Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

Diseño de proceso experimental para la obtención de acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas (*Macrocystis pyrifera*) y exoesqueleto de pescado (*Osteichthyes*) en Lima

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Químico

AUTOR

Allison Nicole CABALLERO QUEHUE

Javier Ivan HUAMAN TAMBINE

ASESOR

Dr. Raymundo ERAZO ERAZO

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Caballero, A. (2025). *Diseño de proceso experimental para la obtención de acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas (Macrocystis pyrifera) y exoesqueleto de pescado (Osteichthyes) en Lima*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Allison Nicole Caballero Quehue.
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71550848
URL de ORCID	
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Javier Iván Huaman Tambine
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73516256
URL de ORCID	
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Raymundo Erazo Erazo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08439329
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-1480-7641
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Ruben Alfredo Palomino Infante
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08326506
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	María Luz La Torre Aponte

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08726495
Datos de investigación	
Línea de investigación	Obligatorio si aplica. De lo contrario colocar No aplica. Línea de investigación bajo la cual se ha realizado la tesis. Las líneas están definidas en la RR Nº 00017-R-14. En caso de dudas consultar a su EP/UPG. Registrar del siguiente modo: A.3.1.2. Topología y Geometría
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Facultad de Química e Ingeniería Química - Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cercado de Lima Latitud: -12.05586 Longitud: -77.08466
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Abril 2025 – Agosto 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.01

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "IV Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2025-I", bajo la Presidencia del **Dr. Ruben Alfredo Palomino Infante; Mg. María Luz La Torre Aponte (Miembro)** y el **Dr. Raymundo Erazo Erazo (Asesor);** habiendo presentado para tal efecto la **TESIS,** titulada **Diseño de proceso experimental para la obtención de acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas (*Macrocystis pyrifera*) y exoesqueleto de pescado (*Osteichthyes*) en Lima,** después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborada por la bachiller en Ingeniería Química: **CABALLERO QUEHUE, ALLISON NICOLE;** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERA QUÍMICA,** acordaron calificarla con la **NOTA** de:

dieciséis 16
(LETRAS) (NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 16 de agosto del 2025

Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE
Presidente

Mg. MARÍA LUZ LA TORRE APONTE
Miembro

Dr. RAYMUNDO ERAZO ERAZO
Asesor

Dr. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO
Director de la E.P. de Ingeniería Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "IV Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2025-I", bajo la Presidencia del **Dr. Ruben Alfredo Palomino Infante; Mg. María Luz La Torre Aponte (Miembro)** y el **Dr. Raymundo Erazo Erazo (Asesor);** habiendo presentado para tal efecto la **TESIS,** titulada **Diseño de proceso experimental para la obtención de acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas (*Macrocystis pyrifera*) y exoesqueleto de pescado (*Osteichthyes*) en Lima,** después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborada por el bachiller en Ingeniería Química: **HUAMAN TAMBINE, JAVIER IVAN;** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERO QUÍMICO,** acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

dieciseis ..... 16 .....

(LETRAS) (NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 16 de agosto del 2025

Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE
Presidente

Mg. MARÍA LUZ LA TORRE APONTE
Miembro

Dr. RAYMUNDO ERAZO ERAZO
Asesor

Dr. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO
Director de la E.P. de Ingeniería Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Raymundo Erazo Erazo** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N°000001-2025-EPIQ-FQIQ/UNMSM de la tesis, cuyo título es**: Diseño de proceso experimental para la obtención de acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas (*Macrocystis pyrifera*) y exoesqueleto de pescado (*Osteichthyes*) en Lima**, presentado por los bachilleres: **Huaman Tambine, Javier y Caballero Quehue, Allison Nicole,** para optar el título Profesional de Ingeniería Química, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 12% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Lima, 26 de agosto del 2025

FIRMA DIGITAL
Firmado digitalmente por: ERAZO ERAZO RAYMUNDO FIR 08439329 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 09/09/2025 01:53:18-0500

Firma del Asesor _____

Nombres y Apellidos del asesor Raymundo Erazo Erazo

DNI: 08439329

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN ---------- 10

1.1. INTRODUCCIÓN ---------- 10

1.2. Planteamiento del problema ---------- 12

1.2.1. Determinación del problema ---------- 12

1.2.2. Formulación del problema ---------- 14

1.2.2.1. Problema General ---------- 14

1.2.2.2. Problemas específicos ---------- 14

1.3. Objetivos ---------- 15

1.3.1. Objetivo general ---------- 15

1.3.2. Objetivos específicos ---------- 15

1.4. Importancia y alcance de la investigación ---------- 15

1.5. Limitaciones de la investigación ---------- 16

1.5.1. Disponibilidad de los recursos marinos ---------- 16

1.5.2. Variabilidad de composición química de los recursos marinos ---------- 16

II. REVISIÓN DE LITERATURA ---------- 17

2.1. Marco Teórico ---------- 17

2.1.1. Algas marinas (Macrocystis porífera). ---------- 17

2.1.2. Exoesqueleto de pescado (Osteichthyes) ---------- 18

2.2. Antecedentes del estudio ---------- 21

2.3. Bases teóricas ---------- 46

2.3.1. Ácido Acético. ---------- 46

2.3.2. Ácido clorhídrico. ---------- 47

2.3.3. Acetato de calcio.----48
2.4. Definición de términos ----50
2.4.1. Metodología de superficie de respuesta. ----50
2.4.2. Diseño de Box-Behnken----50
2.4.3. Proceso obtención de acetato de calcio. ----51
2.4.4. Espectroscopia por absorción atómica----52
2.4.5. Saponificación ----53
2.4.6. Reacción por ultrasonido. ----53
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES ----54
3.1. Hipótesis----54
3.1.1. Hipótesis General----54
3.1.2. Hipótesis Específica----54
3.2. Variables----55
3.2.1. Variable dependiente----55
3.2.2. Variable independiente ----55
3.2.3. Variable controlada----56
3.3. Operacionalización de las variables ----57
IV. MATERIALES Y MÉTODOS----58
4.1. Área de estudio ----58
4.2. Diseño de investigación ----58
4.3. Población y muestra ----59
4.3.1. Población ----59
4.3.2. Muestra----60

4.4. Procedimientos, Técnicas e Instrumentos de recolección de información ---------61

4.4.1. Reactivos, materiales y equipos ----------61

4.4.1.1. Reactivos ----------61

4.4.1.2. Materiales y equipos: ----------61

4.4.2. Técnicas e Instrumentos de recolección de información:----------62

4.4.3. Obtención de acetato de calcio a partir de organismos marinos ----------63

4.4.3.1. Procedimiento experimental: ----------63

4.4.3.2. Recolección de Materia Prima ----------63

4.4.3.3. Secado ----------63

4.4.3.4. Saponificación. ----------63

4.4.3.5. Neutralización.----------64

4.4.3.6. Reacción con Ácido acético ----------64

4.4.3.7. Filtración por Gravedad ----------64

4.4.3.8. Cristalización.----------65

4.4.3.9. Filtración por gravedad y Secado. ----------65

4.4.4. Variables a medir por corrida experimental: ----------65

4.4.4.1. Rendimiento de obtención de acetato de calcio (%) ----------66

4.4.4.2. Pureza del producto ----------66

4.4.4.3. Análisis fisicoquímico----------66

4.4.5. Diagrama de bloques del proceso de obtención de acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas y exoesqueleto de pescado. ----------67

4.4.6. Caracterización del acetato de calcio obtenido. ----------68

4.4.7. Preparación de la muestra ----------68

4.4.8. Configuración del equipo----68
4.4.9. Análisis de la muestra----69
4.4.10. Cálculo de la pureza ----69
4.4.11. Análisis estadístico----69
V. RESULTADOS----72
5.1. Presentación y análisis de los resultados----72
5.1.1. Condiciones del proceso de extracción----72
5.1.2. Peso final y rendimiento de obtención de acetato de calcio (%)----75
5.1.3. Análisis del rendimiento experimental ----77
5.1.4. Análisis por espectroscopía de absorción atómica (AAS)----78
5.2. Análisis estadístico----81
5.2.1. Análisis de varianza (ANOVA) con un factor:----81
5.2.1.1. Análisis ANOVA – Factor Ácido Acético:----82
5.2.1.2. Análisis ANOVA – Factor Proporción Alga: Exoesqueleto: ---85
5.2.1.3. Análisis ANOVA – Factor Temperatura:----88
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS----91
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ----93
7.1. Conclusiones----93
7.2. Recomendaciones ----94
VIII. BIBLIOGRAFÍA----95
IX. ANEXOS---- 103
9.1. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL ---- 103

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue diseñar un proceso experimental para la obtención de acetato de calcio mediante la mezcla de organismos marinos, específicamente algas del género Macrocystis pyrifera y exoesqueleto de pescado (Osteichthyes). La proporción entre ambos materiales fue considerada un factor clave dentro del diseño experimental, pues su comportamiento diferencial frente al ácido acético y a la temperatura podía afectar significativamente en la eficiencia del proceso.

Se empleó un diseño de superficie de respuesta (RSM) con 16 corridas experimentales, considerando tres variables independientes: la concentración de ácido acético (% v/v), la proporción alga: exoesqueleto y la temperatura de operación (°C). Se evaluaron dos variables de respuesta: el porcentaje de calcio extraído, y el rendimiento porcentual del sólido final respecto a la masa inicial.

Las muestras fueron sometidas a tratamiento ácido, posteriormente filtradas y secadas. El análisis gravimétrico permitió determinar el rendimiento en cada corrida, mientras que la caracterización del contenido de calcio se llevó a cabo mediante espectroscopía de absorción atómica (AAS). Los valores de rendimiento obtenidos oscilaron entre 0.5 % y 20.8 %, mientras que el contenido de calcio varió entre 0.18 % y 2.42 %, evidenciando una alta dependencia de los factores operativos.

El análisis estadístico mediante ANOVA reveló que la concentración de ácido acético tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p = 0.010$) sobre el porcentaje de calcio extraído. El rendimiento también mostró una respuesta favorable en concentraciones intermedias, particularmente alrededor del 10 % v/v. Por otro lado, la proporción biomásica y la temperatura evidenciaron una influencia marginalmente significativa ($p \approx 0.05$), sugiriendo que ambas variables también influyen en la eficiencia global del proceso, especialmente en el comportamiento de solubilización del calcio y la formación del sólido final. Las condiciones óptimas observadas se concentraron en proporciones cercanas al 1:1 y temperaturas en torno a los 70 °C.

ABSTRACT

The purpose of this research was to design an experimental process for obtaining calcium acetate through the combination of marine organisms, specifically Macrocystis pyrifera algae and fish exoskeletons (Osteichthyes). The proportion between these two materials was considered a key factor within the experimental design, as their different behaviors in response to acetic acid and temperature could significantly influence the efficiency of the process. As part of the conceptual framework, the composition of these marine residues and their reactivity under the selected conditions were analyzed to understand their interaction with each variable involved.

A response surface methodology (RSM) was employed, consisting of 16 experimental runs that considered three independent variables: acetic acid concentration (% v/v), algae-to-exoskeleton ratio, and operating temperature (°C). Two response variables were evaluated: the percentage of calcium extracted, as an indicator of product quality, and the gravimetric yield of the final solid relative to the initial dry mass, as a measure of quantitative efficiency.

Samples were treated in an acidic medium, filtered, and subsequently dried. Gravimetric analysis was used to determine the yield in each run, while the calcium content was characterized through atomic absorption spectroscopy (AAS). Yield values ranged from 0.5% to 20.8%, and calcium content varied from 0.18% to 2.42%, reflecting a strong dependence on the operational factors.

Statistical analysis using ANOVA revealed that acetic acid concentration had a statistically significant effect ($p = 0.010$) on calcium extraction. Yield also showed a favorable response at intermediate concentrations, particularly around 10% v/v. In contrast, the biomass ratio and temperature showed a marginally significant influence ($p \approx 0.05$), suggesting their potential role

in calcium solubilization and solid formation. Optimal conditions were found near a 1:1 biomass ratio and temperatures around 70 °C.

This study demonstrates the feasibility of converting marine waste into value-added products through a systematic and sustainable experimental approach. It is concluded that, with precise adjustments to the operating conditions, the process has potential for scale-up and industrial application, offering an environmentally and economically viable alternative for calcium acetate production from non-conventional sources.

I. INTRODUCCIÓN

1.1.INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de preocupación ambiental y búsqueda de soluciones sostenibles, el reaprovechamiento de residuos orgánicos se ha convertido en un eje fundamental de investigación científica e innovación tecnológica. Entre los subproductos con alto potencial de valorización se encuentran los desechos marinos, los cuales, pese a su abundancia y bajo costo, han sido subestimados o descartados sin procesamiento alguno. Sin embargo, estudios recientes han evidenciado que dichos residuos, en particular los exoesqueletos de peces (*Osteichthyes*) y las algas marinas (*Macrocystis pyrifera*), representan fuentes viables y eficientes de compuestos minerales, principalmente calcio, con múltiples aplicaciones en la industria (Xu et al., 2020).

El calcio derivado de fuentes marinas ha demostrado poseer características únicas de biodisponibilidad y funcionalidad biológica, siendo comparable a otras fuentes tradicionales. Su empleo se ha diversificado desde suplementos nutricionales hasta productos para la industria alimentaria, farmacéutica y agrícola. En este último sector, por ejemplo, el acetato de calcio se ha utilizado en formulaciones líquidas para mejorar la absorción del mineral por las plantas (Muñoz, 2014), mientras que en la panificación industrial actúa como conservante y estabilizante, al inhibir el crecimiento de microorganismos indeseables sin interferir con la fermentación natural (Baldui, 2013)

Dentro de esta línea de aprovechamiento de biomasa marina, el presente estudio se propone desarrollar un proceso experimental para la obtención de acetato de calcio a partir de una mezcla de algas marinas (*Macrocystis pyrifera)* y exoesqueleto de pescado (*Osteichthyes*), específicamente en la ciudad de Lima, donde el volumen de residuos de origen marino es

considerable y aún subutilizado. La elección de estas materias primas responde a su disponibilidad local, su contenido en calcio, y a la necesidad de promover alternativas sostenibles de uso industrial de desechos marinos.

El diseño del proceso incluye etapas fundamentales como el tratamiento inicial de las materias primas, su conversión mediante reacción con ácido acético, y la posterior obtención y caracterización del compuesto resultante. Además, la implementación de un enfoque metodológico basado en la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) permitirá optimizar las condiciones del proceso, evaluando la influencia de variables clave como la temperatura, la concentración de ácido acético y la proporción de mezcla de materias primas.

De esta manera, la investigación no solo busca generar un producto de valor añadido como el acetato de calcio, sino también establecer las bases para la escalabilidad industrial del proceso. Asimismo, se contribuye a la economía circular y al desarrollo sostenible, promoviendo el uso racional de los recursos naturales y minimizando los impactos ambientales derivados del desecho de biomasa marina no aprovechada.

1.2.Planteamiento del problema

1.2.1. Determinación del problema

Los desechos de procesamiento marino a menudo se consideran inútiles; sin embargo, constituyen una fuente abundante y económica de calcio. Un estudio reveló que 55 marcas de suplementos de calcio pueden clasificarse en siete categorías según su ingrediente principal, y se encontró que tres o más categorías se derivan de organismos marinos, principalmente conchas de ostras/almejas, algas, cartílago de tiburón y productos de calcio quelado. Además, el calcio de los organismos marinos presenta una buena biodisponibilidad y una función biológica óptima. La reutilización de subproductos de organismos marinos puede aumentar el valor añadido del calcio y reducir el riesgo de contaminación ambiental. (Xu, Y. et al., 2020)

El análisis experimental nos ayudara a diseñar un proceso para obtener acetato de calcio utilizando organismos marinos en la ciudad de Lima, con propósitos industriales. El objetivo es darle un valor agregado a estos organismos marinos no aprovechados para la extracción de minerales como el calcio y obtener carbonato de calcio. El calcio de fuentes marinas puede servir como materia prima para la producción de compuestos de alto valor añadido que pueden utilizarse en la investigación biomédica y en las industrias farmacéutica, sanitaria y alimentaria. (Xu, Y. et al., 2020).

Los organismos marinos que se encuentran en toda la cosa del Perú ha sido objeto de estudio en la obtención de acetato de calcio a partir de las algas marinas (*Macrocystis pyrifera*) y exoesqueleto de pescado (*Osteichthyes*). El Acetato de Calcio es un aditivo utilizado en la industria de alimentos, principalmente por sus propiedades como regulador de acidez, estabilizador y sustancia conservadora. Su función es evitar el crecimiento de hongos y específicamente el

desarrollo del Bacillus mesentericus, causante de la alteración glutinosa que da origen al pan hilante o correoso, sin afectar a las levaduras que llevan a cabo la fermentación panaria. (Baldui, 2013). En la Agricultura se ha desarrollado un fertilizante líquido que incluye acetato de calcio, mejorando la absorción de calcio por parte de las plantas y contribuyendo a su desarrollo saludable (Muñoz, 2014).

1.2.2. Formulación del problema

1.2.2.1.Problema General

¿Cómo diseñar un proceso experimental que permita obtener acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas (Macrocystis pyrifera) y exoesqueleto de pescado (Osteichthyes) en la ciudad de Lima, con el fin de valorizar estos desechos marinos como fuente alternativa de calcio para aplicaciones industriales?

1.2.2.2.Problemas específicos

¿Cuáles son las condiciones óptimas de reacción (temperatura, concentración y proporción) para la obtención de acetato de calcio a partir de algas marinas y exoesqueleto de pescado?

¿Qué rendimiento de acetato de calcio se obtiene a partir del proceso experimental propuesto, y qué relación existe entre la cantidad de materia prima utilizada y el producto final?

¿Qué propiedades fisicoquímicas y grado de pureza presenta el acetato de calcio obtenido, y en qué medida cumple con los estándares necesarios para su aplicación en la industria?

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un proceso experimental para la obtención de acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas (Macrocystis pyrifera) y exoesqueleto de pescado (Osteichthyes) en Lima, con el fin de aprovechar estos desechos marinos como fuente de calcio, y dar un valor industrial a los subproductos marinos.

1.3.2. Objetivos específicos

Desarrollar un proceso experimental para la obtención de acetato de calcio a partir de algas marinas (Macrocystis pyrifera) y exoesqueleto de pescado (Osteichthyes), identificando las condiciones óptimas de reacción, tales como temperatura, concentración y proporción de materia prima, para obtener un producto de calidad.

Analizar la eficiencia del proceso de extracción**,** mediante la medición de los rendimientos de acetato de calcio obtenido, evaluando la relación entre la cantidad de material inicial y el producto final para determinar la viabilidad del proceso.

Evaluar las propiedades del acetato de calcio obtenido mediante pruebas de pureza y características fisicoquímicas, asegurando que cumpla con los requisitos de calidad necesarios para su uso en las industrias.

1.4.Importancia y alcance de la investigación

El presente trabajo de investigación busca proponer una alternativa viable para el aprovechamiento de residuos marinos generados en la costa peruana, específicamente en la ciudad de Lima. En un contexto donde los subproductos derivados del procesamiento de organismos

marinos suelen ser descartados, esta investigación plantea una forma innovadora de valorizarlos mediante su transformación en compuestos útiles para la industria. El diseño de un proceso para la obtención de acetato de calcio no solo representa una solución técnica, sino también un aporte al desarrollo sostenible.

Esta investigación se enfoca en el desarrollo y evaluación de un proceso a escala experimental. Los resultados permitirán establecer las bases para futuras investigaciones que consideren la escalabilidad del método y su implementación en contextos industriales más amplios.

1.5.Limitaciones de la investigación

1.5.1. Disponibilidad de los recursos marinos

Esta investigación se desarrolla en un entorno controlado de laboratorio, por lo tanto, no contempla la implementación a escala industrial del proceso diseñado. Además, la disponibilidad estacional de algas y exoesqueletos de pescado puede limitar la recolección de muestras en algunos periodos del año, afectando la continuidad experimental.

1.5.2. Variabilidad de composición química de los recursos marinos

La variabilidad en la composición química de las materias primas, especialmente en lo que respecta al contenido de calcio, lo cual podría influir en la uniformidad del producto final. Finalmente, el estudio no aborda aspectos económicos o logísticos relacionados con una posible aplicación comercial del proceso, lo que queda fuera del alcance del presente trabajo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.Marco Teórico

2.1.1. Algas marinas (Macrocystis porífera).

Las algas conforman un grupo diverso de organismos vegetales con una extensa historia en el registro fósil. En general, se divide en dos grandes categorías: las macroalgas, también conocidas como algas marinas, que se desarrollan principalmente en las zonas litorales e incluyen variedades verdes, pardas y rojas; y las microalgas, que habitan tanto en fondos marinos (hábitats bentónicos) como en áreas cercanas a la costa, y también están ampliamente distribuidas en el océano como parte del fitoplancton (Garson,2019).

