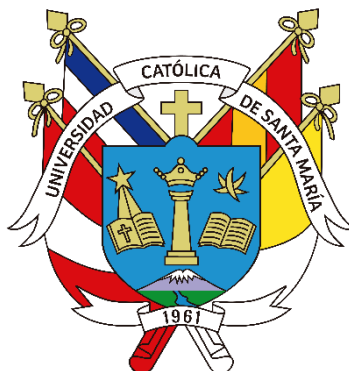


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y
Biotechnológicas
Escuela Profesional de Ingeniería Biotechnológica



Optimización de la metodología para la obtención de Suginori verde a partir de *Chondracanthus chamissoi* (yuyo) proveniente de Pisco, 2021.

Tesis presentada por la Bachiller:

Echegaray Calderon, Maria Belen

ORCID: 0009-0005-8206-2049

para optar el Título Profesional de Ingeniera Biotecnóloga

Asesor:

Dr. Medina Cabrera, Edilberto Vicente

ORCID: 0000-0003-3385-1525

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA BIOTECNOLOGICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 19 de Febrero del 2025

Dictamen: 005110-C-EPIB-2025

Visto el borrador del expediente 005110, presentado por:

2016201392 - ECHEGARAY CALDERON MARIA BELEN

Titulado:

**OPTIMIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE SUGINORI VERDE A PARTIR DE
CHONDRACANTHUS CHAMISSOI (YUYO) PROVENIENTE DE PISCO, 2021.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO BIOTECNOLOGO

**42098888 - CORDOVA BARRIOS CINTHIA CAROL
DICTAMINADOR**



**41404327 - BARREDA DEL CARPIO JAIME ERNESTO
DICTAMINADOR**



**45830984 - PAREDES ZAVALA JOSHELYN MARIANGELA
DICTAMINADOR**



Optimización de la metodología para la obtención de Suginori verde a partir de *Chondracanthus chamissoi* (yuyo) proveniente de Pisco, 2021.

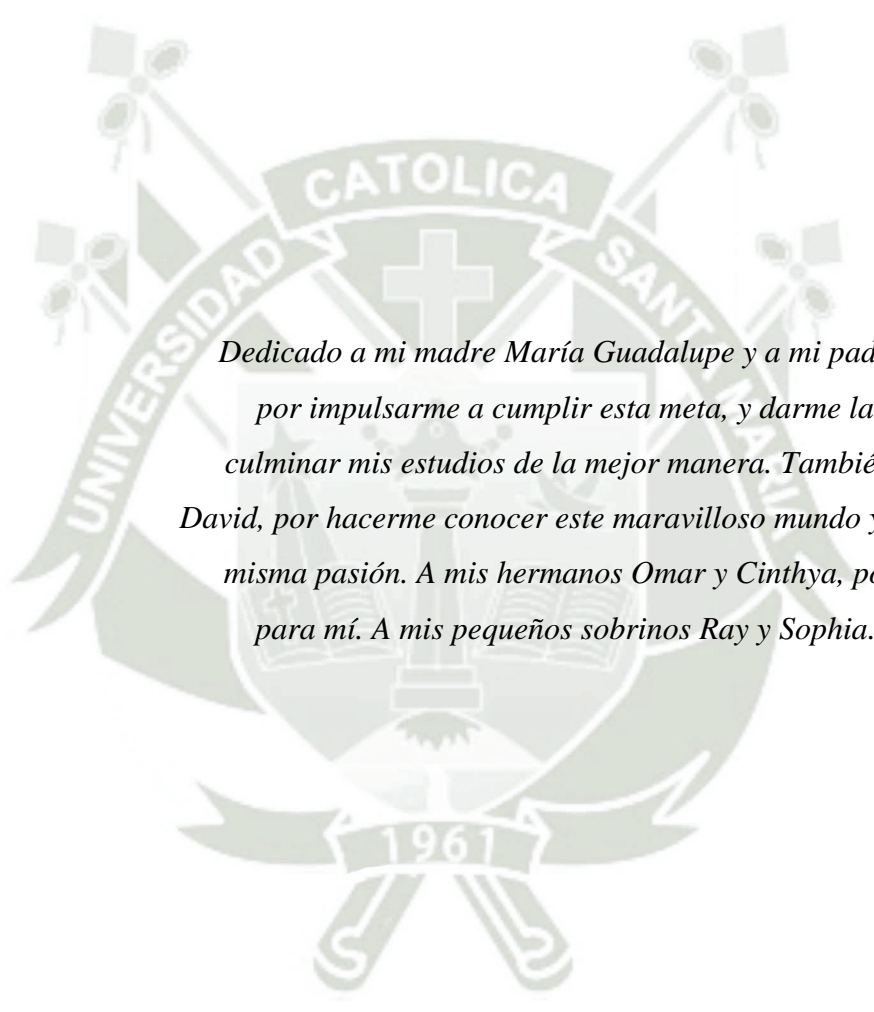
INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	colloquiumbiblioteca.com Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
4	rnia.produce.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	www.tindomachine.com Fuente de Internet	1%
6	repositoriodigital.uns.edu.ar Fuente de Internet	1%
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
8	fdocuments.ec Fuente de Internet	1%
9	biblioimarpe.imarpe.gob.pe Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	Submitted to pontificiabolivariana Trabajo del estudiante	<1%

DEDICATORIA



Dedicado a mi madre María Guadalupe y a mi padre Mario Hugo, por impulsarme a cumplir esta meta, y darme la oportunidad de culminar mis estudios de la mejor manera. También a mi hermano David, por hacerme conocer este maravilloso mundo y compartir esta misma pasión. A mis hermanos Omar y Cinthya, por estar siempre para mí. A mis pequeños sobrinos Ray y Sophia. Y a mi abuelita Olguita.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Dios por guiar mis pasos en todo momento.

*A mis padres y hermanos, por no dejar de alentarme aún en los días que quería dejarlo todo,
y por sacarme adelante para lograr esta meta.*

*A los grandes amigos que hice en esta carrera: Arantza, César, Lucia y Nohelia, por
acompañarme estos cinco años de estudio, risas, lecciones académicas y de vida.*

*Al Dr. Edilberto Medina Cabrera, por su guía en la realización de esta tesis y su
comprensión.*

A la Ing. Pamela Manrique por su orientación y enseñanzas.

*A MSc. Samuel Arbaiza, MSc. Max Castañeda, Blga. Grecia Gutiérrez, Ing. Fernando
Montero, por su acompañamiento y confianza en la realización de este proyecto.*

*A mis compañeras de proyecto Cynthia, Leslie y Maziel, por el gran trabajo en equipo que
hicimos.*

*Finalmente, a la entidad COTRAPALMAR – PNIPA, por la prestación de sus instalaciones y
equipos para el desarrollo de esta tesis en la ciudad de Pisco.*

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo optimizar la metodología para la obtención de Suginori verde a partir de *Chondracanthus chamissoi* (yuyo) proveniente de Pisco, Ica. Se evaluaron las variables concentración de cal alimentaria ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), masa de alga fresca y tiempo de exposición sobre el peso seco del producto final, generación de residuos y características de calidad.

El material biológico fue recolectado en la playa La Puntilla, Paracas, y sometido a procesos de limpieza y preparación en el CEPPA – Pisco. Se empleó un diseño experimental factorial multinivel con 75 tratamientos, analizando el rendimiento en peso seco y peso húmedo, propiedades organolépticas y capacidad de rehidratación del producto.

Se determinó que las condiciones óptimas para la mayor producción de Suginori verde expresado como porcentaje en peso seco fueron 6.25 g/L de cal, un tiempo de contacto de 20 días, y concentraciones de alga entre 25 y 100 g/L, obteniendo un máximo de 13,72% de peso seco. Para minimizar la generación de residuos, se recomendó el uso de valores extremos de cal (6.25 g/L o 100 g/L), menor concentración de alga (25 g/L) y tiempos intermedios de contacto (10 a 14 días), logrando valores de 188.27% a 330.58% de residuos.

Finalmente, integrando los resultados estadísticos y técnico operacionales se concluyó que la condición que permitía obtener mayor porcentaje de peso seco, menor porcentaje residuos y alta calidad fueron 6.25 g/L de cal, 25 g/L de algas y 5 días de exposición, obteniendo un 10.53% de peso seco y 160% de residuos, con 1:28 minutos de rehidratación, sin generación de residuos en prueba de calidad, sabor y olor inocuos. El contenido de cenizas totales fue de 14.79 ± 0.46 %, proteínas totales 42.23 ± 1.92 %, carbohidratos 31.21 ± 1.78 %, fibra 10.32 ± 0.76 % y extracto etéreo 0.158 ± 0.04 % en base seca.

Palabras clave: *Chondracanthus chamissoi*, Suginori verde, optimización.

ABSTRACT

The present study aimed to optimize the methodology for obtaining green Suginori from *Chondracanthus chamissoi* (yuyo) from Pisco, Ica. The variables of food lime concentration ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), fresh seaweed mass and exposure time on the dry weight of the final product, waste generation and quality characteristics were evaluated.

The biological material was collected on La Puntilla beach, Paracas, and subjected to cleaning and preparation processes at CEPPA – Pisco. A multilevel factorial experimental design with 75 treatments was used, analyzing the dry weight and wet weight yield, organoleptic properties and rehydration capacity of the product.

It was determined that the optimal conditions for the highest production of green Suginori expressed as a percentage in dry weight were 6.25 g/L of lime, a contact time of 20 days, and seaweed concentrations between 25 and 100 g/L, obtaining a maximum of 13.72% of dry weight. To minimize waste generation, the use of extreme lime values (6.25 g/L or 100 g/L), lower algae concentration (25 g/L) and intermediate contact times (10 to 14 days) were recommended, achieving values of 188.27% to 330.58% of waste.

Finally, integrating the statistical and technical-operational results, it was concluded that the condition that allowed obtaining a higher percentage of dry weight, a lower percentage of waste and high quality was 6.25 g/L of lime, 25 g/L of algae and 5 days of exposure, obtaining 10.53% of dry weight and 160% of waste, with 1:28 minutes of rehydration, without generating waste in quality test, harmless taste and smell. The total ash content was $14.79 \pm 0.46\%$, total protein $42.23 \pm 1.92\%$, carbohydrates $31.21 \pm 1.78\%$, fiber $10.32 \pm 0.76\%$ and ether extract $0.158 \pm 0.04\%$ on a dry basis.

Keywords: *Chondracanthus chamissoi*, green Suginori, optimization.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS.....	2
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
VARIABLES E INDICADORES.....	4
CAPÍTULO I	
1.MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. <i>Chondracanthus chamissoi</i>	6
1.1.1. Ciclo de vida de <i>C. chamissoi</i>	6
1.1.2. Composición de <i>C. chamissoi</i>	7
1.1.3. Cultivo vegetativo de <i>C. chamissoi</i>	7
1.2. Cal.....	10
1.2.1. Cal viva.....	10
1.2.2. Cal apagada/hidratada.....	10
1.3. Exportación de macroalgas en el Perú	10
1.4. Métodos de deshidratación	11
1.4.1. Deshidratación solar.....	12
1.4.2. Deshidratación osmótica.....	13
1.4.3. Deshidratación con Aire Caliente Forzado	14
1.4.4. Deshidratación con microondas.....	14

1.5.	Análisis proximal	15
1.5.1.	Humedad	15
1.5.2.	Cenizas totales	16
1.5.3.	Proteínas totales	16
1.5.4.	Carbohidratos	17
1.5.5.	Extracto etéreo o Grasa bruta.....	18
1.5.6.	Fibra	18
 CAPÍTULO II		
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1.	Lugar de ejecución.....	21
2.2.	Materiales.....	21
2.2.1.	Material biológico.....	21
2.2.2.	Insumos	21
2.2.3.	Reactivos químicos	21
2.2.4.	Materiales de laboratorio	21
2.2.5.	Aparatos y equipos.....	21
2.2.6.	Software	21
2.2.7.	Otros.....	21
2.3.	Métodos.....	22
2.3.1.	Obtención del material biológico.....	22
2.3.2.	Procesamiento primario para producir Suginori verde	22
2.3.3.	Análisis de calidad	27
2.3.4.	Diagrama de flujo de actividades.....	28
 CAPÍTULO III		
3.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	29
3.1.	Optimización de condiciones para procesamiento primario del alga <i>Chondracanthus chamissoi</i> en el peso seco de la producción de Suginori verde	30

3.2. Optimización de condiciones para procesamiento primario del alga <i>Chondracanthus chamissoi</i> en los residuos en la producción de Suginori verde.....	39
3.3. Análisis de calidad.....	47
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES.....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
ANEXOS	60

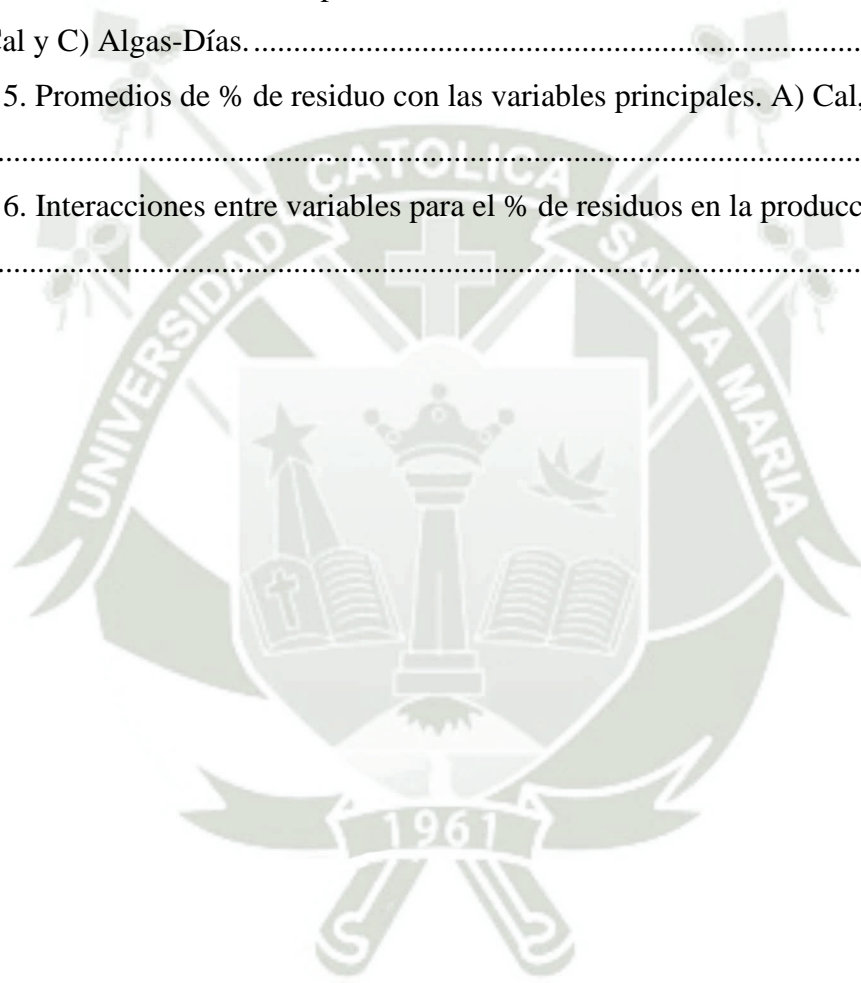


ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de ejecución de tesis.	4
Tabla 2. Composición Proximal de <i>C. chamissoi</i> (19).	7
Tabla 3. Variables multinivel para la ejecución de tesis.	23
Tabla 4. Matriz experimental para diseño multinivel.	23
Tabla 5. Peso seco y rendimiento de producción de Suginori verde a los 5 días	30
Tabla 6. Peso seco y rendimiento de producción de Suginori verde a los 7 días.	31
Tabla 7. Peso seco y rendimiento de producción de Suginori verde a los 10 días.	31
Tabla 8. Peso seco y rendimiento de producción de Suginori verde a los 14 días.	32
Tabla 9. Peso seco y rendimiento de producción de Suginori verde a los 20 días.	32
Tabla 10. Análisis de varianza multifactorial para %PS de Suginori verde	37
Tabla 11. Test de Tukey para las variables de estudio en el proceso de obtención de %PS de Suginori verde.	39
Tabla 13. Test de Tukey para las variables de estudio en el proceso de obtención de %R de Suginori verde.	46
Tabla 14. Condiciones óptimas de operación	46
Tabla 15. Matriz de evaluación de análisis mínimos de calidad.	48
Tabla 16. Análisis proximal de Suginori verde en base seca.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de ejecución de tesis.....	28
Figura 2. Rendimientos en porcentaje de peso seco según los días.	33
Figura 3. Promedios de %Peso Seco según variables de estudio. En A) Cal, B) Alga y C) Días.	35
Figura 4. %Peso Seco obtenido por interacción de variables de estudio. En A) Cal-Alga, B) Días-Cal y C) Algas-Días.	36
Figura 5. Promedios de % de residuo con las variables principales. A) Cal, B) Alga y C) Días.	42
Figura 6. Interacciones entre variables para el % de residuos en la producción de Suginori	43



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.Registro fotográfico	60
Anexo 2.Codificación de variables y cálculos para estadística con datos de %PS.	63
Anexo 3.Codificación de variables y cálculos para estadística con datos de %R.	64



INTRODUCCIÓN

El *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing, 1843 “yuyo”, es una macroalga de color marrón-rojizo (Rhodophyta). Tiene un cuerpo plano de aproximadamente 20 cm de largo, vive en el fondo marino hasta una profundidad de 15 m (1,2). Se encuentra a lo largo del litoral en el Pacífico Sur desde Paita, Piura en Perú hasta Ancud, Chiloé en Chile (3). Fue parte de la dieta de culturas preincas, práctica que continúa hasta la actualidad, esto siendo reflejado en varios platos de la gastronomía peruana como el “ceviche”, la sopa “chilcano”, entre otros platos (4). Esto debido a la alta concentración proteica rica en aminoácidos esenciales y ácidos grasos monoinsaturados en su biomasa a comparación de otras algas rojas (5).

