



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

Obtención de hidrogel de grado alimenticio de la celulosa presente en la cascara de arroz

**CORREA TORRES DANIEL ALEJANDRO
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**RIVERA AVILA NICOLE CAROLINA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

**Obtención de hidrogel de grado alimenticio de la celulosa presente
en la cascara de arroz**

**CORREA TORRES DANIEL ALEJANDRO
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**RIVERA AVILA NICOLE CAROLINA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Obtención de hidrogel de grado alimenticio de la celulosa
presente en la cascara de arroz**

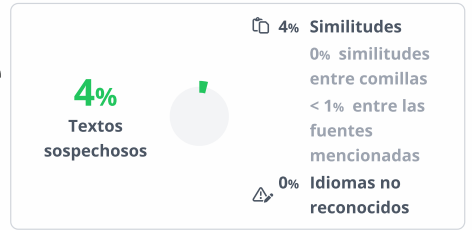
**CORREA TORRES DANIEL ALEJANDRO
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**RIVERA AVILA NICOLE CAROLINA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

AYALA ARMIJOS JOSE HUMBERTO

**MACHALA
2024**

Daniel Correa_Nicole Rivera_Obtención de hidrogel de grado alimenticio de la celulosa presente en la cáscara de arroz



Nombre del documento: Daniel Correa_Nicole Rivera_Obtención de hidrogel de grado alimenticio de la celulosa presente en la cáscara de arroz.pdf
ID del documento: 514c3500b27a9646b3af4252cff7a035a54b0c86
Tamaño del documento original: 1,48 MB
Autores: []

Depositante: JOSE HUMBERTO AYALA ARMIJOS
Fecha de depósito: 12/2/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 12/2/2025

Número de palabras: 19.635
Número de caracteres: 137.347

Ubicación de las similitudes en el documento:








Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 polodelconocimiento.com Aprovechamiento de la cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i> ... https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2572 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (71 palabras)
2	 repositorio.ucsp.edu.pe Análisis de la técnica del vermicompostaje para obtener a... http://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/20.500.12590/16406 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (59 palabras)
3	 doi.org https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69697	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (45 palabras)
4	 Documento de otro usuario #d3bc44 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (46 palabras)
5	 doi.org Recent Advances in Cellulose-Based Hydrogels: Food Applications https://doi.org/10.3390/foods12020350	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (46 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 www.scielo.org.pe Obtención de celobiosa a partir de la hidrólisis enzimática parci... http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2523-63262024000200129	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
2	 repositorio.lamolina.edu.pe https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4031/castillo-garcia-yasmin-e...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
3	 doi.org Enhanced Cellulose Extraction from Banana Pseudostem Waste: A Compara... https://doi.org/10.3390/polym16192785	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)
4	 repository.unad.edu.co Usos potenciales de cascarilla de arroz en el departament... https://repository.unad.edu.co/handle/10596/30131	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
5	 doi.org The Characteristics of Natural Rubber Composites with Klason Lignin as a G... https://doi.org/10.3390/polym13071109	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)

1	 https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/coefficient-of-friction
2	 https://repositorio.unisucra.edu.co/server/api/core/bitstreams/f25c1991-cc09-40c9-889d-ecdd83403e87/content
3	 https://www.researchgate.net/profile/Dairo-Diaz-Tovar/publication/381108342_Usos_potenciales_de_cascarilla_de_arroz_en_el_departamento_de_Casanare/links/665d12cf...
4	 https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2024.100400
5	 https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.002

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, CORREA TORRES DANIEL ALEJANDRO y RIVERA AVILA NICOLE CAROLINA, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Obtención de hidrogel de grado alimenticio de la celulosa presente en la cascara de arroz, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



CORREA TORRES DANIEL ALEJANDRO

1105213563



RIVERA AVILA NICOLE CAROLINA

0706456233

DEDICATORIA

Con todo mi cariño, dedico este trabajo en primer lugar a Dios y a la Virgen, quienes han sido mi guía en la realización de este sueño de completar mis estudios y convertirme en profesional. También quiero dedicarlo a mi madre, Janeth Ávila, y especialmente a mi abuelita, quienes han sido un apoyo incondicional, mi mayor fuente de inspiración y la razón por la que he podido superar cada obstáculo en mi camino. Ellas me han enseñado a mantenerme firme frente a las adversidades, siempre con los valores y principios que me inculcaron. Su dedicación y esfuerzo han sido fundamentales para que hoy pueda alcanzar este momento tan importante en mi vida profesional. Lo que sembraron con tanto amor ha dado sus frutos, y hoy se ve realizado uno de sus mayores anhelos. Les estaré eternamente agradecida por su apoyo constante y sus sacrificios.

A mi pequeño hijo Nicolás, por entender mis ausencias y aun así ofrecerme su amor y apoyo en los momentos más difíciles. Mi deseo es ser para él un ejemplo de superación y fortaleza, mostrándole que, con perseverancia, es posible superar cualquier obstáculo y alcanzar sus sueños y metas.

Nicole Rivera

A mi padre Luis Correa y a mi madre Liliana Torres por ser mi mayor ejemplo de perseverancia y amor incondicional. Gracias por todos sus sacrificios, consejos y cada palabra de ánimo. Sin la ayuda de ustedes, este recorrido habría sido mucho más complicado, pero con su apoyo nunca sentí una pizca de estar solo aun cuando tenía que esperar dos más meses para poder visitarlos.

A mis hermanos Rossy Gaona, Hilton Correa y Liliana Correa por ser mi impulso, mi compañía y mi aliento en los momentos más desafiantes y sin importar la distancia que nos separa nunca se perdió ese vínculo de hermanos. A mis queridas abuelas, Natalia Cueva y Rosa Castro por sus oraciones y bendiciones que me han ayudado a darme fuerzas y fortaleza en mi camino. Y a Dios que ayudo a iluminar mi recorrido, por darme la esperanza y permitir llegar hasta aquí. Este hermoso sueño que estoy viviendo también es de ustedes. Gracias por creer en mí.

Daniel Correa

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por darme la vida y la fortaleza necesaria para alcanzar uno de mis más grandes sueños. Su presencia me acompañó a lo largo de toda mi carrera universitaria, brindándome el apoyo espiritual que necesitaba.

A mi abuelita y a mi hijo, les agradezco de corazón por su amor infinito y su apoyo incondicional desde el comienzo de este camino académico. Su cariño y motivación fueron fundamentales para que continué esforzándome y luchando por mis estudios.

A mi gran amigo Daniel Correa, gracias por tu amor, confianza y paciencia. Has estado a mi lado en cada paso, tanto en los buenos como en los malos momentos. También quiero reconocer a mi grupo de amigos (Diego B, Ámbar M, Nathaly M, Andreina Ch), con quienes compartí este camino universitario; a pesar de las dificultades, siempre estuvimos juntos, apoyándonos mutuamente.

Mi gratitud eterna a la Universidad Técnica de Machala por abrirme las puertas y brindarme una educación de calidad. Agradezco también a los docentes de la carrera, cuyas enseñanzas y orientación me guiaron desde el primer día hasta la culminación de este proceso de aprendizaje. Finalmente, mi más profundo agradecimiento a todos los Ing. Fabián Cuenca, Joaquín S, Wilson C, por su valiosa guía y asesoramiento, de igual manera al Ing. Humberto Ayala por brindarme su apoyo. Su paciencia, profesionalismo y amistad fueron clave en la realización de este trabajo.

Nicole Rivera

AGRADECIMIENTO

Con una profunda gratitud deseo agradecer a todas las personas que han sido parte de este camino y que con sus ánimos han hecho posible este logro.

A mis padres, Luis Correa y Liliana Torres por su amor incondicional, su paciencia y sus sacrificios. Muchas gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y el ser perseverante en esta vida, por ser mi refugio en los momentos más difíciles y por celebrar siempre cada pequeño triunfo. A mis hermanos quienes a pesar de la distancia siempre han estado pendientes de mí. Su apoyo incondicional sus consejos y sus muestras de cariño han sido para mí algo muy fundamental en mi vida. Aunque no se han encontrado físicamente aquí su preocupación por mi salud, bienestar y mis estudios me ha dado fuerzas para poder seguir adelante y así también para esforzarme por ser una mejor persona.

A Dios por guiar este sendero en mi vida y darme la oportunidad de formarme en una universidad que ha sido clave en mi crecimiento personal como académico, la cual me brindo excelentes docentes los cuales me ayudaron a tener más conocimientos y me proporcionaron de herramientas necesarias para poder enfrentar los desafíos del mundo profesional.

Y con especial cariño a Nicole Rivera mi compañera de estudio quien ha estado a mi lado estos pocos años y hemos logrado juntos superar cada reto universitario. Gracias por tu gran apoyo incondicional y por ayudarme a seguir adelante cuando las cosas se sabían poner demasiadas complicadas y por ser mi motivación en cada paso. Tu compañía ha hecho que este viaje universitario sea muy hermoso y significativo.

Daniel Correa

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue obtener un hidrogel de grado alimenticio de la celulosa presente en la cáscara de arroz, a través de un proceso de metilación química. La transformación del hidrogel se realizó mediante deslignificación alcalina usando NaOH a diferentes concentraciones (0,75; 1 y 1,25%) con el fin de eliminar la lignina presente en la cáscara de arroz e incrementar su pureza y solubilidad de la celulosa.

Mediante este proceso es transformada en esteres de celulosa el cual es hidrosoluble y forma un gel estable al neutralizarse con ácido clorhídrico al 20% (pH: 7.0), posteriormente fue liofilizado donde se obtuvo un rendimiento de 92,4%.

Se realizaron estudios de azúcares reductores por medio del método de ácido 3,5-dinitrosalisílico (DNS) haciendo uso de un espectrofotómetro UV digital, además se realizó la cuantificación de la celulosa por el método fenol ácido sulfúrico, lignina por medio de la metodología Klason y por último humedad y ceniza por método gravimétrico. Los resultados obtenidos mostraron un crecimiento cuanto mayor fue la concentración de NaOH donde el T3 presentó el valor más alto para azúcares reductores con 4,56 g/L, en el caso de la celulosa se observó un crecimiento progresivo dependiendo de la concentración de NaOH mientras que para la lignina la concentración de NaOH afectó significativamente dándose un decrecimiento en sus valores ya que a mayor concentración de NaOH provoca la remoción de la lignina.

Con el fin de determinar el potencial de aprovechamiento de la cáscara de arroz y se ha logrado obtener la más alta viscosidad de 237 Cps en el tratamiento donde se adiciono el 0,75% de NaOH, el hidrogel obtenido en el proceso anteriormente descrito se lo utilizo para elaborar un emulgel (grasa de leche y Cmc de CA) y evaluar las características sensoriales del chocolate donde se adiciono el emulgel, el atributo sensorial que tuvo mayor aceptación fue el aroma a cacao. Con base a los resultados obtenidos, la adición de hidrogel en chocolate favorece al aroma característico a cacao y no se observaron diferencias significativas con respecto a otras características del chocolate en comparación con la formulación clásica de chocolate de cacao.

Palabras claves: Análisis proximal, deslignificación alcalina, metilación química, emulgel, cacao.

ABSTRACT

The objective of this study was to obtain a food-grade hydrogel from the cellulose present in rice husk through a chemical methylation process. The transformation of the hydrogel was carried out through alkaline delignification using NaOH at different concentrations (0.75%, 1%, and 1.25%) to remove the lignin present in the rice husk and increase the purity and solubility of the cellulose.

Through this process, the cellulose was transformed into cellulose esters, which are water-soluble and form a stable gel when neutralized with 20% hydrochloric acid (pH: 7.0). The gel was then lyophilized, yielding a 92.4% recovery rate.

Reducing sugar studies were conducted using the 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) method with a digital UV spectrophotometer. Additionally, cellulose quantification was performed using the phenol-sulfuric acid method, lignin content was determined through the Klason methodology, and moisture and ash content were analyzed by the gravimetric method.

The results showed an increasing trend with higher NaOH concentrations, where T3 presented the highest value for reducing sugars at 4.56 g/L. Regarding cellulose, a progressive increase was observed depending on the NaOH concentration. Meanwhile, lignin content decreased significantly as higher NaOH concentrations promoted lignin removal.

To determine the potential use of rice husk, the highest viscosity of 237 Cps was obtained in the treatment with 0.75% NaOH. The hydrogel obtained through the described process was used to prepare an emulgel (milk fat and CA CMC) and to evaluate the sensory characteristics of chocolate with added emulgel. The sensory attribute with the highest acceptance was the cocoa aroma. Based on the obtained results, the addition of hydrogel in chocolate enhances the characteristic cocoa aroma, and no significant differences were observed in other chocolate characteristics compared to the traditional cocoa chocolate formulation.