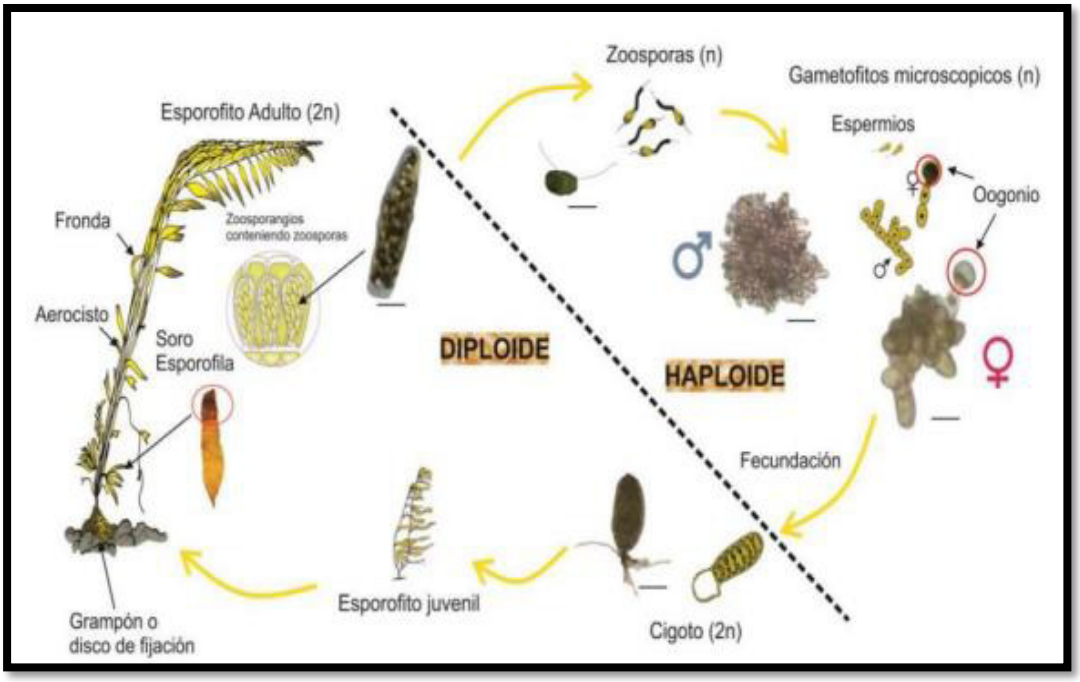
Macrocystis pyrifera, conocida como alga gigante, es una de las especies marinas más relevantes tanto a nivel ecológico como económico. Esta alga forma extensos bosques submarinos que sirven de refugio y soporte para una gran variedad de organismos marinos, además de jugar un papel clave en la pesca comercial y tener múltiples usos en la industria. (Diesel et al, 2023). las algas Macrocystis se encuentra en ambos hemisferios, sobre todo en zonas costeras de aguas frías y templadas. Aunque también aparece en algunas regiones cercanas al trópico, como en Perú, Brasil, entre otras, el cual puede desarrollarse en áreas donde la temperatura del agua se mantiene en los rangos de 22 a 24 °C. (Becheler et al., 2022). En el Perú, se utilizan diferentes tipos de macroalgas pardas, rojas y verdes en diversas industrias, como la producción de alginato y carragenina, así como en el sector alimentario y agrícola. (TEJADA, 2019).

Macrocystis pyrifera presenta un ciclo de vida heteromórfico (Figura 1), caracterizado por la alternancia de generaciones entre dos fases: una haploide y microscópica, que corresponde a los

gametofitos (n), y otra diploide y visible a simple vista, correspondiente a los esporofitos (2n). En este ciclo, la fase de los gametofitos es la más desarrollada y compleja. (Ávila et al., 2010).

Figura 1.

Ciclo de vida de M. pyrifera



Nota. Ciclo de vida de M. pyrifera, estructuras reproductivas observadas en microscopio óptico a 40x (Zoosporangio, gametofitos y cigoto o esporofito juvenil) y 100x (Zoosporas). Tomado de (Rodríguez, 2018).

2.1.2. Exoesqueleto de pescado (Osteichthyes)

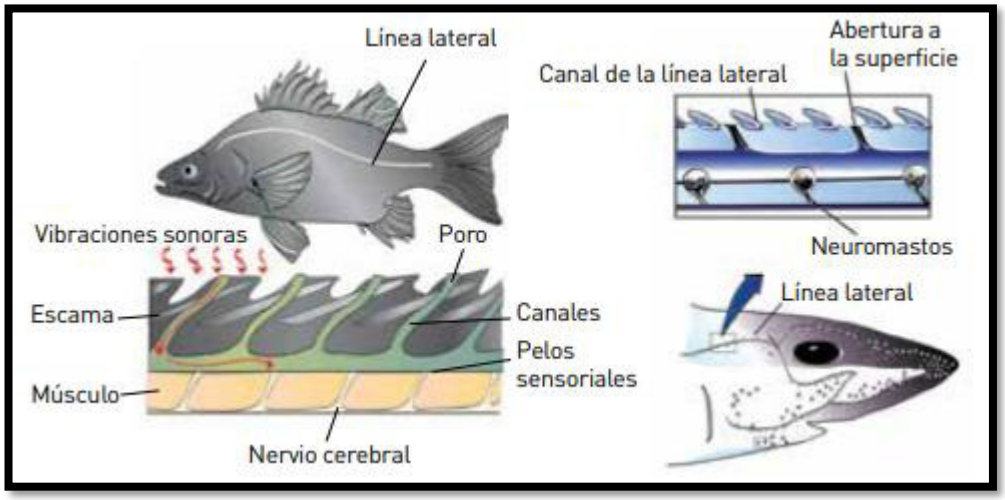
Los osteichthyes se distinguen por tener un esqueleto interno de hueso, a diferencia de los condrictios, como tiburones, rayas y quimeras, que poseen un esqueleto cartilaginoso. Este grupo, que representa el grado más extenso entre los vertebrados, incluye tanto a los peces como a los tetrápodos (anfibios, reptiles, aves y mamíferos). Dentro de los osteichthyes, los principales linajes son los actinópteros, que son peces con aletas radiadas, y los sarcopterigios, que tienen aletas lobuladas. Entre estos últimos se encuentran los actinistios (celacantiformes) y los dipnoos (peces

pulmonados). La gran variedad de formas en estos grupos ha hecho que las comparaciones morfológicas resulten complejas. (Arratia, 2019).

En el exoesqueleto de pescado se encuentra la línea lateral (Figura 2), un sistema sensorial compuesto por órganos que detectan movimientos en el agua. Gracias a ella, incluso pueden percibir el eco de sus propios desplazamientos. En los peces óseos, esta estructura suele aparecer como puntos pigmentados, pequeñas hendiduras o un canal continuo que recorre ambos lados del cuerpo, protegido por escalas especializadas. Sin embargo, especies como la lisa y la anchoveta carecen de ella. En los peces cartilaginosos, la línea lateral se extiende a lo largo del cuerpo y la cabeza, y está formada por poros y receptores sensoriales alojados en pequeños canales. (PERU LNG, 2024)

Figura 2.

Peces óseos y Peces cartilaginosos



Nota. Ilustración de la línea lateral en peces óseos y peces cartilaginosos,2024. https://perulng.com/wp-content/uploads/2024/02/Guia_identificacion_peces.pdf

En el Perú, se ha documentado la utilización de macroalgas (Tabla 1), como las pardas, rojas y verdes en diversas industrias, incluyendo la producción de alginato y carragenina, así como en los sectores alimentario y agrícola. (TEJADA, 2019).

Tabla 1

Especies de macroalgas utilizadas en Perú.

División	Taxa comerciales	Uso
Chlorophyta	*Ulva* spp	Agricultura y alimentación
Phaeophyceae	*Lessonia nigrescens*	Alginatos
	Lessonia trabeculata	Alginatos
	Macrocystis pyrifera	Alginatos y agricultura
Rhodophyta	*Agardhiella tenera*	Carragenina
	Ahnfeltiopsis furcellata	Carragenina
	Callophyllis variegata	Alimentación
	Chondracanthus chamissoi	Carragenina y alimentación
	Chondrus canaliculatus	Carragenina
	Gracilariopsis howei	Agar
	Gracilariopsis lemaneiformis	Agar
	Gymnogongrus furcellatus	Carragenina
	Porphyra columbina	Alimentación
	Prionitis decipiens	Carragenina
	Sarcothalia crispata	Carragenina

Nota. Especies de macroalgas utilizadas en Perú, Tomado de (WHITE & WILSON, 2015)

2.2.Antecedentes del estudio

Jativa (2024) explica el diseño de un proceso industrial para aprovechar los residuos agroindustriales generados por las empresas ovo-productoras con el fin de obtener calcio. Tuvo como objetivo producir calcio puro para ser utilizado como aditivo en las diferentes industrias, conocer la viabilidad del proceso y estimar el rendimiento partiendo de la cáscara de huevo. La metodología aplicada en el proyecto partió de la revisión bibliográfica con la finalidad de conocer los métodos utilizados para la obtención de calcio. Analizaron distintos procedimientos para la obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo, entre los cuales mencionan dos métodos significativos. El primero donde se trata la materia prima en solución con ácidos para la desnaturalización de residuos orgánicos y el método dos donde se calcina la cáscara de huevo a altas temperaturas para eliminar directamente los residuos orgánicos. Se concluye que uno de los métodos arrojó un rendimiento favorable para la implementación del proceso industrial en el diseño para la obtención de calcio a partir de cáscara de huevo, con un rendimiento del 66.56% obtenido del método obtención de calcio en solución con ácido acético, desde allí se procedió a diseñar los equipos utilizados generando así un método más detallado y específico para la obtención del óxido de calcio final. Se caracterizó la materia prima siguiendo la norma NTE INEN 1973-2011 HUEVOS COMERCIALES Y OVOPRODUCTOS. REQUISITOS. Con el cual se determinó el espesor de la cáscara de huevo dándonos un promedio de 0,403 mm, el grado de calidad que viene dado por las propiedades visuales de la cáscara de huevo siendo las más notables el color marrón oscuro, manchas mínimas. También se realizaron pruebas de humedad con un 0,638%, ceniza con 95,734% y fibra con 66,04%. Se identificó las variables, parámetros y operaciones necesarias para realizar los cálculos de diseño. Las variables fueron la cantidad de carbonato de calcio 89,35% y oxido de calcio con un 66.56% que se obtienen a través del proceso

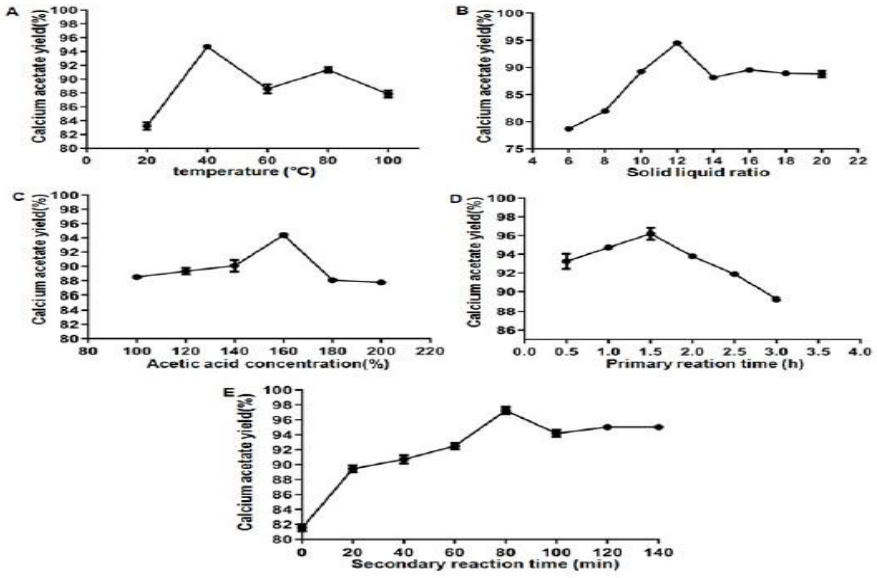
previamente planteado, entre los parámetros planteados: la temperatura que va desde los 600°C para la obtención de ceniza, la disolución de la ceniza en ácido acético a 50°C y a 800°C para la obtención de óxido de calcio, el tiempo empleado para la producción total de 34,25 h. y por ultimo las operaciones que se encuentran dentro del proceso industrial, la calcinación en la que el carbonato de calcio se somete a altas temperaturas, la evaporación de la solución que se la realiza en el tanque de evaporado previamente diseñado. Realizó los cálculos ingenieriles para el proceso de obtención de calcio principalmente en el diseño del tanque evaporador simple con una producción diaria de 5 libras, el material utilizado el acero inoxidable 316 que es más resistente a altas temperaturas y a la corrosión con ácidos, el tanque tiene una altura de 70 cm y un diámetro de 68,76 cm. Para la mufla industrial se tomó en cuenta la temperatura que sea mayor a 800°C y una capacidad de 9,49 libras, por otro lado, el secador de bandejas debe tener una temperatura mayor a 60°C y el molino una eficiencia de 80 kg/h. Analizó las muestras mediante espectrofotometría de infrarrojo FTIR donde comprobó la existencia de calcio. La factibilidad económica lo analizó con el VAN y TIR 49 presentando un resultado positivo de 5.922,05 en el análisis VAN y el 37,24% en el análisis TIR.

Yutong et al. (2022) publicaron un artículo basado en la optimización de la obtención de acetato de calcio a partir de cáscara de huevo mediante superficie de respuesta, con la finalidad de determinar los parámetros óptimos del proceso para obtención de acetato de calcio. Emplearon el método Box-Behnken para el diseño experimental y analizaron la combinación óptima de temperatura de reacción, relación sólido-líquido, concentración de ácido acético, tiempo de reacción primaria y tiempo de reacción secundaria para la preparación de acetato de calcio. Emplearon un análisis de regresión múltiple para ajustar los datos experimentales a la ecuación polinómica de segundo orden, y se emplearon métodos estadísticos apropiados para el análisis.

Los resultados mostraron que las condiciones óptimas de preparación del acetato de calcio fueron las siguientes: temperatura de reacción de 39 °C, relación sólido-líquido de 1:12, concentración de ácido acético del 159 %, tiempo de reacción primaria de 1,5 h y tiempo de reacción secundaria de 80 min. En las condiciones óptimas de preparación, el rendimiento experimental de acetato de calcio fue del 96,5 %, lo cual concordó con el valor predicho. Concluyen que dicha investigación logró el objetivo de convertir los residuos en un tesoro, aprovechar al máximo los recursos y promover el desarrollo sostenible de la economía. La cáscara de huevo, como nuevo recurso, requiere mayor investigación para su desarrollo y utilización.

Figura 3.

Efectos de diferentes.



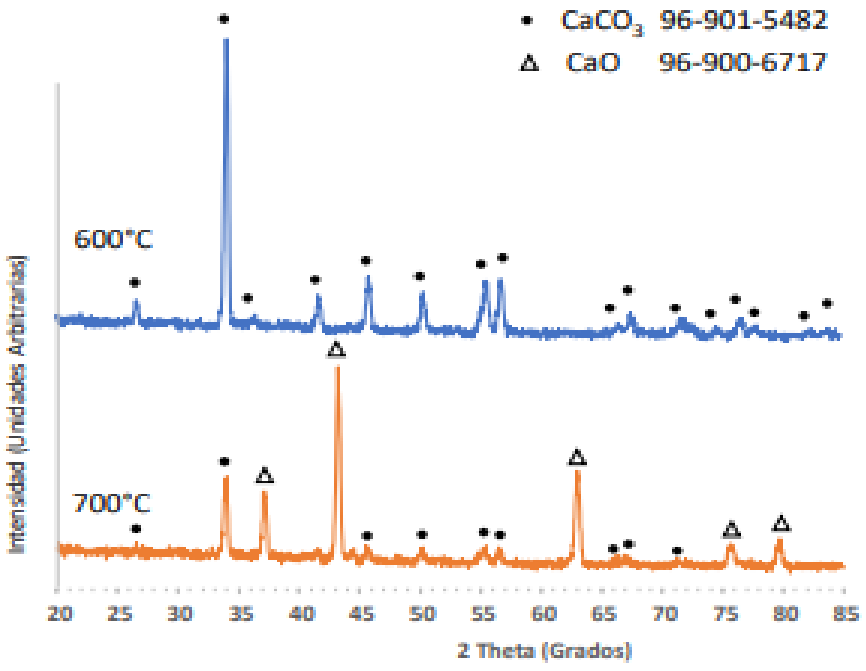
Nota. Efectos de diferentes. (A) temperatura, (B) relación sólido-líquido, (C) concentración de ácido acético, (D) tiempo de reacción primaria, (E) tiempo de reacción secundaria en la preparación de acetato de calcio a partir de cáscara de huevo. Tomado de (De Yutong et al,2022).

Vasquez et al (2021) investigaron sobre la extracción de calcio en solución a partir de cáscara de huevo con la finalidad de estudiar la temperatura más adecuada de calcinación, el efecto de la disolución de la cáscara de huevo calcinada, evaluando el ácido clorhídrico (HCl) y el ácido acético (C2H4O2), el efecto de la concentración del ácido, la temperatura y la agitación. La metodología utilizaron en la investigación fue la siguiente: Las cáscaras de huevo se trituraron mediante un mortero de cerámica. Posteriormente, se calcinaron a una temperatura de 600°C en atmósfera de aire durante 4 h, en una mufla con una velocidad de calentamiento de 10°C/min y enfriamiento natural. Posteriormente, estudiaron el efecto del ácido clorhídrico (HCl) de la marca Aldrich y del ácido acético (CH_3COOH) marca Meyer, evaluados a diferentes concentraciones (0.519, 0.692 y 0.866 mol/l en el caso del ácido acético y 6.04, 12.22 y 16.09 mol/l para el ácido clorhídrico) a temperatura ambiente. Además, se estudió el efecto de la temperatura 17, 30, 40, 50 y 60 °C, sin agitación empleando ácido acético a 0.866 mol/l. Finalmente, realizaron el efecto de la agitación empleando ácido acético a 0.866 mol/l a una temperatura de 50°C. Del proceso anterior, obtuvieron dos productos: la ceniza insoluble y la solución translúcida, el primer producto, se secó a 100°C y se midió su masa, a fin de calcular de manera teórica, el CaCO3 disuelto. La solución traslúcida conteniendo las especies de calcio se calentó a 100°C hasta su sequedad; obteniéndose un polvo blanco, el cual, fue calcinado a 800 °C durante 2 horas obteniéndose un polvo blanco grisáceo, al cual se determina su masa y se caracteriza por difracción de rayos X. La identificación de las fases cristalinas fueron realizadas mediante la técnica de difracción de rayos X a temperatura ambiente, los materiales se analizaron con un difractómetro marca INEL modelo Equinox 2000, el rango de 2 theta se ejecutó de 5–100°, la fuente de irradiación fue de Co Kα1 (λ=1.789010 Å), con un detector curvo, 30 mA de corriente y un voltaje de 25 kV. Los patrones de difracción de rayos X se indexaron con el programa Match. (Figura 4).

Concluyen que la cáscara de huevo calcinada a 600°C se compone principalmente de CaCO3. Se encontró que el ácido acético a una concentración de 0.8 molar, disuelve con más efectividad la cáscara de huevo calcinada en comparación con el ácido clorhídrico 4 molar. Así mismo, se establecen que a una temperatura de 50 °C con ácido acético y con agitación obtienen un porcentaje de disolución del 93.58 % en masa. Finalmente, la solución conteniendo las especies de Ca, fue secada, posteriormente calcinada a 800°C, y se realizó un análisis cristalográfico encontrándose únicamente la fase del óxido de calcio, confirmando así la presencia del ion calcio en la solución, conteniendo 0.4g de calcio por cada gramo de ceniza calcinada.

Figura 4.

Reactividad térmica en atmósfera de aire.