Hoy en día, las algas comercializadas se cosechan de manera artesanal por pescadores, para el consumo humano y como materia prima para la obtención de carragenano (6,7). Estas algas son consumidas a nivel mundial, especialmente en el mercado asiático, además de Perú y Chile donde crecen naturalmente (1).

En la actualidad, 85% de la industria mundial de algas marinas, es para el consumo humano (8). A nivel latinoamericano, Chile es el mayor productor (88%); mientras que, el Perú, aporta solo el 4.1% (9,10). Las algas más cotizadas para son las algas pardas y el yuyo (9). Tan solo en el 2009, fueron importadas 50 toneladas de *C. chamissoi* para el consumo humano (11).

El principal producto de exportación es congelado y deshidratado, en presentaciones de 200 – 500 g con un precio entre US\$ 2.5 – 4.1 kg⁻¹. También se comercializa en sacos de 15 kg o cajas de cartón 10 – 12 kg, cuyo valor oscila entre US\$ 1.60 – 4.81 kg⁻¹. El alga es seleccionada, limpiada y clasificada por su coloración que puede ser verde o roja, tomando la denominación de Suginori cuyo precio llega a estar entre US\$ 28 – 30 kg⁻¹, al ser empacado en cajas de cartón y bolsa plástica con pesos de 10 – 12 kg (9,10,12).

El Suginori, es el producto más costoso obtenido a partir del yuyo. Lamentablemente, los lotes obtenidos son diferentes debido a la producción artesanal, que se usa en su producción. Por lo que, esta investigación busca optimizar el proceso de obtención de Suginori verde a partir del yuyo obtenido del distrito de San Andrés, en la provincia Pisco, departamento de Ica, que es una de las áreas más productivas de algas en el país (13,14).

HIPÓTESIS

"Si se sabe que la concentración de cal, el tiempo de contacto y la biomasa de *Chondracanthus chamissoi* influyen en el porcentaje de peso seco (%PS) y en el porcentaje de residuos, entonces la optimización de estas variables permitirá maximizar el %PS, minimizar los residuos y mejorar la calidad final del Suginori verde obtenido."

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Optimizar la metodología para la obtención de Suginori verde a partir de *C. chamissoi* (yuyo) proveniente de Pisco, Ica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la concentración óptima de cal alimentaria ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), masa de alga fresca y tiempo de exposición de *C. chamissoi* en cal sobre el peso seco de Suginori verde.
2. Determinar la concentración óptima de cal alimentaria ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), masa de alga fresca y tiempo de exposición de *C. chamissoi* en cal sobre la generación de residuos en la obtención de Suginori verde.
3. Evaluar las características de calidad del producto final obtenido.

VARIABLES E INDICADORES

Tabla 1. Variables de ejecución de tesis.

	Variable	Indicadores	Unidades
Independientes	Cal alimentaria (Ca(OH) ₂)	Concentración de cal hidratada	g/L
	Biomasa de alga	Concentración de biomasa	g/L
	Tiempo de exposición	Tiempo	días
Dependiente	Producción de Suginori verde	Peso seco	%
		Residuos generados	%
	Calidad de Suginori verde	Tiempo de rehidratación	Segundos
		Resistencia	Sí No
		Sabor	Inocuo No deseado
		Olor	Inocuo No deseado

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO



1.1. *Chondracanthus chamissoi*

La especie *C. chamissoi*, popularmente conocida en el Perú como “yuyo” o “mococho”, en Chile como “chicorea de mar”, es una macroalga roja que se encuentra en las costas del Pacífico, principalmente en Chile y Perú (1,3,13,14,15). Cuenta con un talo membranoso y cartilaginoso de 6 a 50 cm de altura de ancho variable llegando ser mayor a un centímetro. Tiene gran variabilidad de colores desde un verde-verde oscuro hasta un marrón rojizo-negro (14,15,16). Constituido por varios ejes axiales cilíndricos y ramificados de forma dística, pinnada y subdicotómicamente (15). Crece en sustratos rocosos del intermareal inferior y submareal superior, hasta profundidades de 15 m (1,16).

Taxonómicamente se clasifica de la siguiente manera (16):

Reino	: Plantae
Subreino	: Biliphyta
Phylum	: Rhodophyta
Subphylum	: Eurhodophytina
Clase	: Florideophyceae
Subclase	: Rhodymeniophycidae
Orden	: Gigartinales
Familia	: Gigartinaceae
Género	: <i>Chondracanthus</i>
Especie	: <i>Chondracanthus chamissoi</i> (C. Agardh) Kützing

1.1.1. Ciclo de vida de *C. chamissoi*

El alga por estudiar tiene un ciclo de vida trifásico e isomórfico (15,17). Consiste en una fase tetraesporofítica diploide, una gametofítica haploide dioica y una carposporofítica diploide que se desarrolla en el gametofito femenino (16). La fase tetraesporofítica diploide, el tetraesporofito, que se localiza en los bordes superiores al eje principal y de las ramas, libera tetraesporas (esporas haploides) la cuales se asientan en un sustrato fijo (roca o estructuras calcáreas) donde germina para formar un disco y dar origen a los gametos femeninos y masculinos (16,15,17,18). En la fase gametofítica haploide y dioica, pueden ser diferenciados los gametofitos masculinos por ser de un color más claro que los femeninos, ya que sus

estructuras reproductivas no son visibles en esa etapa. La reproducción sexual se da entre los gametos (15,18). La fase carposporofítica, da origen a las carposporas las cuales formarán el tetraesporofito (17).

1.1.2. Composición de *C. chamissoi*

En la Tabla 2, se presenta la composición proximal del yuyo:

Tabla 2. Composición Proximal de *C. chamissoi* (19).

Componente	Cantidad (%)
Humedad	81.32
Extracto etéreo	0.12
Cenizas totales	15.61
Proteínas totales	42.92
Carbohidratos	41.34
Fibra Dietética	33 – 75
Nitrógeno amínico	280

Fuente: Carbajal et al.2005

1.1.3. Cultivo vegetativo de *C. chamissoi*

El cultivo vegetativo de *C. chamissoi* se da por la necesidad de cumplir estándares de calidad que exigen algas libres de impurezas, formas, colores y tamaños establecidos, que, extrayendo solamente de praderas, resulta muy complicado encontrar aquellas con tales características, además de cumplir con la demanda del mercado en cuestión a tiempo y volúmenes, asegurando la calidad deseada, así como su producción programada (17).

Este cultivo se da de la siguiente manera:

a) Selección de material biológico

Para iniciar el cultivo, las algas deben ser recolectadas de una pradera natural por la técnica de buceo, obteniendo la cantidad que se necesite. Estas deben ser transportadas en contenedores térmicos a una temperatura inferior al ambiente, lo ideal es cercana a los 10°C, sin que se vean afectadas por la radiación solar; algunas veces por los

grandes volúmenes recolectados de algas, se traslada en condiciones húmedas y cubiertas. Luego, deben limpiarse de manera manual extrayendo cualquier epífito presente, material orgánico impropio, contaminante, y eliminar toda alga aquella que no se encuentre en buen estado; es decir, decolorada o en estado de descomposición; además de, seleccionar las que estén en estado vegetativo, lo que quiere decir que no debe tener protuberancia alguna, debe estar con una textura lisa (3,17,10).

b) Limpieza de algas

Esta limpieza, como se describió en el apartado anterior, busca remover cualquier impureza que no sea yuyo, para ello se realiza primero una limpieza mecánica, la cual debe ser rápida, utilizando una malla anchovetera donde se frota de forma suave el material biológico, removiendo epífitos y animales que puedan encontrarse en su superficie. Posterior a ello, el yuyo debe ser lavado con agua dulce y seguir frotando suavemente, para que se continúen removiendo impurezas que quedan, también debe hacerse de forma rápida para evitar el estrés del alga. Para finalizar este proceso, el alga limpia debe enjuagarse con agua de mar esterilizada, removiendo el agua dulce, y se mantiene en esa misma agua hasta el siguiente paso (17,10).

c) Inoculación de algas

Se deben trozar manualmente los individuos previamente lavados y seleccionados, en fragmentos de 1 a 2 cm para el inicio de inoculación. Esta se hace con la ayuda de tubos de PVC de 15 cm aproximadamente, utilizando una malla hortofrutícola de un metro, se le hace un nudo en un extremo y ese introduce en el tubo, se dobla externamente desde el extremo libre, y se introducen de 20 a 30 g de yuyo trozado bien distribuido a lo largo de toda la malla, faltando unos 10 cm se anuda el otro extremo (17,10).

d) Armado de sistemas de cultivo

Los sustratos artificiales inoculados pasan a incubarse por un aproximado de 20 días para que se desarrollen los discos de formación secundaria (DFS), en estanques de cultivo de 1000 L con fotoperiodo largo (18/6 h), baja intensidad lumínica (20 a 40 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y recambio diario de agua de mar. Los estanques deben tener aireación constante, así como agua de mar filtrada. Pasados los días de incubación, estos son acoplados a sistemas de siembra, los cuales deben realizarse bajo techo para que no afecte a las unidades de cultivo, y se quedan listos para la siguiente fase (17,10).

e) Fase de *C. chamissoi* en el mar

Los sistemas de siembra deben pasar al mar para que las plántulas terminen de crecer en ese medio, en la que se debe considerar la profundidad del cultivo, puesto que, el yuyo tiene un óptimo crecimiento de 2 a 5 m bajo el nivel del mar. Asimismo, se toma en consideración el transporte desde las condiciones controladas hasta el lugar de siembra, para ello se debe mantener una temperatura de 10 a 15°C, sin radiación solar directa, en contenedores térmicos con cierta humedad para evitar su deshidratación. Llegados a la zona de cultivo, los sistemas de cultivo se instalan en la línea madre, teniendo en cuenta qué tipo de sistema se use, para ello se considera si es un sistema de cultivo de fondo (útil para zona de cultivo somera, de 3 a 4 m de profundidad, ya que este en su extremo superior tiene una boya para la estabilización) o si es un sistema de cultivo suspendido o long-line (si es profundidad de 6 a más metros, ya que esta tiene en el extremo inferior una malla anchovetera con piedras para la estabilización). Después que los cultivos han sido instalados, el desarrollo de DFS continúa, y se da la renovación de cultivos con las nuevas plántulas, y toma un aproximado de 120 días hasta alcanzar un tamaño comercial (1,17,10).

1.2. Cal

El término "cal" se utiliza generalmente para referirse a todos aquellos productos derivados de la calcinación de piedra caliza y/o tiza, aunque pueden clasificarse en: CaO de cal viva, CaO cal dura, cal apagada/hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y cal dolomita. El CaO, el principal producto de la calcinación de la piedra caliza, a nivel mundial es el óxido simple más solicitado, debido a que también es el principal precursor para la industria del cemento. Dependiendo del tamaño medio del diámetro D, se pueden obtener diferentes cal viva: cal grumosa grande ($D < 20$ cm), cal de guijarro ($0.6 \text{ cm} < D < 2.5$ cm), cal molida ($D < 0.25$ cm), cal pulverizada ($D < 10 - 4$ cm) y cal peletizada ($D \approx 2.5$ cm) (20).

1.2.1. Cal viva

La cal viva (CaO) proviene del procesamiento térmico en hornos industriales de la piedra caliza natural; es un piedra abundante que contiene altas concentraciones de CaCO_3 , que al ser sometida al calor el carbonato se descompone, en un producto altamente reactivo, sólido, rico en CaO, cal viva y CO_2 gaseoso. Para lograr la descomposición térmica de CaCO_3 en una atmósfera del CO_2 al 100%, se necesita una temperatura de 860-899°C; no obstante, para obtener altas tasas de producción y calidad deseada, se alcanzan temperaturas de 1000-1450°C. La cal viva es un producto industrial económico, eficaz y ampliamente utilizado (21).

1.2.2. Cal apagada/hidratada

La cal apagada o hidratada se produce de una manera similar a la cal viva, con la diferencia que, una vez obtenida la cal viva, a esta se le agrega agua, lo cual provoca que se desmorone en polvo y se estabilice, produciendo cal hidratada o hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Esta es utilizada en un amplio campo como es la construcción arquitectónica, nixtamalización (preparación del maíz) y saneamiento (22).

1.3. Exportación de macroalgas en el Perú

La exportación de macroalgas en el Perú ha sido una industria en crecimiento desde la década de 1950, cuando *C. chamissoi* fue exportada como materia prima

para la industria de carragenanos. Sin embargo, a pesar de que el sector de carragenanos ha sido el principal impulsor de las exportaciones de macroalgas en el país, en los últimos años se han visto desarrollando otros sectores y mercados que han contribuido al crecimiento de la industria. A partir de 1996, se iniciaron las exportaciones de algas pardas (*Lessonia*) como materia prima para la industria de alginatos, exportaciones de *Gracilariopsis lemaneiformis* para la industria de agar y la exportación para consumo humano de *C. chamissoi*. En 2019, se logró el mayor volumen de macroalgas exportadas, alcanzando 33 950.39 TM con un valor total de US\$ 21 144 593. El 85% del volumen total pertenece a *Macrocystis pyrifera*, 11.05% *Lessonia berteroana*, 3.32% *Lessonia trabeculata* y 0.61% *C. chamissoi* (10,23).

La importancia de esta industria radica en varios aspectos. En primer lugar, ofrece perspectivas económicas significativas para pescadores artesanales y empresarios, ya que permite el desarrollo de una industria sostenible y rentable a partir de recursos marinos. Además, la exportación de macroalgas en el Perú es una oportunidad para la diversificación de las exportaciones del país, ya que permite la apertura de nuevos mercados y la generación de nuevos ingresos.

En segundo lugar, el mercado de algas para consumo humano, especialmente *C. chamissoi*, ha ganado importancia en los últimos años debido a su valor nutricional y su uso en la gastronomía. La exportación de este recurso en forma congelada y deshidratada ha incentivado su uso en restaurantes peruanos en el extranjero, principalmente en Chile, España, Italia y Estados Unidos, lo que ha contribuido a la promoción de la cultura y la gastronomía peruana en el mundo (10,24,25).

1.4. Métodos de deshidratación

La deshidratación es un proceso económico y eficaz para preservar alimentos altamente perecederos, como frutas y verduras, o en el caso de esta investigación, algas marinas, reduciendo su contenido de humedad. El objetivo principal es disminuir la actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos para desarrollarse en el alimento. La eficiencia del proceso depende de la resistencia interna del tejido al movimiento del agua y una resistencia externa entre la superficie del alimento y el fluido deshidratante. El tiempo y la temperatura son las principales

variables que afectan la velocidad del proceso. A medida que se aumenta la temperatura, la deshidratación se acelera, pero los atributos cualitativos del alimento pueden cambiar significativamente. Por lo tanto, es importante seleccionar la temperatura adecuada para preservar la calidad del alimento y reducir el tiempo de deshidratación. Además, la selección de un secador adecuado y el uso de pasos de pre y post procesamiento son cruciales para mejorar la calidad del producto y reducir la carga de secado (26,27).

Existen diversos métodos de deshidratación muy utilizados, y los más comunes en alimentos, que se describirán a continuación:

1.4.1. Deshidratación solar

La deshidratación solar se considera como una técnica eficiente para la conservación de alimentos debido a su capacidad para preservar la calidad y extender la vida útil de los productos agrícolas. Sin embargo, el uso tradicional de la deshidratación al aire libre tiene limitaciones inherentes, incluyendo pérdidas de cosecha debido a la falta de secado adecuado, ataques fúngicos, plagas, y efectos impredecibles del clima. En tales condiciones, los secadores de alimentos basados en energía solar se han vuelto cada vez más atractivos como una propuesta comercial (26,28,29,30).

Las condiciones climáticas tienen un gran impacto en la extensión de las pérdidas y deterioro de los alimentos durante la deshidratación al aire libre. En climas cálidos y secos, los cultivos pueden ser secados en el campo. Sin embargo, para que esto sea factible, la humedad relativa ambiente durante el período de cosecha debe ser lo suficientemente baja para garantizar que el cultivo, una vez seco hasta su contenido de humedad de equilibrio, pueda ser almacenado de forma segura. Los datos meteorológicos, incluso para las "áreas favorables", muestran que esto no siempre es posible. Además, el cultivo requiere un período indeseablemente largo para alcanzar este contenido de humedad de equilibrio (28,30).

