
- Fernandez, B. S. (19 de Marzo de 2015). El consumo de productos orgánicos crece entre los peruanos. *El comercio*, pág. A12.
- Fischer, S., Wilckens, R., Vidal, I., & Astete, P. &. (2016). Respuesta de la Achicoria (*Cichorium intybus L.*) a la aplicación de magnesio. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 3-5.
- Garzon Lopez, S. S. (2006). *Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes*. Honduras: Zamorano.

- Gil Perez, B. (2004). *Aplicacion de tecnicas de teledeteccion Hiperespectral en Viñedo Fertilizado con extracto de Algas*. Roturas: Universidad de Valladolid.
- Guerrero Ruiz , J. C. (05 de Noviembre de 2016). *Hortalizas*. Obtenido de La aplicaciòn de algas marinas para la fertilizaciòn: <http://www.hortalizas.com/nutricion-vegetal/la-aplicacion-de-las-algas-marinas-para-la-fertilizacion/>
- Guzmán Díaz, G. (2004). *Hidroponía en casa: Una actividad familiar*. San José-Costa Rica: Ministerio de agricultura y ganadería.
- Guzman, O. (2004). *Biofertilizante vs.fertilizantes químicos en el cultivo de nabo en la localidad de Soracachi Oruro*. Bolivia.
- Hernandes Alarcon, I. (2014). *Evaluación de un extracto alcalino del Alga (Macrocystis pyrifera), (L) C. Agarch, sobre el crecimiento de vegetales terrestres*. La Paz: Universidad Autonoma de Baja California Sur.
- Hernandes, I. (2014). *Evaluacion de un extracto alcalino del Alga(Macrocystis pyrifera, (L) C. Agarch, sobre el crecimiento de vegetales terrestres*. La Paz: Universidad Autonoma de Baja California Sur.
- Instituto Nacional para la Educación de los adultos . (2008). *Guías de emprendizaje CONEVyT - Tecnicas de Hidroponia*. Mexico : sep.
- Isla Climente, R. (2010). Efecto de la salinidad sobre la cebada (*Hordeum vulgare*). Análisis de caracteres morfo-fisiológicos y su relación con la tolerancia a la salinidad. *Servei de Publicacions*, 26.
- Keulen, H. V., & Wolf, J. (1986). Modelling of agricultural production:weather soil and crops . *Pudoc*, 613.
- Khan W, R. U. (2009). *Los extractos de algas como bioestimulantes del crecimiento y desarrollo de las plantas*. Plant Growth Regul .
- Lara Pecho, J. C., Torres Anaya, A. A., & Vargas Arteaga, J. A. (2015). *Formulacion de abono a base de algas y residuos marinos de Pucusana para aumentar la talla de las raices de la planta de tomate* . Callao-Perù: Universidad Nacional del Callao.
- Laura Vasquez, Y. (2014). *Bioactividad tipo auxina y citoquinina de extractos de macroalgas sobre cotiledones de Cucumis Sativus L*. Lima: Universidad Mayor de San Marcos.
- Layten Vera, C. N. (2015). *Efecto de extractos de algas marinas en el rendimiento y calidad de alcachofa (Cynara scolymus L. cv. LORCA)*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Lopes Sidinei, J., Dourado Neto, D., & Manfron, P. A. (2004). Models to estimate phytomass accumulation of hydroponic lettuce. *Scientia Agricola*, 392-400.
- Lopes, S. J., Santos, P. M., Storck, L., Cocco, C., Damo, H. P., & Martini, L. F. (2007). Cronograma de amostragem de alface cultivada em hidroponia para ajuste de curvas de crescimento vegetativo. *. Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1451-1457.