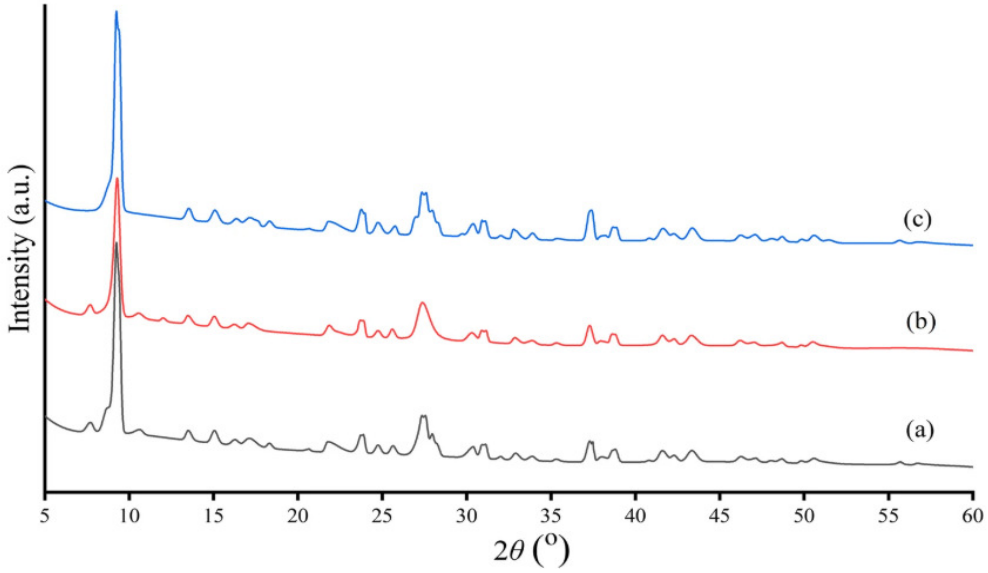
Nota. *Reactividad térmica en atmósfera de aire de la cáscara de huevo calcinada a a) 600°C y b) 700 °C. Tomado de (*De Vasquez et al,2021)

Yanhong et al (2023) publicaron un artículo acerca de la producción de carbonato de calcio a partir de conchas de almeja y quahog como un desarrollo de procesos y análisis tecno económicos con la finalidad de demostrar que la producción de $CaCO_3$ de alta calidad procedente de las conchas marinas de desecho es técnica y económicamente viable. Investigaron productos que utilizaban agua y procesamiento a baja temperatura. La metodología que utilizaron fue la siguiente: Las cáscaras molidas gruesas se hirvieron en agua durante 2 h y luego se lavaron y secaron, seguidas de una molienda fina y calentamiento. Producir $CaCO_3$ de la más alta calidad, las cáscaras molidas lavadas procesaron a 300 °C durante 2 h. El modelado de procesos y el análisis económico realizaron en estos tres productos utilizando SuperPro Designer. Para una planta de procesamiento con una capacidad anual de 10.886 TM de cáscaras de desecho, el $CaCO_3$ de la más alta calidad tuvo el desempeño económico pronosticado más alto con un valor presente neto de $ 4.3 millones, una tasa interna de retorno de 12.7 % y un período de recuperación de 5.6 años. El análisis de sensibilidad mostró que la capacidad de la planta y el precio de venta fueron las variables predominantes que afectaron la viabilidad económica de la producción.

Somkiat et al (2023) investigaron acerca de la síntesis bio-verde de acetato de calcio a partir de residuos de concha de ostras con la finalidad de reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Tuvo como objetivo reemplazar el uso de piedra caliza / carbonato por desechos biológicos obtenido de los alimentos como las conchas de ostras. Las condiciones (temperatura ambiente ocurrida en una reacción exotérmica, tiempo de secado, rendimiento y solubilidad) de la reacción entre el CaCO bio-verde y tres acéticos diferentes (CH3COOH) (8, 10 y 12 M). El rendimiento máximo del producto (93%) con un tiempo de secado más corto (18 h) obtuviron de la reacción entre el CaCO bio-verde con ácido acético 12 M revelando un menor costo. Las composiciones químicas sin ninguna impureza metálica tóxica revelada por la técnica de

fluorescencia de rayos X serían útiles para sugerir su uso en la aplicación específica. Los datos de difracción de rayos X, infrarrojo por transformada de Fourier y análisis termogravimétrico preparado por el CaCO bio-verde obtenidos a partir de los desechos de concha de ostra y en los trabajos anteriores utilizaron otras fuentes de calcio fueron consistentes. Las morfologías con diferentes tamaños del Ca (CH3COO)2· H2O dependen del CH3. Las concentraciones de COOH reportadas en este trabajo fueron diferentes a las reportadas en trabajos previos debido a las diferentes fuentes de calcio. La estructura cristalina de los compuestos de acetato de calcio sintetizados se caracterizó mediante el difractómetro de rayos X. (Figura 5) De acuerdo con la observación, concluyen que la técnica de bajo costo y bio-verde sin los efectos ambientales se aplicó con éxito para producir Ca (CH3COO)2· H2O y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que pueden ser utilizados en la industria específica.

Figura 5. *Patrones de difracción*



Nota. *Patrones de difracción de rayos X (XRD) de Ca(CH₃COO)2· H₂O compuestos preparados a partir de la reacción entre el CaCO bio-verde y tres concentraciones acéticas (**a** CA8, **b** CA10 y **c** CA12). Tomada de (*De Somkiat et al,2023).

Saelim et al (2021) publicaron un ratíclo sobre la síntesis simple y rápida de acetato de calcio a partir de conchas de vieira para reducir los problemas ambientales, con la finalidad de aprovechar los residuos de conchas de vieira altamente disponibles en Tailandia y con alto contenido de carbonato de calcio, para sintetizar acetato de calcio (AC) de forma económica y ambientalmente sostenible, alineado con el modelo económico Bio-Circular-Verde (BCG). El objetivo fue evaluar el efecto de la concentración del ácido acético y el tiempo de reacción sobre el rendimiento, características fisicoquímicas, pureza, tamaño de partícula y costo del producto obtenido. Utilizaron una metodología experimental donde conchas de vieira pulverizadas se reaccionaron con ácido acético en concentraciones del 40 al 70% p/p a temperatura ambiente, evaluando el producto mediante técnicas como XRF, XRD, FTIR, TG-DTA y SEM. Concluyen que la concentración óptima fue 60% p/p, alcanzando un rendimiento máximo del 87% con alta pureza (hasta 98%) y bajo costo de producción (~0,5 USD/kg), lo que valida la viabilidad técnica, económica y ambiental del proceso como alternativa al uso de fuentes no renovables para obtener compuestos de calcio.

Tabla 2

Condiciones experimentales y el rendimiento

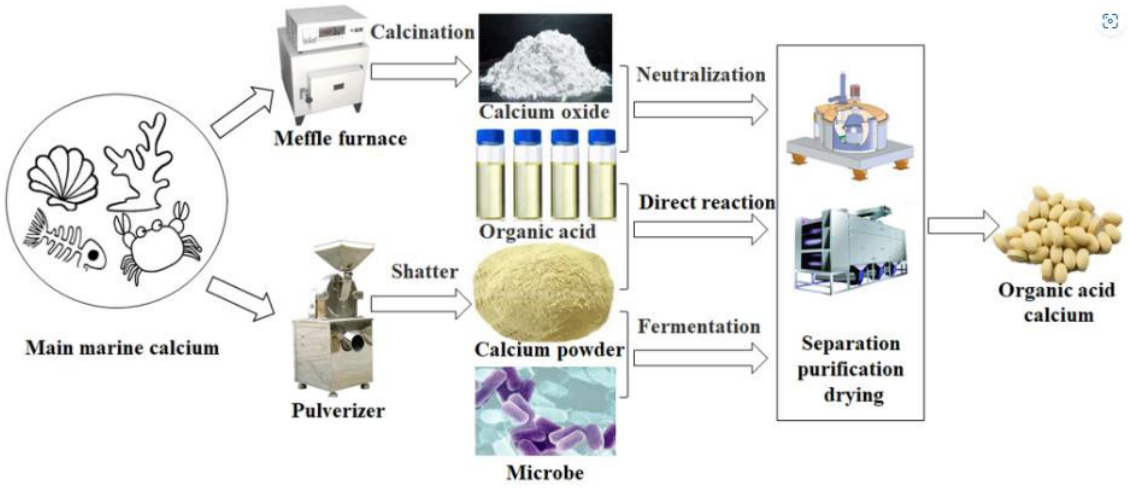
Código de ejemplo	Concentración de ácido acético/% p/p	Temperatura de reacción/°C	Tiempo de reacción/h	Rendimiento/%	Pureza/%
CA40	40	35	24	85.04	95.46
CA50	50	42	20	83.98	95.34
CA60	60	58	12	87.05	98.00
CA70	70	64	10	86.85	97.44

Nota. *Condiciones experimentales y el rendimiento*, tomada de (De Somkiat et al,2023).

Yangli et al (2020) proporcionan una revisión detallada sobre el calcio biológico marino, un recurso importante que tiene un papel esencial en la salud humana, especialmente en lo que respecta a la salud ósea. Se abordan varias fuentes de calcio derivadas de organismos marinos, como espinas de pescado, conchas de mariscos, crustáceos, corales y algas marinas. Además, se exploran los métodos de preparación y los beneficios biológicos de estos suplementos marinos, destacando la biodisponibilidad superior del calcio marino en comparación con otras fuentes tradicionales, como el carbonato de calcio. Uno de los temas principales es la importancia de mejorar la biodisponibilidad del calcio a partir de fuentes marinas, ya que los métodos tradicionales de procesamiento de estos productos pueden mejorar la absorción del calcio en el cuerpo humano. Se discuten diversas formas de calcio, como los ácidos orgánicos de calcio (citrato, lactato, acetato) y el quelato de calcio, que ofrecen una mejor absorción que el carbonato de calcio. El texto también resalta aplicaciones emergentes del calcio marino en la industria biomédica, incluyendo el desarrollo de andamios óseos para la ingeniería de tejidos, el tratamiento de aguas residuales, y los usos en productos cosméticos y alimentarios. La idea central es que el aprovechamiento de estos recursos marinos puede mejorar la sostenibilidad, al mismo tiempo que ofrece beneficios adicionales para la salud humana. Finalmente, se menciona que la creciente investigación sobre la utilización de calcio derivado de recursos marinos puede contribuir al desarrollo de nuevos productos para la industria farmacéutica, alimentaria y biomédica, mostrando un gran potencial para el futuro.

Figura 6

. Diagrama de flujo de preparación de ácido orgánico cálcico a partir de calcio marino.



Nota. *Diagrama de flujo de preparación de ácido orgánico cálcico a partir de calcio marino.Tomada de (De Yangli et al,2020).*

Rios & Velasquez (2016). investigaron sobre las propiedades de las valvas residuales Caracol con la finalidad de obtener carbonato de calcio a diferentes condiciones de proceso. El objetivo principal fue obtener carbonato de calcio, evaluando el efecto de granulometría, tiempo y temperatura de calcinación a la que se debe someter las valvas de caracol en el proceso de obtención. El procedimiento de tamizado empleado en la investigación, les ayudo a obtener grandes resultados en la obtención de carbonato de calcio. Este procedimiento consistió en pasar la molienda de valvas de concha por tres tipos de malla diferentes, con el fin de separar las partículas más finas, ya que estas son las más adecuadas y óptimas para el proceso. Con la comparación de los datos en la determinación de Carbonato de Calcio concluyen que el tamizado es un procedimiento importante en el proceso. También concluyen que la producción de Carbonato

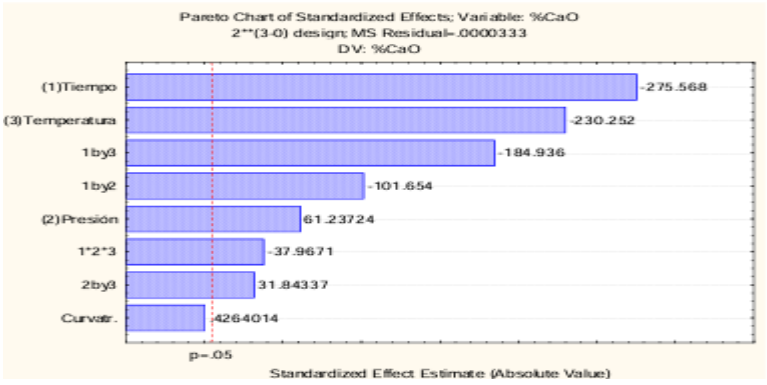
de Calcio a partir de valvas residuales de Caracol (Thais Chocolata), el porcentaje máximo que se presentó fue en el ensayo N°18 dando 94.9420% de CaCO3. La temperatura de calcinación fue un factor muy importante en la determinación de Carbonato de Calcio y de este depende la calidad del producto final, es por ello que la investigación concluye que la temperatura optima es de 600°C. Con procedimiento de molienda, tamizado y toma de muestra a partir del % pasante llegan a los resultados esperados. Ya que con la muestra pasante de la malla N°14 tienen un alto contenido de carbonato seguido de la malla N° 24 y N°6. El tiempo de calcinación también es un factor importante y la investigación concluye que el tiempo adecuado para la calcinación de la valva de caracol es por 02 horas (120 minutos), con ello se llega a conseguir 94,9420% de CaCO3. El rendimiento máximo del proceso de investigación que es equivalente al grado de concentración del Carbonato de Calcio en 94,9420%, a una temperatura de 600°C, tiempo de 02 horas y con la muestra pasante de la malla N° 14.

Bojorges et al (2023) explican en el artículo el proceso de extracción del alginato de las algas pardas, diferenciando los métodos tradicionales de las tecnologías más novedosas, con el objetivo de optimizar la eficiencia de este proceso, disminuir el impacto ambiental y fomentar la producción sostenible y la diversificación de productos. La metodología empleada en esta investigación es una revisión exhaustiva de la literatura existente, cubriendo los últimos diez años, en donde analizan los pretratamientos y las condiciones de extracción, evaluando su influencia en la estructura molecular, el peso molecular, la relación M/G y las propiedades tecno-funcionales del alginato resultante. Concluyen que las tecnologías innovadoras tienen el potencial de mejorar la capacidad de extracción, optimizar la eficiencia del proceso y promover prácticas más amigables con el medio ambiente, impulsando a la industria del alginato hacia un enfoque más sostenible y la creación de productos de alto valor añadido.

Zarate (2022) investigó sobre la mejora del proceso de obtención de óxido de calcio en Calquipa S.A.C., donde la cal viva es crucial en la extracción de minerales y en diversas aplicaciones industriales. El objetivo principal fue optimizar la calidad del óxido de calcio mediante la evaluación de las condiciones operativas en la metalurgia extractiva. El procedimiento experimental incluyó un análisis granulométrico de la piedra caliza y del "pet coque" utilizado como combustible en el horno Maerz, evaluando su poder calorífico. Las pruebas realizaron en las cubas 1 y 2 del horno Maerz, controlando variables como el flujo de aire de combustión (entre 3900 y 4100 Nm3/h), la presión del aire de combustión (establecida en 80 mmH2O), y el caudal de gas natural (entre 190 y 210 Nm3/h), para determinar el contenido de cal (CaO) bajo estas condiciones. Aplicaron un análisis estadístico de Pareto para identificar las variables más influyentes, generando gráficos de contorno que permitieron visualizar el efecto de cada variable en la calidad del producto final, buscando las condiciones operativas que maximicen el contenido de CaO, por ende, la calidad del óxido de calcio producido.

Figura 7.

Análisis de Pareto



Nota. Análisis de Pareto para la estandarización de efectos de variables de %CaO. Tomado de (De Zarate, 2022).

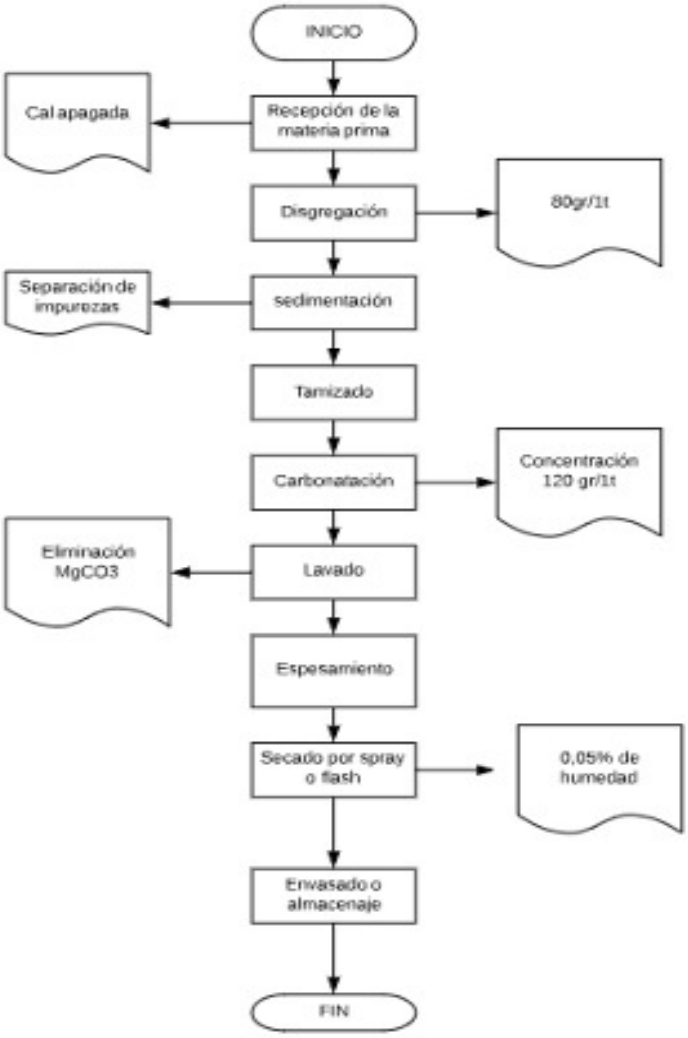
Vera & Hidalgo (2019) reportaron en el artículo la importancia del carbonato de calcio en la dieta de gallinas ponedoras Hy-Line Brown y su efecto en la calidad del huevo, específicamente en el peso y grosor de la cáscara. Con la finalidad de determinar si la suplementación con carbonato de calcio mejora la calidad del cascarón, el estudio tuvo como objetivo evaluar cómo la adición de diferentes niveles de carbonato de calcio (0.00, 0.50, 1.00 y 1.50 g/ave/día) en las últimas horas de la tarde afecta el peso del huevo y el grosor de la cáscara en gallinas de 22 a 30 semanas de edad. La metodología utilizada en esta investigación involucró la distribución aleatoria de 200 gallinas en cuatro tratamientos con diez repeticiones cada uno, donde se evaluó semanalmente el peso del huevo y el grosor de la cáscara durante nueve semanas, utilizando un diseño de bloques completamente al azar y análisis de varianza. Se midió el tamaño de las partículas de carbonato de calcio con un micrómetro digital. Concluyen que la adición de 1.50 g/ave/día de carbonato de calcio en las últimas horas de la tarde, con una granulometría de 2 a 4 mm, mejoró significativamente el grosor de la cáscara del huevo, aunque no influyó en el peso del huevo, y que se puede estimar el grosor de la cáscara a través de un modelo de regresión basado en el peso del huevo (Grosor del cascarón = 0.3533 x ln(Peso del huevo) - 1.001).

Samaniego (2018) explica el diseño de un proceso para obtener carbonato de calcio precipitado (PCC) a partir de cal hidratada en INCOREG CIA. LTDA. Con la finalidad de crear un proceso eficiente y rentable, el proyecto tuvo como objetivo diseñar una planta que transforme cal hidratada en PCC, un producto con diversas aplicaciones industriales. La metodología de la tesis incluyó varias etapas experimentales: primero, se recolectaron muestras de caliza en la zona de estudio y se caracterizaron mediante análisis granulométricos.

Luego, se realizaron pruebas de calcinación variando la temperatura (800-1000°C) y el tiempo para determinar las condiciones óptimas para la producción de óxido de calcio (cal viva). Posteriormente, la cal viva se hidrató para obtener hidróxido de calcio (cal hidratada), y realizaron pruebas de purificación para eliminar impurezas como el hierro. La etapa crucial fue la carbonatación, donde se burbujeó dióxido de carbono a través de una suspensión de cal hidratada para precipitar el carbonato de calcio, controlando el pH y la temperatura. Finalmente, se realizaron análisis químicos y físicos del PCC obtenido para evaluar su calidad. Los datos recopilados en cada etapa utilizaron para diseñar los equipos necesarios, incluyendo el tanque reactor, agitador, banda transportadora y sistema de dosificación. Se concluye que es factible diseñar un proceso para la obtención de carbonato de calcio precipitado a partir de cal hidratada en la empresa INCOREG CIA. LTDA., siempre y cuando se implementen las condiciones operativas y los equipos diseñados en el estudio, garantizando la viabilidad técnica y económica del proceso.