En climas cálidos y húmedos, el deterioro del cultivo es evidentemente peor, ya que tanto el calor como los altos contenidos de humedad promueven el crecimiento de hongos, bacterias, ácaros e insectos

en los cultivos. El calor y la sequedad son condiciones propicias para la deshidratación natural al aire libre. Desafortunadamente, los trópicos se caracterizan por climas cálidos y húmedos. Si la humedad relativa del aire ambiente es demasiado alta para facilitar el secado en el campo, ese aire obviamente sería de valor limitado para secar el cultivo cosechado. Por lo tanto, estas condiciones climáticas dictan la necesidad de métodos de secado más efectivos (30).

1.4.2. Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica es una técnica cada vez más popular en la industria alimentaria debido a sus ventajas en cuanto a calidad y eficiencia energética. El proceso consiste en la eliminación de agua de una solución de baja concentración a una de alta concentración a través de una membrana semipermeable, lo que provoca un equilibrio entre ambos lados de la membrana. La deshidratación osmótica se ha aplicado ampliamente en la conservación de alimentos debido a su capacidad para disminuir la actividad del agua en frutas y verduras (26,27,31).

En general, se utilizan soluciones de azúcar o sal (cloruro de sodio) como medios para extraer la humedad de los alimentos. Este proceso es de difusión multicomponente y además de agua, también se transfieren otros componentes de los alimentos como minerales, vitaminas y ácidos orgánicos. Una de las ventajas de la deshidratación osmótica es que se conserva la calidad organoléptica del producto, como el color, aroma y sabor, así como su contenido nutricional (26,27).

Sin embargo, la deshidratación osmótica es un proceso que requiere tiempo y es necesario combinarlo con otros métodos para aumentar la transferencia de masa sin afectar la calidad del producto final. Además, al incorporar solutos en el sistema alimentario, es posible modificar las propiedades funcionales del producto y lograr una formulación específica. A pesar de la gran cantidad de investigaciones publicadas en esta área, su aplicación industrial sigue siendo limitada. Es importante destacar que, aunque la deshidratación osmótica permite disminuir la actividad del agua del producto, no garantiza su estabilidad en almacenamiento y es necesario

complementar con otras técnicas como congelado, liofilización, deshidratación al vacío, deshidratación al aire, deshidratación osmoconvectiva y deshidratación con microondas (31).

1.4.3. Deshidratación con Aire Caliente Forzado

La deshidratación con aire caliente forzado es un método común para secar alimentos. En este método, el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos. El aumento en la velocidad del aire y la turbulencia generada alrededor del alimento provoca una reducción de la tensión en la capa de difusión, causando una deshidratación eficiente. La deshidratación mediante este método depende de la velocidad y temperatura del aire utilizado. Sin embargo, el uso de altas temperaturas es la principal desventaja de este método, ya que causa cambios significativos en el sabor, color, contenido de nutrientes, componentes aromáticos, densidad, capacidad de absorción de agua y concentración de solutos. Además, tiempos y temperaturas elevadas de deshidratación también causan la formación de aromas indeseables y la reacción de Maillard en los alimentos. A menudo, se utiliza el flujo de aire caliente a contracorriente, ya que es más eficiente que el flujo de aire en paralelo (26,32,33).

1.4.4. Deshidratación con microondas

La deshidratación con microondas es una tecnología de secado desarrollada después del método de secado con aire caliente, donde no se requiere contacto directo entre el medio de calefacción y la muestra del producto. Las microondas son ondas electromagnéticas con una banda de frecuencia de alrededor de 300 MHz a 300 GHz. La deshidratación con microondas es posible debido a que las moléculas de agua presentes en el material húmedo son dipolos eléctricos. Esto significa que tienen una carga positiva en un extremo y una carga negativa en el otro y, por lo tanto, giran mientras intentan alinearse con el campo eléctrico alterno inducido por el magnetrón. Este movimiento molecular crea calor por fricción ya que las moléculas giratorias golpean a otras moléculas y las ponen en movimiento. Durante la deshidratación con microondas, la temperatura del material seco depende del equilibrio entre la energía generada por los dipolos de agua en el

campo de microondas y la energía absorbida por las moléculas de agua evaporadas de la superficie del material. Sin embargo, todavía se considera una tecnología relativamente nueva con problemas técnicos no resueltos en comparación con el secado con aire caliente convectivo. Además, requiere electricidad, lo que lo hace menos económico en comparación con otros métodos. A pesar de esto, la deshidratación con microondas tiene el potencial de mejorar la calidad de algunos productos alimenticios, especialmente durante la etapa final del secado (26,34,35,36).

1.5. Análisis proximal

El análisis de alimentos es una disciplina que se centra en la evaluación de las características de los alimentos y sus componentes a través de la utilización de diversas técnicas analíticas. Esto es importante para comprender cómo influyen en las propiedades de los alimentos, y para garantizar que sean seguros, nutritivos y atractivos para el consumidor. Hay una amplia variedad de técnicas disponibles para medir determinadas propiedades de los alimentos, y se debe elegir la más adecuada para cada aplicación en concreto. El análisis proximal incluye las mediciones más comunes de los componentes macro de los alimentos, como la humedad, las cenizas, el extracto etéreo (grasa cruda), la proteína total, la fibra dietética y los carbohidratos asimilables. Además, dependiendo del propósito del análisis, también pueden ser importantes las mediciones relacionadas con la caracterización de determinados grupos de nutrientes. En los últimos años, la química analítica ha experimentado un gran desarrollo debido a la necesidad de abordar problemas cada vez más complejos. Sin embargo, es difícil encontrar un método analítico que cumpla todos los requisitos de eficiencia, precisión y bajo costo, por lo que es importante priorizar algunos de estos requisitos al diseñar una metodología (37).

1.5.1. Humedad

La humedad es un indicador importante en el procesamiento, control y conservación de los alimentos. La mayoría de los productos alimenticios tienen un alto contenido de agua, lo que afecta su valor nutritivo y facilita su deterioro. La determinación de humedad es una técnica ampliamente utilizada, ya que la humedad es un índice de estabilidad del producto, el control de la humedad es un factor crítico en varios procesos industriales y el

contenido de agua en los alimentos varía ampliamente y puede afectar la evaluación de procesos industriales. El contenido de humedad de un alimento también puede afectar el tiempo de almacenamiento, el procesamiento y las condiciones de empaque y conservación del producto, y el contenido de agua en los alimentos puede variar debido a la humedad relativa ambiental. Por lo tanto, en algunos casos puede ser necesario expresar la concentración de un componente en base seca (37,38,39).

1.5.2. Cenizas totales

El análisis de cenizas es una técnica utilizada para determinar la cantidad de minerales y materia inorgánica presentes en un alimento. El proceso consiste en quemar una porción exactamente pesada del alimento en un crisol a altas temperaturas (500-600°C) durante un periodo de 24 horas aproximadamente. La quema completa, conocida como oxidación o ceniza secas, deja un residuo de los minerales en forma de óxidos, sulfatos, fosfatos, silicatos y cloruros. Estos residuos son entonces pesados y el contenido de cenizas se calcula con base en esto (37,40).

Además de proporcionar información sobre el contenido de minerales en los alimentos, el análisis de cenizas también puede utilizarse para detectar posibles contaminaciones metálicas o adulteraciones en los alimentos. Este proceso es especialmente útil para monitorear la calidad y estabilidad microbiológica de los alimentos, y también para asegurar el proceso tecnológico de producción de alimentos.

El contenido de cenizas en las microalgas y otras biomásas también se miden de esta forma.

Existen varias metodologías para determinar el contenido de cenizas en diversos materiales biológicos, las principales diferencias se encuentran en la temperatura de calcinación, tiempo y el tamaño de la muestra (37,40).

1.5.3. Proteínas totales

La determinación de proteínas en alimentos es una técnica utilizada para medir la cantidad de proteínas en una muestra biológica, uno de los

métodos más comunes es el método Kjeldahl, este se basa en la determinación del nitrógeno en la muestra y su conversión en proteína a través de cálculos específicos, es ampliamente utilizado en la industria alimentaria y farmacéutica. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este método es una aproximación y no determina exactamente el contenido proteínico ya que una fracción considerable del nitrógeno en la muestra puede provenir de otros compuestos nitrogenados y no de proteínas (37,41).

Las proteínas son uno de los alimentos esenciales para el ser humano, ya que son elementos fundamentales para la vida animal y vegetal desarrollando importantísimas y muy variadas funciones biológicas, formando parte de los tejidos, hormonas, anticuerpos, enzimas y son componentes principalísimos de la sangre, transportando grasas y oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos.

En general, conocer el contenido proteico de los alimentos es importante para planificar una dieta equilibrada y para la industria alimentaria, para poder ofrecer productos de calidad y de acuerdo con las necesidades de los consumidores (37,41).

1.5.4. Carbohidratos

La determinación de carbohidratos en alimentos es un conjunto de técnicas utilizadas para medir la cantidad de carbohidratos en una muestra biológica. Los carbohidratos son una clase de compuestos orgánicos que incluyen monosacáridos, disacáridos y polisacáridos, y son esenciales para la vida ya que proporcionan energía al cuerpo (37,42).

Entre los métodos más importantes y ampliamente utilizados para la determinación de carbohidratos se encuentran los siguientes: Fehling, Benedict y Somogyi. Todos ellos se basan en el mismo principio, el cual es el de los azúcares reductores y su capacidad de transformarse en enedíoles (reductonas) al calentarlos en soluciones alcalinas. Estos enedíoles son altamente reactivos y se oxidan fácilmente en presencia de oxígeno u otros compuestos oxidantes. La acción reductora es la que se utiliza tanto en determinaciones cualitativas como cuantitativas (42).

Las pruebas de Fehling y Benedict permiten confirmar o no la presencia de azúcares reductores. En ambos, se inicia la reacción en una solución de sulfato de cobre en solución alcalina de citrato de color azul oscuro. Luego de la ebullición, la presencia de azúcares reductores se confirmará por la coloración rojo ladrillo de la solución con formación de un precipitado (37,42).

1.5.5. Extracto etéreo o Grasa bruta

La determinación de la cantidad de extracto etéreo o grasa bruta en los alimentos es un proceso importante en la industria alimentaria y en la investigación nutricional. El extracto etéreo o grasa bruta es un conjunto de sustancias lipídicas que se extraen de un alimento mediante el uso de éter etílico, tales como esteroides, ceras, ácidos grasos libres, entre otros. La grasa en los alimentos se considera como lípidos "libres" que son extraídos por disolventes menos polares como el éter de petróleo y el éter dietílico (43,44).

La medición de las grasas totales es crucial en el análisis de alimentos ya que las alteraciones en el tipo de lípidos de la dieta pueden afectar significativamente la cantidad de grasa digerida y absorbida por los animales. Además, existen varios métodos AOAC (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales) para lograr la liberación total de grasa en diferentes matrices. Estos métodos requieren una gran cantidad de mano de obra y pueden variar en cuanto a su reproducibilidad (37,38,43,44).

1.5.6. Fibra

La determinación de fibra es un proceso analítico que busca medir la cantidad de fibra dietética (FD) presente en los alimentos. La fibra dietética es el total de polisacáridos de las plantas junto con la lignina, que son resistentes a la digestión por las enzimas del tracto gastrointestinal humano. Esta fibra se divide en dos tipos: fibra soluble e insoluble, y está compuesta principalmente por polisacáridos y lignina (37,45,46).

Existen diferentes métodos para medir la fibra dietética, entre ellos los métodos gravimétricos, espectrofotométricos y cromatográficos. Los

métodos gravimétricos miden un residuo insoluble después de la solubilización química o enzimática de los componentes no fibrosos. Por otro lado, los métodos enzimático-químicos buscan medir la cantidad de fibra en los alimentos mediante la digestión con ácidos y enzimas específicas para separar la fibra de los demás componentes de los alimentos (37,46).





2.1. Lugar de ejecución

Centro de Producción y Procesamiento Acuícola (CEPPA). En el distrito de San Andrés en Pisco, Ica.

2.2. Materiales.

2.2.1. Material biológico

Chondracanthus chamissoi (yuyo) proveniente de cultivo en playa La Puntilla en la Reserva Nacional de Paracas, Ica.

2.2.2. Insumos

Agua mineral

2.2.3. Reactivos químicos

Cal Alimentaria ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) – Buenaventura – Grado alimentario

2.2.4. Materiales de laboratorio

- Varilla de agitación
- Vaso de precipitado de 1000 mL

2.2.5. Aparatos y equipos

- Balanza Gramera 0.1 g a 2000 g – Nahita-Blue
- Balanza Electrónica - Bmax- SF400
- Deshidratador - YunlinLi-ST-32
- Filtro de agua artesanal

2.2.6. Software

Statgraphics Centurion XVIII (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, USA)

2.2.7. Otros

- Recipientes de polipropileno de 5 L “Rey”
- Rejillas de metal
- Mallas para deshidratador
- Coladores de metal

- Coladores de cocina
- Jabas cosecheras “Rey”
- Bolsas herméticas de 20x25 cm

2.3.Métodos

2.3.1. Obtención del material biológico

El material biológico se obtuvo a partir de cultivo de fondo ubicado en la playa La Puntilla perteneciente a la Reserva Nacional de Paracas (Ica) con la ayuda de pescadores de la asociación COTRAPALMAR. Las algas recolectadas fueron llevadas al CEPPA – Pisco en costales en jabas cosecheras. Al llegar, fueron puestas en recipientes con agua de mar. Posteriormente, fueron sometidas a procesos de limpieza, donde fueron enjuagadas con agua ultrafiltrada hasta que pudo observarse el material biológico completamente limpio. Este proceso duró un aproximado de 6 horas por cada 40 kg (12).

2.3.2. Procesamiento primario para producir Suginori verde

Para evaluar el procesamiento primario de producción de Suginori verde se consideró tres variables: concentración de cal (g/L), concentración de biomasa (g/L) y tiempo de exposición (días), con 5, 3 y 5 niveles respectivamente tal y como se muestra en la Tabla 3 (10).

Tabla 3. Variables multinivel para la ejecución de tesis.

Concentración de cal (g/L)	Concentración de biomasa de alga (g/L)	Tiempo de exposición (días)
6.25	25	5
12.5	50	7
25	100	10
50		14
100		20

Tabla 4. Matriz experimental para diseño multinivel.

Código	Concentración de cal (g/L)	Biomasa de alga (g/L)	Tiempo de exposición (días)
V1A5	6.25	25	5
V1B5	6.25	50	5
V1C5	6.25	100	5
V2A5	12.5	25	5
V2B5	12.5	50	5
V2C5	12.5	100	5
V3A5	25	25	5
V3B5	25	50	5
V3C5	25	100	5
V4A5	50	25	5
V4B5	50	50	5
V4C5	50	100	5
V5A5	100	25	5
V5B5	100	50	5
V5C5	100	100	5
V1A7	6.25	25	7
V1B7	6.25	50	7

Continuación Tabla 4

V1C7	6.25	100	7
V2A7	12.5	25	7
V2B7	12.5	50	7
V2C7	12.5	100	7
V3A7	25	25	7
V3B7	25	50	7
V3C7	25	100	7
V4A7	50	25	7
V4B7	50	50	7
V4C7	50	100	7
V5A7	100	25	7
V5B7	100	50	7
V5C7	100	100	7
V1A1	6.25	25	10
V1B1	6.25	50	10
V1C1	6.25	100	10
V2A1	12.5	25	10
V2B1	12.5	50	10
V2C1	12.5	100	10
V3A1	25	25	10
V3B1	25	50	10
V3C1	25	100	10
V4A1	50	25	10
V4B1	50	50	10
V4C1	50	100	10
V5A1	100	25	10
V5B1	100	50	10
V5C1	100	100	10
V1A4	6.25	25	14

Continuación Tabla 4

V1B4	6.25	50	14
V1C4	6.25	100	14
V2A4	12.5	25	14
V2B4	12.5	50	14
V2C4	12.5	100	14
V3A4	25	25	14
V3B4	25	50	14
V3C4	25	100	14
V4A4	50	25	14
V4B4	50	50	14
V4C4	50	100	14
V5A4	100	25	14
V5B4	100	50	14
V5C4	100	100	14
V1A2	6.25	25	20
V1B2	6.25	50	20
V1C2	6.25	100	20
V2A2	12.5	25	20
V2B2	12.5	50	20
V2C2	12.5	100	20
V3A2	25	25	20
V3B2	25	50	20
V3C2	25	100	20
V4A2	50	25	20
V4B2	50	50	20
V4C2	50	100	20
V5A2	100	25	20
V5B2	100	50	20
V5C2	100	100	20

Se trabajó con diseño experimental factorial multinivel resultando un total de 75 tratamientos los cuales fueron codificados y detallados en la matriz experimental (Tabla 4).