Keywords: proximal analysis, alkaline delignification, chemical methylation, emulgel, cocoa

GLOSARIO

CA: Cáscara de arroz

m/v: peso/volume

DS: Grado de sustitución

µm: micrómetros

g: gramos

IL: líquidos iónicos

Índice General

INTRODUCCIÓN	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
JUSTIFICACIÓN	14
OBJETIVOS.....	16
Objetivo general.....	16
Objetivo específico.....	16
HIPÓTESIS.....	16
CAPITULO I.....	17
MARCO TEÓRICO	17
1.1. Arroz	17
1.1.1. Generalidades del arroz	17
1.1.2. Pilado del arroz.....	18
1.2. Cáscara de arroz	19
1.2.1. Composición de la cáscara de arroz.	20
1.3. Biomasa lignocelulósica	21
1.3.1. Componentes de la biomasa lignocelulósica	21
1.3.2. Celulosa.	22
1.3.2.1. Celulosa cristalina.	24
1.3.2.2. Celulosa amorfa.....	25
1.3.3. Hemicelulosa.	26
1.3.4. Lignina.....	27
1.4. Métodos alcalinos	28
1.5. Metilación de la celulosa	28
1.6. Cenizas	29
1.7. Aprovechamiento industrial de la cáscara de arroz	29
1.8. Usos de las cenizas de cáscara de arroz	31
1.9. Cama de animales	31
1.10. Producción de carboximetil celulosa	32
1.11. Aplicaciones	34
1.12. Evaluación sensorial	34
CAPITULO II	35
METODOLOGÍA	35

2.1. Localización	35
2.2. Universo y muestra	35
2.3. Tipo de investigación	35
2.4. Método analítico	35
2.4.1. <i>Materia prima</i>	35
2.4.2. <i>Balance de materia</i>	36
2.4.3. <i>Pretratamiento alcalino en el reactor aerobio (fed - batch)</i>	36
2.4.4. <i>Preparación de las muestras y condiciones de liofilización</i>	37
2.5. Caracterización físico-química de la materia prima (cáscara de arroz)	38
2.5.1. <i>Determinación de pH</i>	38
2.5.2. <i>Determinación de humedad</i>	39
2.5.3. <i>Determinación de cenizas</i>	39
2.5.4. <i>Determinación de sólidos totales</i>	40
2.5.5. <i>Determinación de azúcares reductores</i>	41
2.5.5.1. <i>Preparación del reactivo DNS</i>	41
2.5.5.2. <i>Determinación de la concentración de azúcares reductores</i>	41
2.5.6. <i>Determinación del contenido celulosa por el método fenol – ácido sulfúrico</i>	42
2.5.7. <i>Determinación de Lignina por el método Klason</i>	43
2.5.8. <i>Caracterización de la carboximetilcelulosa</i>	44
2.5.8.1. <i>Grado de sustitución</i>	44
2.5.8.2. <i>Grado de pureza</i>	45
2.5.8.3. <i>Viscosidad</i>	46
2.6. Desarrollo del Diseño Experimental	47
2.7. Proceso para la elaboración de emulsiones aceite/agua	47
2.8. Elaboración del chocolate	49
2.8.1. <i>Formulación del producto</i>	50
2.9. Evaluación sensorial	51
2.9.1. <i>Análisis estadístico de los resultados</i>	51
2.10. Materiales y reactivos	52
CAPÍTULO III	55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
3.1. Caracterización físico química de la biomasa lignocelulósica (CA)	55
3.2. Determinación de los sólidos totales, pH y Azúcares Reductores en la deslignificación alcalina de la cascarilla de arroz	56
3.2.1 <i>Valoración de porcentaje de sólidos totales, pH y Azúcares Reductores de la cascarilla de arroz en concentraciones de NaOH</i>	56

3.3. Deslignificación de la cáscara de arroz ($\leq 250 \mu\text{m}$) y solubilizar la celulosa, mediante la adición de NaOH.....	57
3.3.1. <i>Composición de la cáscara de arroz nativa y pretratada con NaOH.....</i>	<i>57</i>
3.4. Análisis de Carboximetilcelulosa (CMC) obtenido de la cáscara de arroz	61
3.5. Metilación química de la celulosa a partir de la cáscara de arroz.....	62
3.6. Evaluación sensorial del chocolate.....	63
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍAS	67

Índice de tabla

Tabla 1. Taxonomía del arroz	17
Tabla 2. Tipos de clases del pilado de arroz.....	19
Tabla 3. Aplicaciones y usos de cáscara de arroz	30
Tabla 4. Preparación de tratamiento	37
Tabla 5. Diseño experimental para solución formadora del hidrogel	47
Tabla 6. Preparación de pruebas preliminares de emulsiones con distintos hidrocoloides.	48
Tabla 7. Formulación de la emulsión	48
Tabla 8. Formulación base del producto.....	51
Tabla 9. Formulación de barra de chocolate con emulgel	51
Tabla 10. Caracterización físico química de la cáscara de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	55
Tabla 11. Composición de la cáscara de arroz nativa y pretratada con NaOH.....	57
Tabla 12. Efecto de las propiedades de los hidrocoloides a diferentes concentraciones de NaOH.....	61
Tabla 13. Consumo de HCl en distintas concentraciones de NaOH	62
Tabla 14. Análisis de varianza	63

Índice de figura

Figura 1. Procedimiento para la obtención de la cáscara de arroz	20
Figura 2. Hidrato de carbono presente en la biomasa lignocelulósica presente en la cáscara de arroz	21
Figura 3. Hidrato de carbono presente en la biomasa lignocelulósica presente en la cáscara de arroz	22
Figura 4. Estructura del polímero de celulosa por enlace p – glucosídico	23
Figura 5. Estructura de las regiones de la celulosa.....	24
Figura 6. Organización detallada de las microfibrillas de celulosa.....	26
Figura 7. Estructura de la hemicelulosa.....	26
Figura 8. Estructura de la lignina	28
Figura 9. Ceniza de cáscara de arroz.....	31
Figura 10. Evaluación de la cáscara de arroz en la cama de cerdos	32
Figura 11. Molécula de carboximetilcelulosa.....	33
Figura 12. Cáscara de arroz.....	36
Figura 13. Flujograma para la obtención de hidrogel de celulosa a partir de la cáscara de arroz	36
Figura 14. Reactor aerobio tipo batch empleado en la fase de deslignificación.....	37
Figura 15. Muestras liofilizadas	38
Figura 16. Curva de calibrado de glucosa.....	42
Figura 17. Curva calibrada de celulosa.	43
Figura 18. Medición de viscosidad del cmc obtenido del hidrogel.....	46
Figura 19. Diagrama de proceso para la obtención del chocolate.....	50
Figura 20. Efecto de diferentes concentraciones de NaOH sobre el % Sólidos Totales, Azúcares reductores y pH.	56
Figura 21. Media de Fisher LDS del Efecto % NaOH con respecto al % Celulosa y % Lignina	59
Figura 22. Consumo de HCl en distintas concentraciones de NaOH	63
Figura 23. Evaluación sensorial del chocolate con la adición de emulgel	64

INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento poblacional a nivel mundial ha generado el incremento de la necesidad en la producción de alimentos y la generación de residuos. El arroz es una de las gramíneas más consumidas en el mundo, la cual posee una envoltura natural rica en holocelulosa que representa el 15 - 20% de su peso total (FAO, 2024). El Ecuador posee amplias zonas arroceras ubicadas principalmente en las provincias de los Ríos, Guayas, Loja y El Oro. La provincia de El Oro posee una gran zona arroceras, la cual produce grandes cantidades de arroz pilado y por ende cáscara. Según Mor V. (2013) menciona que la biomasa lignocelulósica de la cáscara de arroz (CA) es rica en celulosa, hemicelulosas, lignina y cenizas entre la más abundante el dióxido de silicio.

La biomasa lignocelulósica en general se compone de un 40-50% de celulosa, un 25-30% de hemicelulosa y un 15-20% de lignina y una pequeña cantidad de otros extractos. Además, la hemicelulosa es un heteropolisacárido compuesto de monómeros como fructosa, xilosa, glucosa, galactosa, manosa, arabinosa y ácido glucónico, que pueden hidrolizarse enzimáticamente a sus monómeros y su posterior conversión en alimentos, productos químicos y combustibles (Sunil, 2015)

La celulosa, un homopolisacárido compuesto únicamente de cadenas de glucosa lineal, es un polímero altamente ordenado de celobiosa (d-glucopiranosil- β -1,4-d-glucopiranososa) que representa aproximadamente el 50% de la masa de la madera. La celulosa nativa tiene alrededor de 10 000 unidades de glicosilo en la cadena de celulosa que forman fibrillas que se estabilizan mediante fuertes enlaces de hidrógeno intermoleculares entre los grupos hidroxilo (Adsul et al., 2011).

Una forma de solubilizar la celulosa es mediante diferentes sistemas de disolventes para la disolución de celulosa, por ejemplo, líquidos iónicos (IL), NaOH/urea y NaOH/tiourea debido a su simplicidad y disponibilidad. Los IL son difíciles de manejar y complicados. El más común es el sistema de disolvente NaOH/urea, ya que se prepara fácilmente, es barato, práctico y puede aumentar la velocidad de disolución de la celulosa a bajas temperaturas (Piltonen et al., 2016).

La CA es un residuo agroindustrial versátil, es valiosa en diversas industrias por sus propiedades únicas: aditivos alimentarios, aislante térmico en la industria del acero, material puzolánico para cemento y concreto en construcción, y fuente de sílice rentable para fabricar aerogeles, y cosméticos. Además, su aplicación en tecnologías innovadoras como la producción de chips de silicio y el tratamiento de aguas residuales, donde elimina

metales pesados, resalta su estabilidad química y potencial como recurso sostenible y eficiente (Mor V, 2013). Los hidrogeles son aditivos utilizados en la industria alimentaria para mejorar la textura, estabilidad, viscosidad e incrementar el tiempo de vida útil de los alimentos en los que se encuentra presente, por su hidrofobicidad, permeabilidad, compatibilidad y bajo coeficiente de fricción (Oliveira et al., 2017).

Los hidrogeles son disoluciones de estructura blanda de celulosa metilada que se obtienen a partir de residuos agroindustriales como la cáscara del arroz la cual es rica en holocelulosa, las propiedades de los hidrogeles generalmente dependen de la densidad de reticulación, el contenido del polímero, la temperatura y el tiempo de operación, etc (Hopson et al., 2023).

El hidrogel basado en CMC se utiliza potencialmente en la inmovilización de enzimas, la cicatrización de heridas, la administración de fármacos y los adsorbentes (Ahmad, M., Manzoor, K., Ahmad, S., & Ikram, S., 2018)

El objetivo de la presente investigación es obtener un hidrogel de grado alimenticio a partir de la celulosa presente en la cáscara de arroz y su aplicación como estabilizante en chocolate.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de arroz en la provincia de El Oro alcanza las 16 041 Toneladas anuales, del cual el 20% del peso del grano representa a este residuo es decir 3208, 00 toneladas, el cual es desaprovechado y suele ser desechado en lugares inadecuados, generando contaminación, proliferación de roedores y generando gases de efecto invernadero.

La cáscara de arroz, es una fuente renovable de biomasa lignocelulósica subproducto del pelado del grano de esta gramínea. La cáscara de arroz presenta la siguiente composición: 42% de celulosa, 20,1% de hemicelulosa, 21,8 % de lignina y 16% de cenizas 16% (FAO, 2023).

Para el aprovechamiento de este residuo involucra la aplicación de diversos pretratamientos fisicoquímicos para purificar la holocelulosa (celulosa y hemicelulosa) lo cual le da la propiedad hidrogel, teniendo la siguiente composición por cadenas de polímeros hidrófilos ya que pueden retener una alta cantidad de agua es decir 330 g H₂O/g de hidrogel seco, debido a las fuerzas capilares y tensión superficial (Zainal et al., 2021).

JUSTIFICACIÓN

La cáscara de arroz es un residuo abundante, rico en hidratos de carbono como lo es la celulosa y la hemicelulosa, las cuales tienen la capacidad de absorber abundante agua, algunos hidrogeles de calidad alimentaria se utilizan como sustitutivos a las grasas en productos alimenticios (Nath et al., 2023a).

Existen métodos de obtención de hidrogel baratos, fácil procesamiento y sostenible aplicación a partir de residuos lignocelulósicos, como es la deslignificación alcalina utilizando concentraciones bajas (0.75%NaOH) y posterior neutralización, el cual puede ser aplicado para modificar el sabor, olor y la textura que se lo aplique (Muharja et al., 2023). Comercialmente los precios de los hidrogeles grado alimenticio fluctúa alrededor de \$36 por libra, lo cual lo convierte en un aditivo alimentario de atractivo valor económico que nuestro medio se lo puede obtener a partir de este abundante subproducto de la agroindustria arrocera. Existen método fisicoquímico que se pueden aplicar en nuestro medio para la obtención de celulosa soluble de alta pureza a partir de un residuo de bajo costo.

CA es una excelente alternativa para la obtención de hidrogel por su excelente propiedad anti aflatoxinas como fuente de fibra con alta eficiencia económica. La cáscara de arroz hidrolizada tiene efectos beneficiosos como fibra insoluble para el desarrollo del

microbiota intestinal y se puede utilizar como alimento a granel en granjas avícolas y de pollos de engorde (Kordi et al., 2024).

OBJETIVOS

Objetivo general

Obtener un hidrogel de grado alimenticio a partir de la celulosa presente en la cáscara de arroz, mediante metilación química.

Objetivo específico

- Cuantificar la celulosa presente en la cáscara de arroz (*Oriza sativa*).
- Deslignificar la cáscara de arroz y solubilizar la celulosa, mediante carboximetilación adicionando de NaOH.
- Cuantificar el grado de metilación del hidrogel obtenido, mediante estándar método de carboximetilcelulosa.
- Evaluar la adición de hidrogel para mejorar su textura y palatabilidad de un chocolate mediante prueba sensorial.

HIPÓTESIS

Ho: No es posible obtener hidrogel a partir de la metilación de la celulosa presente en la cáscara de arroz

Hi: Es posible obtener hidrogel a partir de la metilación de la celulosa en la cáscara de arroz

Variables

Variables Independiente:

- Porcentaje de metilación
- Concentración de celulosa

Variable dependiente:

- Porcentaje de hidrogel obtenido
- Capacidad de retención de agua

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Arroz

1.1.1. Generalidades del arroz.

Según un estudio realizado por FAO (2017) , da a conocer que el arroz es un cereal que tiene mayor amplitud de cultivo y de producción a nivel mundial, que contiene una mayor variabilidad genética, que se evidencia por varias especies y de diferentes formas cultivadas (Degiovanni & Berrio, 2010). En 17 países tanto de Asia como el Pacífico el arroz es un principal alimento, tanto, así como también en 9 países de América del sur y norte, y en 8 países de África. Un estudio indica que en Asia el arroz es el cultivo más relevante con una producción generada del 90% a nivel global y la mayor consumida de ese continente. En América Latina y el Caribe el arroz es primordial en la dieta. El arroz tiene un 20% de aporte nutricional, en comparación con el trigo que tiene un 19% y en cambio el maíz tiene un aporte mínimo del 5%. Por eso se lo considera una fuente de energía, este cereal ofrece niacina, riboflavina y tiamina, contiene menos de 1% de contenido graso (Lanzas & Reñazco, 2016).

En el siguiente recuadro mencionamos la taxonomía del arroz.

Tabla 1. Taxonomía del arroz

Reino	Plantae
División	Anthophyta
Clase	Monocotyledoneae
Orden	Cyperales
Familia	Poaceae
Género	Oryza
Especie	Sativa
Nombre Científico	<i>Oryza Sativa</i>
Nombre vulgar	Arroz

Fuente: (Barzola, 2012)

Este Cereal es el principal cultivo y base de una dieta en la gran mayoría de los habitantes ecuatorianos. En nuestro país se produce 1,534.537 Tm/año de arroz que sirve para el consumo interno de la población ecuatoriana que tiene un promedio de 18 millones de habitantes según el ente regular (CFN, 2017).