- Ma. De Jesús Juárez Hernández, G. A. (abril de 2006). *Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2016, de NCI [Internet]: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000400003&lng=es.
- Marulanda, C., & Izquierdo, J. (2003). La huerta hidropónica popular. *FAO*, 74-78.
- Medjdoub, R. (09 de Noviembre de 2016). Las algas marinas y la agricultura. *División agrícola CATSAIGNER*, 2-4. Obtenido de Las algas marinas y la agricultura: http://catsaigner.adiago.com/sites/default/files/las_algas_marinas.pdf
- Mendez Lopez, G. (2014). *Fertilización a base e extractos de algas marinas y su relación con la eficiencia del uso del agua y de la luz de una plantación de Vid y su efecto en el rendimiento y calidad de frutos*. Saltillo, Mexico: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".
- Oasis grower solutions. (2008). *Manual de hidroponía*. texcoco- Mexico: easy plant.
- Ordoñez Rumiche, E. M. (2015). *USO DE SOLUCIONES HIDROPONICAS EN EL AGUA DE RIEGO DEL GERMINADO HIDROPONICO (GH) DE CEBADA (Hordeum vulgare)*. Lambayeque: UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO" .
- Peña Salamanca, E. J., Palacios Peñaranda, M. L., & Ospina Alvarez, N. (2005). *Algas como indicadores de contaminación*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Perez, M., Longar, M., & Rios, E. (9 de Diciembre de 2013). El estado de técnica de la hidroponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 803-809. Obtenido de Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas: <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263127573012.pdf>
- Proyecto Centro de Desarrollo Rural FSG 963 . (2008). *Buena Práctica Hidroponía* . Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala y Fundación Soros Guatemala.
- Regalado, F. (2009). *Cultivos hidropónicos*. Lambayeque: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo" .
- Rodríguez Gaviria, P., & Cayón, G. (2008). Efecto de *Mycosphaerella fijiensis* sobre la fisiología de la hoja de banano. *Agronomía Colombiana*, 256-265.
- Rodríguez, S. (1996). *Fertilizantes: nutrición vegetal*. Mexico: AGT.
- Sánchez Turcios, R. A. (2015). t-Student. Usos y abusos. *revista mexicana de cardiología Volumen 26, Número 1*, 59-61.
- Townsend, A. M., & Hanover, J. W. (1972). Altitudinal variation in photosynthesis, growth and monoterpene composition of western white pine (*Pinus monticola* Dougl.) seedlings. . *Silvae Genet*, 133-139.
- UTIM. (2010). Cuantificación de clorofilas de Ajitamate. *Universidad Tecnología de Izucar de Matamoros*, 4-6.

- Vermaas, F. W. (1998). An introduction to photosynthesis and its applications. *The World & I* 3(1), 158–165.
- Vidal, L. (2007). *Fertirrigacion, Cultivos y frutales*. Chile: Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Universidad de Concepcion Chillán.
- Wen Yuan, H. (2009). *Factors Contributing to the Recent Increase in U.S. Fertilizer Price, 2002-08*. Washington: Agricultural Resources Situation and Outlook Number AR-33. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Zapata Gómez, A. &. (2014). Mejoramiento de la calidad del café soluble utilizando el método Taguchi. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(1), 116-124.
- Zarco Tejada, P., MILLER, J., HARRON, J., HU, B., NOLAND, T., GOEL, N., . . . SAMPSON, P. (2004). Needle chlorophyll content estimation through model inversion using hyperspectral data from boreal conifer forest canopies. *Remote Sensing of Environment* 89(2), 189–199.

IX. ANEXOS

Anexo N°1: Ejemplares para la investigación



Fig.11. Ejemplares de *Lactuca sativa* L.



Fig.12. Ejemplares de *Lactuca sativa* L.
Cosechada

Anexo N°2: Sistema Hidropónico implementado durante la investigación



Fig.13. Sistema hidropónico flotante

Anexo N°3: Ejemplares de algas marinas recolectadas (*Macrocystis pyrifera*) y elaboración de la formulaciones.