Las combinaciones se dieron en envases de polietileno oscuros de 5 litros en un volumen de 4 L (para los tratamientos de 20 días) y de 2 L, por triplicado y fueron utilizadas para determinar la cantidad de alga, dilución de cal y tiempo de exposición óptimo. Los tratamientos tuvieron una agitación mecánica cada 6 horas para homogenizar (47).

Cumplidos los días de exposición en cada tratamiento, pasaron por una batería de lavado con agua ultrafiltrada donde se quitó todo el exceso de cal y se excluyeron las algas que se encontraban en mal estado. Las algas que se mantuvieron en buen estado se organizaron en bandejas que se introdujeron en la deshidratadora donde primero tuvieron un secado a 70°C por dos horas y media aproximadamente, y luego a 50°C por tres horas (47).

Finalmente, fueron pesadas y empaquetadas en bolsas herméticas tipo *ziploc* para posterior análisis de rendimientos, propiedades organolépticas y análisis proximal.

a) Prueba de Rendimiento

La prueba de rendimiento en peso seco se realizó pesando primero el alga sin tratamiento (A_s), y luego se pesó el alga procesada y deshidratada (A_p). Aplicando la fórmula de rendimiento (Ecuación 1):

$$R_{ps} = \frac{A_p}{A_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

R_{ps} : Rendimiento en peso seco

A_s : Alga sin tratamiento

A_p : Alga procesada y deshidratada

2.3.3. Análisis de calidad

a) Prueba de rehidratación

En esta prueba, se realizó la exclusión muestras en base a un criterio cualitativo, descartando aquellas que demoraron más de 2 minutos o que, al rehidratarse no presentaron resistencia o soltaron residuos. En las muestras restantes, se calculó el tiempo de rehidratación utilizando un cronómetro. Se colocó una pequeña parte de la muestra en el agua, agitándola levemente hasta que se observó el regresó a su estado antes de ser deshidratado (47).

b) Pruebas organolépticas

Esta prueba también fue de manera subjetiva, para referencia de olor y sabor se rehidrataron los controles en vasos de precipitados. Cada muestra luego de ser deshidratada se olfateó y probó (5).

c) Análisis Proximal

El análisis proximal fue realizado por el Laboratorio de Calidad Total de la Universidad Agraria La Molina acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Solo se enviaron las muestras que pasaron los estándares mínimos de calidad.

2.3.4. Diagrama de flujo de actividades

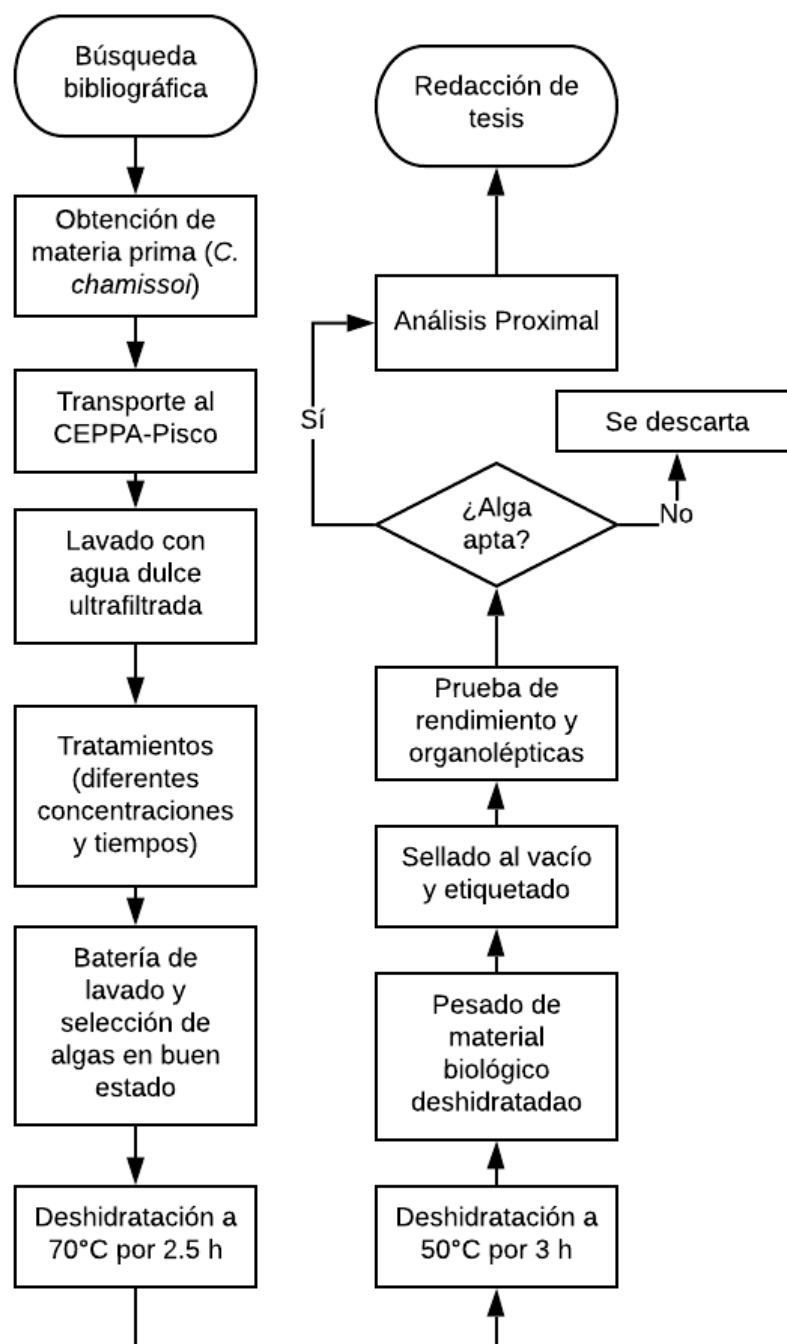



Figura 1. Diagrama de flujo de ejecución de tesis. Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Optimización de condiciones para procesamiento primario del alga *Chondracanthus chamissoi* en el peso seco de la producción de Suginori verde

En el proceso productivo de Suginori verde, se registró el peso de alga seca (PS) del producto final obtenido y el rendimiento del proceso (%PS), los datos de los 75 tratamientos se muestran en las tablas 5,6,7,8 y 9 agrupadas según los días que se dejó en contacto con cada tratamiento.

Tabla 5. Peso seco y rendimiento de producción de Suginori verde a los 5 días

Tratamientos	PS1 (g)	PS2 (g)	PS3 (g)	PS1 (%)	PS1 (%)	PS1 (%)	Promedio PS
V1A5	2.4	2.7	2.8	9.6	10.8	11.2	10.53
V1B5	6.6	6.2	6.5	13.2	12.4	13	12.87
V1C5	16.3	16.5	13.9	16.3	16.5	13.9	15.57
V2A5	1.8	1.7	1.6	7.2	6.8	6.4	6.80
V2B5	5.4	5.3	5.6	10.8	10.6	11.2	10.87
V2C5	8.8	9.4	10.8	8.8	9.4	10.8	9.67
V3A5	2.0	2.1	1.9	8.0	8.4	7.6	8.00
V3B5	5.0	5.4	3.1	10.0	10.8	6.2	9.00
V3C5	7.4	8.2	9.4	7.4	8.2	9.4	8.33
V4A5	2.0	2.1	2.1	8.0	8.4	8.4	8.27
V4B5	3.7	3.5	3.7	7.4	7.0	7.4	7.27
V4C5	7.1	6.3	4.6	7.1	6.3	4.6	6.00
V5A5	3.0	3.1	2.9	12.0	12.4	11.6	12.00
V5B5	4.3	4.3	3.6	8.6	8.6	7.2	8.13
V5C5	12.8	11.7	12.8	12.8	11.7	12.8	12.43

Tabla 6. Peso seco y rendimiento de producción de Suginori verde a los 7 días.

Tratamientos	PS1 (g)	PS2 (g)	PS3 (g)	PS1 (%)	PS1 (%)	PS1 (%)	Promedio PS
V1A7	1.9	1.8	1.7	7.60	7.20	6.80	7.20
V1B7	4.8	6.4	5.0	9.60	12.80	10.00	10.80
V1C7	12.7	9.9	12.1	12.70	9.90	12.10	11.57
V2A7	3.5	3.3	3.6	14.00	13.20	14.40	13.87
V2B7	1.4	4.4	4.5	2.80	8.80	9.00	6.87
V2C7	4.2	8.8	8.3	4.20	8.80	8.30	7.10
V3A7	2.5	2.2	3.0	10.00	8.80	12.00	10.27
V3B7	1.4	1.6	0.8	2.80	3.20	1.60	2.53
V3C7	2.9	7.4	6.4	2.90	7.40	6.40	5.57
V4A7*							
V4B7	2.5	3.2	2.6	5.00	6.40	5.20	5.53
V4C7	4.8	4.4	3.8	4.80	4.40	3.80	4.33
V5A7	3.0	3.5	3.0	12.00	14.00	12.00	12.67
V5B7	5.4	5.0	5.4	10.80	10.00	10.80	10.53
V5C7	6.1	6.6	5.3	6.10	6.60	5.30	6.00

*Tratamiento perdido.

Tabla 7. Peso seco y rendimiento de producción de Suginori verde a los 10 días.

Tratamientos	PS1 (g)	PS2 (g)	PS3 (g)	PS1 (%)	PS1 (%)	PS1 (%)	Promedio PS
V1A1	2.9	2.6	2.7	11.60	10.40	10.80	10.93
V1B1	3.5	3.8	2.6	7.00	7.60	5.20	6.60
V1C1	10.2	10.7	10.7	10.20	10.70	10.70	10.53
V2A1	2.1	2.4	2.5	8.40	9.60	10.00	9.33
V2B1	3.9	3.1	3.6	7.80	6.20	7.20	7.07
V2C1	9.2	9.8	9.0	9.20	9.80	9.00	9.33
V3A1	1.2	1.2	1.3	4.80	4.80	5.20	4.93
V3B1	4.1	2.7	3.2	8.20	5.40	6.40	6.67
V3C1	8.3	9.1	8.0	8.30	9.10	8.00	8.47
V4A1	1.7	1.7	1.5	6.80	6.80	6.00	6.53
V4B1	3.5	2.7	3.8	7.00	5.40	7.60	6.67
V4C1	9.8	6.0	9.9	9.80	6.00	9.90	8.57
V5A1	2.0	2.0	1.5	8.00	8.00	6.00	7.33
V5B1	4.3	4.4	3.4	8.60	8.80	6.80	8.07
V5C1	8.2	4.5	8.4	8.20	4.50	8.40	7.03

Tabla 8. Peso seco y rendimiento de producción de Suginori verde a los 14 días.

Tratamientos	PS1 (g)	PS2 (g)	PS3 (g)	PS1 (%)	PS1 (%)	PS1 (%)	Promedio PS
V1A4	2.4	2.5	2.5	9.60	10.00	10.00	9.87
V1B4	5.1	3.9	4.0	10.20	7.80	8.00	8.67
V1C4	9.2	8.6	7.8	9.20	8.60	7.80	8.53
V2A4	0.5	0.9	0.8	2.00	3.60	3.20	2.93
V2B4	4.6	5.6	4.8	9.20	11.20	9.60	10.00
V2C4	10.2	9.8	11.1	10.20	9.80	11.10	10.37
V3A4	2.0	2.8	2.2	8.00	11.20	8.80	9.33
V3B4	6.4	6.4	5.6	12.80	12.80	11.20	12.27
V3C4	9.5	10.4	10.2	9.50	10.40	10.20	10.03
V4A4	1.3	1.9	1.9	5.20	7.60	7.60	6.80
V4B4	6.0	6.1	4.2	12.00	12.20	8.40	10.87
V4C4	9.7	8.8	11.2	9.70	8.80	11.20	9.90
V5A4	1.2	1.1	2.0	4.80	4.40	8.00	5.73
V5B4	4.6	4.2	5.3	9.20	8.40	10.60	9.40
V5C4	5.4	6.1	7.3	5.40	6.10	7.30	6.27

Tabla 9. Peso seco y rendimiento de producción de Suginori verde a los 20 días.

Tratamientos	PS1 (g)	PS2 (g)	PS3 (g)	PS1 (%)	PS1 (%)	PS1 (%)	Promedio PS
V1A2	3.7	4.8	3.8	14.80	19.20	15.20	16.40
V1B2	6.5	6.9	6.0	13.00	13.80	12.00	12.93
V1C2	11.6	12.3	11.6	11.60	12.30	11.60	11.83
V2A2	3.9	3.8	4.2	15.60	15.20	16.80	15.87
V2B2	5.1	5.1	5.3	10.20	10.20	10.60	10.33
V2C2	10.5	11.6	11.8	10.50	11.60	11.80	11.30
V3A2	3.4	4.1	3.3	13.60	16.40	13.20	14.40
V3B2	7.4	7.7	5.4	14.80	15.40	10.80	13.67
V3C2	8.3	8.0	10.6	8.30	8.00	10.60	8.97
V4A2	3.3	2.9	3.0	13.20	11.60	12.00	12.27
V4B2	5.2	5.5	5.7	10.40	11.00	11.40	10.93
V4C2	12.3	13.3	10.9	12.30	13.30	10.90	12.17
V5A2	2.2	2.9	3.3	8.80	11.60	13.20	11.20
V5B2	5.1	4.5	4.3	10.20	9.00	8.60	9.27
V5C2	11.3	12.1	9.7	11.30	12.10	9.70	11.03

Así mismo, de los 75 tratamientos se tuvo un tratamiento con data perdida y cuatro de ellos que no alcanzaron a generar un rendimiento (%PS) mayor a 5% (Figura

2), rendimiento óptimo y esperado en procesos productivos de Suginori verde (48). Se identificó que los valores mínimos de rendimiento fueron registrados a los 7 y 14 días, con 2.53% (V3B7) y 2.93%(V2A4) respectivamente, por su parte, los mayores valores de rendimiento fueron alcanzados a los días 20 y 5 con 16.40% (V1A2) y 15.57%(V1C5).

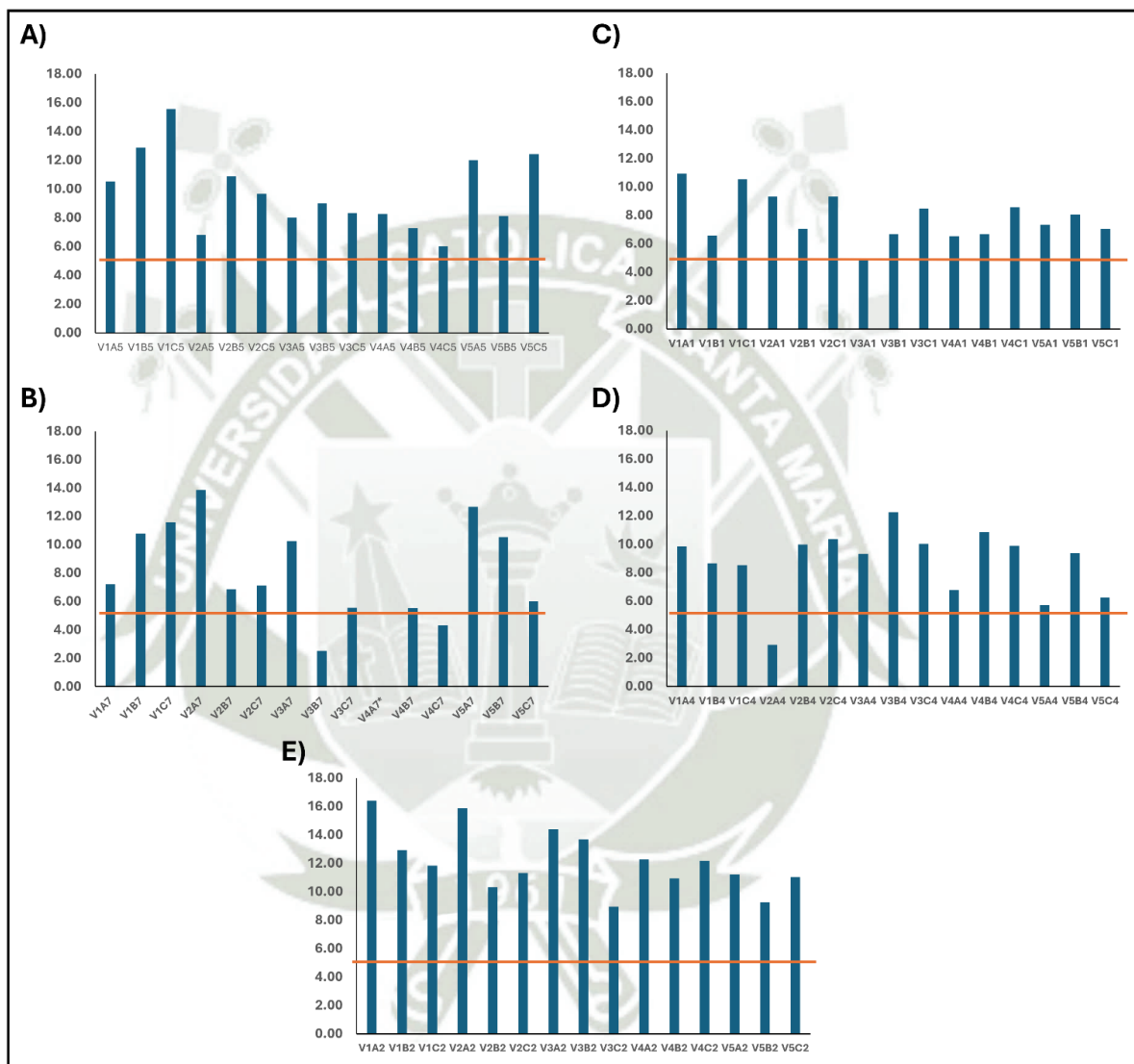


Figura 2. Rendimientos en porcentaje de peso seco según los días. Donde A) 5 días, B) 7 días, C) 10 días, D) 14 días y E) 20 días.