La ONU indica que el consumo de este cereal por persona es de 55 kilos (FAO & OCDE, 2019). El crecimiento de la población genera un incremento en su producción. Por lo que el uso de las semillas mejoradas incrementa el rendimiento por hectárea y así genera subproductos como es la cáscara y el polvillo de arroz.

Los desechos de este producto se considera un desecho agrícola que incrementa cada año, también se considera un recurso renovable y la causante de un problema ecológico debido a su degradación natural, por lo que se considera una fuente a la contaminación por la quema de este cereal para su eliminación. Según AboDalam (2022), sus estudios indican que los desechos agroindustriales que se generan en el mundo son por el cultivo de este cereal, ya que genera un 50% de los recursos laborales agrícolas en la economía global y también por la demanda de sus consumidores que aumenta cada año (Azat et al., 2019a), la organización de las naciones unidas arroja datos e indica que el arroz ocupa el segundo lugar en cultivo de cereales más grande (Cobos et al., 2020).

Los restos vegetales componen una alternativa ecológica por la gran capacidad de biodegradarse y se incorpora en el suelo. Es de gran importancia las actividades agrícolas y agroindustriales, tanto como el lo social y económico, ya que genera un crecimiento en producción de residuos y subproductos que no son utilizados y en la mayoría de los casos se desechan en lugares inapropiados, generando un efecto negativo al medio ambiente (Rojas et al., 2021).

En nuestro país se está estimulando a la producción de productos agrícolas de valor agregado, en diferentes sectores agrícolas y también en la ganadería ya que estos sectores son muy fundamental en la económica de las diferentes zonas rurales. Estas dos actividades crean una suma importante de residuos las cuales no son optimizados (Valverde-Orozco et al., 2022). Este cereal como es el arroz se encuentra la gran mayoría en la región Costa, principalmente en las provincias como el Oro, Guayas y los Ríos (Reinoso & Villamar, 2018) .

1.1.2. Pilado del arroz.

El pilado de arroz, es un proceso de descascarado del que se han eliminado, total o parcialmente, cáscara, salvado y gran parte del germen. En este proceso se puede obtener diversos tipos de arroz como arroz blanco o blanqueado, y semi blanqueado” (INEN, 2014), la remoción de la parte no comestible del grano genera alrededor del 30% del peso total de esta gramínea. Por su tamaño el arroz pilado se clasifica según su tamaño en las siguientes clases:

Tabla 2. Tipos de clases del pilado de arroz

Tipos de clases	Nombre	Características
Clase 1	Extra largo	Granos con longitud mínima de 7.0 mm. Se tolera máximo el 20% de mezcla de otros granos largos.
Clase 2	Largo	Granos con longitud entre 6.0 mm y 6.99 mm. Se tolera máximo el 20% de mezcla de otros granos medios.
Clase 3	Medio	Granos con longitud entre 5.0 mm y 5.99 mm. Se tolera máximo el 10% de otros granos cortos.
Clase 4	Corto	Granos con longitud menor de 5.0 mm.
Clase 5	Mezcla	Granos mezclados de dos clases o más de las clases mencionadas

Fuente: INEN, 2014

El residuo agrícola importante es la cáscara de arroz, lo cual se ha utilizado como relleno de refuerzo en las aplicaciones de compuesto debido a la alta deformabilidad, baja densidad, bajo costo y su biodegradabilidad. Dicho residuo mantiene entre 75 a 90% de materia orgánica, como lignina, celulosa y otras, como también contiene minerales como álcalis, sílice y oligoelementos, por lo cual se considera un material muy valioso para las aplicaciones industriales (Jayaprakash et al., 2020).

La producción de la celulosa es a partir de la eliminación de la hemicelulosa y la lignina. En la lignina se observa diferentes subunidades fenólicas que es muy diferente a la celulosa y la hemicelulosa que contienen subunidades sacáridas. La producción de la celulosa se basa a partir de residuos vegetales a través de la deslignificación, ya que la lignina envuelve la celulosa, lo que evita que los productos químicos no lleguen hacia ella, lo que limita el uso de material lignocelulósicos y se acopla con facilidad a la celulosa que a la hemicelulosa (Tezcan & Atıcı, 2017).

1.2. Cáscara de arroz

La CA se encuentra en mayor cantidad después del pilado los cuales son usados como abono y forraje, ya que por cada kilogramo de arroz verde se obtiene entre 0,16 a 0,25 kilogramo de este producto, por lo que se obtendrá entre 82,8 a 129,4 mt de cáscara de arroz, por lo cual se deben utilizar alternativas tecnológicas para no ocasionar daños ambientales (Peralta, 2024). Se considera como un subproducto principal del pelado de arroz lo cual representa un 20% en peso del arroz producido (Santana & Paranhos, 2018), constituye una problemática de desechos en las diferentes regiones donde producen grandes cantidades de arroz, el incremento de las áreas de cultivos de este cereal demanda

nuevos enfoques para su manejo, se debe considerar como un objetivo principal el reciclaje de este producto y la utilización (Azat et al., 2019b).

Figura 1. Procedimiento para la obtención de la cáscara de arroz

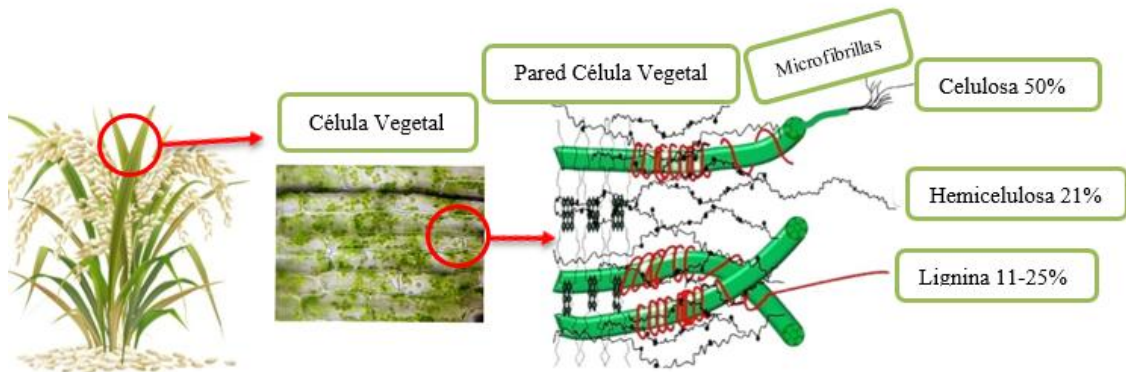


1.2.1. Composición de la cáscara de arroz.

La composición de la CA contiene ciertos elementos como sílice amorfa y carbono (Dinaharan et al., 2017), que proviene de la molienda del arroz lo cual contiene un 50% de celulosa, entre 25 a 30% de lignina, un 15 a 20% de sílice, 10 a 15% de humedad (Abdulhameed et al., 2025) 17,4% de cenizas y 21% de hemicelulosa (Olazabal, 2025). Posee en bajos porcentajes ciertos componentes como lípidos (1% - 5%), azúcares solubles (1% - 10%), proteínas (3% - 10%) y minerales (5% - 10%), también posee componentes minoritarios como proteína (3% - 10%), lípidos (1% - 5%), azúcares solubles (1% - 10%) y minerales (5% - 10%) (Ebrahimi et al., 2017).

El residuo que se genera se puede emplear en fracción celulósica como fuente de pentosas (C5) incluyen arabinos y xilosa, y las hexosas (C6) incluyen galactosa, glucosa y manosa para la creación de bioetanol y así aprovechar una fracción o parte de la hemicelulosa como una fuente de pentosas, que se aplican en diversas aplicaciones en la industria química (Cortes, 2014).

Figura 2. Hidrato de carbono presente en la biomasa lignocelulósica presente en la cáscara de arroz



1.3. Biomasa lignocelulósica

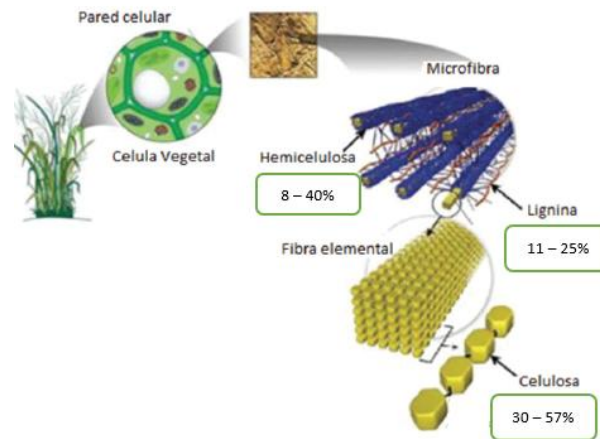
La lignocelulosa es un polímero muy abundante ya que se puede encontrar en grandes cantidades en varias zonas del nuestro planeta y se representa aproximadamente con un 50% de la biomasa total como en industrias, actividades agrícolas y forestales, esto se debe a que es un componente de mayor importancia de la flora (Morales, 2015), siendo el principal material orgánico de las plantas que se puede renovar ya que se logra obtener mediante las actividades agrícolas (López et al., 2015), y se compone por tres fracciones principales: lignina (15% - 30%), hemicelulosa (23% - 32%), celulosa (38% - 50%). Cuando se hidroliza este compuesto se llega a obtener azúcares fermentables gracias a la hemicelulosa y celulosa. Al fraccionar la lignina se forman grandes cantidades de polifenoles. La biomasa lignocelulósica es abundante y se puede encontrar en residuos agrícolas, silvícolas, industriales y urbanos (Aro et al., 2005). Los sustratos lignocelulosos son todos residuos que se originan en materiales vegetales que contengan celulosa, lignina y hemicelulosa. La lignocelulosa como materia prima puede ser una buena opción para la producción de biocombustible líquidos que ayudan a tener bioprocesos limpios y amigables con el medio ambiente (Arora et al., 2018).

1.3.1. Componentes de la biomasa lignocelulósica

La utilización de biomasa lignocelulósica ha captado mucho la atención en investigaciones gracias a su composición, disponibilidad y características no aptas para consumo humano. Es un residuo que contiene mayormente polisacáridos como, hemicelulosa (8% - 40%), celulosa (30% - 57%), polímero aromático y lignina (11% - 25%) (Shweta & Jha, 2015). La síntesis de productos químicos con valor agregado con

base de hemicelulosa y celulosa mediante múltiples métodos es un campo e investigación con un alto crecimiento, en la figura 3 se puede identificar la composición de residuos lignocelulósicos.

Figura 3. Hidrato de carbono presente en la biomasa lignocelulósica presente en la cáscara de arroz



Fuente: (Suárez-Forero et al., 2019)

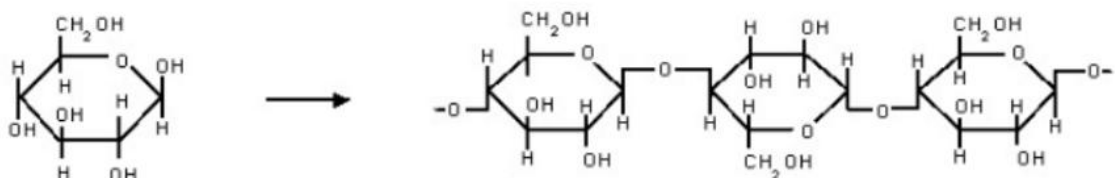
1.3.2. Celulosa.

La celulosa se considera un polímero que contiene un alto peso molecular, poli disperso y lineal (García, 2013), que se considera de gran importancia en la industria alimentaria y que se considera una fuente renovable que se utiliza fácilmente en humanos (Liu et al., 2021).

Se encuentra ampliamente distribuida en los diversos recursos biológico-naturales de la tierra, que anualmente alcanza un aproximado de 50 mil millones de toneladas. Se encuentra compuesta por varias unidades repetidas de d-glucosa que se encuentran unidas por enlaces glucosídicos β -1,4, también la celulosa se la caracteriza por su capacidad de modificación química y por su hidrofobicidad (He et al., 2021). En la celulosa nativa se puede observar hasta 10 000 residuos de β -anhidroglucosa que se encuentran unidos para crear una molécula de cadena larga. Esto da origen que la celulosa nativa tenga un peso molecular superior a 1,5 millones. La longitud de la anhidroglucosa es de 0,515 nm (\approx 5,15 Å), pero la longitud total de una molécula de celulosa nativa es de un aproximado 5 μ m. La celulosa contenida en el papel filtro y la pulpa contiene un grado de polimerización que varía de 500 a 2 100 umas (Listyaningrum et al., 2018).

Cada fibra de la celulosa se encuentra formada por un conjunto de cepas celulosa lo que vamos a identificar como empaquetados de cepas dando origen a las microfibrillas con una estructura básica que se las conoce como cadenas poliméricas de unidades de glucosa que se unen por un átomo de oxígeno a través de un enlace que se lo conoce como o-glucosídico que interviene como un grupo funcional, junto con los grupos hidroxilo, esto establece las propiedades químicas de la celulosa, el grupo hidroxilo se encuentra unido por el enlace de hidrogeno intramolecular al átomo de oxígeno del anillo de la próxima unidad de cadena donde en estos lugares se generan todas las reacciones químicas significativas (Rendo, 2015). Presenta dos estructuras que forman parte importante para el proceso de fermentación y otra amorfa (Chauca, 2019). El polímero lineal de la glucosa tiene una estructura similar a una cinta plana que es resistida por fuerzas de Van der Waals así también por enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares que lo muestran como arreglo cristalino (Sanchez, 2015).

Figura 4. Estructura del polímero de celulosa por enlace *p* – glucosídico

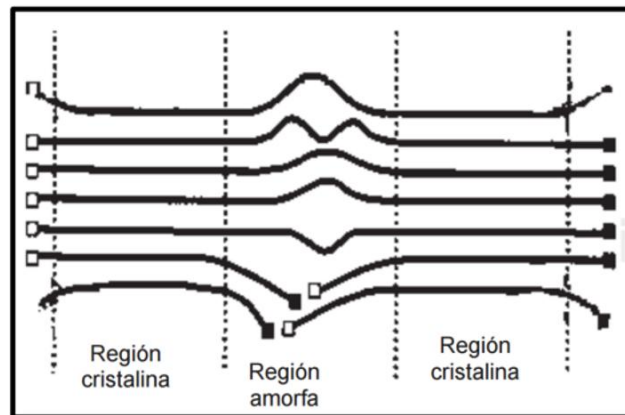


Fuente: (Linares, 2023)

Se la considera insoluble por el alto grado de polimerización y cristalinidad u ordenamiento. La celulosa modificada es soluble como la celulosa amorfa, celooligosacáridos, carboximetilcelulosa, en las cuales el grado polimerización y cristalinidad son menores (Espinosa, 2013).