Figura 8.

Proceso de producción



Nota. Diagrama de Proceso de Producción de carbonato de calcio precipitado (PCC) a partir de cal hidratada. Tomado de (De Samaniego,2018).

Fragoso et al (2009). Investigaron sobre la caracterización del biomineral $CaCO_3$ en algas rojas coralinas (Corallinales) de las costas del Pacífico mexicano, detallando cómo estas algas asimilan HCO_3^- para precipitar $CaCO_3$ en sus tejidos en forma de calcita o aragonita. Con la finalidad de comprender mejor la composición y estructura de los depósitos minerales en estas especies, el estudio tuvo como objetivo analizar el contenido biomolecular y la estructura cristalina del biomineral. La metodología utilizada en esta investigación incluyó la recolección aleatoria de especímenes de algas rojas coralinas, considerando su representatividad en las costas del Pacífico mexicano. Se prepararon muestras en polvo para difracción de rayos X (XRD), donde se identificaron las fases cristalinas y se refinaron los parámetros de la celda unitaria mediante el método de Rietveld. La morfología de los cristales examinó mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), mientras que la nanoestructura se investigó utilizando microscopía de túnel (STM). Adicionalmente, emplearon espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) para identificar los grupos funcionales orgánicos presentes en el biomineral. Los resultados de XRD mostraron dos fases minerales principales, calcita y aragonita, con parámetros estructurales muy similares a sus contrapartes inorgánicas, pero con modificaciones en la estructura molecular. Las imágenes de STM revelaron que los cristales presentan formas de placas y agujas con tamaños entre 20 y 100 nm. Concluyen que este tipo de calcita-aragonita tiene un muy bajo contenido de materia orgánica ocluida dentro de los cristales, siendo las moléculas orgánicas más probables los hidratos de carbono, y que las fases minerales principales son calcita y aragonita, con estructuras similares a sus contrapartes inorgánicas, pero con modificaciones en la estructura molecular.

Tabla 3

Análisis elemental (%)

Element wt (%)	*Lithophyllum*		*Neogoniolithon*
	Inner	Sphere	
Ca	63.90	61.79	61.40
O	31.40	17.34	25.15
N	–	–	–
Mg	1.38	0.80	5.80
C	1.00	1.85	7.60
Si	0.11	–	–
S	0.61	1.98	–
Al	0.33	0.17	–
Cl	0.73	10.45	–
K	0.38	5.30	–
CrSS* (nm)	Plate, ~30		Needle, ~30

* CrSS = crystallite shape and size (nm) from scanning tunneling microscopy.

Nota. Análisis elemental (%) mediante espectroscopia de dispersión de energía de dos especies de algas rojas no geniculadas. Tomada de (De Fragoso et al,2009).

Murphy et al (2024). investigaron en el artículo la optimización de la producción de acetato de calcio a partir de conchas de mejillón azul (Mytilus edulis) y ácido acético, con el objetivo de valorizar este residuo como una alternativa sostenible al uso de sales de deshielo convencionales. Con la finalidad de maximizar el rendimiento del proceso y evaluar su viabilidad, la investigación tuvo como objetivo determinar las condiciones óptimas para la síntesis de acetato de calcio a partir de conchas de mejillón, comparando diferentes pretratamientos de las conchas y concentraciones de ácido acético. La metodología utilizada en esta investigación incluyó un diseño de experimentos. Inicialmente, emplearon un diseño compuesto central circunscrito (CCC) para evaluar la influencia de tres factores: tipo de concha (secadas al aire, secadas a 220°C o calcinadas), concentración de ácido acético (entre 2.9% y 17.1%) y tiempo de reacción (entre 2.3 y 27.7 horas), en el rendimiento de la producción de acetato de calcio. Posteriormente, utilizaron un diseño

óptimo personalizado para mejorar el rendimiento utilizando conchas trituradas y calentadas. Los resultados del diseño CCC revelaron que todos los factores fueron significativos y que existía una interacción entre el tipo de concha y la concentración de ácido acético, así como un efecto cuadrático de la concentración de ácido acético. Este diseño permitió identificar que las conchas calcinadas producían los rendimientos más bajos, mientras que las conchas secadas al aire y calentadas mostraban tendencias similares, con rendimientos que aumentaban a medida que disminuía la concentración de ácido acético y aumentaba el tiempo de reacción. Concluyen que el rendimiento máximo es 93% después de 32 horas utilizando una solución de ácido acético al 9% v/v, o un rendimiento del 85% utilizando vinagre blanco de calidad alimentaria después de 24 horas. Además, demostraron que el acetato de calcio producido a partir de conchas de mejillón tiene capacidad como agente de deshielo, derritiendo el 6% en peso de hielo a una concentración del 30% (m/v).

Pahune et al (2024) publicaron en el artículo las fuentes sostenibles y los métodos de extracción de calcio para expandir el sector de suplementos dietéticos. Con la finalidad de promover enfoques innovadores para la extracción de calcio que sean sostenibles, saludables y económicamente viables, el estudio tuvo como objetivo consolidar el conocimiento sobre métodos de extracción de calcio a partir de una variedad de fuentes naturales. La metodología utilizada en esta investigación consistió en una revisión exhaustiva de la literatura sobre fuentes ricas en calcio y técnicas de extracción. En la revisión exhaustiva, se encontró información relevante sobre diversas fuentes de calcio alternativas a los lácteos, incluyendo algas marinas, conchas de moluscos (como conchas de huevo y conchas marinas), organismos marinos, huesos de pescado, huesos de animales y piedra caliza. La revisión detalló varios métodos de extracción de calcio de estas fuentes, proporcionando información sobre la efectividad y la practicidad de cada enfoque.

Analizaron métodos químicos, como la extracción ácida, y métodos físicos, como la molienda y separación. Además, la revisión exploró el uso de tecnologías innovadoras para optimizar los procesos de extracción y mejorar la calidad del calcio extraído. Concluyen que el análisis de diversas técnicas de extracción contribuye al avance de métodos eficientes y ecológicos para obtener calcio de diferentes fuentes naturales, con el fin de ampliar la comprensión de las fuentes de calcio disponibles y optimizar los procesos de extracción para aplicaciones prácticas, incluyendo la producción de nutracéuticos y usos ambientales y agrícolas más amplios.

Tabla 4

Cantidad de calcio presente en diversos desechos de pescado

Name	**Calcium (mg)**
liver	1.123 g/kg
gills	63.09 g/kg to 70.24 g/kg
fish's scales	3246.93±18.98 mg/100g to 7930.42±60.02 mg/100g
Fish bone.	90%

Nota. Tomado de (De Pahune et al,2024)

Piotrowicz et al (2019) explican en el artículo el desarrollo de una metodología de extracción por etapas de biomasa de algas de agua dulce para obtener diversas fracciones con potencial en las industrias cosmética y alimentaria, incluyendo polisacáridos sulfatados (SPs). Con la finalidad de obtener múltiples fracciones valiosas y eliminar metales pesados dañinos, el estudio tuvo como objetivo establecer un balance de materiales para el proceso de extracción por etapas de la biomasa de Cladophora glomerata. La metodología utilizada en esta investigación incluyó una extracción secuencial con diferentes solventes: primero, un lavado ácido con ácido acético

para eliminar incrustaciones de carbonato de calcio (100 g de alga se lavan con 54 g de ácido acético en 700 cm3 de agua), seguido de la adición de EDTA para quelar metales pesados (6.67 g). Posteriormente, realizaron extracciones con hexano (400 cm3), etanol (400 cm3) y agua utilizando un aparato de Soxhlet y extracción directa para obtener fracciones enriquecidas en ácidos grasos, compuestos fenólicos y polisacáridos sulfatados, respectivamente. Concluyen que aproximadamente el 5% de la masa seca de Cladophora glomerata es extraíble con etanol, compuesto principalmente por ácidos grasos, fenoles y pigmentos. Otro 5% de la masa puede aislarse como SPs puros de la fracción acuosa. Adicionalmente, el calcio de las incrustaciones naturales en la superficie de C. glomerata representa el 17% del peso del material seco y puede recuperarse del lavado ácido mediante simple precipitación, siendo de interés como suplemento nutricional.

(Thongkam et al., 2021), realizaron un trabajo titulado: "Síntesis simple y rápida del acetato del calcio a partir de cochas de veiras para reducir los problemas ambientales", con el objetivo principal de desarrollar un método ecológico para sintetizar acetato de calcio (CA) a partir de conchas de vieira desechadas, empleando distintas concentraciones de ácido acético. El estudio se enfocó en encontrar una alternativa sostenible para la obtención de CA, ampliamente utilizada en diversas industrias, al mismo tiempo que se abordaba el problema ambiental generado por los residuos de conchas de vieira Tailandia. El estudio concluyó que es posible sintetizar eficientemente acetato de calcio a partir de residuos que obtengan este componente, ofreciendo una alternativa más sostenible frente a los métodos convencionales. Este procedimiento no solo ayudó a reducir los residuos ambientales, sino también representa una opción económicamente factible para la obtención de un compuesto químico con múltiples usos industriales. Los hallazgos

resaltan la importancia del reciclaje de desechos marinos y el potencial de implementar procesos químicos más sostenibles.

(Hoque & Islam, n.d.). En el artículo de investigación científica titulada "Aplicación del acetato de calcio extraído con cáscara de huevo en la biocementación mediante ureasa de soja" evalúa el uso del acetato de calcio ($Ca(CH_3COO)_2$), obtenido a partir de cáscaras de huevo desechadas, como fuente alternativa de calcio en el proceso de biocementación mediante receptores inducidos por enzimas (EICP), empleando ureasa extraída de soja. El estudio buscó determinar la efectividad de esta alternativa frente al tradicional cloruro de calcio ($CaCl_2$), especialmente en términos de mejora de la resistencia y estabilidad del suelo, al mismo tiempo que se reduce el impacto ambiental asociado a subproductos como el cloruro de amonio.

(Kusumaningrum et al., 2016) hacen mención en su artículo de investigación titulada: "PEMANFAATAN TULANG IKAN BELIDA SEBAGAI TEPUNG SUMBER KALSIUM DENGAN METODE ALKALI Recuperación del subproducto de hueso de pescado Belida como un polvo rico en calcio mediante el método Alcali" que las espinas de pescado pueden constituir un recurso natural relevante para la obtención de calcio, elemento indispensable para múltiples funciones. En particular, el empleo de tratamientos alcalinos con hidróxido de sodio (NaOH) demostró ser eficaz para incrementar la liberación del calcio presente en las estructuras óseas, mejorando su biodisponibilidad. Esto resalta la importancia del proceso de transformación en la eficiencia de aprovechamiento del contenido de calcio en estos subproductos.

Wang et al., (2018) investigaron acerca del método para preparar acetato de calcio utilizando polvo de concha de ostra, con la finalidad de promover la utilización de recursos y la sostenibilidad en los procesos de producción. Tuvo como objetivo mejorar la eficiencia de la producción de acetato de calcio, aumentar la pureza del producto final y reducir los costos y el

consumo de energía. La metodología utilizada involucró varios pasos sistemáticos: trituración y tamizado de las conchas de ostra para separar gránulos, polvo crudo y polvo fino; calcinación de los gránulos para producir ostra calcinada; extracción con agua del polvo crudo, seguida de tratamiento con NaOH para purificarlo; reacción del polvo purificado con ácido acético para obtener un líquido de reacción que se centrifuga; y filtración y secado final para obtener el producto de acetato de calcio. Concluyen que el método mejora significativamente la eficiencia de producción y la pureza del acetato de calcio, reduce los costos y el consumo de energía, y contribuye a prácticas sostenibles al utilizar un subproducto de la industria pesquera.

Liu et al (2019) explican en el artículo un método para producir polvo proteico alimentario a partir de conchas de mejillón, con la finalidad de aprovechar este recurso marino como fuente sostenible de proteínas y nutrientes esenciales. Tuvo como objetivo desarrollar un proceso eficiente para extraer proteínas y otros compuestos nutritivos (como calcio, hierro, taurina y riboflavina) de las conchas y la carne de mejillón, optimizando su uso en la industria alimentaria. La metodología utilizada en esta investigación fue el preprocesamiento de los mejillones (limpieza, separación de conchas y carne), cocción en agua fría para extraer nutrientes, filtración mediante dispositivos de membrana para separar líquidos ricos en proteínas, y desalinización y concentración del filtrado para obtener un polvo proteico. Se concluye que el método es económicamente viable debido al bajo costo y alta disponibilidad de los mejillones, con un contenido proteico del 40% en el producto final, además de destacar su sostenibilidad al aprovechar un recurso marino abundante y su potencial nutricional por la presencia de minerales y compuestos esenciales para la salud humana.

Zhang et al (2012) reportaron en su investigación un método innovador para producir acetato de calcio utilizando conchas de ostras como materia prima, con la finalidad de desarrollar

un proceso eficiente, sostenible y aplicable a escala industrial. Tuvo como objetivo optimizar la reacción entre las conchas pulverizadas, ácido acético y agua para obtener un producto de alta calidad que cumpla con los estándares nacionales WS-10001-(HD-0094)-2002. La metodología utilizada en esta investigación fue un proceso controlado que incluyó la pulverización de las conchas (10-65 micrones), la reacción con ácido acético (1-2 partes) y agua (3-5 partes) bajo agitación a temperatura y presión normales durante al menos 48 horas, seguido de filtraciones primarias y finas, procesos de decoloración con carbón activado, y secado mediante métodos como spray-drying o vacío. Concluyen que el acetato de calcio obtenido es un polvo blanco con excelente solubilidad en agua (hasta 35 g), significativamente superior a los métodos tradicionales (<30 g), siendo viable para aplicaciones médicas y alimentarias, además de destacar por su simplicidad, eficiencia y potencial para la producción industrial.

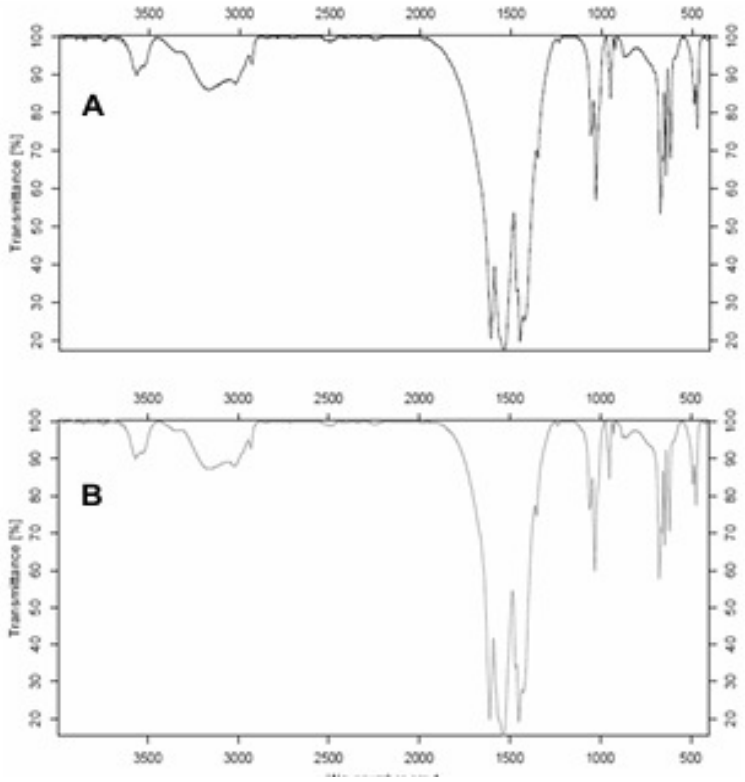
Xinguo et al (2017) investigaron sobre un método innovador para producir acetato de calcio de calidad alimentaria, con la finalidad de optimizar su síntesis mediante un proceso eficiente que minimice riesgos de contaminación y mejore el rendimiento. Tuvo como objetivo desarrollar una metodología que supere las limitaciones de los métodos tradicionales, como tiempos prolongados y baja eficiencia, garantizando un producto apto para aplicaciones industriales alimentarias. La metodología utilizada en esta investigación fue un proceso integrado que incluyó la selección de fuentes de calcio y ácido acético, una reacción de síntesis en caldera especializada (con mezcla por rotación/revolución para mayor precisión), y un secado-trituración en una sola etapa, eliminando la filtración intermedia para reducir contaminantes. Concluyen que este método logra un rendimiento del 85-90%, reduce tiempos de procesamiento, mejora la pureza del producto y ofrece ventajas para la industria alimentaria al garantizar un aditivo seguro y eficiente, destacando su potencial para optimizar recursos y estandarizar producción a escala industrial.

Lee et al (2015) explican en el artículo la preparación y caracterización de acetato de calcio a partir de polvo de concha calcinada de almeja (Saxidomus purpuratus) utilizando metodología de superficie de respuesta, con el fin de valorizar residuos de conchas como fuente natural de calcio soluble para aplicaciones alimentarias y funcionales. Tuvo como objetivo determinar las condiciones óptimas de reacción entre el polvo calcinado de concha y ácido acético para maximizar la solubilidad, el rendimiento y la calidad del acetato de calcio obtenido, se utilizó la metodología de superficie de respuesta (RSM) debido a su capacidad para optimizar múltiples variables simultáneamente y modelar relaciones complejas entre las condiciones experimentales y los resultados obtenidos. La metodología utilizada consistió en recolectar, limpiar, secar y calcinar las conchas a 800 °C durante 8 horas, pulverizarlas y luego reaccionarlas con ácido acético en diferentes concentraciones (1.29–2.70 M) y proporciones de CaO (0.29–1.70 M) según un diseño central compuesto, evaluando los productos mediante análisis de pH, solubilidad, rendimiento, color, capacidad buffer, contenido mineral (por ICP), FT-IR, XRD y microscopía electrónica. Se concluye que bajo condiciones óptimas (2.70 M de ácido acético y 1.05 M de CaO), el acetato de calcio obtenido mostró pH neutro (7.04), alta solubilidad (93.0%), rendimiento elevado (267.5%), contenido de calcio de 20.7–22.8 g/100 g y una blancura comparable o superior a la de productos comerciales, confirmando la viabilidad de reutilizar residuos de conchas para producir ingredientes funcionales de alta calidad. Utilizando la metodología de superficie de respuesta, facilitó la identificación de los valores críticos para ambas variables (2.70 M de ácido acético y 1.05 M de CaO) que optimizaron los resultados, como un pH neutro (7.04), una solubilidad elevada (93%) y un rendimiento del 267.5%. Además, RSM permitió predecir con precisión los valores experimentales y ajustar las condiciones para mejorar características como el índice de blancura y

la capacidad buffer del acetato de calcio producido, demostrando su utilidad en procesos que requieren alta precisión y eficiencia.

Figura 9.

Espectros FT-IR



Nota. Espectros FT-IR de acetato de calcio comercial (A) y acetato de calcio de almeja mantequilla (B). Tomado de (*De Lee et al,2015)*

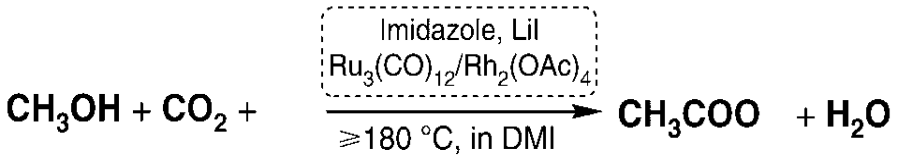
2.3.Bases teóricas

2.3.1. Ácido Acético.

El ácido acético es un químico de gran volumen y relevancia industrial, que actualmente se obtiene mediante la carbonilación del metanol utilizando monóxido de carbono (CO) derivado de fuentes fósiles. Sin embargo, producir ácido acético a partir de CO_2, una fuente renovable y económica, representa un objetivo clave. A pesar de esto, las rutas más avanzadas para lograrlo aún enfrentar desafíos importantes, especialmente en lo que respeta a la selectividad y eficiencia de la reacción. La producción de ácido acético puede lograrse a partir de CO_2, metanol y H_2 (Figura 3). Esta reacción puede llevarse a cabo de forma altamente eficiente mediante catálisis homogénea bajo condiciones suaves. Lo interesante es que el CO_2 participa directamente en la formación del ácido acético, sin necesidad de transformarse en CO, lo que contribuye a los excelentes rendimientos observados en el proceso. (Qian et al, 2016).