El peso seco es un indicador importante de rendimiento puesto que impacta en el costo de producción y en la cantidad inicial de materia prima requerida para poder obtener la cantidad producto final deseado en forma de Suginori. La presentación final del alga depende del mercado al cual se destine su exportación, en el caso de Japón, la presentación preferida es seca tipo “Suginori” con precios FOB que van desde los

US\$30/kg mucho mayor a la presentación deshidratada que alcanza precios de 1.60 a 4.81 US\$/kg (49). Así mismo, es importante mencionar que el Perú contribuye con un 4% del total de algas desembarcadas en Latinoamérica, y de estas solo un 0.01% proviene de la acuicultura (50), por lo que si se desea optar por una producción comercial a mayor escala que busque satisfacer la demanda internacional es de suma importancia conocer el rendimiento del proceso para poder dimensionar la etapa productiva y la capacidad de planta.

La producción de Suginori verde fue estudiada por Dionicio, la cual consideró como variables de interés la procedencia del alga, el tipo de inóculo, la fase de crecimiento y la concentración de cal, observando que los factores significativos para la producción fueron la fase y la concentración de cal (47). Por ello, la presente investigación buscó optimizar las condiciones operativas de producción de Suginori verde a partir de *Chondracanthus chamissoi* teniendo en cuenta la concentración de cal, la biomasa de alga y el tiempo de contacto.

Para poder realizar una interpretación más profunda sobre la influencia de las variables en el proceso, se procesaron los datos obtenidos mediante un análisis de varianza multifactorial identificando el comportamiento de la respuesta de %PS con base en cada variable estudiada.

En la gráfica de promedios (Figura 3), se muestra los promedios de %PS obtenido según los niveles operativos específicos de cada variable. Se identificó que las diferentes concentraciones de cal generaron rendimientos entre 7.98% y 10.99%, mostrando un perfil tipo cuadrático sobre el %PS obtenido (Figura 3.A), es decir, para concentración de 6.25 g/L se obtuvo 10.99%PS, con 12.5g/L de cal se obtuvo 9.45%PS, disminuyendo hasta un 7.98%PS con 50% de cal y finalmente aumentando su %PS hasta 9.14% con 100g/L de cal.

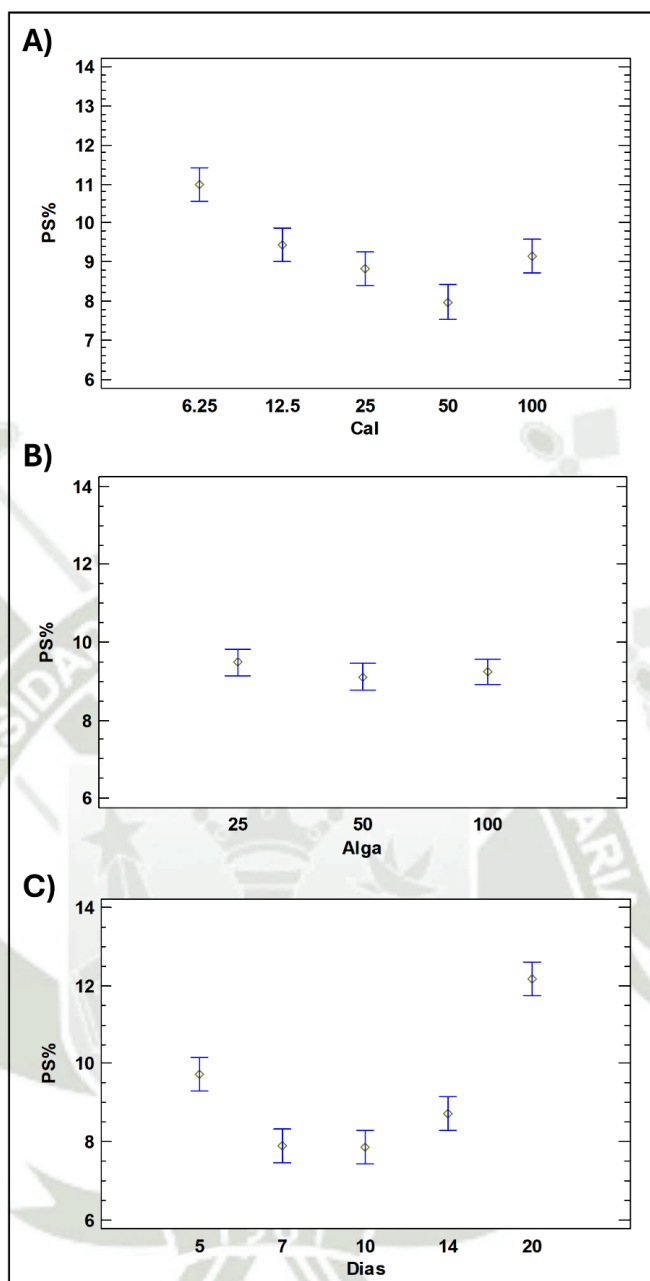


Figura 3. Promedios de %Peso Seco según variables de estudio. En A) Cal, B) Alga y C) Días.

En el caso de la concentración de alga (Figura 3.B) se obtuvo valores de 9.48%PS, 9.11%PS y 9.24%PS con 25, 50 y 100g/L respectivamente. Con respecto a la respuesta obtenida según los días de contacto (Figura 3.C) se vio un comportamiento cuadrático siendo el %PS de 9.71%PS y 12.17% a los 5 y 20 días respectivamente y valores de 7.90 % y 7.87%PS a los 7 y 10 días, es decir se observa una caída del %PS a tiempos intermedios de contacto.

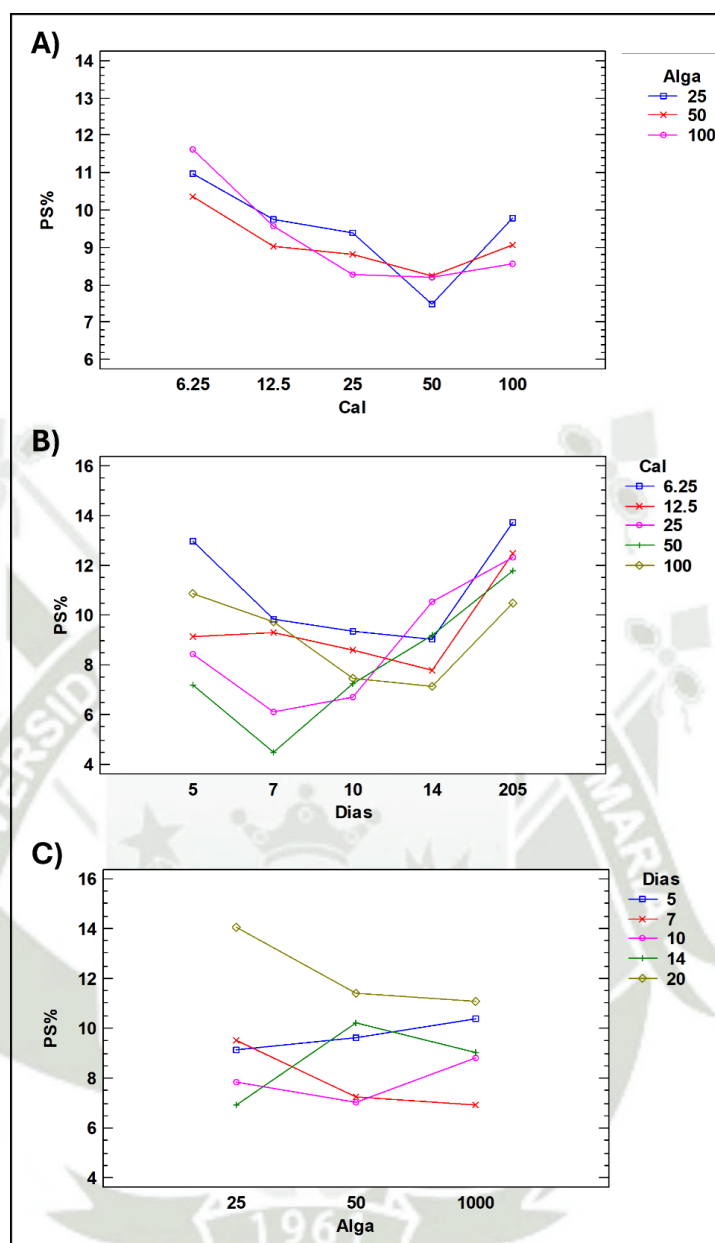


Figura 4. %Peso Seco obtenido por interacción de variables de estudio. En A) Cal-Alga, B) Días-Cal y C) Algas-Días.

Así mismo, se observó la respuesta de %PS en base a las interacciones de cada dos variables (Figura 4) identificando que los perfiles de cal-día (Figura 4.B) y Alga – Días (Figura 4.C) cambian según los valores de cada variable, evidenciando una posible interacción.

Por ello, para poder identificar influencia estadísticamente significativa de las variables principales y de las interacciones mostradas se realizó un Análisis de Varianza Multifactorial (Tabla 10), identificando que las variables cal [$F(4,222) = 12.57, p < 0.001$] y días [$F(2,222) = 33.45, p < 0.001$] fueron significativas para el

proceso de obtención de %PS de Suginori verde, así como también lo son las interacciones cal-días [$F(16,222) = 4.75, p < 0.001$] y alga-días [$F(8,222) = 7.30, p < 0.001$].

Tabla 10. Análisis de varianza multifactorial para %PS de Suginori verde.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Cal	213.436	4	53.3591	12.57	0.0000
B:Alga	5.2342	2	2.6171	0.62	0.5409
C:Días	567.783	4	141.946	33.45	0.0000
INTERACCIONES					
AB	35.0233	8	4.37792	1.03	0.4139
AC	322.786	16	20.1741	4.75	0.0000
BC	247.716	8	30.9645	7.30	0.0000
RESIDUOS	763.89	180	4.24383		
TOTAL (CORREGIDO)	2156.07	222			

El uso de la cal llega a ser importante en la producción de Suginori verde puesto que actúa como un agente antimicrobiano que favorece la inocuidad del producto, diversos autores han usado la el hidróxido de calcio como agente antimicrobiano tal como Lopes et al., el cual evaluó el efecto del tratamiento alcalino sobre un consorcio bacteriano patogénico, helmintos y parásitos presentes en lodos activados identificando que el tratamiento alcalino cambió considerablemente la estructura de la comunidad bacteriana identificando que solo algunas bacterias como *Azospira oryzae*, *Dechloromonas denitrificans*, *Geothrix* y *Geobacter* permanecieron en condiciones de pH extremas ($pH > 12$), y las demás como *Salmonella spp.* no sobrevivieron al cabo de las dos horas de iniciado el tratamiento. Así mismo, la concentración de coliformes fecales, huevos viables de helmintos alcanzó límites seguros al cabo de 24 horas de tratamiento (51). Además, la mayoría de las bacterias patogénicas en humanos no son capaces de sobrevivir en un medio extremadamente alcalino, desarrollándose en pH óptimos de 7.2 a 7.6, excepto *Enterococcus faecalis*,

que es capaz de sobrevivir hasta pH 11, pero siendo sensible desde pH 11.5 a 12 del hidróxido de calcio (52,53).

Este efecto que tiene el pH sobre las bacterias se debe principalmente a la interferencia en procesos esenciales como la síntesis de la pared celular, la permeabilidad de la membrana citoplasmática, la síntesis proteica y la replicación cromosómica, lo que afecta directamente su crecimiento y actividad enzimática. En condiciones extremas de pH sostenidas por largos periodos, las enzimas bacterianas pueden sufrir inactivación irreversible. Sin embargo, si el pH retorna a niveles óptimos, esta inactivación puede ser temporal, permitiendo que las bacterias reactiven su actividad enzimática (54). Este fenómeno resalta la importancia del equilibrio del pH como estrategia para controlar el crecimiento bacteriano y viabilidad.

Adicionalmente, los iones hidroxilo desempeñan un papel crucial en la peroxidación lipídica, un proceso que afecta la membrana celular bacteriana. Este mecanismo, como lo señala Romero, se desencadena por la reacción de los iones hidroxilo con ácidos grasos insaturados, lo que genera radicales libres y peróxidos lipídicos que desestabilizan la estructura de la membrana en una reacción en cadena (55). Por otro lado, Holland et al. demostró que el hidróxido de calcio también puede hidrolizar el lipopolisacárido (LPS) bacteriano, un componente clave de la pared celular, neutralizando el lípido A y reduciendo el impacto de los residuos bacterianos tras la lisis celular (56). Estos mecanismos explican la eficacia del manejo del pH como antimicrobiano en procesos productivos.

Por otro lado, Vidal y O'Brayan, mencionan que el Suginori verde debe pasar por procesos de decoloración mediante el uso de hidróxido de calcio, siendo este proceso el más usado por las industrias alimenticias (12). En ese sentido Ríos Cortés, et al., mencionan que el hidróxido de calcio posee efecto en la remoción de la clorofila a, b y c, llegando a alcanzar remociones de hasta el 69,76% a los 10 minutos a una concentración de 0.477 mg/mL equivalente de cal (57). Así mismo, Puri, refiere que la clorofila precipita en presencia del hidróxido de calcio y Dionicio que evaluó tres concentraciones de cal en periodos de 6 horas identificó que concentraciones entre 6.25 y 25 g fueron adecuadas para permitir el proceso de decoloración (47,58)

Considerando la significancia estadística, se definió las condiciones operativas favorables con el test de Tukey (Tabla 11), para obtener la mayor cantidad de

porcentaje en peso seco se requiere trabajar en las condiciones de menor concentración de cal (6.25 g/L), mayor tiempo de contacto (20 días), y al no existir diferencia estadísticamente significativa entre la concentración de algas se puede trabajar en cualquiera de las concentraciones ensayadas obteniendo finalmente 13.72%PS aproximadamente.

Tabla 11. Test de Tukey para las variables de estudio en el proceso de obtención de %PS de Suginori verde.

Cal (g/L)		Alga (g/L)		Días	
6.25	10.99 C	25	9.48 A	5	9.72 B
12.5	9.45 B	50	9.11 A	7	7.90 A
25	8.83 AB	100	9.24 A	10	7.87 A
50	7.98 A			14	8.73 AB
100	9.14 AB			20	12.7 C

3.2. Optimización de condiciones para procesamiento primario del alga *Chondracanthus chamissoi* en los residuos en la producción de Suginori verde

Para complementar el análisis realizado se evaluó el porcentaje de residuo obtenido con cada tratamiento; puesto que, operativamente se busca mayor porcentaje de peso seco y menor porcentaje de residuo en las muestras.

La concentración de cal mostró un efecto cuadrático sobre el porcentaje Residuos inverso a lo obtenido para el %PS; es decir, tanto a baja concentración como a alta concentración de cal, se puede obtener mayores rendimientos y menores porcentajes de residuo lo cual es favorable para el proceso, con una concentración de 6.25 g/L y 100 g/L de cal se obtuvo 328.53% y 330.57% respectivamente (Figura 5.A). Estos rendimientos de más del 100% se dan por la captación de agua que sufre el alga y su subsecuente descomposición de fibras obteniendo un aspecto gelatinoso.

Este perfil cuadrático observado evidencia la complejidad de la interacción entre este álcali y las estructuras celulares del alga. Mientras que a concentraciones bajas (6.25 g/L) y altas (100 g/L) se logran menores porcentajes de residuos, a concentraciones intermedias parece haber una acción menos eficiente en la solubilización y descomposición de las fibras celulares, lo que genera una mayor

cantidad de material residual. Este comportamiento puede estar relacionado con la dinámica de ruptura de enlaces moleculares en la matriz celular, donde las condiciones químicas no optimizan ni la degradación completa ni la solubilización suficiente de los componentes estructurales.

La acción del óxido de calcio sobre las fibras lignocelulósicas ha sido ampliamente estudiada. Según Zeng et al., los enlaces químicos entre la lignina, la hemicelulosa y la celulosa, mayormente de tipo éster y éter, son susceptibles de ser hidrolizados bajo tratamiento alcalino, promoviendo la disolución parcial de la hemicelulosa (59). Pérez-Merchán et al., indicaron que, además de la ruptura de enlaces glucosídicos, los álcalis reducen la cristalinidad de la celulosa mediante la ruptura de puentes de hidrógeno intermoleculares (60). Esto no solo facilita la liberación de agua y la solubilización de compuestos solubles, sino que también puede dejar residuos sólidos provenientes de fracciones más resistentes, como la lignina o estructuras lignocelulósicas parcialmente degradadas.