La estructura de una celulosa no es perfecta, ya que se evidencia regiones amorfas con gran variedad de enlaces de componente heterogéneos, lo que dan paso a la biodegradación de la celulosa. Las regiones amorfas contienen torceduras y espacios donde pueden ingresar o penetrar enzimas o moléculas, como es el agua o celulosas (Gutiérrez-Rojas et al., 2015).

Figura 5. Estructura de las regiones de la celulosa



Fuente:(Martínez-Anaya et al., 2008)

En la celulosa existe grupos hidroxilos de una molécula que se le alinean estrechamente con los de moléculas que se encuentran adyacentes. Esta proximidad ayuda que las cadenas de las células puedan mantenerse juntas mediante fuerzas secundarias, como son las fuerzas de Van de Waals y es más notable en los puentes de hidrogeno, Aunque las interacciones son más pequeñas que los enlaces covalentes primarios, cumplen un papel importante en conferir a las fibras de la celulosa en notables propiedades de resistencia mecánica, Esta secuencia de enlaces secundarios son la base de la estructura que ayuda que la celulosa se un materia muy fuerte y duradero (Gómez y Gisel, 2018).

La aparición de fases amorfas y cristalinas en la celulosa es un fenómeno que no permite la interpretación de su difractograma con rayos X, esto se debe a que las señales de las fases estudiadas se superponen en el mismo punto angular. Por esta razón cuando se desea determinar con precisión el grado de cristalinidad usando esta técnica, es importante identificar la línea base que corresponde al material si este fuera amorfo completamente. Esto ayudaría diferenciar con claridad las contribuciones de las fases amorfas y cristalinas, generando un cálculo más exacto del índice de cristalinidad (Vega-Baudrit et al., 2014).

1.3.2.1. Celulosa cristalina.

La estructura cristalina que tiene la celulosa es biodegradable esto se debe a la acción que cumplen múltiples enzimas las cuales trabajan en conjunto para lograr descomponer las cadenas de las celulosas donde atacan los puntos cristalinos como amorfas. Este proceso es de suma importancia en la degradación de materias celulósicos, ayudando su reciclaje (Nauman et al., 1996). La celulosa I o también conocida con celulosa nativa es la unión

de dos tipos de celulosas cristianizadas, la celulosa Alfa que se refiere al triclinio y celulosa Beta que se refiere a la monoclinica. Se tiene la creencia que los cristalitos de estas tienen estructuras imperfectas, lo que indicaría la existencia de la celulosa amorfa que sería una parte de la estructura se encuentre desordenada y las regiones cristalinas serian ordenadas (Barria, 2022).

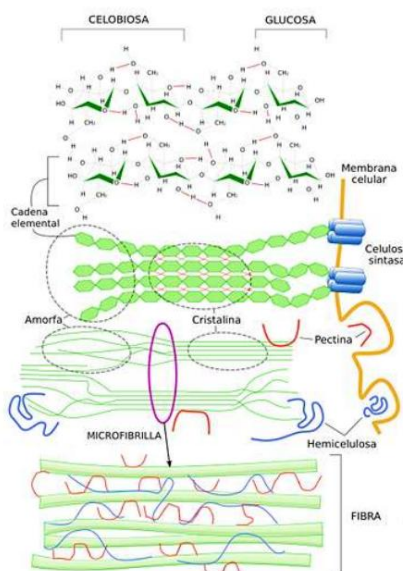
Las celulosas tienen cadenas que forman zonas cristalinas que se dificulta penetrar mediante reactivos y disolventes lo cual genera que la celulosa se vuelva insoluble en un gran número de solventes de origen orgánico convencionales: agua y en álcalis fuertes a temperaturas bajas, mediante esta zona las microfibrillas muestran rigidez y mayores propiedades mecánicas, para poder determinar el tamaño lo cual es muy complejo, debido a la alta tendencia de auto asociación, lo que logra la formación de agregados fibrilares (Terán & Pamela, 2018).

1.3.2.2. Celulosa amorfa.

Los puntos amorfos son más accesibles y apto a reactivos como disolventes(Terán & Pamela, 2018), por ejemplo, tenemos al ácido sulfúrico y al ácido clorhídrico son los reactivos que más se usan gracias a que pueden ingresar fácilmente en las zonas amorfas que tiene un nivel bajo de orden y además no dañan las regiones cristalizadas (Peralta, 2021). Se les puede asignar la elasticidad y la capacidad de absorción característica de la celulosa(Murcia, 2005).

Las moléculas que se encuentra desordenada en la celulosa, así como en la hemicelulosa y ligninas se localiza entre las microfibrillas. Las hemicelulosas se asocian con estructuras amorfas, aunque aparentemente se encuentran orientadas en la misma dirección de las fibrillas de la celulosa mientras que la lignina es amorfa e isotrópica. Se especula que los cristalitos se conectan uno a otro por lugares amorfos desorientados (López & Bolio, 2014).

Figura 6. Organización detallada de las microfibrillas de celulosa



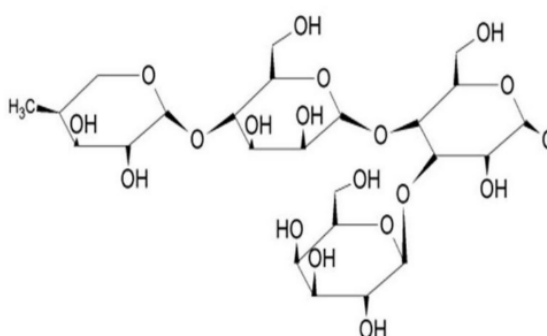
Fuente: (Serrano, 2022)

1.3.3. Hemicelulosa.

La hemicelulosa es un polímero heterogéneo de pentosas, hexosas y ácidos de azúcar. A diferencia a las que son homogéneas como lo son las hemicelulosas y celulosas (Saha, 2003). Su función biológica es la contribución del fortalecimiento de la pared celular que se da a través de la interacción de la celulosa y, también en ciertas paredes, como también se da con la lignina (Scheller, 2010).

El componente importante de la pared celular de la planta es el grupo diverso de polisacárido, lo cual la estructura es final y va a variar según la especie de planta y el tipo de tejido. Las hemicelulosas son utilizadas en diversas aplicaciones industriales, como en aplicaciones medicinales y también como un aditivo alimentario (Pauly et al., 2013).

Figura 7. Estructura de la hemicelulosa



Fuente: (Scheller, 2010).

1.3.4. Lignina.

Se la considera como un polímero natural más abundante de la tierra, y también como la principal fuente de compuestos fenólicos tridimensional, que son altamente ramificados, manteniendo una estructura amorfa con enlaces a la hemicelulosa (Eraghi & Fatehi, 2020). Lo cual mantiene una molécula biopolimérica con enlaces no covalente, conjunto con la celulosa, también se puede decir que es un componente fundamental a las paredes celulares estructurales de las plantas vasculares superiores (Agustiany, 2022).

La lignina es de material polifenólico, con estructura amorfo y tridimensional, que se derivó de la unión de varios alcoholes fenilpropílicos y ácidos (Zumalacárregui.,2015), se la considera insoluble en agua y estable en la naturaleza, ya que actúa como pegamento que conecta la hemicelulosa y celulosa, que se encuentra compuesta por 3 tipos de fenoles sustituidos, que incluye alcoholes sinapílicos, *p*-cumarílicos y coniferílicos por polimerización enzimática, generando una fuerte cantidad de grupos funcionales y enlaces (Watkins et al., 2015), su hidrofobicidad en compañía con el nivel de entrecruzamiento con los polisacáridos es de gran relevancia para la permeabilidad de los poros entre células vegetales (Prinsen.,2020). La cáscara de arroz durante el proceso hidrolítico, uno de los subproductos de un alto valor agregado se logra obtener de ácido levulínico, 5-HMF (Hidroximetilfurfural), sacáridos, fórmicos y acéticos, así como también el residuo sólido que incluye sílice y lignina (Barana et al., 2019).

La separación de la lignina se genera a través del uso de tratamiento de tipo alcalino, lo que va a permitir que se convierta en soluble. Lo cual las condiciones alcalinas cambian las estructuras cristalinas de las celulosas, lo que permite hincharse durante la hidrólisis de esta (Pérez & Sánchez, 2020).

La lignina se la conoce también como un heteropolímero que se compone en 3 principales monómeros fenilpropanoides: uno de ellos es el sinapílico, alcohol *p*-cumarílico (*p*-hidroxifenilo), coniferílico (guayacilo). Pero también se la conoce como monómeros estructurales a monolignoles acetilados, coniferaldehído, ácido ferúlico, sinapaldehído, hidroxicinamatos y alcohol 5-hidroxiconiferaldehído (Maceda et al., 2021a).

hidrogeles de celulosa metilada y destacaron la importancia de la neutralización ácida después de una metilación alcalina, al agregarse HCl no solo ayuda a neutralizar el exceso de NaOH, sino que también beneficia la recirculación de las cadenas de la celulosa metilada. Estas investigaciones indican lo relevante que es el control del pH en las etapas posteriores a la metilación alcalinas para así crear de manera exitosa los hidrogeles de la celulosa, eso quiere decir, que la secuencia de elevar el pH con NaOH para la activación de la celulosa, se debe reducir el pH con HCl para poder neutralizar y gelificar, es una estrategia muy común que se llega a emplear en la síntesis de estos materiales

1.6. Cenizas

La biomasa lignocelulósica abarca grandes cantidades de sales minerales en dicha estructura. Se considera como material mineral incombustible al contenido de cenizas ya que es la fracción que lo compone en biomasa. La ceniza se encuentra en la biomasa con ciertos componentes inorgánicos como potasio, sodio, fósforo, calcio, cloro y silicio. Los inorgánicos como el calcio y el potasio, catalizan la desintegración de la biomasa y la reacción de formación de carbón. Un estudio indica que los residuos agrícolas contienen minerales, por lo que tienen un porcentaje mayor de contenido de cenizas que la biomasa de madera (Awasthi & Bhaskar, 2019).

1.7. Aprovechamiento industrial de la cáscara de arroz

La cáscara de arroz se la considera como el desecho de mayor importancia en la producción del arroz, ya que es útil para la producción en el país, porque genera una fuente de energía al emplearla como combustible. Un estudio realizado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca nos indica que el 35% de la cáscara del arroz se la emplea en la industria florícola y también en criaderos de animales, mientras que el restante es agrupado de la siguiente manera: 50% es incendiada dentro de píldoras, un 15% es arrojada en los bordes de las carreteras, 15% a 25 se la quema en terrenos baldíos, un 10% se quema también en los bordes de las carreteras, un 5% se arroja en ríos y el otro 5% se pierde por causa de los vientos fuertes. El total de la cáscara que se produce en nuestro país es considerable de acuerdo a la generación y acumulación, diferentes ensayos aprovechan la cáscara de arroz en diversos campos y por intermedio de diversos métodos (Salinas, 2019).

La cáscara no contiene propiedades nutritivas de gran significado a diferencia de la cáscara de trigo o salvado, cuya fibra es nutritiva para el sistema digestivo, ya que presenta un elevado contenido de Dióxido de Silicio que se las encuentra en diversas

especies minerales como el cuarzo y también es el componente fundamental de la arena, lo que genera que no sea comestible y que no contenga propiedades nutritivas de gran significado (Aguilar, 2009).

Existen diversos ensayos donde aprovechan la cáscara del arroz en diferentes campos con diferentes métodos, para generar materiales que sean utilizados de una manera inmediata y directa. Según Navarrete (2015), menciona que la cáscara de arroz es utilizada en diversas actividades como: la fabricación de ladrillos, combustible, lechos filtrantes y camas.

Tabla 3. *Aplicaciones y usos de cáscara de arroz*

Aplicaciones de cáscara de arroz	
A	Obtención de etanol por vía fermentativa
B	Tostado para su uso como sustrato en el cultivo de flores
C	Generación de energía (ladrilleras, secado de arroz y cereales)
D	Combustión controlada para uso como sustrato en cultivos hidropónicos
E	Aprovechamiento de la cáscara de arroz en compostaje y como lecho filtrante para aguas residuales
F	Obtención de materiales absorbentes
G	Fuente de sustancias químicas (carboximetilcelulosa de sodio, dióxido de SiO ₂ , Nitrato de silicio, furfural)
H	Cenizas en cultivos (frutas)

Fuente: (Navarrete, 2015)

1.8. Usos de las cenizas de cáscara de arroz

La ceniza de cáscara de arroz se la puede utilizar como fertilizante para el suelo, ya que concede la reincorporación de los nutrientes, principal los minerales, diversos estudios arrojan una mejor producción agrícola con la administración de la ceniza, dando como resultado un mejoramiento del 54%, en el departamento de Casanare adquieren a los molinos la ceniza de cáscara y la administran a sus suelos productivos como son en las plantaciones de palma africana (Garzón, 2023)

La cáscara es usada como un fertilizante para el suelo y al pirolizar la cáscara se puede obtener el biocarbón que se obtiene en la combustión incompleta de la biomasa y se la considera como un material sólido (Cortés & Jaramillo, 2020), la ceniza que se genera en diversos molinos o biochar se la utiliza considerablemente como fertilizante (Diaz, 2019). En una investigación por González (2024), se enfoca que para obtener el biocarbón es a partir del residuo agropecuario como es el estiércol vacuno y la cáscara del arroz, que se genera mediante el pirólisis térmico y la aplicación como un fertilizante orgánico para el cultivo de dicho cereal que es combinado con el suelo agrícola degradado.

Figura 9. Ceniza de cáscara de arroz



1.9. Cama de animales

Los residuos agroindustriales tienen una gran importancia en la alimentación animal cuando existe una alta y constante disponibilidad en todo el año, su procesamiento, manejo, transporte y almacenamiento son de fácil accesibilidad para el ganadero, no genera una competencia con la alimentación humana y el costo es menor a comparación con materias primas tradicionales, en la crianza de pollos *Boilers*, la cama es indispensable para su

bienestar, ya que se encuentran en constante contacto con ella, cumpliendo así funciones como es el aislamiento térmico, dilución de excretas y absorción de humedad, siendo estable con una humedad entre 20% y 25% (Rica Tobía, 2019). La cáscara de arroz se usa tradicionalmente por su suavidad y resistencia, presenta como ciertas desventajas como el riesgo de la aparición de hongos en condiciones de alta humedad (Huillca, 2019b). En los sistemas de crianza de cerdos con camas profundas, existen factores importantes como temperatura, humedad, oxígeno y características de nutrición que ayudan en la biodiversidad microbiana, logrando un proceso de compostaje que empieza cuando los cerdos tienen contacto con la cama afectando directamente su comportamiento y conductas de reproducción (Rondón et al., 2015).