Fig.14. Algas *Macrocystis pyrifera*



Fig.15. Extracto de algas extraídas



Fig.16. Formulaciones obtenidas por taguchi

Anexo N°4: Cuantificación de cantidad de clorofilas



Fig.17. Muestras obtenidas



Fig.18. Micro celdas de Espectrofotómetro

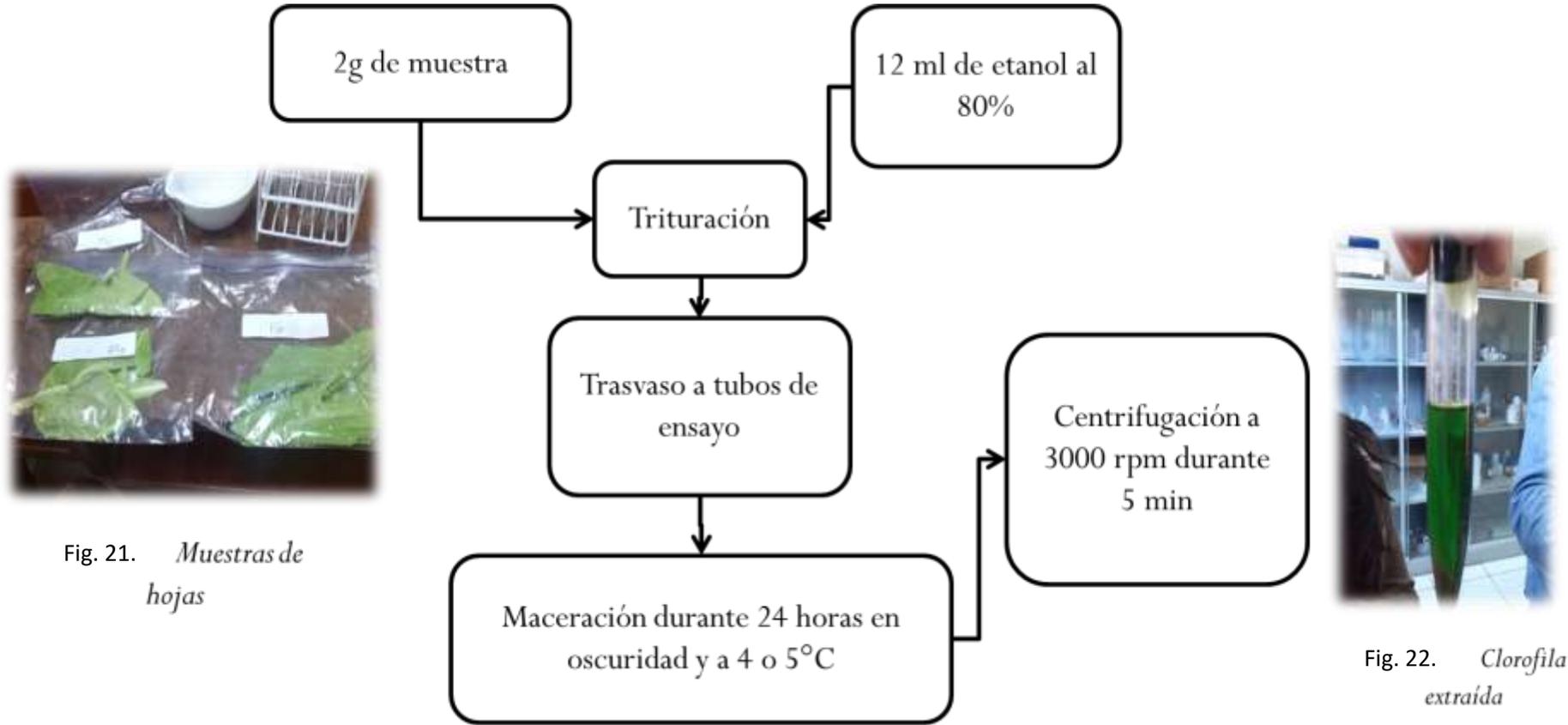


Fig.19. Clorofilas extraídas



Fig.20. Espectrofotómetro

Anexo N°5: Proceso de extracción de clorofilas



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°6: Hoja de recogida de datos para la determinación de cantidad de clorofila

 <p>Universidad Nacional Federico Villarreal</p>	<p>HOJA DE RECOGIDA DE DATOS: DETERMINACION DE CANTIDAD DE CLOROFILA</p>
--	---

RESPONSABLE: Bach. Salazar huari Luis Angel

FORMULA:

$$Ct = 5.24 * A_{664} + 22.24 * Abs_{649}$$

FECHA:

FORMULACION	MUESTRA	Constantes 5.24				Constantes 22.24				CLOROFILAS TOTALES
		ABS 664			Promedio	ABS 649			Promedio	
		REPETICIONES	R1	R2		R3	REPETICIONES	R1		
F1	M1									
	M2									
	M3									
	M4									
	M5									
F2	M1									
	M2									
	M3									
	M4									
	M5									
	M6									
	M7									
	M8									
	M9									
	M10									
	M11									
	M12									
F3	M1									
	M2									
	M3									
	M4									
	M5									
F4	M1									
	M2									
	M3									
	M4									
	M5									
F0	M1									
	M2									
	M3									
	M4									
	M5									
	M6									
	M7									
	M8									
	M9									
	M10									
	M11									
	M12									

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°7: Hoja de recogida de datos para la determinación de conductividad de formulaciones

 <p>Universidad Nacional Federico Villarreal</p>	<p>HOJA DE RECOGIDA DE DATOS: <u>DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD DE FORMULACIONES</u></p>
--	--

CONDUCTIVIDAD mS/cm <> dS/m a 25°C

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DE LAS FORMULACIONES (mS/cm)				
FORMULACIONES	F1	F2	F3	F4
R1	15	10	18	20
R2	15.1	10.1	18.2	20.1
R3	14.9	10.2	18.3	20.2
R4	15	10.1	18.4	20.1
R5	15.1	10	18.1	20.2
R6	15.2	10.3	18.2	20.1
R7	15	10.1	18.1	20.3
R8	15.1	10	18	19.9
R9	15.2	9.1	18.2	19.8
R10	15	10	18	19.9
prom	15.06	9.99	18.15	20.06
Desv.estandar	0.09660918	0.328125992	0.13540064	0.15776213