El aumento en el porcentaje de residuos a concentraciones intermedias podría atribuirse a un proceso incompleto de ruptura de las fibras vegetales. Xiao et al., explicaron que el tratamiento alcalino induce un hinchamiento celular al destruir parcialmente las paredes celulares; sin embargo, la acción puede ser insuficiente en ciertos niveles de concentración para descomponer totalmente las microfibrillas (61). Este efecto genera una liberación incompleta de los componentes celulares, dejando remanentes sólidos que contribuyen al incremento del porcentaje de residuos.

Por su parte, estudios como los de Cavali et al. y Balieiro Neto et al. respaldan que el óxido de calcio descompone las estructuras fibrosas mediante el rompimiento de los enlaces éster entre los ácidos fenólicos y los carbohidratos de la pared celular. Este fenómeno expone a la hemicelulosa y la celulosa a procesos de solubilización y descomposición. Sin embargo, cuando estas acciones son parciales, debido a una concentración alcalina intermedia, los residuos sólidos pueden incrementarse como resultado de una fragmentación incompleta de las fibras (62,63).

En este contexto, la generación de residuos observada puede explicarse por la resistencia diferencial de las estructuras celulares del alga al tratamiento alcalino. Aunque la hemicelulosa se solubiliza con mayor facilidad, la lignina y ciertos compuestos fenólicos presentan mayor resistencia a la acción química, lo que se

traduce en la acumulación de residuos sólidos. Este comportamiento confirma la importancia de ajustar las condiciones del tratamiento alcalino para maximizar la degradación de las fibras y minimizar la generación de residuos.

En lo que respecta a la concentración de alga a diferencia del %PS si se observa un incremento en la cantidad de % de residuo que va desde 244.58% para 25g/L de alga, hasta los 630.19% a 100g/L de alga (Figura 5.B).

Esto es coherente debido a que una mayor cantidad de biomasa vegetal producirá una mayor cantidad de residuos debido a que al incrementar la cantidad de alga en el tratamiento, se aumenta la biomasa disponible para la descomposición o ruptura estructural generando más residuos.

La variable días no mostró un patrón lineal o cuadrático en el %Residuos de Suginori verde (Figura 5.C).

En el caso de las interacciones se observó que el porcentaje de residuo se incrementa a los 5 y 7 días manteniéndose entre 159% y 549% en concentraciones de cal extremas de 6.25g/L y 100 g/L, pero incrementándose a concentraciones intermedias de cal (Figura 6.B), por tanto, este comportamiento que sugiere una interacción significativa fue verificado mediante el análisis de varianza multifactorial (Tabla 12).

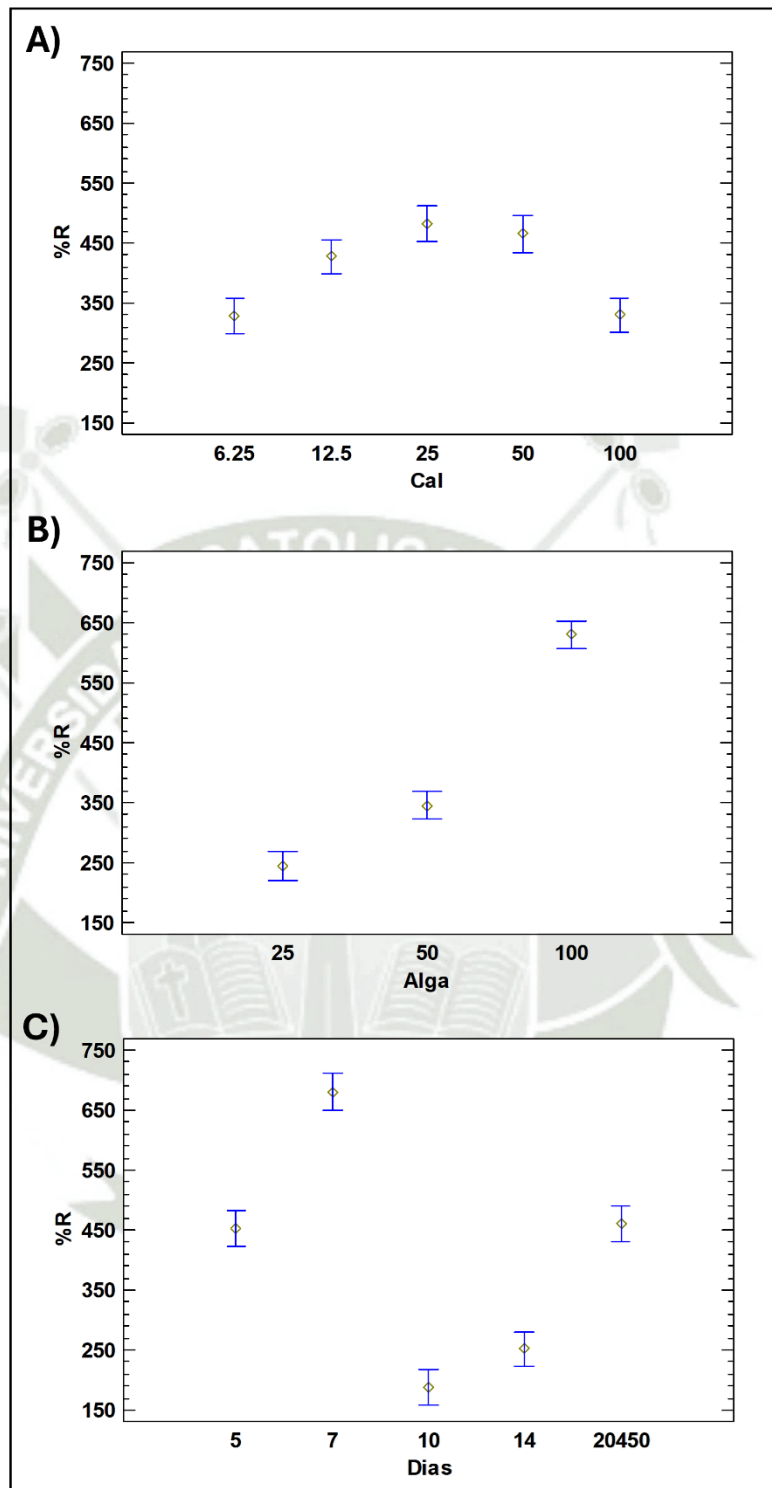


Figura 5. Promedios de % de residuo con las variables principales. A) Cal, B) Alga y C) Días.

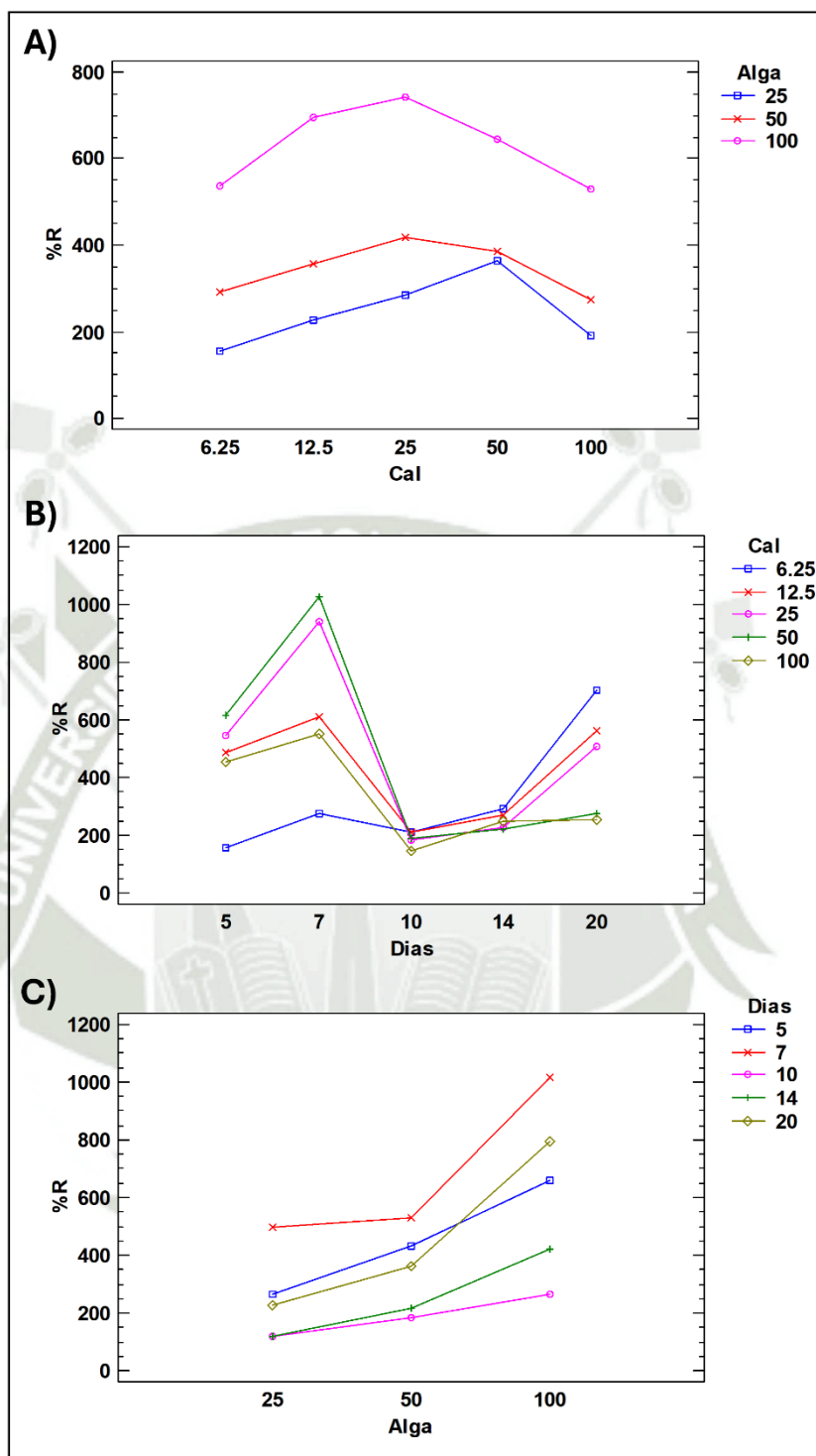


Figura 6. Interacciones entre variables para el % de residuos en la producción de Suginori.

Tabla 12. Análisis de varianza multifactorial para %R de Suginori verde.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Cal	944197.	4	236049.	12.19	0.0000
B: Alga	5.822E6	2	2.911E6	150.30	0.0000
C: Días	6.35779E6	4	1.58945E6	82.07	0.0000
INTERACCIONES					
AB	188310.	8	23538.7	1.22	0.2923
AC	4.50307E6	16	281442.	14.53	0.0000
BC	1.2147E6	8	151837.	7.84	0.0000
RESIDUOS	3.46682E6	179	19367.7		
TOTAL (CORREGIDO)	2.28248E7	221			

El análisis de varianza confirmó lo observado en las gráficas de efectos principales e interacciones, observando como significativos las variables cal [$F(4,222) = 12.19, p < 0.001$], alga [$F(2,222) = 150.30, p < 0.001$] y días [$F(4,222) = 82.07, p < 0.001$], y las interacciones cal-días [$F(16,222) = 14.53, p < 0.001$] y alga-días [$F(8,222) = 7.84, p < 0.001$] similar a lo mostrado en el %PS.

En relación con los resultados observados en el porcentaje de residuo generado a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y tiempos de tratamiento, es importante destacar que el comportamiento observado puede explicarse a través de los procesos de degradación antes mencionados. En el caso del hidróxido de calcio al 6.25 g/L, el aumento en el porcentaje de residuo a los 20 días en comparación con los 5 días, pasando de un 700% a 200%. puede ser atribuido a un proceso de degradación que no se completa en los primeros días, pero progresa con el tiempo. Esto sugiere que, en las primeras etapas del tratamiento, los enlaces celulares y las estructuras de las paredes vegetales aún no se desintegran completamente, lo que resulta en una mayor cantidad de residuo, a medida que el tiempo de contacto aumenta, las reacciones de hidrólisis de los enlaces glucosídicos y los enlaces éster entre la hemicelulosa y la celulosa, descritas por autores como Zeng et al. y Pérez-Merchán et al., siguen progresando, pero de manera incompleta, lo que aún genera una mayor cantidad de residuos al final del período de tratamiento (59,60).

Por otro lado, en el caso de la concentración más alta de 100 g/L de hidróxido de calcio, el comportamiento observado sugiere que la mayor concentración del álcali provoca una ruptura más rápida de los enlaces celulares en los primeros días, lo que resulta en una mayor cantidad de residuos (aproximadamente 500%) a los 5 y 7 días. Sin embargo, con el tiempo, la eficiencia del proceso mejora, lo que lleva a una disminución en los residuos generados a los 20 días, alcanzando alrededor del 200%. Este fenómeno puede explicarse por el hecho de que, a concentraciones más altas, el proceso de hidrólisis inicial es más eficiente, pero con el paso del tiempo se genera una saturación en los productos de reacción, lo que lleva a una mayor degradación y menor cantidad de residuos finales. Este comportamiento también ha sido observado en otros estudios, como el de Torres & Fernández (64), quienes describen que las altas concentraciones de álcalis inicialmente producen una rápida descomposición, pero con el tiempo la degradación de los materiales lignocelulósicos se vuelve más completa y eficiente, reduciendo la cantidad de residuos.

Adicionalmente a lo antes señalado, los tratamientos a los 5 y 7 días, correspondientes a un mismo lote, no cumplieron con los requisitos mínimos de calidad, mostrando cuán importante debe ser el alga cosechada; puesto que, esto contribuyó a que el aspecto gelificado sea mayor a pesar de tener menores tiempos de exposición.

La prueba de Tukey permitió identificar las condiciones ideales para obtener menor % de residuos, siendo valores extremos de cal como 6.25g/L o 100 g/L que permiten obtener 328.53% y 330.58% respectivamente; menores concentraciones de alga, es decir, 244.58% de residuos puede ser obtenido con una concentración de 25g/L de alga y tiempo intermedio de contacto siendo mejor el proceso a 10 y 14 días pues permite obtener 188.27% y 251.91% de residuo

En busca de una optimización para ambas condiciones en las cuales se busca mayor %PS y menor %R, se considera los resultados de las pruebas de Tukey (Tabla 11 y 13) y las interacciones significativas, por lo que quedan dos alternativas de operación (Tabla 14) en las cuales se considera 6.25 g/L de cal y 25g/L de alga para ambos casos siendo la diferencia los días de contacto, teniendo que con 20 días se puede obtener 16.4%PS y 226.6%R y a 5 días 10.53%PS y 160%R.

Tabla 13. Test de Tukey para las variables de estudio en el proceso de obtención de %R de Suginori verde.

Cal (g/L)		Alga (g/L)		Días	
6.25	328.53 A	25	244.58 A	5	452.53 B
12.5	427.56 B	50	345.71 B	7	680.52 C
25	481.96 B	100	630.19 C	10	188.27 A
50	465.5 B			14	251.91 A
100	330.58 A			20	460.89 B

De estas dos condiciones, la alternativa 2 fue la seleccionada por la empresa debido a que operativamente un proceso llevado a cabo en menor tiempo y con menos residuos es más eficiente y económico, a pesar de que signifique menor porcentaje de peso seco (10.53%), esta diferencia de aproximadamente 6% no llega a ser representativa frente al ahorro en tiempo y menor cantidad de residuos producidos que llega a generar estas condiciones operativas de producción de Suginori verde.

Tabla 14. Condiciones óptimas de operación.

	Alternativa 1	Alternativa 2
	V1A2	V1A5
Cal	6.25 g/L	6.25 g/L
Alga	25 g/L	25 g/L
Días	20	5
%PS	16.4 %	10.53 %
%R	226.6 %	160%

Esta elección se alinea con las tendencias en la industria global de algas, donde el crecimiento de la producción y la demanda de productos de alta calidad como el "Suginori" requiere no solo de un buen control de la calidad del producto final, sino también de procesos de producción eficientes y rentables.

En términos productivos, el mercado mundial de algas ha experimentado un notable crecimiento, alcanzando una producción de 35.1 millones de toneladas en 2020, según la FAO (65). En Perú, la acuicultura también ha tenido un incremento continuo, con 144 mil toneladas cosechadas en 2021, generando ingresos por

aproximadamente 350 millones de dólares, de los cuales una parte significativa fue destinada al mercado internacional. De las algas cosechadas, 50,486 toneladas fueron específicamente de *Chondracanthus chamissoi*, conocida localmente como "yuyo" (PRODUCE) (66). Esta especie es valora especialmente por sus propiedades ficocoloides, como el agarrafenano y el k-carragenano, que le confieren un alto valor comercial debido a sus diversas aplicaciones industriales y alimentarias. Además, Japón, un mercado clave, prefiere el "Suginori" seco, alcanzando precios de hasta 30 USD por kilogramo, mucho más altos que los de las versiones deshidratadas, que varían entre 1.60 y 4.81 USD por kilogramo (49). Esta diferencia de precios resalta la importancia de las condiciones de producción y el procesamiento, donde las alternativas más eficientes no solo permiten un aprovechamiento óptimo de los recursos, sino que también pueden incrementar significativamente el valor del producto final, favoreciendo así tanto la rentabilidad como la sostenibilidad en la industria del alga.