Figura 10. *Evaluación de la cáscara de arroz en la cama de cerdos*

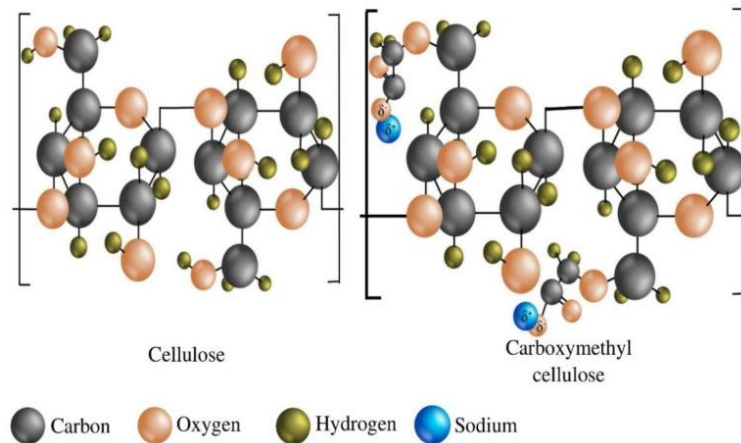


Fuente: (Silverio et al., 2017)

1.10. Producción de carboximetil celulosa

La carboximetilcelulosa es un derivado aniónico soluble en agua de la celulosa, es un polisacárido lineal de anhidroglucosa. Donde las unidades que se repiten se encuentran conectadas por los enlaces β -1,4-glicosídicos. Un estudio indica que a nivel molecular se encuentra una diferencia entre la CMC y la celulosa que se dan en algunos grupos carboximetil aniónicos como es en la estructura de la CMC que reemplaza el átomo de hidrógeno de diferentes grupos hidroxilo que se encuentran presentes en la infraestructura de la celulosa prístina (Rahman et al., 2021).

Figura 11. Molécula de carboximetilcelulosa



Fuente: (Rahman et al., 2021)

La celulosa se aísla en varios residuos agrícolas como es en el aceite de palma, residuos de algodón, cáscara, plátano y cáscara de naranja. La cáscara de arroz es considerada un residuo agrícola que se quema y contamina el medio ambiente (Huillca, 2019a). La carboximetilcelulosa se la obtiene cuando la celulosa reacciona al ácido monocloroacético o con su sal sódica en condición alcalina con la presencia de un disolvente de la celulosa en C6, C3 y C2 se reemplaza por un grupo carboximilo de sodio según su grado (Abdulhameed.,2020).

La cáscara de arroz se la aplica como un residuo agrícola renovable, que se obtiene en abundancia y de fácil acceso (Nwana et al., 2023). El CMC es un polímero de gran importancia industrial debido a que no es tóxico, no alergénico, biodegradable y también a su alta viscosidad, ya que al producir este producto se puede observar su bajo costo y funciona como lubricante, emulsionante, estabilizante, gelificante, filmógeno, dispersante, espesante aglutinante donde se la considera útil como un aditivo en la industria alimentaria (Jarmkom et al., 2021).

La CMC es utilizada en diversos alimentos comerciales abundantes en almidón que controla las propiedades reológicas y de textura, donde mejora la retención de la humedad y estabilidad estructural (Rashid.,2022).

1.11. Aplicaciones

Los hidrogeles a base de celulosa obtenidos por residuos agroindustriales son materiales biodegradables, sostenibles e innovadores que brindan variadas aplicaciones en la industria alimentaria, por ejemplo, en la industria chocolatera gracias a sus propiedades características como versatilidad estructural, capacidad de retención de agua y biocompatibilidad. Pueden imitar grasas y texturas, lo que los hace parte de la elaboración del chocolate bajos en calorías, manteniendo agradable al paladar y una textura cremosa, además, su habilidad para aislar sabores, nutrientes y antioxidantes convirtiéndolo en un recurso esencial para proteger estos componentes de su descomposición, accediendo a una liberación regulada que optimiza el perfil sensorial (textura) y los beneficios funcionales que brinda el producto (Nath et al., 2023b).

En términos de conservación pueden adherir compuestos antioxidantes que alargan la frescura del chocolate, disminuyendo el crecimiento microbiano y la oxidación, los componentes que brindan pueden ser adecuados para formulaciones personales para el desarrollo de chocolates enriquecidos con otros compuestos bioactivos, vitaminas y minerales brindando beneficios para la salud (Freitas et al., 2021).

1.12. Evaluación sensorial

El análisis sensorial facilita el uso y la interpretación científica de datos cuyo propósito en la evaluación de hidrogel en la preparación del chocolate es identificar las características aceptadas según la percepción humana. Esto contribuye en alcanzar la calidad esperada para los consumidores, entre los parámetros considerados en la evaluación sensorial de estos productos se encuentran el sabor, el gusto, textura y apariencia visual (Savitri et al., 2022).

La escala hedónica es una herramienta que permite medir la intensidad de un estímulo asignándole un valor dentro de una escala limitada, generalmente numérica. Se utiliza comúnmente en el análisis sensorial para evaluar la aceptación o preferencia de productos, ayudando a optimizar su aceptabilidad, estas escalas pueden ser verbales, como la de cinco puntos con etiquetas numéricas o descriptivas, donde los evaluadores califican su nivel de aceptación utilizando números (Pimentel et al., 2015).

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1. Localización

El estudio experimental se realizó en la Universidad Técnica de Machala en los laboratorios de investigación de la carrera de Alimentos, perteneciente a la Facultad Ciencias Químicas y de la Salud, ubicada en el Km. 5 ½ de la vía Machala - Pasaje, en la provincia de El Oro. La zona de estudio presenta un clima tropical de sabana, con una temperatura promedio de 27 °C, una humedad relativa del 87,9 %, una altitud media de 9 metros y una latitud 3°17'07.19" Longitud 79°54'46.17"

2.2. Universo y muestra

Las muestras recolectadas en esta investigación se obtuvieron del sector arrocero "La Cuca" situada en la parroquia del cantón Arenillas, en la provincia de El Oro. La recolección de muestras se llevó a cabo de forma aleatoria y simple, seleccionando un kilogramo por cada muestra.

2.3. Tipo de investigación

Este estudio se llevó a cabo como un proyecto de carácter descriptivo, exploratorio y experimental.

2.4. Método analítico

2.4.1. Materia prima.

Con el objetivo de aplicar los pretratamientos fue disminuir su resistencia, permitiendo una mayor liberación de celulosa, hemicelulosa y lignina. A través de estos procesos, se puede alterar la estructura cristalina y amorfa de la celulosa, ya sea reduciendo el tamaño de las partículas o aumentando la porosidad de la misma. Los métodos de pretratamiento utilizados fueron molienda y procesos químicos.

La cáscara de arroz de variedad INIAP 14 filipino, una vez que recolectada, se lavó con abundante agua destilada hasta eliminar las impurezas, se procedió a secar a una temperatura de 50°C por 24 h., luego se pulverizó con la ayuda de un desintegrador, modelo HSD- 400 A, después con la ayuda de un juego de 5 tamices estándar apilados de

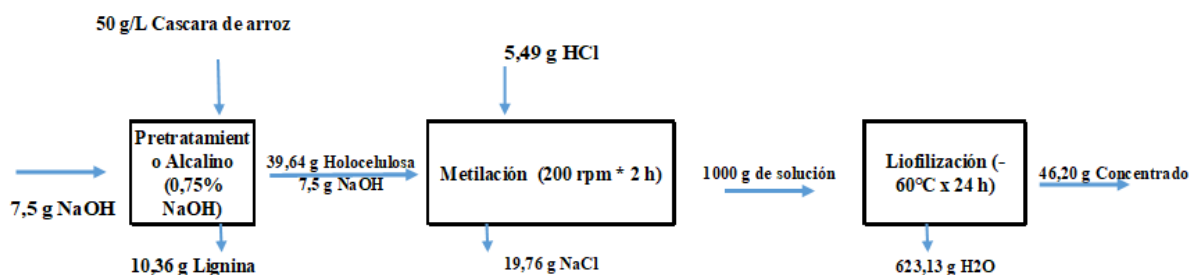
mayor a menor aberturas entre 1.00 mm y 250 μm , el material que pasó por el tamiz se le asignó un tamaño de partícula $\leq 250 \mu\text{m}$ (Dávila et al., 2022). Con el propósito de incrementar el tamaño de los poros, reducir el grado de polimerización, aumentar el área de superficie de contacto y disminuir la flotabilidad y cristalinidad de la celulosa y hemicelulosa (Bevilaqua et al., 2015). La muestra se empaquetó en bolsas de polietileno de alta densidad y se almaceno en un lugar fresco y seco hasta su uso.

Figura 12. Cáscara de arroz



2.4.2. Balance de materia

Figura 13. Flujograma para la obtención de hidrogel de celulosa a partir de la cáscara de arroz



2.4.3. Pretratamiento alcalino en el reactor aerobio (fed - batch).

Para el pretratamiento alcalino en el reactor aerobio se empleó los métodos expuestos por Huang et al., (2018) y Wang et al., (2019) con ciertas modificaciones, para ello se utilizó el reactor utilizado para el proceso de deslignificación alcalina de la cáscara de arroz molida ($\leq 250 \mu\text{m}$) se preparó una solución de cáscara de arroz al 5% (m/v) con 1000 mL de volumen de trabajo, modelo Tec - Bio - T después se agito a 300 rpm alrededor de 30

minutos y se midió el pH inicial con una sonda de electrodo Oakton WD-35805-04 (Sun et al., 2014), posteriormente se adicionara hidróxido de sodio en tres concentraciones diferentes (0.75, 1 y 1.25%), se operó con agitación a 200 rpm a temperatura de 50°C por 90 minutos que es controlada mediante un baño termostático (Paulo et al., 2017). El pH de la solución alcalina fue determinado utilizando un medidor de pH ST5000-F (Worth et al., 1931). Se ajustó el pH a 7 mediante la adición de ácido clorhídrico al 20%, para poder continuar con el proceso de deslignificación, finalmente se filtró obteniendo el hidrogel.

Tabla 4. Preparación de tratamiento

[] Sustrato	Tamaño de partícula (μm)	[] NaOH
S1	250 μm	0,75%
S2	250 μm	1%
S3	250 μm	1,25%

Figura 14. Reactor aerobio tipo batch empleado en la fase de deslignificación



2.4.4. Preparación de las muestras y condiciones de liofilización.

Los hidrogeles obtenidos a partir de diferentes concentraciones se procedieron a colocar en bandejas de aluminio formando una capa de 0,5 cm de espesor y se congelaron a -60°C, durante 48 h, previo a su liofilización, la cual se realizó en un liofilizador del modelo Biobase BK-FD1OP. Las condiciones del sublimado fueron un vacío de 0,1pa y una temperatura de -40°C, durante 24 h. Una vez obtenidos los polvos de celulosa

liofilizada se almacenaron en bolsas de polietileno de alta densidad para conservarlo en un lugar fresco y seco hasta la realización de los análisis. Todos los análisis se efectuaron por triplicado en cada muestra (Sapper et al., 2015 ; Butylina et al., 2016).

Figura 15. Muestras liofilizadas



2.5. Caracterización físico-química de la materia prima (cáscara de arroz).

Se especifican los pretratamientos y los diferentes análisis que se aplica en la materia prima. La lignina y los hidratos de carbonos estructurales y no estructurales componen la mayor parte de este residuo lignocelulósico se medirá como fragmento de un análisis integral.

2.5.1. Determinación de pH.

Para preparar la muestra, se midieron 2 gramos de CA nativo y pretratada por triplicado, lo cual se traspasó en un matraz de 125 ml, donde se adicionaron 20 ml de agua destilada para poder encontrar una proporción de 1:10. Para conservar la mezcla con una plancha termo agitadora marca Cimarec a 200 rpm durante 4 horas, posteriormente se deja reposar a 1 hora, después de la muestra se llega a sedimentar para filtrar y finalmente se mide el pH (Montero, et al., 2014).

2.5.2. Determinación de humedad.

Se aplica el método AOAC (2002) para poder determinar la humedad se trata del método de secado por triplicado, se debe pesar 10 gramos de cáscara de arroz en una cápsula tarada, luego se elimina el agua de la muestra elevando la temperatura de la estufa MERMET a 110 ± 1 ° C durante 3 horas. Se dejó enfriar la cápsula que contiene la muestra en un desecador hasta temperatura ambiente, después se procedió a pesar la cápsula más la muestra en una balanza analítica OHAUS marca Pioneer, este proceso se debe repetir hasta lograr un peso constante en la muestra. El porcentaje de humedad se lo calcula utilizando la siguiente formula (Cárdenas, 2013)

$$\%Humedad = \frac{Ma - Mb * 100}{M}$$

(Ec. 1)

Dónde:

Ma: Masa de la cápsula más muestra en gramos.

Mb: Masa de la cápsula más la muestra seca en gramos.

M: Masa de la muestra sin secar en gramos.