Figura 9.

Síntesis de ácido acético



$$\Delta H^{\circ}_{298K} = -137.6\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$
$$\Delta G^{\circ}_{298K} = -66.4\ \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Nota. Síntesis de ácido acético por reacción de metanol con CO_2 y H_2. Tomado de (Qian et al, 2016) https://www.nature.com/articles/ncomms11481.

Cárdenaz, (2016) refiere que la obtención de acetato de calcio puede formularse en función de los métodos y reactivos empleados en el proceso químico. Este compuesto se forma típicamente al reaccionar una fuente de calcio, como carbonato de calcio ($CaCO_3$), con ácido acético (CH_3COOH).Reacción química: Cuando el carbonato de calcio presente en materiales como algas marinas (Macrocystis pyrifera) y exoesqueleto de pescado (Osteichthyes) reacciona con ácido acético, se produce acetato de calcio junto con dióxido de carbono y agua. Esto se puede expresar químicamente como:

$$CaCO3+2CH3COOH \rightarrow Ca\ (CH3COO)2+CO2+H2O$$

La obtención del acetato de calcio depende de factores como el pH, la temperatura y la granulometría del material inicial.

2.3.2. Ácido clorhídrico.

El ácido clorhídrico es un compuesto inorgánico fundamental que desempeña múltiples funciones en diversas industrias. Se emplea comúnmente como materia prima, agente limpiador, corrosivo y catalizador en sectores como la industria química, la producción de colorantes, la síntesis de compuestos orgánicos, el procesamiento de alimentos, así como en procesos de teñido, impresión, tratamiento de cuero, metalurgia y fabricación de maquinaria. (Cao et al, 2022).

2.3.3. Acetato de calcio.

El acetato de calcio es una sal compuesta por calcio y ácido acético. Su fórmula química se puede determinar cómo $Ca(C_2H_3O_2)_2$, lo que revela que está constituida por iones de calcio (Ca^{2+}) e iones de acetato ($C_2H_3O_2^-$). Esta combinación le confiere propiedades importantes, especialmente en el ámbito farmacéutico, donde se utiliza comúnmente como suplemento de calcio y como agente que ayuda a reducir los niveles de fosfato en personas que sufren enfermedades renales. (Jiang et al, 2019).

La solubilidad de acetato de calcio con el agua tiene alta capacidad de disolverse, es una característica importante que lo hace valioso en múltiples usos industriales y farmacéuticos. Una investigación señaló que el acetato de calcio obtenido a partir de polvo de cáscara de almeja presentó una solubilidad elevada, con valores que oscilaron entre el 97,2 % y el 99,6 % bajo condiciones optimizadas, lo que refleja su notable capacidad para disolverse en medios acuosos. El acetato de calcio posee propiedades amortiguadoras que resultan fundamentales para regular y mantener el equilibrio del pH en sistemas tanto biológicos como químicos. (O| et al., 2015).

Mecanismo de acción de acetato de calcio tiene resultados al unirse al fosfato que presenta los alimentos dentro del tracto gastrointestinal, lo que disminuye su absorción hacia la sangre. Esta acción se observa especialmente en personas con función renal comprometida, ya que suelen presentar niveles elevados de fosfato. Al formar complejos con el fosfato, el acetato de calcio contribuye a reducir su concentración en sangre, ayudando así a manejar los desequilibrios minerales y óseos relacionados con enfermedades renales. Una ventaja significativa del acetato de calcio frente a otros aglutinantes de fosfato, como los que presentan carbonato de calcio, es su mayor eficacia para unirse al fosfato. Las investigaciones han demostrado que el acetato de calcio

posee una capacidad de unión más alta que el carbonato de calcio, lo que lo convierte en una opción más efectiva para regular los niveles de fosfato en el organismo. El acetato de calcio se asocia con menos efectos secundarios, especialmente en lo que respecta a la hipercalcemia (niveles elevados de calcio en la sangre) y a las concentraciones elevadas de aluminio sérico. La utilización de acetato de calcio puede mejorar los resultados de los pacientes al controlar de forma eficaz los niveles de fosfato, lo que reduce el riesgo de complicaciones como las enfermedades cardiovasculares y los trastornos óseos. Su eficacia y seguridad lo convierten en la opción preferida en la práctica clínica para el tratamiento del fosfato en pacientes con enfermedad renal crónica. (Holechek, 1991).

2.4.Definición de términos

2.4.1. Metodología de superficie de respuesta.

La metodología de superficie de respuesta (RSM) es una herramienta estadística y matemática empleada para la optimización de procesos. Su propósito principal es analizar y modelar las relaciones entre diversas variables independientes, así como también de una o más variables dependientes. En otras palabras, esta metodología identifica las condiciones óptimas para obtener un resultado deseado, considerando de forma óptima cómo interactúan entre sí los distintos factores involucrados en el proceso. El propósito central de la metodología de superficie de respuesta (RSM) es maximizar la eficiencia experimental al minimizar la cantidad de ensayos requeridos para identificar las condiciones óptimas del proceso. La metodología RSM se utiliza comúnmente en esquemas experimentales específicos, como el diseño de Box-Behnken, el cual facilita el análisis sistemático del efecto de múltiples factores en distintos niveles. Este tipo de diseño es altamente eficiente y permite comprender cómo las variaciones en un factor determinado pueden impactar en la variable de respuesta, generando así a una optimización más precisa de un proceso experimental. (Yao et al, 2022).

2.4.2. Diseño de Box-Behnken

El diseño Box-Behnken es una estrategia experimental utilizada dentro de la metodología de superficie de respuesta (RSM), empleada con el fin de optimizar procesos mediante la evaluación eficiente de las combinaciones de variables que influyen en un resultado determinado del experimento. Este diseño fue desarrollado con el propósito de generar un modelo de segundo orden (cuadrático) para la variable de respuesta, evitando la necesidad de realizar un experimento factorial completo con tres niveles por factor (bajo, medio y alto). A diferencia de los diseños

factoriales completos, el diseño Box-Behnken omite las combinaciones extremas de todos los factores en sus niveles máximos o mínimos, lo que contribuye a disminuir de forma significativa el número total de experimentos requeridos. Este diseño evalúa cada factor en sus niveles alto, bajo y en un punto central, lo cual facilita la estimación de la curvatura de la superficie de respuesta y optimiza la precisión del modelo cuadrático. (Suyuan y Xiandi, 1999).

2.4.3. Proceso obtención de acetato de calcio.

El procedimiento para sintetizar acetato de calcio a partir algas marinas *(Macrocystis pyrifera)* y exoesqueleto de pescado (*Osteichthyes*) sigue una serie de etapas estratégicamente estructuradas para maximizar tanto el rendimiento como la solubilidad del compuesto resultante. La producción inicia con la recolección de algas marinas *(Macrocystis pyrifera)* y exoesqueleto de pescado (*Osteichthyes*), las cuales se someten a un proceso de limpieza y secado para eliminar residuos orgánicos y humedad. Esta preparación es rigurosa para garantizar un alto contenido de calcio en el material base requerida. Las algas marinas (Macrocystis pyrifera) y exoesqueleto de pescado (Osteichthyes) secas son tratadas térmicamente mediante calcinación, un proceso en el que se someten a altas temperaturas para transformar el carbonato de calcio ($CaCO_3$) presente en las algas marinas y exoesqueleto de pescado en óxido de calcio (CaO). el óxido de calcio se reacciona con ácido acético (CH_3COOH). A través del uso de la metodología de superficie de respuesta (RSM), Durante la reacción, se monitorea y ajusta el pH del sistema con ácido clorhídrico. El mantenimiento de este pH resulta determinante para optimizar tanto el rendimiento como la calidad del producto.

Tras la síntesis, la mezcla se somete a filtración para eliminar impurezas y residuos no reaccionados. La solución de acetato de calcio obtenida puede concentrarse a través de la cristalización. el compuesto obtenido se analiza mediante técnicas de espectroscopia por absorción atómica para verificar su pureza. (Lee et al., 2015).

2.4.4. Espectroscopia por absorción atómica

La espectroscopia de absorción atómica (AAS) es una herramienta analítica de gran magnitud en la determinación cuantitativa de elementos específicos en diversos tipos de muestras. El fundamento de la AAS se basa en la capacidad de los átomos libres en estado gaseoso para absorber luz a determinadas longitudes de onda. Cuando se vaporiza una muestra, los átomos presentes absorben radiación en rangos específicos del espectro electromagnético, los cuales son características de cada elemento. Esta absorción está directamente relacionada con la concentración del elemento en análisis. la principal variante de la AAS es la espectroscopia de absorción atómica con llama (FAAS), se utiliza una llama como fuente de atomización. Esta modalidad permite la determinación de una amplia gama de elementos, siendo especialmente eficaz en la cuantificación de oligoelementos por su elevada sensibilidad y especificidad. La AAS encuentra aplicaciones en diversos sectores, como: Monitoreo ambiental, para detectar metales trazas y contaminantes en matrices ambientales como agua, aire y suelos; Industria farmacéutica, permite medir concentraciones metálicas en productos farmacéuticos y Seguridad alimentaria, para analizar el contenido de elementos esenciales y potencialmente tóxicos en alimentos. (Yan, 2012).

2.4.5. Saponificación

La saponificación es el proceso químico mediante el cual las grasas o aceites se transforman en jabón y glicerol. Esta transformación se produce mediante una reacción con álcalis, como el hidróxido de potasio (KOH) o el hidróxido de sodio (NaOH). (Alum, 2024).

2.4.6. Reacción por ultrasonido.

La reacción por ultrasonido, también conocida como sonoquímica, se refiere a la aplicación de ondas ultrasónicas para influir o acelerar las reacciones químicas. Este proceso se logra mediante el uso de dispositivos específicos que generan estas ondas**.** es un método para mejorar la velocidad y eficiencia de las reacciones químicas utilizando la energía de las ondas ultrasónicas, facilitado por dispositivos diseñados para generar y dirigir estas ondas hacia los reactivos. (Mutsuo et al, 2014)

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1.Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

Es viable el diseño de un proceso experimental para la obtención de acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas (Macrocystis pyrifera) y exoesqueleto de pescado (Osteichthyes) que permita aprovechar estos desechos marinos como fuente de calcio, y dar un valor industrial a los subproductos marinos.

3.1.2. Hipótesis Específica

Si se determinan adecuadamente las condiciones de reacción, como la temperatura, la concentración de reactivos y la proporción de materia prima, entonces será posible optimizar la obtención de acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas (*Macrocystis pyrifera*) y exoesqueleto de pescado (*Osteichthyes*).

Si el proceso experimental diseñado permite obtener una proporción significativa de acetato de calcio respecto al material inicial, entonces podrá considerarse como una alternativa viable para el aprovechamiento de residuos marinos.

Si el acetato de calcio obtenido presenta propiedades fisicoquímicas adecuadas y niveles aceptables de pureza, entonces podrá cumplir con los estándares necesarios para su uso en aplicaciones industriales.

3.2.Variables

3.2.1. Variable dependiente

La variable dependiente se refiere al producto resultante del proceso experimental, cuya calidad y cantidad estarán determinadas por los factores manipulados durante el tratamiento de las materias primas. En este caso, la variable dependiente es la obtención de acetato de calcio, considerando aspectos como:

El rendimiento del producto final, expresado en masa (gramos) o en porcentaje respecto a la cantidad inicial de materia prima utilizada.

La pureza del compuesto obtenido, medida mediante pruebas analíticas que permitan identificar la presencia de impurezas o compuestos secundarios.

Las características fisicoquímicas del acetato de calcio, tales como pH, solubilidad en agua y punto de fusión, fundamentales para valorar su potencial de aplicación en sectores industriales.

3.2.2. Variable independiente

La variable independiente se constituye por los elementos que serán intencionadamente modificados con el objetivo de observar su efecto sobre la variable dependiente. En este estudio, corresponde al proceso experimental de obtención, el cual involucra:

Las condiciones de reacción, como la temperatura y la concentración del ácido utilizado.

La composición de la materia prima, es decir, la proporción empleada entre algas marinas (*Macrocystis pyrifera*) y exoesqueleto de pescado (*Osteichthyes*).

Estos factores permitirán evaluar qué combinación y condiciones favorecen un mayor rendimiento y calidad del producto final.

3.2.3. Variable controlada

Para asegurar la validez de los resultados y reducir el margen de error, se ha previsto mantener constantes ciertos parámetros durante todo el proceso. Estas variables controladas incluyen:

- La cantidad fija de ácido acético por cada unidad de materia prima tratada.
- El método de secado y trituración de los insumos biológicos, estandarizado para todas las muestras.
- El tipo de equipos de laboratorio y recipientes empleados, que permanecerán uniformes a lo largo del estudio.
- El tamaño de partícula de la materia prima, obtenido mediante tamizado homogéneo.
- Las condiciones ambientales de laboratorio, como presión atmosférica y ventilación, controladas para evitar influencias externas.
- El tiempo de reposo antes del filtrado y cristalización, establecido de forma uniforme en todos los ensayos.
- El control riguroso de estas variables permitirá atribuir los resultados obtenidos exclusivamente a las modificaciones aplicadas sobre la variable independiente, garantizando así la fiabilidad del diseño experimental propuesto.

3.3.Operacionalización de las variables

Tabla 5 *Operacionalización de las variables*

Tipo de variable	Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos
Dependiente	Obtención de acetato de calcio	-Cantidad producida -Pureza del compuesto -Propiedades fisicoquímicas	-Peso del producto final (g) -Porcentaje de pureza -pH, solubilidad, punto de fusión	Balanza analítica, espectrofotómetro, medidor de pH, protocolo de laboratorio
Independiente	Proceso experimental	-Condiciones de reacción -Proporción de materia prima	-Temperatura de reacción (°C) -Concentración del ácido (% v/v) - Porción de algas vs. exoesqueleto	Termómetro, cronómetro, bureta, hoja de control experimental
Controlada	Parámetros constantes del proceso	Pretratamiento -Equipos utilizados -Ambiente de trabajo	-Método de secado - Tipo de vidrio de laboratorio -Presión y ventilación constantes	-Manual de procedimientos, control de condiciones del laboratorio

Fuente: Elaboración propia

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.Área de estudio

Este estudio de obtención de acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas y exoesqueleto de pescado se llevará a cabo en la ciudad de Lima, Perú, en los laboratorios de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).

Laboratorio de Química Analítica – Dpto. de Química Analítica

Laboratorio de Química Orgánica – Dpto. de Química Orgánica

Las coordenadas geográficas precisas del sitio son-12.060382,-77.083515.

4.2.Diseño de investigación

Este estudio se sitúa dentro del enfoque cuantitativo, ya que busca medir de forma precisa el rendimiento y las características del acetato de calcio obtenido a partir de la mezcla de residuos marinos. Se opta por una investigación de tipo aplicada, debido a que persigue un objetivo práctico: transformar subproductos del procesamiento pesquero en un compuesto útil para la industria.

En cuanto a su estructura metodológica, se trata de una investigación experimental con nivel explicativo, orientada a comprender cómo determinadas condiciones afectan la eficiencia del proceso de obtención. Se modifican intencionalmente algunos parámetros, como la temperatura, la concentración del ácido y la proporción de los insumos, con el propósito de identificar qué combinaciones favorecen una mayor producción o mejor calidad del producto final.

Este diseño permite establecer relaciones directas entre las variables que intervienen en el proceso, y evaluar su impacto en el resultado esperado. Se trabajará bajo un esquema controlado, manteniendo constantes ciertos factores (como los métodos de secado, tipo de equipo utilizado o condiciones del entorno) para asegurar que las diferencias observadas se deban exclusivamente a las variables que se manipulan.

Se llevará a cabo una serie de ensayos en laboratorio, empleando un conjunto de muestras preparadas con distintas proporciones de algas marinas (Macrocystis pyrifera) y exoesqueleto de pescado (clase Osteichthyes), aplicando condiciones experimentales variadas de forma controlada.

Este diseño permite no solo validar si el procedimiento propuesto es técnicamente viable, sino también determinar las condiciones más favorables para maximizar el rendimiento del acetato de calcio obtenido, apuntando a su futura implementación en aplicaciones industriales.

4.3.Población y muestra

4.3.1. Población

La población de esta investigación está conformada por el conjunto de residuos orgánicos marinos que contienen compuestos ricos en calcio, específicamente las algas marinas *(Macrocystis pyrifera)* y los exoesqueletos de peces óseos (*Osteichthyes*), presentes en la costa de Lima. Estos materiales, habitualmente considerados subproductos del entorno marino y de las actividades pesqueras, representan una fuente potencialmente aprovechable para la obtención de compuestos cálcicos de valor industrial.

4.3.2. Muestra

La muestra utilizada en este estudio se seleccionó de manera intencionada, considerando criterios como accesibilidad, contenido estimado de calcio y estado de conservación. Está conformada por una cantidad determinada de algas marinas (Macrocystis pyrifera) recolectadas en zonas costeras del litoral limeño, y por residuos óseos de peces (Osteichthyes) obtenidos de centros de comercialización de productos marinos. Cada muestra fue conservada adecuadamente bajo condiciones controladas, para garantizar la homogeneidad de los ensayos y la validez de los resultados durante todo el proceso investigativo.

4.4.Procedimientos, Técnicas e Instrumentos de recolección de información

4.4.1. Reactivos, materiales y equipos

4.4.1.1.Reactivos

- Ácido acético (CH_3COOH), solución al 5-15% (v/v)
- Hidróxido de Sodio (NaOH), 1M (regular pH)
- Alcohol al 70%
- Agua destilada

4.4.1.2.Materiales y equipos:

- Balanza analítica (precisión mínima 0.01 g)
- Mortero de porcelana o molino para triturar
- Papel filtro
- Vaso de precipitado de 1L
- Varilla agitadora de vidrio
- Estufa de secado (60–80°C)
- Vidriería de laboratorio: vasos de precipitados, matraces, embudos, tubos de ensayo
- Agitador magnético con calefacción
- pH-metro o papel indicador de pH
- Crisol de porcelana
- Desecador
- Termómetro (hasta 200°C)
- Guantes, gafas de seguridad, mascarilla

4.4.2. Técnicas e Instrumentos de recolección de información:

Para obtener datos cuantitativos y cualitativos del proceso, se emplearon las siguientes técnicas:

- Observación estructurada: Se registraron visualmente los cambios durante cada fase del proceso, como la formación de precipitados o la aparición de burbujas indicativas de liberación de CO_2.
- Registro de datos experimentales: Cada ensayo fue documentado en hojas de laboratorio, incluyendo peso de muestras, volumen de reactivos y condiciones de tiempo/temperatura.
- Análisis fisicoquímico: Se realizaron pruebas de pH, punto de fusión y determinación del rendimiento final de acetato de calcio obtenido.

- Evaluación por espectroscopia.
- Instrumentos utilizados:
- Hojas de registro de laboratorio
- Termómetros digitales
- Cronómetro de laboratorio
- Balanza digital de precisión
- Potenciómetro (pH-metro)
- Horno de secado

4.4.3. Obtención de acetato de calcio a partir de organismos marinos

4.4.3.1.Procedimiento experimental:

El presente estudio experimental se llevó a cabo en un entorno controlado de laboratorio con el fin de obtener acetato de calcio a partir de una mezcla equitativa de algas marinas secas del tipo Macrocystis pyrifera y restos óseos de pescado (Osteichthyes). El procedimiento siguió una secuencia sistemática que incluyó etapas de tratamiento inicial, reacción química y recuperación del producto, bajo condiciones reproducibles.

4.4.3.2.Recolección de Materia Prima

Se realizó la recolección de 8 Kg de algas marinas (Macrocystis pyrifera) y 5 kg restos óseos de pescado (Osteichthyes) fue sometida a un lavado exhaustivo con agua potable para eliminar impurezas orgánicas, sal y/o partículas externas adheridas.

4.4.3.3.Secado

La materia prima fue sometida en una estufa a 60 °C durante 12 horas las algas marinas (Macrocystis pyrifera) y 72 horas los restos óseos de pescado (Osteichthyes). Una vez seco, el material fue triturado utilizando un molino de laboratorio hasta alcanzar una granulometría inferior a 2mm.

4.4.3.4.Saponificación.

Los exoesqueletos de pescado secos fueron sometidos al proceso de saponificación al 10 % m/v de NaOH. Llevando al proceso de ultrasonido a una temperatura de 60 a 80 °C por un periodo de 30 minutos.