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°8: Hoja de recogida de datos para la determinación de del espectro UV-Vis de las clorofilas totales

 Universidad Nacional Federico Villarreal		HOJA DE RECOGIDA DE DATOS: <u>Espectro UV-Vis de las clorofilas totales</u>	
Absorbancia	Longitud de onda (nm)	Absorbancia	Longitud de onda (nm)
0.511	390	0.037	536
0.507	394	0.037	538
0.51	398	0.039	540
0.515	400	0.038	550
0.534	404	0.041	556
0.566	408	0.043	560
0.584	410	0.047	564
0.624	416	0.054	570
0.63	420	0.06	576
0.628	422	0.064	580
0.623	424	0.07	590
0.625	426	0.082	600
0.642	428	0.1	610
0.655	430	0.104	620
0.686	436	0.103	630
0.68	438	0.104	632
0.659	440	0.11	636
0.598	444	0.128	640
0.455	454	0.137	642
0.435	460	0.128	644
0.449	468	0.11	646
0.442	470	0.182	648
0.4	474	0.204	650
0.266	480	0.228	652
0.203	484	0.331	660
0.125	490	0.334	662
0.056	500	0.333	664
0.045	504	0.332	666
0.038	510	0.314	668
0.033	520	0.254	670
0.028	524	0.16	674
0.03	526	0.139	676
0.033	528	0.114	678
0.037	534	0.041	674

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°9: Hoja de recogida de datos para la determinación del rendimiento post cosecha

 <p style="margin: 0;">Universidad Nacional Federico Villarreal</p>	<p>HOJA DE RECOGIDA DE DATOS: DETERMINACION DE RENDIMIENTO POST COSECHA</p>
---	--

RESPONSABLE: Bach. Salazar huari Luis Angel

FECHA:

FORMULACION	fecha:	REPETICIONES			Prom	desv. Estándar
	MUESTRA	R1	R2	R3		
F1	M1					
	M2					
	M3					
	M4					
	M5					
F2	M1					
	M2					
	M3					
	M4					
	M5					
	M6					
	M7					
	M8					
F3	M1					
	M2					
	M3					
	M4					
	M5					
F4	M1					
	M2					
	M3					
	M4					
	M5					
F0	M1					
	M2					
	M3					
	M4					
	M5					
	M6					
	M7					
	M8					
	M9					
	M10					
	M11					
	M12					

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°10: Logros de la investigación

- 1er puesto en el concurso de Poster científico con el tema “Efecto en el rendimiento y calidad del cultivo hidropónico de *Lactuca sativa* L. tratado con solución de algas marinas” en la I feria de innovación e investigación agroindustrial realizado por la escuela profesional de ingeniería agroindustrial de la Universidad nacional Federico Villarreal realizado en la ciudad de lima el 15 de septiembre del 2017
- 1er puesto en la jornada científica de estudiantes investigadores 2017 realizado por la facultad de ingeniería industrial y de sistemas de la Universidad nacional Federico Villarreal realizado en la ciudad de lima el 19 de octubre del 2017.
- 1er puesto en el concurso de poster científico en el XVIII Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Agroindustrial, llevado a cabo en Apurímac el 18 de Octubre del 2017.
- 2do puesto en el concurso de Interfacultad realizado por la Universidad Nacional Federico Villarreal realizado el 7 de diciembre del 2017.



Fig 23. Concurso de Interfacultad de la UNFV realizado el 7 de diciembre del 2017

- Investigación inscrita en la revista de investigación *Quadrivium* UNFV Agosto 2018



Fig 24. Presentación de la Revista de investigación *Quadrivium* UNFV Agosto 2018

Anexo N°11. Diagrama de Gantt

ACTIVIDADES		FECHAS																			
		Feb - 17				Marz -17		Abri-17										May-17			
		2	13	15	26	01	03	7	9	13	14	16	20	21	23	27	28	30	4	5	6
1	Búsqueda de referencias bibliográficas	■																			
2	Formulación del tema de estudio	■	■																		
3	Definición del tipo de estudio a utilizar y la fundamentación del método a aplicar		■	■																	
4	Elaboración del diseño experimental			■	■	■	■														
5	Recolección de algas marinas								■			■			■					■	
6	Lavado de muestra								■			■			■					■	
7	Elaboración del extracto de algas marinas								■			■			■					■	
8	Elaboración del sistema flotante hidropónico									■			■			■				■	
9	Trasplante de plántulas de 20 días de crecimiento									■			■			■				■	
10	Suministro solución hidropónica comercial y extracto de algas marinas									■			■			■				■	
11	Cuantificación de clorofilas																			■	
12	Análisis de datos recolectados																				■
13	Elaboración de resultados y conclusiones																				■

Fuente: Elaboración Propia