2.5.3. Determinación de cenizas.

La determinación de cenizas es basada por la norma UNE 57050 y es importante conocer el porcentaje cenizas en la materia prima, ya que se ha demostrado que la cáscara de arroz cuenta con un alto contenido de sílice. Los crisoles que se utilizó para la prueba deben de estar a peso constante. Se tomó 1 gramo de muestra y se llevó a mufla HYSC a una temperatura de 560 °C por 1 hora, una vez pasado el tiempo se mete a un desecador por 2 horas hasta que se enfrié y se pesa en balanza analítica Hobersal, HK-11. Las muestras calcinadas deben ser almacenado en un desecador hasta que se alcanzó la temperatura ambiente (Montero, Toscano, Ramos, et al., 2014). El contenido de cenizas se determinó gravimétricamente:

$$Ceniza (\%) = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} * 100$$

(Ec. 2)

Donde:

P_0 = Peso del crisol vacío

P_1 =Peso del crisol con la muestra

P_2 =Peso del crisol con las cenizas

2.5.4. Determinación de sólidos totales.

La solubilidad o fracción másica de sólidos solubles respecto a los totales, se debe medir una parte, el contenido en sólidos totales, por otra parte, los sólidos solubles de cada muestra rehidratada. Para ello se adicionó 1 g de muestra a 9 mL agua destilada en un vaso de precipitados de 100 mL, a 20°C con la ayuda de una plancha termo agitadora constante a 750 rpm (Thermo Scientific S130810-33Q) durante 5 min. En ese momento, para la determinación de los sólidos totales, una parte del rehidratado se secó en estufa de vacío a 60°C y con presión < 100 mmHg durante 24 h., para obtener el peso seco. Para la determinación de la solubilidad, otra parte de la muestra rehidratada se colocó en tubos eppendorf para ser centrifugada modelo LabTech a 10.000 rpm durante 10 minutos a 4°C. Todo el sobrenadante obtenido se filtró con filtro de jeringa con papel Whatman n°1, y todo el filtrado obtenido se secó en las mismas condiciones descritas para los sólidos totales (Sapper et al., 2015b). Se calculó a partir de la ecuación 3.

$$SD = \frac{SS}{ST} = \frac{\frac{m_{Rh}^{1s}}{m_{Rh}^1}}{\frac{m_{Rh}^{2fs}}{m_{Rh}^2}}$$

(Ec. 3)

Donde:

SD= Solubilidad

SS= Sólidos solubles

ST= Sólidos totales

m_{Rh}^{1s} = peso seco

m_{Rh}^1 = parte del rehidratado

m_{Rh}^2 = otra parte de la muestra rehidratado

m_{Rh}^{2fs} = peso seco del filtrado

2.5.5. *Determinación de azúcares reductores.*

2.5.5.1. *Preparación del reactivo DNS.*

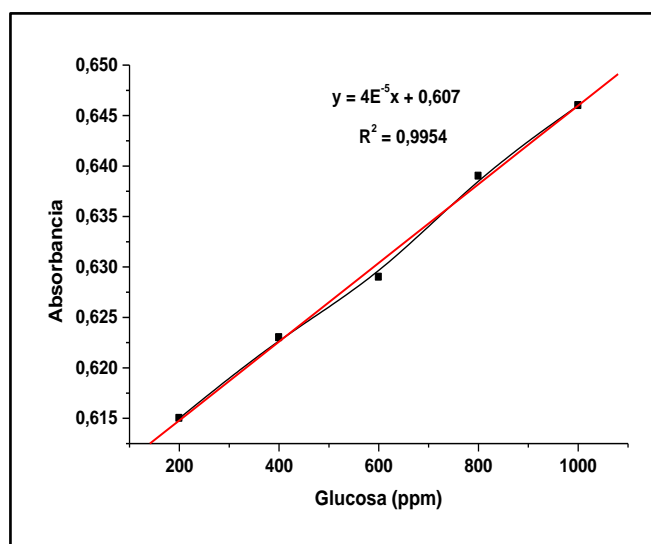
Se debe pesar 1,6 gramos de NaOH, 43,8 gramos del tartrato de NaK y 1 gramo de ácido 3,5-dinitrosalicílico. Se debe agregar el NaOH en un vaso precipitado con 50 ml con agua destilada hasta que se disuelva completamente, luego se debe adicionar el tartrato de NaK pausadamente hasta que se llegue a disolver por completo la solución usando la agitación magnética, y se adiciona el ácido 3,5-dinitrosalicílico, se debe proteger el reactivo de la luz con papel aluminio. Después se debe aforar la solución a 100 ml y se debe dejar en agitación durante toda la noche en un envase color ámbar (Miller, 1959; PUJ, 2011).

2.5.5.2. *Determinación de la concentración de azúcares reductores.*

Se centrifugo la muestra del caldo hidrolizado por unos 8 minutos a 4000 rpm. Se adiciono 0,25 ml de la muestra y 0,25 ml del reactivo DNS en los tubos con tapa de rosca cubiertos con papel aluminio que cuida la muestra de la luz del sol. Los tubos de ensayo se colocan en baño termostático a la temperatura a 92°C durante 5 minutos. Se detiene la reacción con el enfriamiento con hielo durante otros 5 minutos y se adiciona 2,5 ml de agua destilada a cada tubo que contiene la muestras, se agita y se realizó la interpretación de absorbancia a 540 nm en el espectrofotómetro UV-VIS (PG Instruments Ltd, modelo T70+ UV/VIS Spectrometer). Se realizo un retroceso lineal a la curva de calibración, se despeja la variable concentrada en relación a la absorbancia medida, y se sustituye los datos que se obtuvieron.

Se preparó concentraciones de glucosa al 100, 200, 400, 600, 800 y 1000 ppm, para hacer la curva de calibración y así calcular el valor de azúcares reductores en mg/L. La curva de calibración se obtuvo de la relación directa entre la absorbancia de glucosa y las relaciones de las respectivas concentraciones.

Figura 16. Curva de calibrado de glucosa



2.5.6. Determinación del contenido celulosa por el método fenol – ácido sulfúrico.

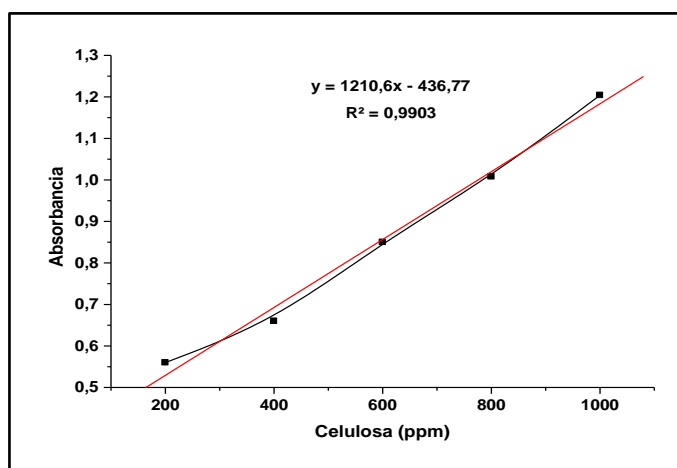
Preparación de reactivo

Solución diluida de Fenol (5%): Se tomó 5 g del reactivo Fenol y se lo diluyó en 100 mL de agua destilada.

Ensayo: En el proceso para determinar el contenido de celulosa según la metodología de López et al. (2017), se usó el procedimiento que a 2 ml de la solución en los azúcares, se debe adicionar 1 ml de una solución de fenol a un valor del 5%. Después se debe adicionar 5 ml de ácido sulfúrico con una alta concentración, este procedimiento se realizó de manera rápida entre cada una de los reactivos adicionados. Se necesita mantener la adición en los reactivos de una manera directa sobre el líquido y evitando las paredes del tubo. Luego los tubos de ensayo deben reposar durante 10 min., seguido de una agitación durante 30 s, luego en un baño a la temperatura ambiente hasta que pase 20 minutos para que desarrolle el color. El blanco y la solución patrón se debe elaborar mediante el procedimiento anteriormente mencionado, usando el carbohidrato de sumo interés. Finalmente se debe medir usando el espectrofotómetro UV-VIS (PG Instruments Ltd, modelo T70+ UV/VIS Spectrometer) con una longitud de onda de 490 nm.

Se realizó mediante curvas de calibración construida en el rango de 100, 200, 400, 600, 800 y 1000 mg/L de concentración de estándares preparados manualmente, y así calcular la cuantificación de celulosa. La curva de calibración se obtuvo de la relación directa entre la absorbancia de celulosa y las relaciones de las respectivas concentraciones.

Figura 17. Curva calibrada de celulosa.



2.5.7. Determinación de Lignina por el método Klason.

El contenido de lignina Klason de estas muestras determinado por el método del ácido sulfúrico. Se pesó 1 gramo de cáscara de arroz molida ($\leq 250 \mu\text{m}$) y seca, se hicieron reaccionar con 15 ml de H_2SO_4 al 72% a temperatura ambiente, con una plancha termo agitadora marca Cimarec a 120 rpm durante 2 horas se notará que la muestra se torna oscura. Luego la solución ácida se diluyó con agua desionizada hasta una concentración de 3% se procedió a calentar a 121°C y 2 atm durante 1 hora en una autoclave (Sterilclav-75). Una vez fría la solución se filtró luego vez filtrada la muestra se llevó a estufa MERMET a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ durante 3 horas, posteriormente se pesó la lignina insoluble en ácido se determinó gravimétricamente (Intapun et al., 2021). La fracción soluble de lignina se determinó según el método TAPPI TUM 250 (1985), a una absorbancia de 280 nm en un espectrofotómetro UV-VIS (PG Instruments Ltd, modelo T70+ UV/VIS Spectrometer) (Galiwango & Rahman, 2018), se calculó usando la siguiente formula:

Lignina insoluble

$$\%Lignina\ insoluble = \frac{AIL\ (g)}{\text{Peso inicial de la biomasa}} * 100$$

(Ec. 4)

$$Lignina\ soluble = \frac{A}{110} * \frac{\text{dilución}}{\text{peso original de la muestra}} * 100\%$$

(Ec. 5)

Donde.

A= absorbancia a 280 nm

Las ligninas insolubles en ácido y solubles en ácido se combinaron y reportaron como lignina total.

$$\%Lignina_{Extacto\ libre} = \%AIL + \%ASL$$

(Ec. 6)

2.5.8. Caracterización de la carboximetilcelulosa.

2.5.8.1. Grado de sustitución.

Para poder determinar el grado de sustitución se pesó 3 g por cada muestra y se adiciono 75 ml de alcohol etílico 95%. Se mantuvo en agitación marca Cimarec hasta lograr una suspensión, luego se agregó 5ml de HNO₃. Se aumento la temperatura de la mezcla hasta punto de ebullición alrededor de 5 minutos, después se continuo con la agitación (Thermo Scientific S130810-33Q) durante 10 minutos a 15 minutos en temperatura ambiente. Se realizo un filtrado de las fibras y el residuo se lavó con etanol hasta tener una nula presencia del ácido. Finalmente, se lavó el precipitado con una cantidad mínima de metanol y se dejó secar durante 3 horas a 105 °C.

Se peso 1 gramo de carboximetilcelulosa acida, adicionando una solución de NaOH a 0.4 N, se elevó la temperatura a punto de ebullición durante 10 minutos para luego valora el exceso con HCL 0.4 N. Todo este proceso se basó a la norma ASTM D1439-94 y se aplicó Ec.7 y 8 en el grado de sustitución.

$$A = \frac{BC - DE}{F}$$

(Ec. 7)

Ecuación. Grado de sustitución

$$G = \frac{0.162 * A}{1 - (0.059 * A)}$$

(Ec. 8)

Donde:

A= miliequivalentes de consumo de ácido por gramo

B= Volumen de NaOH añadido

C= Concentración en normalidad de NaOH añadido

D= Volumen de consumo de HCl

E= Concentración en normalidad de HCL consumido

F= gramos de muestra utilizada

2.5.8.2. Grado de pureza.

Se peso de 3 a 5 g de la muestra en donde fueron colocados en un platillo de vidrio previamente tarado de forma baja y con un diámetro de tapa de 65 m. Se dejó secar la masa de manera constante a una temperatura de 150 °C en un horno de convección mecánica. Se peso tanto el periodo inicial de la muestra como al final de calentamiento durante 2 horas y después continuar con repeticiones de calentamiento de 30 minutos hasta notar algún cambio en la masa durante un tiempo de calentamiento evitando que no sea superior a 0.10%. Si se llega a producir un aumento en la masa de la muestra durante uno o más periodos de secados, se registró la masa más baja observada para determinar el cálculo de contenido de humedad. Luego se realizó el pesado de 3 g de la muestra en su estado inicial con una precisión de 0.001 g y se lleva a un vaso de precipitación de 400 m, en donde se adiciono 150 ml de etanol al 80% el cual se elevó su temperatura a 60°C - 65°C. Se colocó el vaso en baño maría manteniendo una temperatura constante, revisando que el nivel del agua sea superior al del agua que se encuentra en el vaso y se debe usar una tapa que ayude con su agitación. Se introdujo un agitador mecánico que llegó casi al fondo del vaso y se dejó en agitación por 10 minutos con una velocidad que sea adecuada para que se lograra una mezcla homogénea sin que se genere salpicaduras. Después se detuvo la agitación y se dejó asentar la materia que aún no se disolvía, en donde el líquido restante caliente se decanta a través de un crisol filtrante de vidrio previamente tarado. Se procedió a adicionar 150 ml de etanol a 80% a 60°C - 65°C y este proceso de extracción y de decantación se volvió a repetir. Se pasó la materia insoluble al crisol con ayuda del etanol caliente, donde se aseguró la recuperación total de la muestra al preceder a raspar la tapa, agitador y el vaso precipitado. El crisol se colocó en la estufa MERMET a una temperatura a 105 °C aproximadamente durante 1 hora, donde se removió el contenido con una varilla metálica para poder partir la torta y que facilite un secado de manera completa. Este proceso de secado se debe repetir por otra hora y después se colocó el crisol en un desecador, el cual se cubrió con su tapa para minimizar la absorción de humedad, donde se dejó enfriar por 30 minutos para después realizar otro pesado. Los secados se prolongaron en secciones adicionales de 1 hora observando que la variación de masa no llegue a superar el 0.003%. En caso de llegar observar un

incremento de masa en algún periodo, se realizó un registro a la masa más baja como una referencia final el cual es correspondiente al crisol que contiene carboximetilcelulosa sódica seca.

$$S = \frac{A * 10000}{B * (100 - C)}$$

(Ec. 9)

Donde:

A= masa de residuos secos (g)

B= masa de muestra utilizada (g)

C= % humedad de la muestra recibida

2.5.8.3. Viscosidad.

La medición de la viscosidad del cmc obtenida del hidrogel de la cáscara de arroz se llevó a cabo con ayuda del uso del viscosímetro rotacional digital ViscoLead ONEL 100220, para su respectiva lectura de la viscosidad, se colocó la muestra en un vaso de precipitación de 300mL (Figura17), se usó el husillo L4 a una velocidad de 50 rpm para el cmc comercial (2% cmc en 500mL de agua destilada), de tal forma para las muestras que se obtuvo durante esta investigación bajo las siguientes condiciones de 5 %m/v en 500 mL de agua destilada se empleó el husillo L1 a una velocidad de 20 rpm hasta que se logró determinar la viscosidad de cada una de las pruebas de hidrogeles realizadas, usando como referencia el método que especifica la (ASTM D1439 - 03, 2004).