4.4.3.5. Neutralización.

Los exoesqueletos de pescado saponificado están con pH altamente alcalino, el cual se realizó la neutralización con agua destilada hasta obtener un pH neutro. La finalidad el proceso es eliminar proteínas, grasas y otros residuos orgánicos.

4.4.3.6. Reacción con Ácido acético

La proporción utilizada fue determinada en la matriz experimental detallada con la metodología de Superficie de respuesta, el cual especifica la cantidad exacta de algas seca y exoesqueleto de pescado seco homogeneizados en un solo lote, con un total de 2 g de muestra.

Se procedió a mezclar 50 ml de ácido acético al 5,10 y 15 % v/v (preparado a partir de ácido acético glacial y agua destilada) con la muestra homogeneizada de 2g, fue sometida al proceso de ultrasonido a una temperatura de 60-70 y 80 °C durante 45 minutos. Esta condición favorece la liberación de iones calcio y su posterior reacción con el ácido acético para formar el acetato correspondiente y liberar el CO_2 presente. Enfriar a temperatura ambiente durante 15 minutos para facilitar la decantación parcial de los sólidos.

$$CaCO_3+2CH_3COOH \rightarrow (CH_3COO)_2Ca+CO_2+H2O$$

4.4.3.7. Filtración por Gravedad

El producto obtenido de la reacción fue recuperado mediante filtración por gravedad (recomendable precalentar ligeramente el embudo y papel filtro para evitar la cristalización prematura del acetato de calcio). El filtrado se recoge en un vaso de precipitados limpio o matraz Erlenmeyer de boca ancha de 50 ml. Este líquido es el que contiene el acetato de calcio en fase soluble. El residuo retenido en el papel filtro puede lavarse suavemente con pequeñas porciones

de agua destilada caliente (5 a 10 mL) para recuperar restos de producto soluble adherido al sólido. Este lavado debe añadirse al volumen del filtrado principal. Una vez filtrado, el líquido debe mantenerse en refrigeración o a temperatura ambiente controlada mientras se procede con la cristalización o análisis posterior.

4.4.3.8. Cristalización.

Para la cristalización, se evapora el líquido a temperatura baja (60-70°C) por un periodo de 60 minutos para inducir la cristalización del acetato de calcio, luego se enfría a temperatura ambiente durante 20 minutos y posterior a ello se mezcla con alcohol al 70% para acelerar la decantación de los sólidos y/o cristales.

4.4.3.9. Filtración por gravedad y Secado.

El producto precipitado se somete a filtración por gravedad y el sólido que se obtiene en el papel filtro es secado en estufa a 60°C durante 6 horas aproximadamente. Enfriar en un desecador y pesado.

4.4.4. Variables a medir por corrida experimental:

Cada corrida experimental tendrá como objetivo evaluar el rendimiento y calidad del acetato de calcio obtenido bajo diferentes combinaciones de proporción, temperatura y concentración de ácido.

4.4.4.1.Rendimiento de obtención de acetato de calcio (%)

Es el porcentaje de acetato de calcio obtenido en relación con la masa inicial de materia prima (algas más exoesqueleto).

Fórmula:

$$\text{Rendimiento } (\%) = \left(\frac{\textbf{Masa obtenida de acetato de calcio}}{\textbf{Masa inicial de materia prima}}\right)\boldsymbol{x}100$$

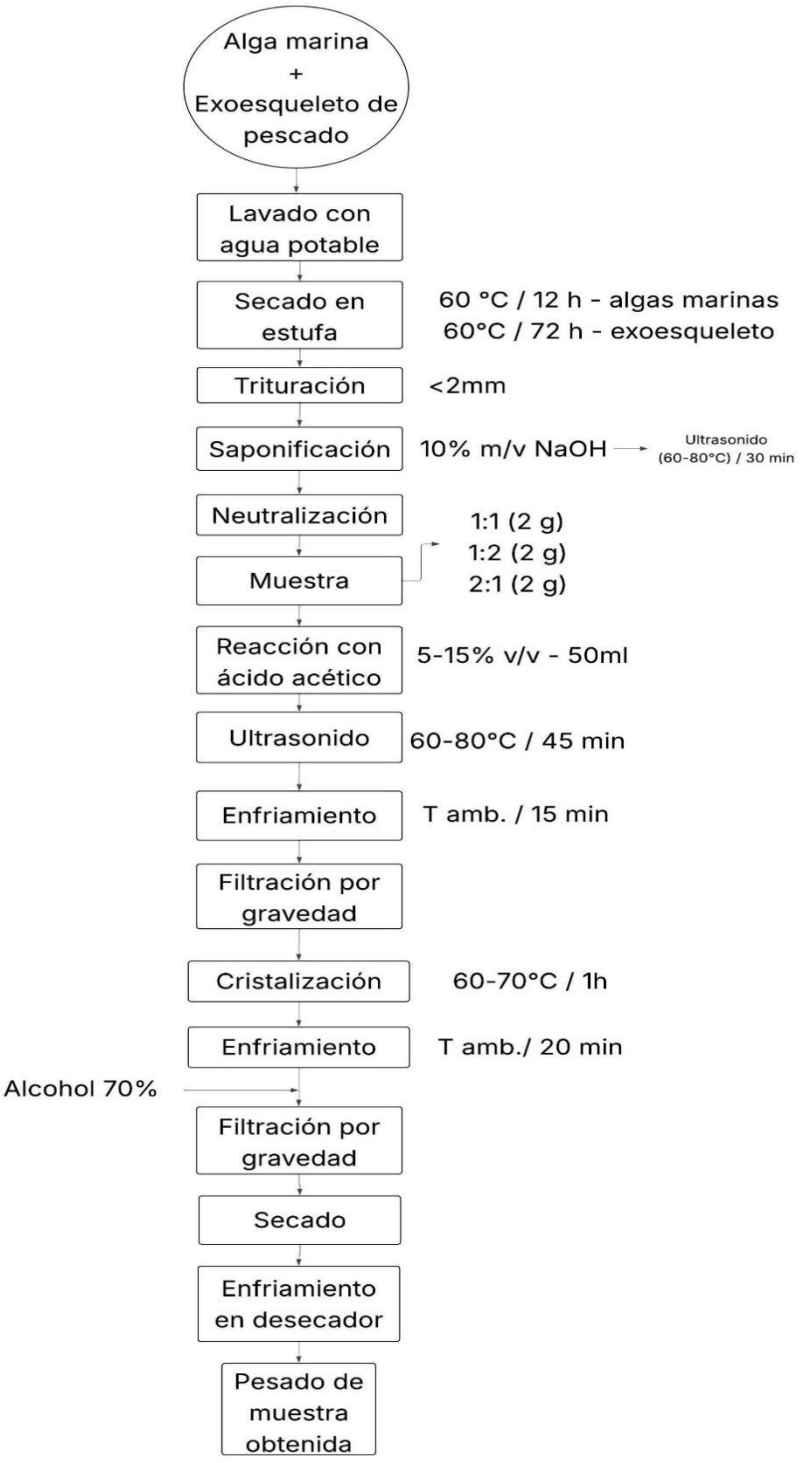
4.4.4.2.Pureza del producto

Es el nivel de pureza del acetato de calcio obtenido. Se determina mediante Espectroscopia por Absorción atómica (AAS). Esta técnica permitirá cuantificar el contenido de calcio en el acetato de calcio y confirmar que se ha alcanzado el nivel deseado de pureza.

4.4.4.3.Análisis fisicoquímico

Valor del pH después del proceso de reacción y filtrado. Un pH controlado garantiza que no queden residuos ácidos o básicos que alteren la estabilidad del compuesto.

4.4.5. Diagrama de bloques del proceso de obtención de acetato de calcio a partir de la mezcla de algas marinas y exoesqueleto de pescado.



Fuente: Elaboración propia

4.4.6. Caracterización del acetato de calcio obtenido.

Una vez culminada la síntesis del acetato de calcio y obtenidos los cristales tras el proceso de cristalización, se procede a su caracterización para determinar la concentración de calcio presente en la muestra, haciendo uso de la técnica instrumental de espectroscopia de absorción atómica (AAS). Esta metodología permite identificar de manera precisa el contenido metálico del compuesto, en este caso el ion calcio (Ca^{2+}), con el propósito de evaluar su pureza y confirmar la naturaleza del producto obtenido.

4.4.7. Preparación de la muestra

Los cristales secos y previamente triturados se pesan con precisión utilizando una balanza analítica. De cada muestra, se toma una porción de aproximadamente 0.5 g, que se disuelve cuidadosamente en 25 mL de ácido clorhídrico diluido al 0.1 M, asegurando una disolución total del compuesto. La solución obtenida se filtra, si fuera necesario, para eliminar posibles residuos no solubles, y se transfiere a un matraz aforado de 50 mL, completando con agua destilada hasta la marca de aforo. Esta solución representa la muestra lista para el análisis.

4.4.8. Configuración del equipo

Se emplea un espectrofotómetro de absorción atómica calibrado específicamente para la detección de calcio. La longitud de onda de trabajo seleccionada es de 422.7 nm, correspondiente al máximo de absorción del calcio. Antes de proceder con las mediciones, se calibra el equipo utilizando soluciones estándar de calcio en concentraciones conocidas (por ejemplo: 0, 2, 4, 6 y 8 mg/L), preparadas a partir de una solución patrón certificada.

4.4.9. Análisis de la muestra

La muestra se atomiza en la llama y se registra la absorbancia a la longitud de onda establecida. La lectura obtenida se compara con la curva de calibración previamente construida, permitiendo cuantificar con exactitud la concentración de calcio presente en la muestra analizada. Cada medición se realiza por triplicad*o* para asegurar la repetibilidad de los resultados y reducir el margen de error.

4.4.10. Cálculo de la pureza

Con la concentración de calcio obtenida, se calcula el porcentaje del elemento con respecto a la masa total de la muestra analizada. Este dato permite estimar el grado de pureza del acetato de calcio producido, comparando la cantidad de calcio experimental con la que teóricamente debería estar presente en un compuesto puro.

Este procedimiento resulta fundamental para validar la eficiencia del proceso experimental propuesto, además de ofrecer una herramienta confiable para verificar la calidad del producto en función de su aplicabilidad industrial.

4.4.11. Análisis estadístico

Con el propósito de evaluar la influencia de los factores experimentales sobre el rendimiento y la calidad del acetato de calcio obtenido rigurosamente, se aplicará el Análisis de Varianza (ANOVA), dentro del marco de la metodología de superficie de respuesta. Esta herramienta estadística permite establecer con claridad la significancia individual y combinada de las variables, y facilitar así la optimización del proceso de síntesis del compuesto.

El diseño experimental considera tres factores independientes: la proporción de materia prima (alga y exoesqueleto), la temperatura de reacción (°C) y la concentración del ácido acético (%). Cada uno de estos factores será evaluado en distintos niveles dentro de un Diseño Compuesto Central (Central Composite Design – CCD), el cual es ampliamente reconocido dentro de la RSM por su eficacia al modelar fenómenos de segundo orden y detectar posibles interacciones entre variables.

Se considerarán tres factores independientes: la proporción de materia prima (alga: exoesqueleto), la temperatura de reacción (°C), y la concentración de ácido acético (%). Estas variables serán evaluadas en diferentes niveles codificados ($-\alpha$, -1, 0, $+1$, $+\alpha$), con el fin de construir un modelo predictivo que permita identificar la combinación óptima de condiciones experimentales para maximizar la eficiencia del proceso. El diseño incluirá un total de 16 corridas experimentales, que comprenden puntos factoriales, axiales y réplicas en el punto central, asegurando la robustez estadística del análisis posterior.

En cada corrida se medirá el rendimiento de acetato de calcio (en gramos) como variable dependiente principal, complementado con análisis sobre la pureza del producto final y otras características fisicoquímicas relevantes. Estos resultados permitirán establecer correlaciones estadísticas con los factores manipulados.

El análisis de varianza se aplicará con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$). Los valores p generados permitirán determinar si los efectos observados son estadísticamente significativos. Si el valor p es menor a 0.05, se considerará que el factor en cuestión tiene un efecto significativo sobre la variable respuesta.

Los datos se procesarán empleando software estadístico especializado, y los resultados serán representados gráficamente mediante superficies de respuesta, las cuales facilitarán la identificación de la zona óptima del proceso para maximizar la eficiencia y calidad del producto final.

V. RESULTADOS

5.1. Presentación y análisis de los resultados

5.1.1. Condiciones del proceso de extracción

En el proceso de obtención de acetato de calcio se utilizaron la metodología de superficie de respuesta, dando un total de 16 corridas, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6 *Variables codificadas y niveles*

Variable	Código	Nivel -1	Nivel 0	Nivel +1	Valores axiales (α=1.682)
CH_3COOH (%v/v)	A	5%	10%	15%	2.2% (-α) y 17.8% (+α)
Proporción alga:exoesqueleto	B	1:2	1:1	2:1	0.3:1 (-α) y 3.7:1(+α)
Temperatura (°C)	C	60	70	80	53.2 (-α) y 86.8 (+α)

Tabla 7 *Condiciones del proceso de Reacción*

Corridas	**Peso de Alga seca (g)**	**Peso de exoesqueleto seco(g)**	**Peso de muestra seca (Alga y exoesqueleto) (g)**	**50 ml de %v/v de CH_3COOH**	**Temperatura de Operación**
1	0.67	1.33	2	5%	60°C
2	0.67	1.33	2	15%	60°C
3	1.33	0.67	2	5%	60°C
4	1.33	0.67	2	15%	60°C
5	0.67	1.33	2	5%	80°C
6	0.67	1.33	2	15%	80°C
7	1.33	0.67	2	5%	80°C
8	1.33	0.67	2	15%	80°C
9	1.0	1.0	2	2.2%	70°C
10	1.0	1.0	2	17.8%	70°C
11	0.46	1.54	2	10%	70°C
12	1.57	0.43	2	10%	70°C
13	1.0	1.0	2	10%	53.2 °C
14	1.0	1.0	2	10%	86.8 °C
15	1.0	1.0	2	10%	70°C
16	1.0	1.0	2	10%	70°C

Tabla 8 *Matriz experimental detallada con la metodología de Superficie de respuesta.*

Experimento	A(CH3COOH)	B(Proporción)	C(Temperatura)	Tipo de Punto	Valoresreales(CH3COOH/Proporción/Temp)
1	-1 (5%)	-1 (1:2)	-1 (60°C)	Factorial	5% / 1:2 / 60°C
2	+1 (15%)	-1 (1:2)	-1 (60°C)	Factorial	15% / 1:2 / 60°C
3	-1 (5%)	+1 (2:1)	-1 (60°C)	Factorial	5% / 2:1 / 60°C
4	+1 (15%)	+1 (2:1)	-1 (60°C)	Factorial	15% / 2:1 / 60°C
5	-1 (5%)	-1 (1:2)	+1 (80°C)	Factorial	5% / 1:2 / 80°C
6	+1 (15%)	-1 (1:2)	+1 (80°C)	Factorial	15% / 1:2 / 80°C
7	-1 (5%)	+1 (2:1)	+1 (80°C)	Factorial	5% / 2:1 / 80°C
8	+1 (15%)	+1 (2:1)	+1 (80°C)	Factorial	15% / 2:1 / 80°C
9	-α (2.2%)	0 (1:1)	0 (70°C)	Axial (A)	2.2% / 1:1 / 70°C
10	+α (17.8%)	0 (1:1)	0 (70°C)	Axial (A)	17.8% / 1:1 / 70°C
11	0 (10%)	-α (0.3: 1)	0 (70°C)	Axial (B)	10% / 0.3:1 / 70°C
12	0 (10%)	+α (3.7:1)	0 (70°C)	Axial (B)	10% / 3.7:1 / 70°C
13	0 (10%)	0 (1:1)	-α (53.2 °C)	Axial (C)	10% / 1:1 / 53.2°C
14	0 (10%)	0 (1:1)	+α (86.8 °C)	Axial (C)	10% / 1:1 / 86.8°C
15	0 (10%)	0 (1:1)	0 (70°C)	Central	10% / 1:1 / 70°C
16	0 (10%)	0 (1:1)	0 (70°C)	Central	10% / 1:1 / 70°C

5.1.2. Peso final y rendimiento de obtención de acetato de calcio (%)

Es el porcentaje de acetato de calcio obtenido en relación con la masa inicial de materia prima (algas más exoesqueleto).

Fórmula:

$$\text{Rendimiento } (\%) = \left(\frac{\textit{Masa obtenida de acetato de calcio}}{\textit{Masa inicial de materia prima}}\right) x 100$$

Tabla 9 Pesos finales y rendimiento de acetato de calcio obtenido para cada corrida realizada en porcentaje (%).

Corridas	50 ml de %v/v de CH3COOH	Temperatura de Operación	Peso de Alga seca (g)	Peso de exoesqueleto seco(g)	Peso de muestra seca (Alga y exoesqueleto) (g)	Peso final obtenido en cada corrida	Rendimiento (%)
1	5%	60°C	0.67	1.33	2	0.0951	4.8
2	15%	60°C	0.67	1.33	2	0.3209	16.0
3	5%	60°C	1.33	0.67	2	0.1396	7.0
4	15%	60°C	1.33	0.67	2	0.0098	0.5
5	5%	80°C	0.67	1.33	2	0.3469	17.3
6	15%	80°C	0.67	1.33	2	0.1818	9.1
7	5%	80°C	1.33	0.67	2	0.0095	0.5
8	15%	80°C	1.33	0.67	2	0.0107	0.5
9	2.2%	70°C	1.0	1.0	2	0.3266	16.3
10	17.8%	70°C	1.0	1.0	2	0.0218	1.1
11	10%	70°C	0.46	1.54	2	0.4167	20.8
12	10%	70°C	1.57	0.43	2	0.0725	3.6
13	10%	53.2 °C	1.0	1.0	2	0.1012	5.1
14	10%	86.8 °C	1.0	1.0	2	0.1341	6.7
15	10%	70°C	1.0	1.0	2	0.1014	5.1
16	10%	70°C	1.0	1.0	2	0.0195	1.0

5.1.3. Análisis del rendimiento experimental

A lo largo de las 16 corridas experimentales planteadas bajo un diseño de superficie de respuesta, se evaluó la influencia de tres variables independientes: concentración de ácido acético (% v/v), temperatura de reacción (°C) y proporción alga/exoesqueleto. En cada corrida se mantuvo constante el peso total de biomasa seca (2 g), combinando algas *Macrocystis pyrifera* y exoesqueleto de pescado en diferentes proporciones, según la planificación.

El rendimiento se calculó como el porcentaje de masa sólida obtenida respecto a la masa inicial utilizada, considerando como producto final el residuo sólido seco tras el proceso de reacción y filtración.

Se observaron comportamientos no lineales en el rendimiento, destacando algunos puntos de mayor eficacia, como la corrida 11 (rendimiento del 20.8%) bajo condiciones de 10% de ácido acético, 70 °C y mayor proporción de exoesqueleto. Esta tendencia sugiere una influencia significativa de la concentración de ácido y de la proporción de calcio potencial en la biomasa de partida sobre la conversión efectiva al producto objetivo.

En contraposición, múltiples corridas (4, 7, 8 y 10) arrojaron rendimientos bajos (< 1.5%), lo que podría atribuirse a reacciones incompletas, pérdida de material soluble no precipitado, o formación deficiente del acetato de calcio en condiciones no óptimas.

Estos resultados permitirán correlacionar cuantitativamente las variables experimentales con el rendimiento, utilizando técnicas de análisis estadístico como el ANOVA y modelos de superficie de respuesta.

Una vez obtenidas las muestras secas, y considerando las variaciones significativas de rendimiento observadas entre corridas, se procedió a la preparación de

alícuotas para el análisis de concentración de calcio mediante espectroscopia de absorción atómica (AAS). Esta técnica fue seleccionada por su alta sensibilidad, especificidad para metales y capacidad de detección en niveles traza, siendo ideal para confirmar la presencia y cuantificar la cantidad real de calcio efectivamente incorporado en el producto final.

5.1.4. Análisis por espectroscopía de absorción atómica (AAS)

Una vez culminadas las 16 corridas experimentales propuestas en el diseño, se procedió a analizar el contenido de calcio presente en las muestras sólidas recolectadas. Para ello, se seleccionaron doce muestras que presentaban producto recuperable suficiente y homogéneo. Estas fueron sometidas a análisis instrumental mediante espectroscopía de absorción atómica (AAS), utilizando como parámetro de detección la línea espectral correspondiente al calcio (422.7 nm), con el objetivo de corroborar la presencia del ion metálico característico del compuesto sintetizado: acetato de calcio.