3.3. Análisis de calidad.

Para la evaluación de calidad se evaluó el tiempo de rehidratación, la resistencia, olor y sabor. Se observó que de un total de 75 tratamientos solo 19 tratamientos obtuvieron tiempos menores a 2 minutos, 10 presentaron resistencia y 18 no presentaron ni olor ni sabor (Tabla 15).

Este análisis junto con la optimización de producción permite confirmar al tratamiento V1A5 (concentración de cal 6.25 g/L, concentración de alga 25 g/L y tiempo de contacto de 5 días) como el mejor para la producción de alga Suginori verde.

Tabla 15. Matriz de evaluación de análisis mínimos de calidad.

Tratamientos	Tiempo de rehidratación (min)	¿Resiste?	Sabor	Olor
V1A2	01:45	Sí	Inocuo	Inocuo
V1A5	01:28	Sí	Inocuo	Inocuo
V1C5	01:30	Sí (soltó partículas)	Inocuo	Inocuo
V5C5	02:00	Más o menos	Inocuo	Inocuo
V1C7	01:28	Sí (soltó partículas)	No deseado	No deseado
V1C1	01:26	Sí (soltó partículas)	Inocuo	Inocuo
V2A1	01:08	Sí	Inocuo	Inocuo
V2C1	00:57	Sí	Inocuo	Inocuo
V5A1	01:23	Sí	Inocuo	Inocuo
V5B1	01:40	Sí (soltó partículas)	Inocuo	Inocuo
V3C4	01:22	Sí	Inocuo	Inocuo
V1B2	01:33	Sí (soltó partículas)	Inocuo	Inocuo
V1C2	01:49	Sí	Inocuo	Inocuo
V2C2	01:16	No (soltó partículas)	Inocuo	Inocuo
V3B2	01:23	No	Inocuo	Inocuo
V3C2	01:46	No (soltó partículas)	Inocuo	Inocuo
V4B2	01:49	Sí	Inocuo	Inocuo
V4C2	01:56	Sí	Inocuo	Inocuo
V5C2	01:37	Sí	Inocuo	Inocuo

La calidad del alga al ser cosechada influye de gran manera en el procesamiento; sin embargo, es un factor difícil de controlar, porque, a pesar de que sea alga de cultivo, muchas veces se ve afectada por las condiciones marítimas del día. Esta experimentación se vio afectada por el fenómeno de la Niña, la cual provocó oleajes anómalos en la costa peruana entre los meses de noviembre y diciembre, que provocó que los cultivos y el tiempo de cosecha tardaran más de lo esperado y tengan condiciones distintas entre sí.

La alternativa 2 seleccionada con 5 días de producción favorece también la coloración puesto que como menciona Dionicio, al verificar por colorimetría la coloración verde (a^*) se observa una disminución de intensidad con el paso de los días. Díaz y Rosas, también evaluaron condiciones de calidad del producto final considerando los parámetros de sabor y textura; Dionicio por su parte consideró el olor, sabor, color y textura como parámetros de calidad, siendo esta última categorizada como firme, blanda y rugosa, a diferencia de dicho autor en la presente investigación se consideró la resistencia y la liberación de partículas basado en los requerimientos de la empresa productora (47,67).

Tabla 16. Análisis proximal de Suginori verde en base seca.

	Humedad (%)	Cenizas totales (%)	Proteínas totales (%)	Carbohidratos (%)	Fibra (%)	Extracto etéreo (%)
V1A1	11.3%	14.8%	42.9%	30.3%	11.3%	0.12%
V1A5	10.6%	14.4%	40.0%	30.5%	11.0%	0.15%
V1B2	10.9%	14.7%	43.3%	30.2%	10.9%	0.21%
V1B5	12.9%	14.4%	44.3%	30.4%	10.7%	0.12%
V1C1	19.8%	14.3%	43.2%	30.5%	10.4%	0.15%
V1C2	12.7%	14.6%	43.3%	29.6%	10.6%	0.21%
V1C5	19.0%	14.5%	44.7%	29.7%	10.3%	0.12%
V2A1	14.6%	15.2%	39.2%	34.6%	9.3%	0.15%
V2C1	16.3%	15.6%	41.1%	32.4%	9.0%	0.22%
V3C4	18.2%	15.4%	40.3%	33.9%	9.7%	0.13%
Promedio	14.63±3.48	14.79±0.46	42.23±1.92	31.21±1.78	10.32±0.76	0.158±0.04

En la Tabla 16 se muestran los resultados del análisis proximal, en base seca, de Suginori verde obtenido. Los resultados reflejan una composición nutricional adecuada, en términos de proteínas totales, los valores encontrados oscilan entre 36.8% y 44.7% considerados altos en comparación con otros estudios previos; en ese sentido, Rojas Vega, quien reportó un contenido proteico de 28.56% para *Rhodymenia howena*, mientras que Xiren Aminah, encontró un rango de 7.8% a 8.9% para *Kappaphycus alvarezii* (68,69).

Respecto a las cenizas totales, se encontró un porcentaje de 14.79±0.46, más bajos que lo reportados por Morales, en el alga *Agarophyton chilensis* que presentó

un valor de $24.0 \text{ g} \pm 0.813\%$ de ceniza en base seca (70). En cuanto a los carbohidratos se obtuvo un promedio de $31.21 \pm 1.78 \%$, en contraste lo reportado por Rubio, que indica una concentración de 76.4% (5), estas diferencias pueden deberse a las características propias de cada alga; sin embargo, los valores reportados aún son considerados altos a nivel industrial especialmente en la producción de alimentos. El extracto etéreo en el producto final de Suginori verde mostró un bajo contenido, con valores entre 0.12% y 0.23% , lo cual es consistente con los valores bajos de lípidos reportados por Morales, siendo $0.4 \text{ g} \pm 0.056$ para *Agarophyton chilensis*, este bajo contenido de lípidos es favorable en aplicaciones donde se busca un producto bajo en grasa, común en algas marinas (70). Finalmente, los valores de fibra obtenidos correspondieron a $10.32 \pm 0.76 \%$, similares a lo reportado por Dionicio, que obtuvo 8.72% (47).

Se puede afirmar por tanto que el Suginori verde deshidratado muestran un perfil nutricional valioso, destacando su alto contenido proteico y su equilibrio en términos de minerales, carbohidratos y fibra. Su excelente calidad nutricional le brinda un gran potencial para diversas aplicaciones industriales, especialmente en el desarrollo de productos alimenticios y otros derivados de algas.

Es importante destacar el enfoque biotecnológico en esta investigación, ya que es importante para un desarrollo de procesos eficientes, sostenibles y con valor agregado. Fue necesario tener una comprensión de las propiedades biológicas, la caracterización y tratamiento del *C. chamissoi*, para abordarlo no solo como un insumo, sino como un recurso biológico con características específicas que requerían un manejo técnico y controlado.

El rol como ingeniero biotecnólogo en esta investigación fue determinante para garantizar la optimización del tratamiento, asegurar la calidad del producto final y promover estrategias coherentes con los principios de sostenibilidad y aprovechamiento de los recursos hidrobiológicos.

CONCLUSIONES

PRIMERA

Se determinó que las condiciones óptimas para la mayor producción de Suginori verde expresado como porcentaje en peso seco fueron menor concentración de cal (6.25 g/L), mayor tiempo de contacto (20 días), y al no existir diferencia estadísticamente significativa entre la concentración de algas se puede trabajar entre las concentraciones de 25 g/L y 100g/L obteniendo un máximo de 13.72%PS.

SEGUNDA

Se determinó que las condiciones óptimas para obtener una mínima cantidad de porcentaje de residuos fueron con valores extremos de cal como 6.25g/L o 100 g/L que permiten obtener 328.53% y 330.58% respectivamente; menores concentraciones de alga, es decir, 25g/L de alga permite obtener 244.58% de residuos y tiempo intermedio de contacto siendo mejor el proceso a 10 y 14 días pues permite obtener 188.27% y 251.91% de residuo

TERCERA

Se evaluó la calidad de Suginori verde producido en términos de tiempo de rehidratación, resistencia, sabor y olor, identificando que el tratamiento V1A5 correspondiente a concentración de cal 6.25 g/L, concentración de alga 25 g/L y tiempo de contacto de 5 días, seleccionado como condiciones óptimas, también posee características de calidad adecuadas. El contenido de cenizas totales fue de 14.79 ± 0.46 %, proteínas totales 42.23 ± 1.92 %, carbohidratos 31.21 ± 1.78 %, fibra 10.32 ± 0.76 % y extracto etéreo 0.158 ± 0.04 % en base seca.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios adicionales con diferentes lotes de materia prima con la finalidad de obtener un proceso productivo robusto a variaciones intrínsecas del material de partida.
- Se recomienda tecnificar el proceso para poder minimizar fluctuaciones en rendimiento productivos.
- Debido a su alto contenido proteico se recomienda realizar otras investigaciones para su uso como suplemento proteico en alimentos dirigidos a poblaciones específicas.
- Realizar análisis del proceso integrado con la finalidad de obtener un proceso sostenible que cuide la biodiversidad y los ecosistemas marinos.
- Se recomienda realizar pruebas microbiológicas para asegurar la inocuidad del producto final.
- Al generarse una gran cantidad de residuos durante el proceso, se recomienda buscar alternativas de aprovechamiento o valoración, para así fomentar una producción más sostenible y reducir el impacto ambiental.
- Evaluar la posibilidad de utilizar tecnologías más amigables con el ambiente, para el procesamiento del alga como el uso de tratamientos enzimáticos que podrían mantener la calidad del producto y así minimizar el uso de agentes químicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Macchiavelo J. Manual de cultivo de *Chondracanthus chamissoi* (Chicorea de Mar) Antofagasta: Universidad Católica del Norte; 2014.
2. Uribe Alzamora R, Atoche Suclupe D, Paredes Paredes J, Seclén Leyva J. Características bioecológicas de la macroalga roja *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing (Rhodophyta, Gigartinaceae) en la zona intermareal del norte del Perú. *Boletín Imarpe*. 2020; 35: p. 271-293.
3. Arbaiza S, Gil-Kodaka P, Arakaki N, Alveal K. First stages of cultivation from *Chondracanthus chamissoi* carpospores from three locations on the Peruvian coast. *Revista de biología marina y oceanografía*. 2019; 54: p. 204-213.
4. Noriega Cardó C. Seaweed in the Peruvian diet. *Revista USMP - Turismo y Patrimonio*. 2017; 10: p. 55-68.
5. Rubio Rubio JP. El Aporte de Minerales a base de Yuyo (*Chondracanthus chamissoi*) en la Elaboración de Barras Energéticas con Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Callao: Universidad Nacional del Callao; 2019.
6. Riofrío Vargas OL. Efecto de la Variabilidad Térmica sobre la Biología Vegetativa y Reproductiva de *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing (Rhodophyta) en la Bahía de Ancón, Perú Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2003.
7. Suárez Alarcón SA. Filogeografía del Alga *Chondracanthus chamissoi* (Gigartinaceae, Rhodophyta) en la Costa Peruana usando Marcadores Moleculares Lima: Universidad Agraria La Molina; 2019.
8. FAO. The global status of seaweed production, trade and utilization Roma; 2018.
9. Zapata-Rojas JC, Gonzales-Vargas AM, Zevallos-Feria SA. Estudio comparativo para propagación vegetativa de *Chondracanthus chamissoi*, Yuyo, sobre tres tipos de sustrato en ambiente controlado y su viabilidad en la región Moquegua. *Enfoque UTE*. 2020; 11: p. 37-47.

10. Arbaiza S, Gil-García R, Gil-Kodaka P, Merino L, Ramírez P, Rivera H, et al. Diversificación Acuícola hacia el cultivo de macroalgas Lima: PRODUCE; 2021.
11. Acuisur. Producción de algas a partir del manejo sostenible de las praderas naturales, cultivos vía esporas y el desarrollo de productos de alto valor agregado; 2011.
12. Vidal L, O'Bryan C. Chicorea de mar (*Chondracanthus chamissoi*): Situación y perspectivas: Innova Chile de CORFO; 2015.
13. Rubio Rubio JP. El Aporte de Minerales a base de Yuyo (*Chondracanthus chamissoi*) en la Elaboración de Barras Energéticas con Kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Tesis de pregrado. Callao: Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos; 2019.
14. Riofrío Vargas OL. Efecto de la Variabilidad Térmica sobre la Biología Vegetativa y Reproductiva de *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing (Rhodophyta) en la Bahía de Ancón, Perú. Tesis de pregrado. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas; 2003.
15. Arbaiza S. Viabilidad Reproductiva para el Cultivo de *Chondracanthus chamissoi* Proveniente de Tres Poblaciones del Litoral Peruano. Tesis de postgrado. Lima: Universidad Agraria La Molina, Maestría en Acuicultura; 2016.
16. Suárez Alarcón SA. Filogeografía del Alga *Chondracanthus chamissoi* (Gigartinaceae, Rhodophyta) en la Costa Peruana usando Marcadores Moleculares. Tesis de pregrado. Lima: Universidad Agraria La Molina, Facultad de Pesquería; 2019.
17. Sáez F. Cultivo Vegetativo de Chicorea de Mar Antofagasta: CORFO; 2019.
18. Koste Hernández FA. Cultivo Integrado de Chicorea de Mar (*Chondracanthus chamissoi*) y Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en un Sistema de Recirculación Acuícola (SRA), a nivel experimental en la Región del Biobío. Tesis de pregrado. Concepción: Universidad Católica de la Santísima Concepción, Facultad de Ingeniería; 2017.
19. Carbajal W, Galán J, De La Cruz J. Prospección del recurso *Chondracanthus chamissoi* “cochayuyo” en la playa de Huanchaco (Trujillo), Junio - Julio 2005. Informe.

- Lambayeque: Instituto del Mar del Perú, Centro Regional de Investigación Pesquera de Santa Rosa; 2005.
20. Simoni M, Wilkes M, Brown S, Provis J, Kinoshita H, Hanein T. Decarbonising the lime industry: State-of-the-art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022; 168: p. 1-15.
 21. Sandström K, Broström M, Eriksson M. Coal ash and limestone interactions in quicklime production. *Fuel*. 2021; 300: p. 1-13.
 22. Seligson K, Gallaretta T, May R, Bey G. Burnt lime production and the Pre-Columbian Maya socio-economy: A case study from the northern Yucatán. *Journal of Anthropological Archaeology*. 2017; 48: p. 281-294.
 23. Ramírez-Gastón J, Sandoval N, Vicente K. Sistema nacional de innovación en pesca y acuicultura, fundamentos y propuesta 2017-202. Primera ed. Lima: Ministerio de la Producción; 2018.
 24. Narváez I. Aprovechamiento de algas marinas para la elaboración de un yogurt funcional enriquecido con concentrado proteico de Pota (*Dosidicus gigas*)". Tesis de licenciatura. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera; 2017.
 25. Cruz N, Castillo R, Mamani J, Rujel J. Estudios sobre macroalgas pardas en el sur del Perú. 2011-2015. Callao: Instituto del Mar del Perú, Departamento de Unidad Investigación y Desarrollo; 2012.
 26. Ochoa-Reyes E, Ornelas-Paz JdJ, Ruiz-Cruz S, Ibarra-Junquera V, Pérez-Martínez JD, Guevara-Arauz JC, et al. Tecnologías de deshidratación para la preservación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 2012; 15: p. 39-46.
 27. Jangam S, Law CL, Mujumdar A. *Drying of Foods, Vegetables and Fruits* Singapur: National University of Singapore; 2010.
 28. Janjai S, Bala BK. *Solar Drying Technology*. *Food Engineering Review*. 2012; 4: p. 16-54.