Figura 18. Medición de viscosidad del cmc obtenido del hidrogel



2.6. Desarrollo del Diseño Experimental

Con el objetivo de solubilizar la celulosa presente en la cáscara de arroz se adicionará NaOH en tres concentraciones diferentes (0,75%; 1%; 1,25%), todos los tratamientos se realizaron por triplicado se procede a evaluar a que concentración de NaOH se logró obtener un hidrogel. Los ensayos se llevaron a cabo de un biorreactor a 200 rpm y una temperatura constante de 50°C, manteniendo las mismas condiciones de tiempo de reacción en todos los casos. La formación de hidrogel será evaluada en función de parámetros como apariencia, viscosidad y capacidad de retención de agua, asegurando un análisis sistemático de los efectos de la concentración de NaOH sobre el proceso. Este diseño busca identificar la concentración óptima para la formación de hidrogel, proporcionando una base sólida para aplicaciones futuras.

Tabla 5. Diseño experimental para solución formadora del hidrogel

Muestras	Repetición	[%] NaOH		
		0.75	1	1.25
Metilación	1			
	2			
	3			

2.7. Proceso para la elaboración de emulsiones aceite/agua

Las emulsiones se prepararon utilizando como fuente principal la mantequilla clarificada como fuente de grasa, y diferentes celulosas que actúan como emulsionantes y estabilizantes, con este fin se emplearon 2 tipos de hidrocoloides tales como la carboximetilcelulosa comercial y la celulosa obtenida presente en la investigación. Por cada muestra de éter de celulosa se utilizaron condiciones específicas de temperaturas, dispersión e hidratación (Gao et al., 2024).

En las distintas pruebas preliminares que se realizaron donde se incluyó emulsionante carboximetilcelulosa comercial y a base de cáscara de arroz en diferentes porcentajes tomando como referencia a las concentraciones de uso establecidos (Tabla 6).

Tabla 6. Preparación de pruebas preliminares de emulsiones con distintos hidrocoloides.

	Hidrocoloide %		Agua %	Mantequilla clarificada %
Prueba 1	Carboximetilcelulosa de cáscara de arroz	4	50	46
Prueba 2	Carboximetilcelulosa de cáscara de arroz	7.37	54.75	37.87
Prueba 3	Carboximetilcelulosa de cáscara de arroz	6	54.75	41.5

Nota. La tabla representa la aplicación de CMC de cáscara de arroz en diferentes concentraciones como prueba preliminar para la preparación de emulsión

En base a los resultados más óptimos que se obtuvo con metilcelulosa, se estableció que el 7.37% es el porcentaje adecuado para elaborar chocolate. El porcentaje mencionado crea un equilibrio exacto entre viscosidad, estabilidad y textura, frente a otras fórmulas de concentraciones y del mismo hidrocoloide, donde se llegaba a obtener emulsiones con un mayor nivel de viscosidad y con riesgo a reacciones de desfase. Por tal razón, nuestra emulsión base se muestra en la tabla, misma composición empleada en estudios comparables.

Tabla 7. Formulación de la emulsión

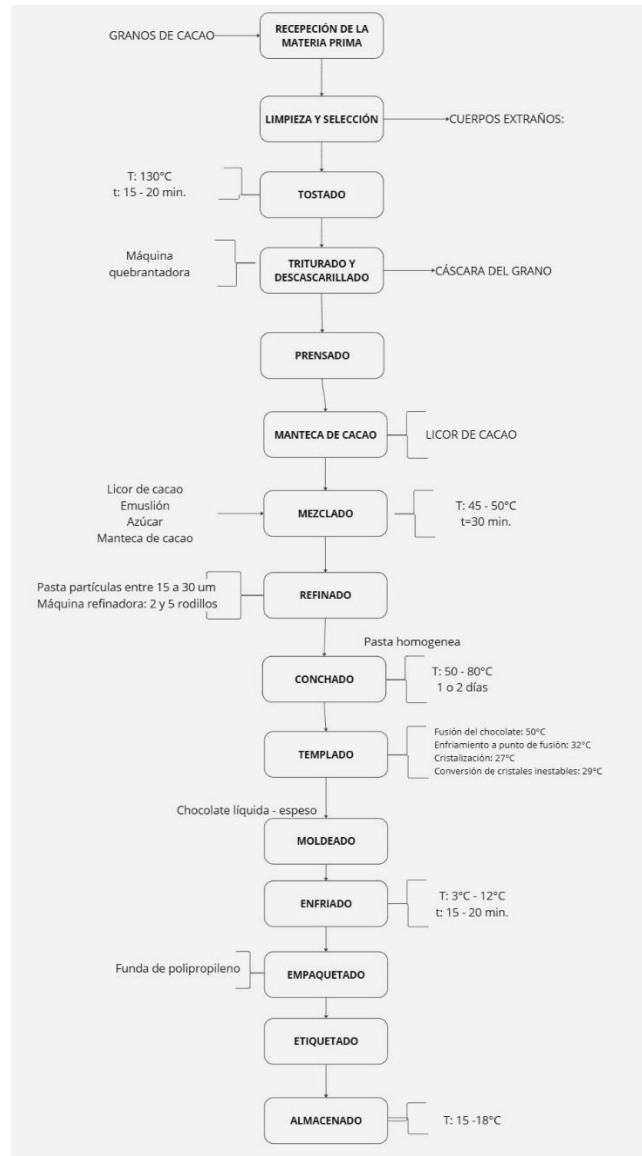
Componente	%	Masa (g)
Grasa	37.87	200.6
Agua	54.75	290
CMC de CA	7.37	39.07

Para la creación de la emulsión, la mantequilla clarificada se expuso a baño maría hasta que llegó a temperaturas de (60°C - 65°C), luego se esperó hasta bajar su temperatura entre (40°C - 45°C), se realizó una agitación con la mínima velocidad, agregando paulatinamente la carboximetilcelulosa de CA. Cuando la carboximetilcelulosa de CA se dispersó en la mantequilla clarificada, se adicionó agua a 20°C y la mezcla se homogenizó con ayuda de un mezclador de marca Ultra-turrax por 1 minuto a una velocidad de 500 rpm, después se aumentó la velocidad hasta 13500 rpm durante 1 minuto y finalmente se elevó la temperatura a la velocidad de 17500 rpm igualmente por 1 minuto, obteniendo la integración de todos los componentes de la mezcla, se generó una emulsión de aceite en agua, la misma que se llevó en refrigeración hasta 5°C por 24 horas con el objetivo de obtener una emulsión estable. Este proceso se llegó a repetir con varios porcentajes de cada uno de los hidrocoloides, hasta que se logró crear una emulsión que genere características esperadas en el producto final. Esto se logró con la fórmula que contenía carboximetilcelulosa de CA como agente emulsionante.

2.8. Elaboración del chocolate

En la elaboración del chocolate es fundamental regirse bajo la normativa Ecuatoriana INEN 621 (2010), la finalidad es de obtener un producto de buena calidad para el consumidor, a continuación, en la Figura 19, se detalla el proceso que se realiza para obtener el chocolate.

Figura 19. Diagrama de proceso para la obtención del chocolate



2.8.1. Formulación del producto.

En la tabla 8, se detalla una formulación experimental, con proporciones específicas para la elaboración del chocolate clásico.

Tabla 8. *Formulación base del producto*

Ingrediente	%	g
Manteca	10	60
Cacao	50	600
Panela	35	210
Lecitina	0,1	6
Leche en polvo	5	30
	100,1	906

A partir del hidrogel de la celulosa presente en la CA que tenga cumpla sus propiedades adecuadas para su aplicación, se realiza la elaboración de chocolate siguiendo la formulación establecida. Como se indica en la siguiente Tabla 9.

Tabla 9. *Formulación de barra de chocolate con emulgel*

Ingrediente	%	g
Manteca de cacao	15,67	350
Cacao	30,48	680,388
Panela	30,11	672,15
Emulgel	23,72	529,67
	99,98	2232,208

2.9. Evaluación sensorial

Para la evaluación sensorial de dos muestras cacao, se procedió a realizar una prueba afectiva de escala hedónica de 5 niveles donde logro evaluar el grado de aceptabilidad del producto tomando en cuenta ciertos atributos como es textura, sabor, olor, color y finalmente la aceptación en general para elegir la formulación más adecuada. Mediante el criterio subjetivo de 22 catadores semientrenados que estudian en la facultad de Ciencias Químicas y de la Salud. Para esto se proporcionó a 22 catadores una hoja de evaluación sensorial con sus respectivas instrucciones, en donde las 2 muestras fueron codificadas para su correspondiente identificación.

2.9.1. Análisis estadístico de los resultados.

Los análisis estadísticos sobre el producto final se realizaron en el programa de estadística como Origin50 y los gráficos se crearon en el mismo programa utilizando ANOVA unidireccional para poder analizar la variable dependiente cuantitativa vinculada a una

variable de factor donde intervienen las 2 formulaciones M1 y M2. Este mismo estudio se utilizó para decidir la aceptación unánime entre las dos formulaciones

2.10. Materiales y reactivos

Para llevar a cabo la presente investigación, se emplearon los siguientes materiales, equipos y reactivos.

Materiales de laboratorio

- Vaso de precipitación 50mL, 100mL, 250mL, 600mL, 1000mL
- Probeta graduada de 50mL, 1000mL
- Bureta con soporte
- Pinza de acero inoxidable
- Embudo de vidrio con soporte
- Gradilla
- Envases de vidrio ámbar
- Pipeta de 1mL
- Micropipetas 10uL, 1000uL
- Balones volumétricos 100mL, 250mL, 500mL
- Espátula
- Piseta
- Pera
- Papel filtro Whatman #1
- Cápsulas de porcelana
- Crisoles de porcelana
- Celdas de cuarzo
- Tubos de ensayos 10mL
- Tubo eppendorf
- Fundas de ziploc
- Mandil de laboratorio
- Guantes
- Mascarilla
- Cofía

- Moldes de silicón para chocolates

Equipos

- Agitador magnético
- Balanza analítica
- Estufa
- pH- metro
- Termómetro
- Desecador
- Campana de extracción
- Espectrofotómetro
- Mufla
- Desintegrador
- Centrifugadora
- Liofilizador
- Refrigeradora
- Agitador de tamices
- Autoclave
- Biorreactor experimental de 2000 mL
- Molino
- Refinadora
- Turbomix

Reactivos

- Reactivo DNS (Dinitrosalicílico)
- Solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 0.75%, 1%, 1.25%
- Solución de ácido sulfúrico 72%
- Solución de ácido clorhídrico 20%
- Agua destilada
- Agua desionizada
- Fenol 5%

- Polietilenglicol (PEG) 4000
- Etanol 95%
- Etanol 85%
- Ácido nítrico
- Solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,3 N
- Solución de ácido clorhídrico 0,3 N
- Carboximetilcelulosa (CMC)
- Fenolftaleína

Recursos físicos

- Emulsión de carboximetilcelulosa de cáscara de arroz
- Grasa láctea
- Pasta de chocolate
- Agua purificada
- Cáscara de arroz

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización físico química de la biomasa lignocelulósica (CA)

La composición inicial de la cascarilla de arroz es fundamental en todo proceso, pues de esta manera se determina la cantidad de celulosa disponible para ser utilizada como sustrato para el proceso de deslignificación alcalina. En la tabla 10 se observa la composición físico-química de la CA utilizada para la investigación:

Tabla 10. Caracterización físico química de la cáscara de arroz (Oryza sativa)

Componentes	%
Sólidos totales	94 ± 4,503 a
Celulosa	52,933 ± 0,503 b
Lignina	20,714 ± 0,356 c
Cenizas	20,966 ± 1,285 c
Humedad	6 ± 0,458 d

Según la Tabla 10, se puede verificar que la composición inicial de la cascarilla de arroz variedad INIAP 14 filipino. Los resultados indican que el 52.93% de la cascarilla de arroz es holocelulosa (hemicelulosa y celulosa), disponible para poder esterificar la celulosa y convertirla en un hidrogel.

Investigaciones similares reportan el 45% de celulosa, en cáscara de arroz en variedades de arroz INIAP 14 filipino (Pérez et al., 2022). También se han encontrado contenidos de lignina entre 20-25% en muestras de cáscara de arroz molidas (Ling et al., 2024).

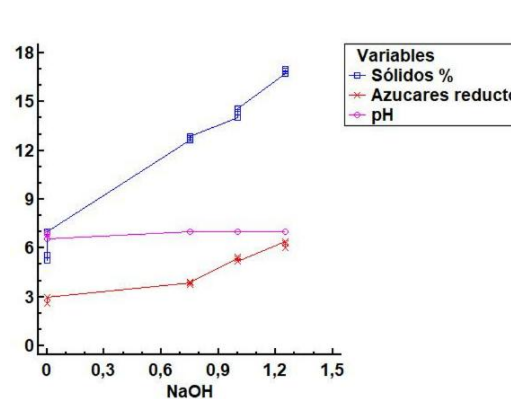
Estudios sobre la caracterización de la cascarilla de arroz por diferentes autores han informado cifras similares de lignina, celulosa, humedad y ceniza para este tipo de residuos. (Abdulhameed et al., 2025; Olazabal, 2025)

3.2. Determinación de los sólidos totales, pH y Azúcares Reductores en la deslignificación alcalina de la cascarilla de arroz

La adición de hidróxido de sodio a la celulosa, genera la formación de ésteres de celulosa, los cuales son más solubles en agua (**Figura 20**)

3.2.1 Valoración de porcentaje de sólidos totales, pH y Azúcares Reductores de la cascarilla de arroz en concentraciones de NaOH.

Figura 20. Efecto de diferentes concentraciones de NaOH sobre el % Sólidos Totales, Azúcares reductores y pH.



Los resultados del porcentaje de sólidos totales indican que los valores P del estadístico presentan diferencia significativa ($p \leq 0,05$), evidenciando distribución normal de datos con un 95% de confianza. En la **Figura 20**, se exponen los valores observables en base a los tratamientos de parámetros de % sólidos totales, Azúcares Reductores y pH. Existen variaciones en % de sólidos totales y azúcares reductores cuando se aumenta la concentración de NaOH. Mediante el análisis de ANOVA y el valor P de la prueba Fisher, la concentración de Hidróxido de Sodio tiene una influencia significativa ($p \leq 0,05$) sobre el pH, % sólidos totales y Azúcares Reductores de la cascarilla de arroz. Asimismo, Tareq et al. (2019) sugirieron que la formación de hidrogeles muestra un comportamiento de poder de hinchamiento elevado usando una solución tampón de fosfato pH 7 en cascarilla de arroz.