Las muestras fueron preparadas bajo dilución estándar (1:5) y todas se analizaron bajo iguales condiciones de volumen final y factor de corrección, lo cual permitió estandarizar los resultados obtenidos. La concentración de calcio fue expresada en términos porcentuales respecto al peso del sólido seco obtenido en cada corrida.

Los resultados mostraron una variabilidad notable en el contenido de calcio entre las diferentes muestras analizadas. Los valores oscilaron desde un mínimo de 0.18 % hasta un máximo de 2.42 %, con una tendencia general a obtener mayores concentraciones en aquellas muestras que, durante el proceso experimental, habían registrado también mayores rendimientos gravimétricos. Esto podría indicar una posible correlación positiva entre la eficiencia de reacción y la cantidad de calcio incorporado al producto final.

De manera particular, se observó que las muestras con menor peso no necesariamente contenían menos calcio, lo que sugiere que la eficiencia del proceso no está determinada únicamente por la cantidad de biomasa transformada, sino por factores interdependientes como la concentración de ácido, la temperatura de reacción y la relación de materia prima empleada. Este comportamiento será abordado en el análisis estadístico posterior, en el que se evaluará el efecto individual y combinado de las variables experimentales sobre el contenido de calcio.

Tabla 10 *Calcio obtenido para cada corrida (%) como resultado del análisis por absorción atómica.*

Corridas	50 ml de %v/v de CH_3COOH	Temperatura de Operación	Peso de Alga seca (g)	Peso de exoesqueleto seco(g)	Calcio (%)
1	5%	60°C	0.67	1.33	1.39
2	15%	60°C	0.67	1.33	0.81
3	5%	60°C	1.33	0.67	1.33
4	15%	60°C	1.33	0.67	-
5	5%	80°C	0.67	1.33	0.18
6	15%	80°C	0.67	1.33	1
7	5%	80°C	1.33	0.67	-
8	15%	80°C	1.33	0.67	-
9	2.2%	70°C	1.0	1.0	1.18
10	17.8%	70°C	1.0	1.0	-
11	10%	70°C	0.46	1.54	1.58
12	10%	70°C	1.57	0.43	2.41
13	10%	53.2 °C	1.0	1.0	2.11
14	10%	86.8 °C	1.0	1.0	2.2
15	10%	70°C	1.0	1.0	2.13
16	10%	70°C	1.0	1.0	2.42

5.2.Análisis estadístico

5.2.1. Análisis de varianza (ANOVA) con un factor:

Si bien el diseño experimental empleado en esta investigación fue estructurado bajo la metodología de superficie de respuesta (RSM), con el fin de estudiar simultáneamente los efectos combinados de la concentración de ácido acético, la proporción entre Algas marinas (*Macrocystis pyrifera)* y exoesqueleto de pescado, y la temperatura de operación sobre la extracción de calcio, el modelo estadístico cuadrático ajustado no logró alcanzar significancia estadística global ni capacidad predictiva confiable. Esta situación, sumada a la posible presencia de multicolinealidad entre los factores, condujo a la necesidad de explorar una estrategia alternativa de análisis.

En este contexto, se optó por aplicar un análisis de varianza (ANOVA) un factorial para cada una de las variables independientes, evaluando su efecto de manera aislada sobre la variable de respuesta: el porcentaje de calcio obtenido en las diferentes corridas. Esta decisión metodológica no busca reemplazar el enfoque multifactorial del diseño central compuesto, sino complementarlo, permitiendo identificar si alguno de los factores evaluados presenta por sí solo una influencia significativa sobre el proceso.

Este análisis individual por factor permite observar, con mayor claridad y sin la interferencia de interacciones complejas, cómo varía la eficiencia de extracción de calcio en función de cada parámetro experimental por separado. Asimismo, brinda una base más sólida para la discusión de resultados y para la formulación de futuras recomendaciones experimentales que podrían priorizar la modificación de ciertos factores sobre otros.

A continuación, se presenta el análisis estadístico por separado de los tres factores considerados: concentración de ácido acético (A), proporción alga/exoesqueleto (B) y

temperatura de operación (C), cada uno acompañado de su respectiva interpretación estadística y visual.

5.2.1.1. Análisis ANOVA – Factor Ácido Acético:

Con el objetivo de evaluar de manera aislada el efecto de la concentración de ácido acético sobre el porcentaje de calcio extraído, se aplicó un análisis de varianza de un solo factor (ANOVA). Para ello, se consideraron cinco niveles de concentración (% v/v): 2.2 %, 5 %, 10 %, 15 % y 17.8 %, presentes en las diferentes corridas experimentales del diseño.

En la Tabla 11, se muestran los resultados del ANOVA y se observa que el Valor de P es menor al valor de significancia $\alpha = 0.05$. Por lo cual se rechaza la hipótesis nula H0. Esto indica que hay evidencia para afirmar que existen diferencias significativas en la concentración de ácido acético evaluados sobre el % de calcio extraído.

Tabla 11 *Análisis de varianza*

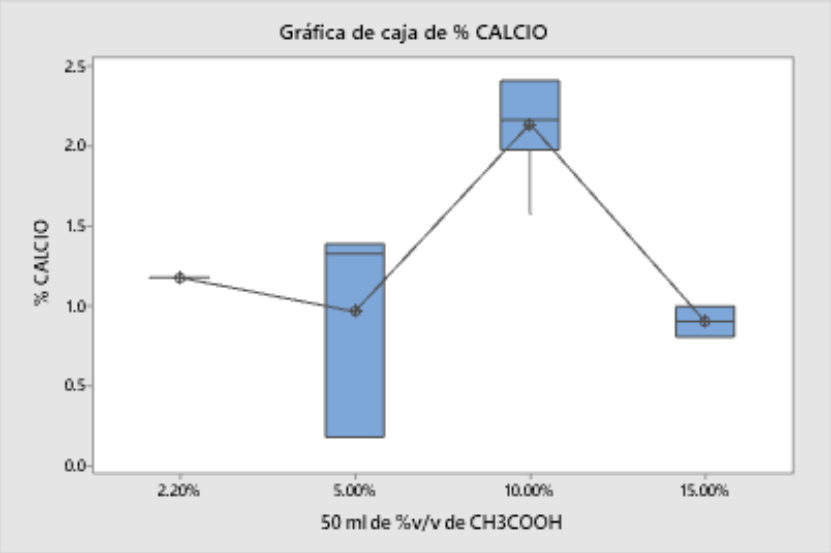
Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
50 ml de %v/v de CH3COOH	3	4.089	1.3629	7.69	0.010
Error	8	1.418	0.1772		
Total	11	5.506			

Fuente: Elaborado en Minitab

Figura 10.

Grafica de caja

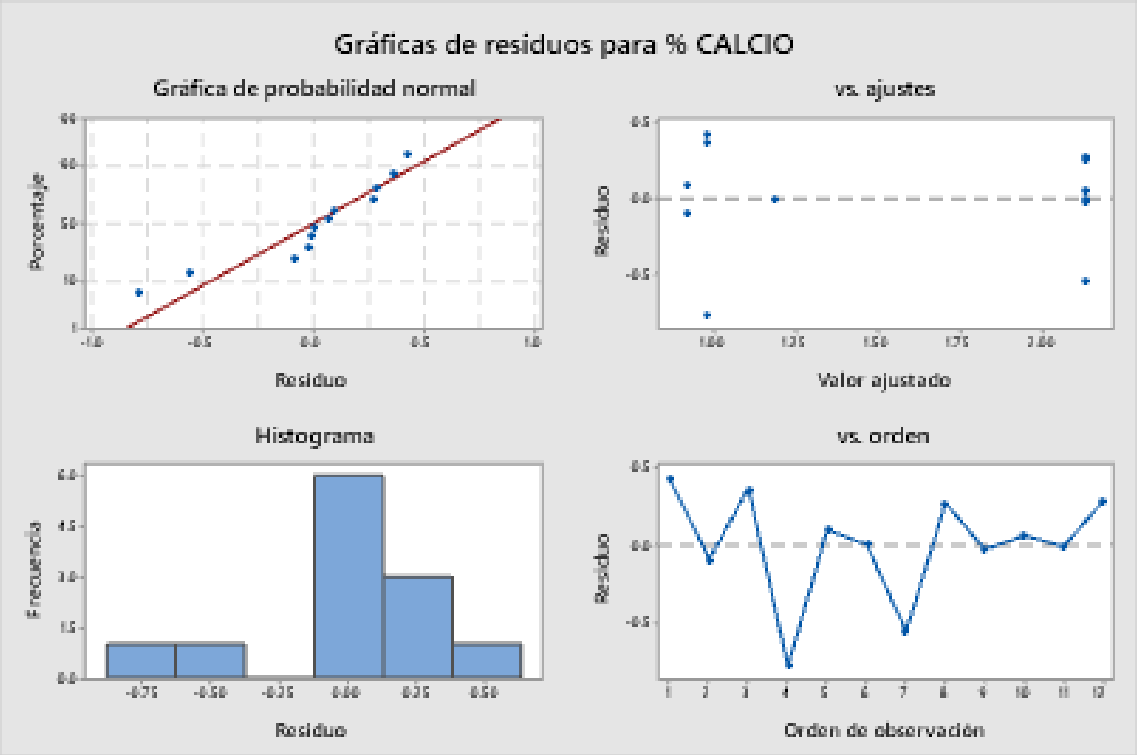


Fuente: Elaborado en Minitab

Al analizar la gráfica de caja correspondiente al porcentaje de calcio extraído para cada concentración de ácido acético, se evidencia que la mayor eficiencia en la extracción se alcanzó al emplear una concentración de 10% v/v de CH_3COOH. En este nivel, el valor medio de extracción de calcio fue superior al observado en las demás concentraciones evaluadas. Por otro lado, tanto las concentraciones más bajas (2.2% y 5%) como la más alta (15%) presentaron porcentajes de extracción significativamente menores, lo que sugiere la existencia de un punto óptimo en torno al 10% v/v para maximizar la recuperación de calcio. Además, la dispersión de los datos fue más notoria en el grupo de 5%, mientras que los grupos de 2.2% y 15% mostraron una menor variabilidad.

Figura 11.

Grafica de residuos para %Calcio



Fuente: Elaborado en Minitab

El análisis de los residuos confirma que se cumplen los principales supuestos del modelo ANOVA. La gráfica de probabilidad normal y el histograma de residuos muestran una distribución cercana a la normalidad. Asimismo, la dispersión de los residuos frente a los valores ajustados no evidencia patrones sistemáticos, lo que respalda la homogeneidad de varianzas en los diferentes grupos. Finalmente, la ausencia de tendencias en la gráfica de residuos versus el orden de observación indica que no existe autocorrelación. Estos resultados validan la aplicación del ANOVA de un factor para analizar el efecto de la concentración de ácido acético sobre el porcentaje de calcio extraído.

5.2.1.2.Análisis ANOVA – Factor Proporción Alga: Exoesqueleto:

Posteriormente, se procedió a analizar de forma individual el efecto de la proporción entre Macrocystis pyrifera y exoesqueleto de pescado sobre la extracción de calcio. Para ello, se construyó una variable derivada a partir del cociente entre el peso seco del alga y el peso seco del exoesqueleto utilizado en cada corrida. Las proporciones variaron en un rango comprendido entre 0.3:1 y 3.7:1.

En la tabla 12. El análisis de varianza indicó que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los niveles evaluados de esta proporción (valor p > 0.05).

Tabla 12 . *Análisis de varianza*

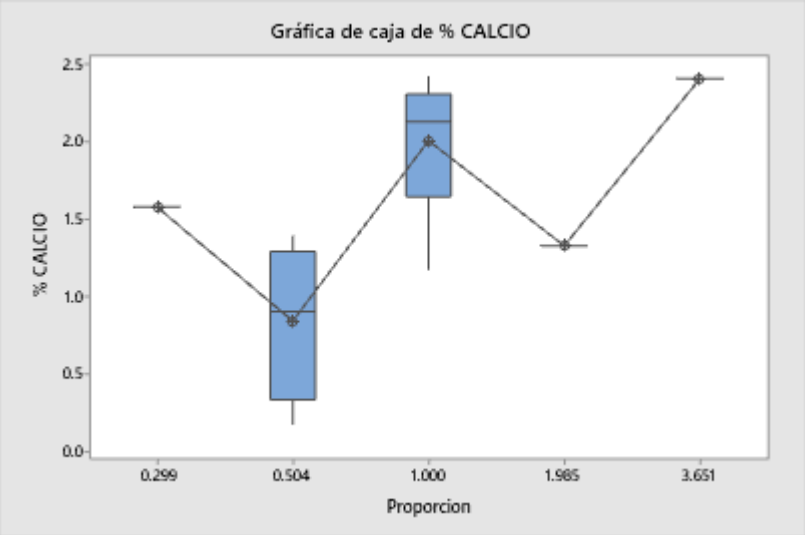
Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Proporcion	4	3.824	0.9560	3.98	0.054
Error	7	1.682	0.2403		
Total	11	5.506			

Fuente: Elaborado en Minitab

Figura 12.

Grafica de caja

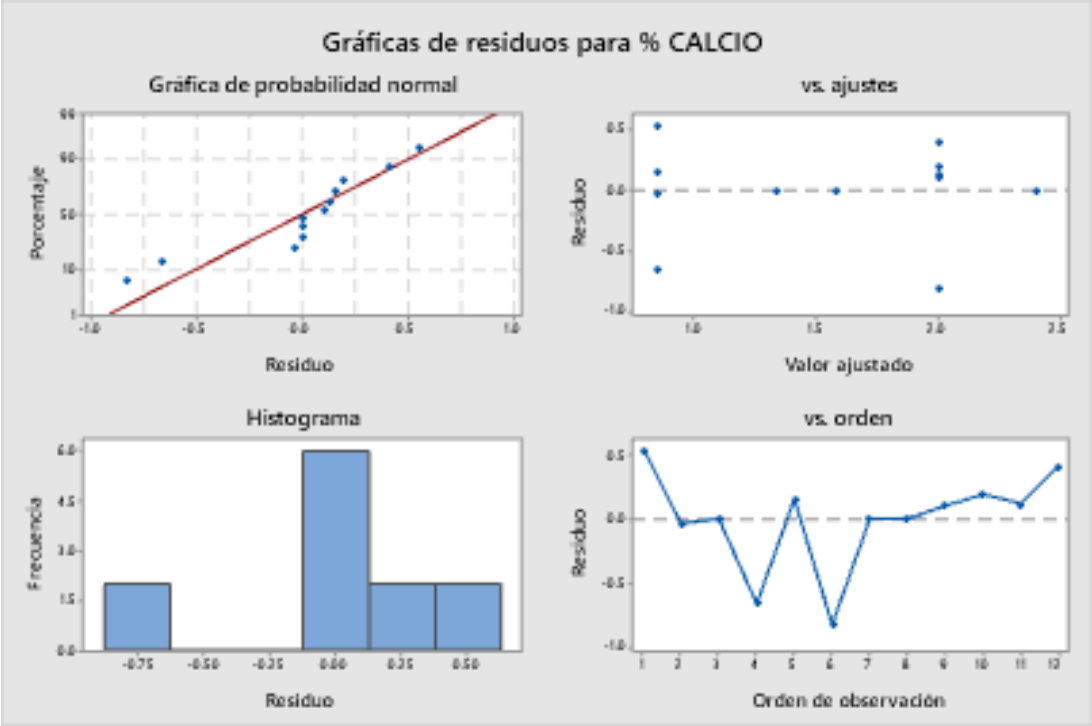


Fuente: Elaborado en Minitab

La gráfica de caja apoyó esta interpretación visualmente: si bien los grupos no mostraron separaciones drásticas en sus medianas, se evidenció cierta variabilidad entre niveles específicos, especialmente en proporciones cercanas al equilibrio (1:1), donde se alcanzaron valores más elevados de % de calcio. Esto sugiere que una proporción balanceada entre alga y exoesqueleto podría favorecer la interacción química del sistema y, por tanto, mejorar el rendimiento del proceso.

Figura 13.

Grafica de residuos para %Calcio



Fuente: Elaborado en Minitab

Este resultado sugiere que, dentro de los márgenes evaluados, la proporción relativa entre ambas fuentes biocálcicas no determinó por sí sola una mejora o disminución sustancial en la eficiencia de extracción, lo que podría explicarse por la naturaleza química similar de ambos sustratos o por la intervención simultánea de otras variables como la acidez del medio o la temperatura.

Por lo tanto, si bien este factor es relevante desde el punto de vista composicional, su impacto aislado sobre la respuesta del sistema parece ser limitado, y solo podría manifestarse con mayor claridad en presencia de condiciones específicas de sinergia con otras variables.

5.2.1.3.Análisis ANOVA – Factor Temperatura:

Finalmente, se evaluó la influencia individual de la temperatura de operación sobre el porcentaje de calcio extraído, considerando cinco niveles experimentales: 53.2 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C y 86.8 °C. Esta variable es especialmente relevante, dado que afecta tanto la cinética de disolución de los compuestos cálcicos como la descomposición térmica de posibles interferentes

El ANOVA de un solo factor reveló que las diferencias entre los niveles de temperatura no fueron estadísticamente significativas (valor p > 0.05). Esta conclusión fue respaldada por la gráfica de caja, en la cual las medianas de los grupos se encontraron relativamente próximas entre sí, y no se observó una tendencia ascendente o descendente clara que asociara mayores temperaturas con mayores porcentajes de extracción.

Tabla 13 *Análisis de varianza*

Análisis de Varianza

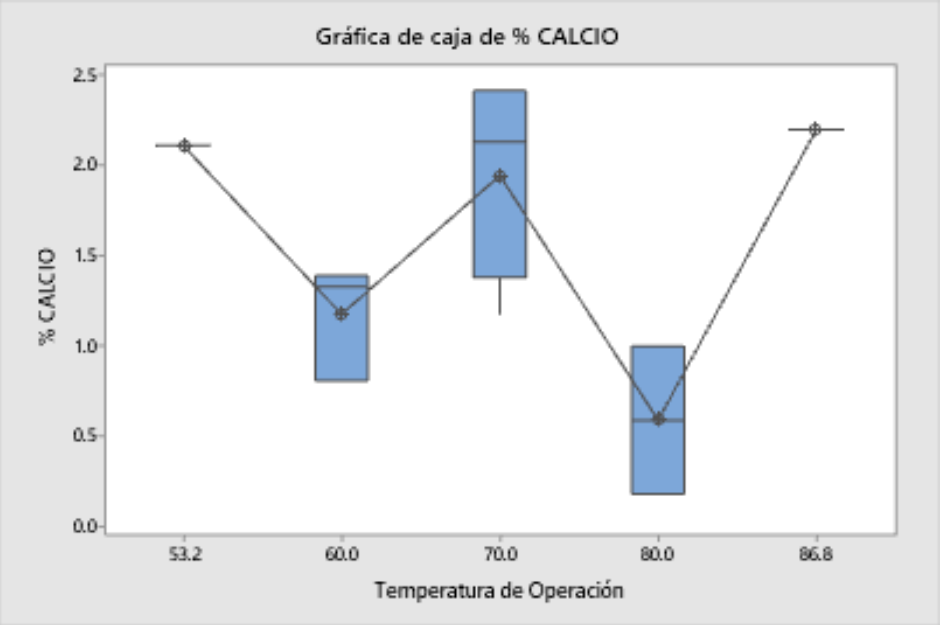
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura de Operación	4	3.772	0.9430	3.81	0.060
Error	7	1.734	0.2477		
Total	11	5.506			

Fuente. Elaborado en Minitab

Si bien cabría esperar que el aumento de la temperatura favoreciera el proceso, los resultados sugieren que el sistema podría estar alcanzando un umbral térmico óptimo dentro de un intervalo estrecho, más allá del cual no se obtienen beneficios adicionales, o incluso se producen efectos adversos. Alternativamente, este comportamiento podría deberse a que el efecto de la temperatura está parcialmente enmascarado por la influencia de otras variables no consideradas en este análisis unifactorial.

Figura 14.

Grafica de caja



Fuente: Elaborado en Minitab

Específicamente, la temperatura de 70 °C presentó la mediana más alta de % de calcio extraído, lo que sugiere que este nivel podría representar un punto de equilibrio térmico óptimo para el proceso. A medida que la temperatura se incrementa desde 53.2 °C hasta 70 °C, el rendimiento mejora progresivamente; sin embargo, al alcanzar los 80 °C, el % de calcio desciende abruptamente (alrededor de 0.5 %), para luego volver a aumentar a 86.8 °C. Este comportamiento no lineal sugiere la posible existencia de múltiples fenómenos en competencia, como la desestabilización térmica de componentes, cambios en la viscosidad del medio o interacciones con otros factores no evaluados en este análisis unifactorial.