29. Bala BK, Mondol MRA, Biswas BK, Das Chowdury BL, Janjai S. Solar drying of pineapple using solar tunnel drier. *Renewable Energy*. 2003; 28: p. 183-190.
30. Ekechukwu O, Norton B. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management*. 1999; 40: p. 615-655.
31. Yadav AK, Singh SV. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 2012; 51: p. 1654–1673.
32. García-Martínez E, Fernández-Segovia I. Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación. Objeto de estudio. Valencia: Universitat Politècnica de València, Departamento de Tecnología de Alimentos; 2012.
33. Wu B, Ma H, Qu W, Wang B, Zhang X, Wang P, et al. Catalytic Infrared and Hot Air Dehydration of Carrot Slices . *Journal of Food Process Engineering*. 2014; 37: p. 111-121.
34. Gaukel V, Siebert T, Erle U. Microwave-assisted drying. In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*. Sawston: Woodhead Publishing; 2017. p. 152-178.
35. Punathil L, Basak T. Microwave Processing of Frozen and Packaged Food Materials: Experimental. In *Reference Module in Food Science*. Chennai: Elsevier Inc.; 2016. p. 15-16.
36. Chong CH, Figiel A, Szummy A, Wojdyło A, Chua BL, Khak CH, et al. Chapter 5 - Herbs drying. In *Aromatic Herbs in Food*. La Canea: Academic Press; 2021. p. 167-200.
37. Fon Fay FM, Zumbado H. Análisis proximal en alimentos: Fundamentos teóricos y técnicas experimentales. Primera ed. Quevedo: Colloquium; 2019.
38. Zumbado H. Capítulo 7. Análisis gravimétrico. In *Análisis Químico de los Alimentos: Métodos Clásicos*. La Habana: Universidad de La Habana; 2004. p. 174.
39. García E, Fernández I. Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación. Objeto de aprendizaje. Valencia: Universitat Politècnica de València, Departamento de Tecnología de Alimentos ; 2012.

40. Flores L, Ruiz A, Oscanoa A. Protocolo para determinación de cenizas en microalgas liofilizadas. Informe IMARPE. 2021; 48: p. 8-10.
41. García E, Fernández I, Fuentes A. Aplicación de la determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con una base fuerte. Objeto de aprendizaje. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos; 2013.
42. Ristof M. Determinación de carbohidratos en jugos de fruta con electrodos enzimáticos. Tesis Doctoral. Buenos Aires: Universidad Nacional del Sur, Departamento de Ingeniería Química; 2013.
43. Jácome-Mena J. Validación del Método Gravimétrico para la Determinación de Grasa en el Laboratorio Ecuachemlab Cía. Ltda. Tesis de licenciatura. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos; 2016.
44. Guachamín Simbaña M. Determinación de la digestibilidad aparente de materia seca, proteína bruta y extracto etéreo de raciones alimenticias con intestinos cocidos de pollo en cerdos en etapa de crecimiento. Tesis de Licenciatura. Quito: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; 2014.
45. Morales C, Nieto A, Quiroga L, Quicazan M. Validación del método y determinación de fibra dietética soluble e insoluble en harina en trigo y pan. Vitae. 2016; 19: p. 340-342.
46. De Michelis A, Grossi V, Ohaco E. Determinación de fibra dietética total, soluble e insoluble en hongos comestibles de cultivo *Pleurotus ostreatus* Neuquén: INTA; 2015.
47. Dionicio de la Cruz CM. Producción de suginori verde a partir de *Chondracanthus chamissol* "yuyo" proveniente de cultivos en laboratorio y praderas naturales en las regiones de Ica y Piura. ; 2023.
48. Villena G. Una visión para el desarrollo de la maricultura algal en Perú. Retos y oportunidades. In I Simposio del Club Macroalgas del Perú; 2021; Lima.
49. Baltazar Guerrero PM, Castañeda Franco MS, Oyola Salvado WB. Manual de Cultivo de *Chondracanthus chamissoi* (yuyo o mococho): Universidad Científica del Sur.; 2023.

50. Organization FaA. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Versión resumida. ; 2018.
51. Lopes BC, Machado EC, Rodrigues HF, Araujo JC, Texeira de Matos A. Effect of alkaline treatment on pathogens, bacterial community and antibiotic resistance genes in different sewage sludges for potential agriculture use. *Environmental Technology*. 2018; 1-10.
52. Mchugh c, Zhang P, Michalek S, Eleazer P. pH Required to Kill *Enterococcus faecalis* in Vitro. *Journal of Endodontics*. 2004; 30(4).
53. Valera G, Grotuz G. Fisiología y metabolismo bacteriano. In. Uruguay: Editorial Cefa; 2018. p. 43-58.
54. Estrela C, Sydney GB, Bammann LL, Felipe Junior O. Estudo do efeito biológico do pH na atividade de enzimática de bacterias anaeróbicas. *Rev.Fac.Odontol*. 1994; 31-8.
55. Romero CK. Comparación del tratamiento endodóntico en sesión única v/s el tratamiento en múltiples sesiones con medicación intraconducto de hidróxido de calcio. Universidad del Desarrollo. Facultad de ciencias de la salud.; 2022.
56. Holland R, Gomes JE, Cintra L, Queiroz I, Estela C. Factors affecting the periapical healing process of endodontically treated teeth. *J Appl Oral Sci*. 2017.
57. Ríos Cortés G, Ramírez Aguilar D, Bobadilla Reyes CQ, Ríos Cortés AM, Ramírez Bello MA, Sales Chávez RM, et al. Remoción de clorofilas presentes en extractos de Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) por adsorción con carbón activado y precipitación con cal grado alimenticio. *Acta Universitaria*. 2017; 27: p. 67-75.
58. Puri M, Sharma D, Tiwary AK. Downstream processing of stevioside and its potential applications. *Biotechnology Advances. Food chemistry*. 2012; 29(6).
59. Zeng F, Wang S, Liang J, Cao L, Liu X, Qin C, et al. High-efficiency separation of hemicellulose from bamboo by one-step freeze–thaw-assisted alkali treatment. *Bioresource Technology*. 2022; 361.

60. Pérez-Merchán AM,RCG,TOB,GSC,MTPJ,MRJ,&MTR. Recent advances in mechanochemical pretreatment of lignocellulosic biomass. *Energies*. 2022; 15(16).
61. Xiao B, Sun X, Sun R. Chemical, structural, and thermal characterizations of alkali-soluble lignins and hemicelluloses, and cellulose from maize stems, rye straw, and rice straw. *Polymer degradation and stability*. 2001; 74(2).
62. Cavali J. PGO,VCS,SEM,PdCGG,SMV,POM,RFJ. Bromatological and microbiological characteristics of sugarcane silages. 2010.
63. Baleiro-Neto G. SGR,RAR,NJR,PTM,PTAP. Calcium oxide as additive on the sugarcane ensilage. *Rev.Brass. Zootec*. 2007; 36.
64. Torres M, Fernando F. Estudio de la influencia del medio alcalino en la estructura y elongación de las fibras de henequén (*Agave fourcroydes* Lemaire). *Resvista Digital del Cedex*. 2016; 181.
65. FAO. EL estado mundial de la Pesca y la Acuicultura. 2020.
66. Ministerio de la Producción. PRODUCE. Anuario estadístico pesquero y acuícola. 2021.
67. Diaz Crespo R, Rosas Aguilar MS. Elaboración de barras energéticas a base kiwicha pop (*Amaranthus caudatus*) y arroz inflado (*Oryza Sativa*) enriquecida con harina de yuyo (*Chondracanthus Chamissoi*). Universidad Nacional de Santa; 2015.
68. Rojas-Vega N, Valdivieso-Izquierdo RASI. Composición nutricional de la alga roja *Rodhymenia howeana* de la bahía de Ancón, Perú. *Revista de la Sociedad Química Del Perú*. 2018; 84(4).
69. Xiren GK, Aminah A. Proximate composition and total amino acid composition of *Kappaphycus alvarezii* found in the waters of Langkawi and Sabah, Malaysia. *International Food Research Journal*. 2017; 24(3).
70. Morales C, Schwartz M, Sepúlveda M, Quitral V. Composición química y propiedades tecnológicas de alga roja, *Agarophyton chilensis* (ex *Gracilaria chilensis*). *Revista De Ciencia Y Tecnología*. 2019; 31(1): p. 59-67.

ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico



Medición de la masa de alga marina



Medición de la masa de cal alimentaria



Ordenamiento de los baldes con los tratamientos



Lavado de alga marina



Distribución de yuyo en bandejas de deshidratación



Producto final de Suginori verde

Anexo 2. Codificación de variables y cálculos para estadística con datos de %PS.

			<i>Error</i>	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	223	9.27719			
Cal					
-1	45	10.9889	0.307095	10.3829	11.5949
-0.866	45	9.44667	0.307095	8.8407	10.0526
-0.6	45	8.82889	0.307095	8.22292	9.43486
-0.066	43	7.9815	0.31795	7.35411	8.60889
1	45	9.14	0.307095	8.53403	9.74597
Alga					
-1	73	9.48357	0.242955	9.00416	9.96297
-0.333	75	9.112	0.237875	8.64262	9.58138
1	75	9.236	0.237875	8.76662	9.70538
Días					
-1	45	9.71556	0.307095	9.10958	10.3215
-0.733	43	7.89706	0.31795	7.26967	8.52445
-0.333	45	7.87111	0.307095	7.26514	8.47708
0.2	45	8.73111	0.307095	8.12514	9.33708
1	45	12.1711	0.307095	11.5651	12.7771
Cal por Alga					
-1,-1	15	10.9867	0.531904	9.93709	12.0362
-1,-0.333	15	10.3733	0.531904	9.32376	11.4229
-1,1	15	11.6067	0.531904	10.5571	12.6562
-0.866,-1	15	9.76	0.531904	8.71043	10.8096
-0.866,-0.333	15	9.02667	0.531904	7.97709	10.0762
-0.866,1	15	9.55333	0.531904	8.50376	10.6029
-0.6,-1	15	9.38667	0.531904	8.33709	10.4362
-0.6,-0.333	15	8.82667	0.531904	7.77709	9.87624
-0.6,1	15	8.27333	0.531904	7.22376	9.32291
-0.066,-1	13	7.49784	0.586502	6.34054	8.65515
-0.066,-0.333	15	8.25333	0.531904	7.20376	9.30291
-0.066,1	15	8.19333	0.531904	7.14376	9.24291
1,-1	15	9.78667	0.531904	8.73709	10.8362
1,-0.333	15	9.08	0.531904	8.03043	10.1296
1,1	15	8.55333	0.531904	7.50376	9.60291
Cal por Días					
-1,-1	9	12.9889	0.686685	11.6339	14.3439
-1,-0.733	9	9.85556	0.686685	8.50056	11.2105
-1,-0.333	9	9.35556	0.686685	8.00056	10.7105
-1,0.2	9	9.02222	0.686685	7.66723	10.3772
-1,1	9	13.7222	0.686685	12.3672	15.0772
-0.866,-1	9	9.11111	0.686685	7.75612	10.4661
-0.866,-0.733	9	9.27778	0.686685	7.92279	10.6328
-0.866,-0.333	9	8.57778	0.686685	7.22279	9.93277
-0.866,0.2	9	7.76667	0.686685	6.41168	9.12166
-0.866,1	9	12.5	0.686685	11.145	13.855
-0.6,-1	9	8.44444	0.686685	7.08945	9.79944
-0.6,-0.733	9	6.12222	0.686685	4.76723	7.47721
-0.6,-0.333	9	6.68889	0.686685	5.3339	8.04388
-0.6,0.2	9	10.5444	0.686685	9.18945	11.8994
-0.6,1	9	12.3444	0.686685	10.9895	13.6994
-0.066,-1	9	7.17778	0.686685	5.82279	8.53277
-0.066,-0.733	7	4.4964	0.800721	2.91639	6.07641
-0.066,-0.333	9	7.25556	0.686685	5.90056	8.61055
-0.066,0.2	9	9.18889	0.686685	7.8339	10.5439
-0.066,1	9	11.7889	0.686685	10.4339	13.1439
1,-1	9	10.8556	0.686685	9.50056	12.2105
1,-0.733	9	9.73333	0.686685	8.37834	11.0883
1,-0.333	9	7.47778	0.686685	6.12279	8.83277
1,0.2	9	7.13333	0.686685	5.77834	8.48832
1,1	9	10.5	0.686685	9.14501	11.855

Alga por Días					
-1,-1	15	9.12	0.531904	8.07043	10.1696
-1,-0.733	13	9.52451	0.586502	8.3672	10.6818
-1,-0.333	15	7.81333	0.531904	6.76376	8.86291
-1,0.2	15	6.93333	0.531904	5.88376	7.98291
-1,1	15	14.0267	0.531904	12.9771	15.0762
-0.333,-1	15	9.62667	0.531904	8.57709	10.6762
-0.333,-0.733	15	7.25333	0.531904	6.20376	8.30291
-0.333,-0.333	15	7.01333	0.531904	5.96376	8.06291
-0.333,0.2	15	10.24	0.531904	9.19043	11.2896
-0.333,1	15	11.4267	0.531904	10.3771	12.4762
1,-1	15	10.4	0.531904	9.35043	11.4496
1,-0.733	15	6.91333	0.531904	5.86376	7.96291
1,-0.333	15	8.78667	0.531904	7.73709	9.83624
1,0.2	15	9.02	0.531904	7.97043	10.0696
1,1	15	11.06	0.531904	10.0104	12.1096

Anexo 3. Codificación de variables y cálculos para estadística con datos de %R.

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
MEDIA GLOBAL	222	406.824			
Cal					
-1	45	328.533	20.7459	287.595	369.471
-0.866	45	427.556	20.7459	386.617	468.494
-0.6	45	481.956	20.7459	441.017	522.894
-0.066	42	465.5	22.3079	421.48	509.52
1	45	330.578	20.7459	289.64	371.516
Alga					
-1	72	244.58	16.8061	211.416	277.744
-0.333	75	345.707	16.0697	313.996	377.417
1	75	630.187	16.0697	598.476	661.897
Días					
-1	45	452.533	20.7459	411.595	493.471
-0.733	42	680.522	22.3079	636.502	724.543
-0.333	45	188.267	20.7459	147.329	229.205
0.2	45	251.911	20.7459	210.973	292.849
1	45	460.889	20.7459	419.951	501.827
Cal por Alga					
-1,-1	15	154.667	35.933	83.7597	225.574
-1,-0.333	15	293.333	35.933	222.426	364.24
-1,1	15	537.6	35.933	466.693	608.507
-0.866,-1	15	228.533	35.933	157.626	299.44
-0.866,-0.333	15	357.6	35.933	286.693	428.507
-0.866,1	15	696.533	35.933	625.626	767.44
-0.6,-1	15	285.867	35.933	214.96	356.774
-0.6,-0.333	15	418.4	35.933	347.493	489.307
-0.6,1	15	741.6	35.933	670.693	812.507
-0.066,-1	12	364.233	43.5479	278.3	450.167
-0.066,-0.333	15	386.667	35.933	315.76	457.574
-0.066,1	15	645.6	35.933	574.693	716.507
1,-1	15	189.6	35.933	118.693	260.507
1,-0.333	15	272.533	35.933	201.626	343.44
1,1	15	529.6	35.933	458.693	600.507
Cal por Días					
-1,-1	9	159.111	46.3893	67.5706	250.652
-1,-0.733	9	274.667	46.3893	183.126	366.207
-1,-0.333	9	212.889	46.3893	121.348	304.429

-1,0,2	9	292.444	46.3893	200.904	383.985
-1,1	9	703.556	46.3893	612.015	795.096
-0.866,-1	9	486.667	46.3893	395.126	578.207
-0.866,-0.733	9	610.222	46.3893	518.682	701.763
-0.866,-0.333	9	209.333	46.3893	117.793	300.874
-0.866,0,2	9	269.778	46.3893	178.237	361.318
-0.866,1	9	561.778	46.3893	470.237	653.318
-0,6,-1	9	548.0	46.3893	456.46	639.54
-0,6,-0.733	9	941.333	46.3893	849.793	1032.87
-0,6,-0.333	9	184.0	46.3893	92.4595	275.54
-0,6,0,2	9	229.333	46.3893	137.793	320.874
-0,6,1	9	507.111	46.3893	415.571	598.652
-0,066,-1	9	613.778	46.3893	522.237	705.318
-0,066,-0.733	6	1026.61	61.9128	904.438	1148.78
-0,066,-0.333	9	188.0	46.3893	96.4595	279.54
-0,066,0,2	9	220.444	46.3893	128.904	311.985
-0,066,1	9	278.667	46.3893	187.126	370.207
1,-1	9	455.111	46.3893	363.571	546.652
1,-0.733	9	549.778	46.3893	458.237	641.318
1,-0.333	9	147.111	46.3893	55.5706	238.652
1,0,2	9	247.556	46.3893	156.015	339.096
1,1	9	253.333	46.3893	161.793	344.874
Alga por Días					
-1,-1	15	266.4	35.933	195.493	337.307
-1,-0.733	12	495.433	43.5479	409.5	581.367
-1,-0.333	15	118.4	35.933	47.493	189.307
-1,0,2	15	117.867	35.933	46.9597	188.774
-1,1	15	224.8	35.933	153.893	295.707
-0.333,-1	15	434.4	35.933	363.493	505.307
-0.333,-0.733	15	530.4	35.933	459.493	601.307
-0.333,-0.333	15	183.733	35.933	112.826	254.64
-0.333,0,2	15	217.067	35.933	146.16	287.974
-0.333,1	15	362.933	35.933	292.026	433.84
1,-1	15	656.8	35.933	585.893	727.707
1,-0.733	15	1015.73	35.933	944.826	1086.64
1,-0.333	15	262.667	35.933	191.76	333.574
1,0,2	15	420.8	35.933	349.893	491.707
1,1	15	794.933	35.933	724.026	865.84