Figura 15.

Grafica de residuos para %Calcio



Fuente: Elaborado en Minitab

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente estudio se desarrolló con el objetivo de diseñar un proceso experimental para la obtención de acetato de calcio a partir de una mezcla de biomasa natural: el alga parda Macrocystis pyrifera y el exoesqueleto de pescado (Osteichthyes), ambos residuos marinos abundantes en la región costera de Lima. Se implementó un diseño de superficie de respuesta (RSM) con 16 corridas experimentales, considerando como factores la concentración de ácido acético (% v/v), la proporción alga : exoesqueleto y la temperatura de operación. La variable de respuesta principal fue el porcentaje de calcio extraído, complementada por el cálculo del rendimiento porcentual de producto sólido obtenido en cada ensayo.

El análisis estadístico mediante ANOVA unifactorial evidenció que la concentración de ácido acético tuvo un efecto significativo ($p = 0.010$) sobre la eficiencia del proceso, lo cual se reflejó también en los rendimientos más altos de los ensayos con 10–15 % v/v de ácido. En particular, la corrida 11 (10 % ácido, 70 °C, relación alga:exoesqueleto de 0.46:1.54) registró el rendimiento más elevado (20.8 %), mientras que las condiciones extremas o desbalanceadas, como las de mayor concentración (17.8 %) o proporciones muy alejadas del equilibrio, condujeron a valores mínimos (por debajo del 1.5 % en varias corridas).

Los factores proporción y temperatura mostraron valores-p marginalmente significativos (0.054 y 0.060, respectivamente), lo que indica que su influencia, si bien no concluyente bajo criterios estadísticos estrictos, apunta a comportamientos que podrían optimizarse. Se observó que las mejores combinaciones en términos de rendimiento se dieron en condiciones moderadas: proporciones cercanas al equilibrio (1:1), y temperaturas alrededor de 70 °C, donde no solo se alcanzaron mayores % de calcio, sino también mayores masas de producto recuperado.

En conjunto, estos resultados permiten identificar un patrón técnico claro: ni las condiciones más agresivas (altas temperaturas o altas concentraciones de ácido), ni las más diluidas ofrecen ventajas significativas. Al contrario, los datos sugieren que una sinergia balanceada entre concentración, temperatura y proporción biomásica maximiza tanto el % de calcio como el rendimiento en masa, lo que resulta clave para la viabilidad técnica del proceso.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.Conclusiones

Se diseñó e implementó un proceso experimental para obtener acetato de calcio a partir de residuos marinos (Macrocystis pyrifera y exoesqueleto de pescado), empleando un diseño de superficie de respuesta con 16 corridas experimentales.

La concentración de ácido acético tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p = 0.010$) sobre el porcentaje de calcio extraído, siendo el factor más determinante del estudio. A concentraciones intermedias (10–15 %), se alcanzaron los mejores resultados tanto en eficiencia como en rendimiento.

La proporción alga : exoesqueleto y la temperatura mostraron tendencias marginalmente significativas ($p \approx 0.05$), lo que sugiere que su adecuada combinación mejora el comportamiento global del sistema, especialmente en condiciones cercanas a 1:1 y temperaturas de 70 °C.

El análisis de rendimiento porcentual indicó que la mayor recuperación de producto sólido (20.8 %) se obtuvo en la corrida 11, bajo condiciones moderadas. En contraste, condiciones extremas o desbalanceadas generaron rendimientos muy bajos (< 1.5 %), confirmando la necesidad de operar dentro de intervalos óptimos.

El proceso evaluado demuestra ser técnica y ambientalmente viable para la valorización de residuos biocálcicos, aportando conocimiento útil para futuras aplicaciones en escalas piloto o industriales.

7.2.Recomendaciones

Ampliar el número de réplicas en condiciones óptimas identificadas (10 % ácido, 70 °C, proporción 1:1 o cercana), para confirmar la reproducibilidad del mayor rendimiento observado.

Evaluar el impacto de la materia prima en distintas temporadas (ej. biomasa seca vs. fresca), para observar variaciones en rendimiento y reproducibilidad.

Explorar el pretratamiento de las biomasas con métodos físicos (triturado, secado controlado) o enzimáticos, como estrategia para mejorar la disolución del calcio y aumentar la eficiencia global del proceso.

Evaluar otros ácidos orgánicos (como ácido cítrico o láctico) para comparar su eficacia frente al ácido acético en términos de eficiencia de extracción y sostenibilidad ambiental.

Incluir variables de respuesta complementarias, como pureza del producto final, rendimiento de cristalización o eficiencia energética del proceso, para una caracterización más integral.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Alum, BN (2024). Proceso de saponificación y química del jabón. INOSR Applied Science , 12 (2), 51–56. https://doi.org/10.59298/inosras/2024/12.2.515600.

Arratia, G. (2019). *Osteíctios o peces óseos* . Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12082-2

ÁVILA M, ALVEAL K, ROMO H (1982). Comunidades de algas epífitas de Macrocystis pyrifera de Isla Navarino, Chile. Gayana Botánica 38: 3-16

ÁVILA M, MERINO C, GUISSEN K y PIEL MI (2010). Manual de cultivo de macroalgas pardas. Desde el Laboratorio al océano. Universidad Arturo Prat 33 p.

Badui Degal, S. (2013), Química de los Alimentos. https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf

BECHELER R, HAVERBECK D, CLERC C, MONTECINOS G, VALERO M, MANSILLA A y FAUGERON S (2022). Variation in Thermal Tolerance of the Giant Kelp's Gametophytes: Suitability of Habitat, Population Quality or Local Adaptation Frontiers in Marine Science, 2022, vol. 9, p. 802535.

Bojorges H., Lopez A., Martinez A., Fabra M., (2023) Overview of alginate extraction processes: Impact on alginate molecular structure and techno-functional properties. Trends in Food Science & Technology. Volume 140, 104142. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104142

Cao, R., Tang, P., Yang, X. y Sun, Z. (2022). Estudio basado en DFT sobre la interacción molecular del ácido clorhídrico con diferentes extractantes. Journal of Molecular Liquids. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119108 .

CÁRDENAS RODRÍGUEZ, F. G. (2016). Lixiviación de la dolomita y la obtención de un fertilizante liquido de acetato de calcio de la mina "don Ricardo" Ocucaje Ica, 2016 [tesis desarrollada para optar el grado de maestro en investigación y docencia universitaria].

Consejo de Administración de COPE. Posición de COPE: Términos prohibidos en publicaciones académicas y restricciones a las actividades de los investigadores. https://doi.org/10.24318/cBYZobZLtz

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec). (2019). Código Nacional de la Integridad Científica. https://repositorio.concytec.gob.pe/entities/publication/afeaa974-5cfb-4474-b423-465a6074e818

Diesel, J., Molano, G., Montecinos, GJ, DeWeese, K., Calhoun, S., Kuo, A., Lipzen, A., Salamov, A., Grigoriev, IV, Reed, DC, Miller, RJ, Nuzhdin, SV y Alberto, F. (2023). Un genoma de referencia estructurado y anotado de algas gigantes (Macrocystis pyrifera). *BMC Genomics* , *24* , 1–13. https://doi.org/10.1186/s12864-023-09658-x

Fragoso D., Ramirez F., Rodriguez A., Hernandez R., Heredia A., Rodriguez D., Aguilar M., Bucio L., Basiuk V., (2009). Caracterización del biomineral CaCO3 en algas rojas coralinas (Corallinales) de las costas del Pacífico mexicano. Ciencias Marinas Vol 36. No1. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802010000100005

Garson, M. J. (2019). Biosynthetic studies on marine natural products. Natural Product Reports, 6(2), 143-170.

Holechek, MJ (1991). Revisión de medicamentos: un quelante de fosfato alternativo: acetato de calcio. Revista de la Asociación Americana de Enfermeras de Nefrología , 18 (3), 321–322. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2064459/

Hoque, MA, e Islam, MH (sf). Implementación de acetato de calcio extraído de cáscara de huevo en la biocementación mediante ureasa de soja. E3S Web of Conferences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343402006

Jativa, J. (2024). DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE CALCIO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE HUEVO. Trabajo de Integración Curricular, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jiang, H., Zhao, L., Lyu, C., Lu, J., Zhang, P. y Fang, F. (2019). *Composición farmacéutica de acetato de calcio, método de preparación y aplicación*.

Kusumaningrum, I., Sutono, D. y Pamungkas, B. (2016). PEMANFAATAN TULANG IKAN BELIDA SEBAGAI TEPUNG SUMBER KALSIUM DENGAN METODE ALKALI Recuperación del subproducto de espina de pescado Belida como un polvo rico en calcio mediante el método Alcali . https://journal.ipb.ac.id/index.php/jphpi/article/download/13460/10104

Lee H., Jung N., Park S., Song S., Kang S., Kim J., Heu M., (2015). Characteristics and Preparation of Calcium Acetate from Butter Clam (Saxidomus purpuratus) Shell Powder by Response Surface Methodology. J Korean Soc Food Sci Nutr 44(6), 888-895. http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2015.44.6.888

Liu, Y., Jiang, W., Hu, S., & Li, S. (2019). Method for producing calcium acetate by using mussel shells. https://scispace.com/papers/method-for-producing-calcium-acetate-by-using-mussel-shells-3h1rhsqkc3

Ministerio de Salud del Perú. (2011). Compendio de normativa ética para uso por los comités de ética en investigación. https://www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/321037-compendio-de-normativa-etica-para-uso-por-los-comites-de-etica-en-investigacion

Muñoz, E. (2014). Fertilizante que incluye acetate de calcio con utilidad para incrementar el contenido de calcio en vegetales. Publicación de invensión. https://patents.google.com/patent/WO2015190905A1/es

Murphy J., Morgan M., Robinson S., Fitzgerald M., Kerton F., (2024). Optimised Process to Produce Calcium Acetate from Waste Blue Mussel Shells and its Use as a De-icer. Departamentode Química, Memorial Universidadersity de Terranova.https://www.researchgate.net/publication/387822551_Optimised_Process_to_Produce_Calcium_Acetate_from_Waste_Blue_Mussel_Shells_and_its_Use_as_a_De-icer

Mutsuo, M., Kaoru, O., y Hideo, A. (2014). Dispositivo de reacción ultrasónica . https://papers/ultrasonic-reaction-device-4ui66agax5

Pahune R., Jaiswal V., Tekade O., Kale V., Umekar M., (2024). Sustainable Sources and Extraction Methods of Calcium for Expanding Dietary Supplement Sector. Journal of Chemical Health Risks 14(3), 461-473. https://jchr.org/index.php/JCHR/article/download/4413/2895/8221

PALACIOS M y MANSILLA A (2003) Desarrollo de Gametófitos y Esporófitos de Macrocystis Pyrifera (L.) Agardh (Laminariales: Lessoniaceae) de la Región de Magallanes en condiciones de Laboratorio. Anales del Instituto de la Patagonia 31:43-53.

PERU LNG. (2024). *Guía de identificación de peces*. [Archivo PDF]. https://perulng.com/wp-content/uploads/2024/02/Guia_identificacion_peces.pdf

Piotrowicz Z., Tabisz L., Leska B., (2019). MATERIAL BALANCE FOR STEPWISE EXTRACTION OF FRESHWATER ALGAE BIOMASS WITH HEAVY METAL SEQUESTRATION. ECOL CHEM ENG S;26(4):675-685. https://sciendo.com/pdf/10.1515/eces-2019-0003

Qian, Q., Zhang, J., Cui, M. et al. Síntesis de ácido acético mediante hidrocarboxilación de metanol con CO_2 y H_2 . Nat Commun 7 , 11481 (2016). https://doi.org/10.1038/ncomms11481

Rios, W., Velasquez, M. (2016). Obtención de carbonato de calcio a partir de valvas residuales de caracol (Thais Chocolata). Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Repositorio Institucional UNSA. https://repositorio.unsa.edu.pe/home

Saelim, J., Thongkam, M., Boonchom, B., Seesanong, S., Chaiseeda, K., Laohavisuti, N., Bunya, K., Boonmee, W., Taemchuay, D., (2021). Simple and Rapid Synthesis of Calcium Acetate from Scallop Shells to Reduce Environmental Issues. Adsorption Science & Technology. 2021. https://doi.org/10.1155/2021/6450289

Samaniego J., (2018). DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO PRECIPITADO A PARTIR DE LA CAL HIDRATADA EN LA EMPRESA INCOREG CIA. LTDA. Proyecto técnico. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10467

Somkiat, S., Chaowared, S., Banjong, B., Nongnuch, L., Somphob, T., Wimonmat, B., Sorakit, M., and Pesak, R., (2023). Bio-green synthesis of calcium acetate from

oyster shell waste at low cost and reducing the emission of greenhouse gases. Sustainable Environment Research 33:26. https://doi.org/10.1186/s42834-023-00187-6

Suyuan, S., y Xiandi, Z. (1999). *Método de producción de acetato de calcio*.

TEJADA A. G. (2019). EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DE BIOMASA DE ALGAS MARINAS Lessonia nigrescens "aracanto negro" EN EL LITORAL SUR DEL PERÚ Y PROPUESTA DE MANEJO. https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/262e3a0b-62c4-474c-9a3b-60e9308e6df5/content

Thongkam, M., Saelim, J., Boonchom, B., Seesanong, S., Chaiseeda, K., Laohavisuti, N., Bunya-atichart, K., Boonmee, W. y Taemchuay, D. (2021). Síntesis simple y rápida de acetato de calcio a partir de conchas de vieira para reducir los problemas ambientales. Ciencia y tecnología de adsorción , 2021 , 1–9. https://doi.org/10.1155/2021/6450289

Vázquez D., Henkel J., Legorreta F., Barrientos F., Urbano G., (2021). Extracción de calcio en solución a partir de cáscara de huevo. Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales Vol. 8, No. 8 (2021) 42-46. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/aactm/issue/archive

Vera J., Hidalgo G., (2019). Effect of different levels of calcium carbonate supply on the weight and thickness of the egg Shell. Revista Colombiana de Ciencia Animal. Vol 11 Núm 2. https://doi.org/10.24188/recia.v11.n2.2019.719

Wang, B., Liu, X., Du, Y., Rugui, Q., Yongquan, L., Longqiong, Z., & Liyan, Y. (2018). Method for preparing calcium acetate by utilizing oyster powder. https://scispace.com/papers/method-for-preparing-calcium-acetate-by-utilizing-oyster-g2ie7as3lg

Xiang, J., Qiu, J., Wang, Y., Gu, X., (2022). Calcium acetate as calcium source used to biocement for improving performance and reducing ammonia emission. Journal of Cleaner Production Volume 348, 131286. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622009167?via%3Dihub

Xinguo, X., Zongfei, L., Huchen, W., & Maoming, Z. (2017). Production process for food-grade calcium acetate. https://scispace.com/papers/production-process-for-food-grade-calcium-acetate-1cprqwo4mh

Xu, Y., Ye, J., Zhou, D., & Su, L. (2020). Research progress on applications of calcium derived from marine organisms. Scientific Reports, 10(1), 18425. https://doi.org/10.1038/s41598-020-75575-8

Yan, X. (2012). Aplicación de la espectrometría de absorción atómica. *Industria química de Guangzhou*.

Yanhong, E., Mojtaba, E., Dadmohammadi, Y., Liu, M., Li, P., Abbaspourrad, A., (2023). Calcium carbonate production from surf clam and ocean quahog shells, process development and techno-economic analysis. Resourses, Conservation & Recycling Advances 20 (2023) 200190. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667378923000627

Yao, Y., Zhuang, J., Zhang, R., Shi, Y., An, P., Hu, X. y Wan, Y. (2022). Optimización de la preparación de acetato de calcio a partir de cáscara de huevo mediante la

Metodología de Superficie de Respuesta (MSR). *Ciencia y Tecnología de los Alimentos* , *42*. **https://doi.org/10.1590/fst.114421**

Yutong Y., Jing Z., Run Z., Yueru S., Peipei A., Xin H., Youzhong W., (2022). Optimization of preparation of calcium acetate from eggshell by Response Surface Methodology (RSM). Food Science and Technology 42.2022. https://doi.org/10.1590/fst.114421

Zarate G. (2022). MEJORAMIENTO DE LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO EN LA EMPRESA CALQUIPA S.A.C. Tesis de Título Profesional. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Repositorio Institucional UNSA. https://repositorio.unsa.edu.pe/home

Zhang, Y., Wang, B., & Liu, X. (2012). Production method of calcium acetate. https://scispace.com/papers/production-method-of-calcium-acetate-1ba7v4fygq

IX. ANEXOS

9.1.PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Paso 1. Recolección de materia prima: Algas marinas y exoesqueleto de pescado. *Se realizó la recolección de 8 Kg de algas marinas (Macrocystis pyrifera) y 5 kg restos óseos de pescado (Osteichthyes)*




Paso 2. Lavado con agua potable: *Se eliminaron impurezas orgánicas, sal y/o partículas externas adheridas.*




Paso 3. Secado en estufa: Para las algas marinas a 60°C durante 12 horas, para el exoesqueleto de pescado a 60°C durante 72 horas.




Paso 4. Trituración de la muestra: *Se utilizó el molino manual del laboratorio de química orgánica. (<2mm)*



Paso 5. Saponificación: *Los exoesqueletos de pescado una vez secados y triturados, fueron sometidos al proceso de saponificación 10 % m/v de NaOH y llevando al proceso de ultrasonido por un periodo de 30 min.*



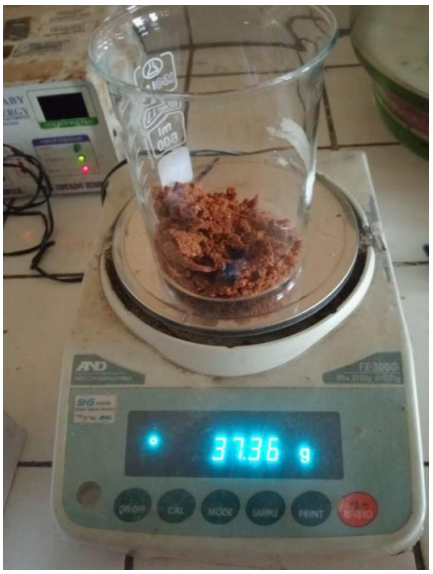


Paso 6: Neutralización: *Se realizó la neutralización con agua destilada de los exoesqueletos hasta obtener un pH neutro con el fin de eliminar proteínas, grasas y otros residuos orgánicos.*



Paso 7. Pesado de muestras: *Se pesaron las muestras de exoesqueleto de pescado y algas de acuerdo a la proporción planteada por la metodología de respuesta.*





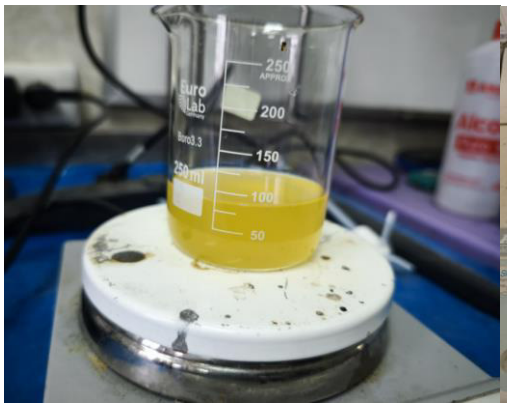
Paso 8. Reacción con ácido acético: *Sometida al proceso de ultrasonido a una temperatura de 60-70 y 80 °C durante 45 minutos. Esta condición favorece la liberación de iones calcio y su posterior reacción con el ácido acético para formar el acetato correspondiente y liberar el* CO_2 *presente*



Paso 11. Filtración por gravedad: *El producto obtenido de la reacción fue recuperado mediante filtración por gravedad*




Paso 12. Cristalización: *Se evapora el líquido a temperatura baja (60-70°C) por un periodo de 60 minutos para inducir la cristalización del acetato de calcio. Luego se enfría a T.ambiente y posterior a ellos se mezcla con alcohol al 70% para acelerar el proceso de decantación.*





Paso 13. Filtración por gravedad y secado: *El producto precipitado se somete a filtración por gravedad y el sólido que se obtiene en el papel filtro es secado en estufa a 60°C durante 6 horas aproximadamente. Enfriar en un desecador y pesado*