El tratamiento con NaOH, mejora la solubilización de la celulosa, incrementando la liberación de azúcares reductores. Estudios realizados por Castillo (2019) indican que pre

tratamientos alcalinos efectivos pueden incrementar la disponibilidad de azúcares fermentables en residuos lignocelulósicos, incluyendo la CA.

Similar a lo reportado por Castillo et al., (2020) La eficiencia de extraer azúcares reductores fermentables depende de la concentración de NaOH y las condiciones de reacción. La solución de NaOH al 0,75% genera una reducción de los sólidos totales hasta un 15% de acuerdo con la muestra control, lo que indica una mayor solubilización de compuestos de la cáscara de arroz. Esta forma de comportarse puede surgir por la precipitación de lignina o la formación de componentes insolubles a concentraciones más altas de álcali. Las condiciones alcalinas óptimas son de suma importancia para maximizar la solubilidad de lignina y reducir la formación de subproductos no solubles.

3.3. Deslignificación de la cáscara de arroz ($\leq 250 \mu\text{m}$) y solubilizar la celulosa, mediante la adición de NaOH.

La lignina se puede deslignificar mediante la adición de alcalis para aislar compuestos fenólicos (ácido vainílico, ácido ferúlico, ácido p-cumárico, ácido gálico, ácido hidroxibenzoico, ácido siríngico) con propiedades antioxidantes (Xavier et al., 2024).

3.3.1. Composición de la cáscara de arroz nativa y pretratada con NaOH.

Tabla 11. Composición de la cáscara de arroz nativa y pretratada con NaOH

Componente (%p/p)	Nativo	Pretratado		
		a	b	c
Celulosa	52,93333±0,50332 2 a	56,0533±0,4106 5 b	64,28±0,75286 1 c	69,26±0,848705 d
Lignina	20,7133±0,357258 a	12,6733±0,4760 6 b	6,14 ± 0,44441 c	3,97333±0,2853 6 d

Media aritmética por triplicado ± Desviación estándar; medias en una columna con diferente letra son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$)

Con respecto a los datos detallados en la **Tabla 11.** se puede evidenciar que la composición de la cáscara de arroz nativa y pretratada mediante hidrólisis alcalina en dos pasos, indican que los valores de las variables celulosa y lignina presentan diferencia significativa ($p \leq 0,05$) han generado cambios significativos en la composición de la pared de la CA, evidenciando distribución normal de datos con un 95% de confianza, además

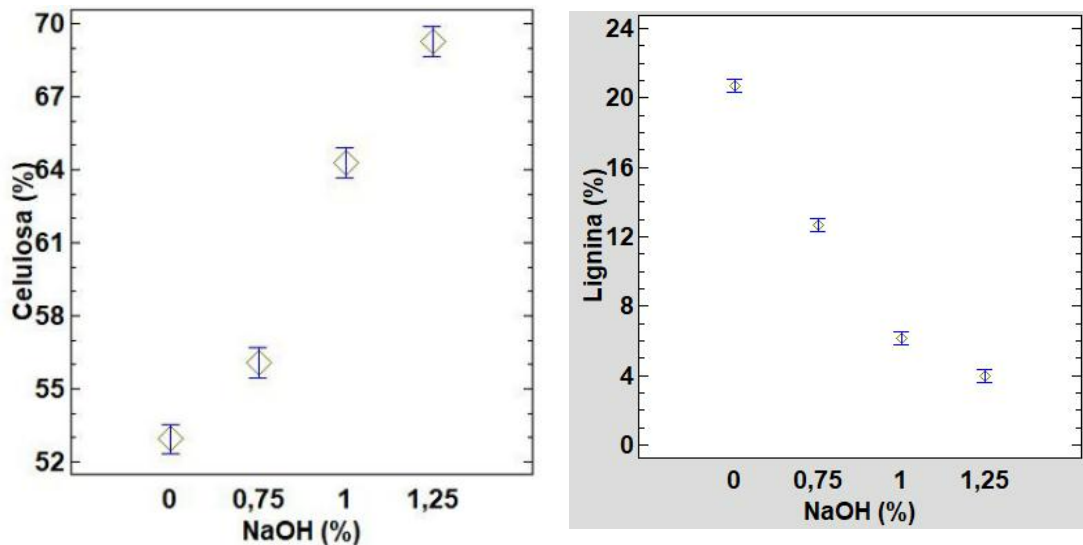
se verificó la homogeneidad de las varianzas por medio de la prueba de Levene's indicando que no hubo diferencia significativa en las desviaciones estándar de la cáscara de arroz pretratada a diferentes concentraciones (0,75; 1 y 1,25%) de reacción en las tres réplicas realizada, mientras los valores en el porcentaje de celulosa y lignina no son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$).

La composición de la cáscara de arroz nativo contenía un 52,93% de celulosa y un 20,71% de lignina. En la deslignificación alcalina con NaOH realizado a 50°C se observó cuando la CA fue pretratada con diferentes condiciones de pretratamiento con NaOH (0.75, 1 y 1.25%), generalmente el contenido de celulosa aumento del 52.93% en la cáscara de arroz nativa no tratada a un rango entre 56,03-69,26%. El contenido más alto de celulosa de la CA pre tratada fue del 69,26%, un aumento del 30,85% con respecto al contenido de celulosa de la cáscara de arroz nativa sin deslignificar, observando cuando la CA fue pretratada con 1,25% p/v NaOH por 2 horas de pretratamiento. Por otro lado, d (2023) aplicó pre-tratamientos alcalinos con diferentes concentraciones de NaOH en una investigación sobre la “*Obtención de bioetanol de segunda generación a partir de este residuo agrícola*”, el mayor porcentaje de celulosa obtenido después de pretratamiento fue de 39.5% para la cáscara de arroz original y 42.2% para la cáscara de arroz lavada, ambos utilizando una concentración NaOH al 10%, estos resultados difieren al porcentaje de celulosa de los datos obtenidos, estas diferencias detectadas pueden deberse a que la zona cristalina y amorfa dependen de la concentración y temperatura aplicada. Tsegaye et al. (2019) menciona que los tratamientos con concentraciones de NaOH (3 y 7%) son más efectivos para la eliminación de lignina y para liberar el máximo cantidad de celulosa.

No obstante, la lignina de la cáscara de arroz al contener varios compuestos fenólicos metoxilados con enlaces éter, puede ser reducida por NaOH a hidroxilo fenólico. Los estudios indican que la lignina se puede disminuir el porcentaje por pretratamiento alcalino debido a la ruptura que se da en el enlace α -aril éter causada por la saponificación del enlace éter (Barana et al., 2016; Singh & Dhepe, 2016).

Figura 21. Media de Fisher LDS del Efecto % NaOH con respecto al % Celulosa y %

Lignina



La **Figura 21.** muestra el efecto de los pretratamientos alcalino los cuales aumentan los rendimientos de celulosa y disminuye el porcentaje de lignina en comparación con la biomasa nativa, el tratamiento con NaOH al 1,25% alcanzó un 69,11%, mientras que la muestra control sin tratamiento químico, un valor de 52,93%; valores similares obtuvieron Shahabazuddin et al. (2018), de 32,65% al 40,55% al observar que la CA pretratada en el método hidrólisis ácida aumenta su contenido de celulosa y los contenidos de lignina fueron del 26,68% al 22,70% empleando concentraciones al 2% de NaOH con diferente cantidad de biomasa y de diferente tamaño de partícula (0,25; 0,625 y 1 mm). Asimismo, AL-Rajabi (2024) obtuvo del 29,4% al 10,7% de celulosa con diferentes concentraciones de hidróxido de sodio (3, 7 y 11 %). Estos resultados podrían deberse a que la deslignificación alcalina favorece la eliminación de lignina y hemicelulosa, aumentando la pureza de la celulosa.

Además se visualiza los análisis proximal de la CA tanto pretratado como del nativo donde por medio de un análisis ANOVA y el valor de P de la prueba Fisher se observó que las diferentes concentraciones de NaOH de reacción en las cáscara de arroz pretratada tuvo una influencia significativa ($p \leq 0,05$), donde los porcentajes de lignina presentaron en primera instancia un descenso en las diferentes concentraciones de NaOH (0,75; 1 y 1,25%) durante 2 horas estos valores disminuyeron de 12,65 al 3,97%. Por el contrario Okur & Eslek (2020) obtuvieron 25,40% de lignina para la cáscara de arroz pretratada a

90°C/16 - 24 h., donde se observó la formación del gel como resultado de la reacción de esterificación entre etilenglicol (EG)/ácido cítrico (CA), de la misma manera Jiang & Hu (2019) usaron distintas concentraciones de NaOH (10 y 20%) ocasionando un aumento de porcentaje de contenido de celulosa (72%) y un descenso de lignina (7%) presente en la CA deslignificada, produciendo una gran cantidad de destrucción de la BL (biomasa lignocelulosa), también ocasiona la hidrólisis parcial de holocelulosa y despolimerización de una unidad de lignina lo que provocó que los azúcares y los compuestos fenólicos se disolvieron en agua, la mayoría de los componentes de este residuo agrícola se disuelven y algunas son fácil de eliminar, en cambio componentes duros son difíciles destruirlo de la pared celular en el proceso de deslignificación.

En la investigación propuesta por Laghari et al. (2018) se reportó un incremento similar del contenido de celulosa desde la cáscara de arroz nativo y el pretratado de 38,6 al 57,4% por el contrario se presencié un incremento del porcentaje de lignina de 17,8 al 12,4% sobre deslignificación de la cáscara de arroz asistida por microondas con el uso del hidróxido de sodio (2, 3,5 y 5%). Asimismo, Syazwanee et al. (2018) se obtuvieron valores de 33,55 al 35,61% del contenido de celulosa de la paja de arroz pretratada y una disminución de lignina (12,14 - 10,79%) de diferentes tamaños de partículas al 2% de NaOH. Estos cambios se podrían deber a que la eliminación de lignina es esencial para mejorar la accesibilidad de la celulosa y su posterior funcionalización. Indica que a mayor tamaño de partícula de la paja de arroz es, mayor es el porcentaje de celulosa y menor el porcentaje de lignina, es útil para el proceso de deslignificación facilitando la transferencia de calor y masa en la hidrólisis enzimática.

3.4. Análisis de Carboximetilcelulosa (CMC) obtenido de la cáscara de arroz

Tabla 12. Efecto de las propiedades de los hidrocoloides a diferentes concentraciones de NaOH.

Propiedad	Carboximetilcelulosa (CMC)	CMC de cáscara de arroz		
		0,75%	1%	1.25%
Viscosidad (mPa·s)	9315.7	238.4	147	92.9
Grado de sustitución (DS)	0.75	1.70	1.74	1.89
Grado de pureza	95.3	80	32.09	28.50

El CMC derivada de la cáscara de arroz presenta un mayor DS, mientras que la viscosidad y grado de pureza es mayor en la CMC comercial (**Tabla 12**), lo que sugiere diferencias estructurales que afectan sus propiedades reológicas. Según Cáceres (2020) la pureza promedio fue del 88% y el grado de sustitución de 0,65 a 0,75, asimismo Gamboni et al. (2019) obtuvo una pureza $\approx 87\%$ en 55% NaOH y una relación de ácido monocloroacético-fibra de celulosa. Sin embargo, estudios han demostrado que la viscosidad de los hidrogeles de CMC no depende solo del DS, sino también de factores como la concentración y temperatura. En una revisión sobre la síntesis y aplicaciones de hidrogeles de CMC, se destaca que la viscosidad puede variar significativamente según las condiciones de preparación y las características intrínsecas del material (Zhang et al., 2022). Además, la pureza de la CMC obtenida de fuentes naturales puede verse afectada por la presencia de impurezas derivadas del proceso de extracción. Asimismo, Cevallos et al. (2024) investigaron sobre la extracción y caracterización de CMC a partir de cáscara de cacao, se observó que la presencia de compuestos no celulósicos influye en las propiedades finales del producto.

3.5. Metilación química de la celulosa a partir de la cáscara de arroz

Tabla 13. Consumo de HCl en distintas concentraciones de NaOH

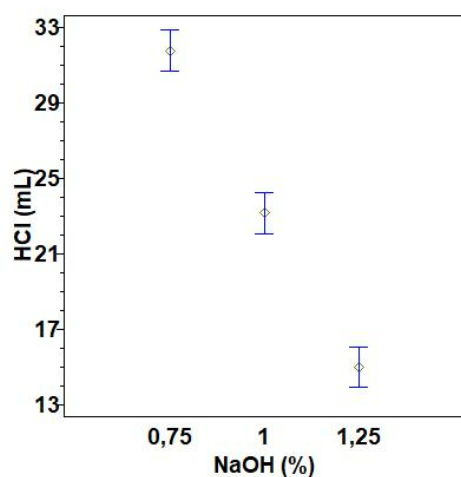
% NaOH	HCl (mL)
0,75	31,7667 ± 0,929157 a
1	23,1667 ± 1,30128 b
1,25	15,0 ± 1,0 c

Media aritmética por triplicado ± Desviación estándar; medias en una columna con diferente letra son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$)

La tabla 13, muestra la relación entre la concentración de HCl (g/l) y el pH en un proceso de metilación química de la celulosa utilizando diferentes concentraciones de NaOH. Se observa que, a medida que se agrega HCl, el pH disminuye drásticamente después de un punto crítico cercano a pH 11 -12, donde ocurre la neutralización de la base (NaOH) (figura 22). Sun et al. (2004) mencionan que la titulación con HCl después de la adición de NaOH evita la degradación de la celulosa y mejora el rendimiento del producto metilado. Estos estudios respaldan la observación de que el pH inicialmente se eleva con NaOH y se reduce con HCl, asegurando una conversión eficiente de la celulosa en metilcelulosa.

Canché et al. (2005) menciona que al disminuir el pH en el proceso de cloración a 8,4 se obtuvieron rendimientos de 22-27% celulosa. Por otro lado, Ardila et al. (2024) investigó la extracción de celulosa de los residuos de pseudostem de plátano, el tratamiento con 30% NaOH, resultó en 99,5% de rendimientos de celulosa. En contraste, los tratamientos que utilizan H₂O₂ lograron porcentajes de celulosa más bajos, que oscilaron entre el 60% y el 68%.

Figura 22. Consumo de HCl en distintas concentraciones de NaOH



3.6. Evaluación sensorial del chocolate

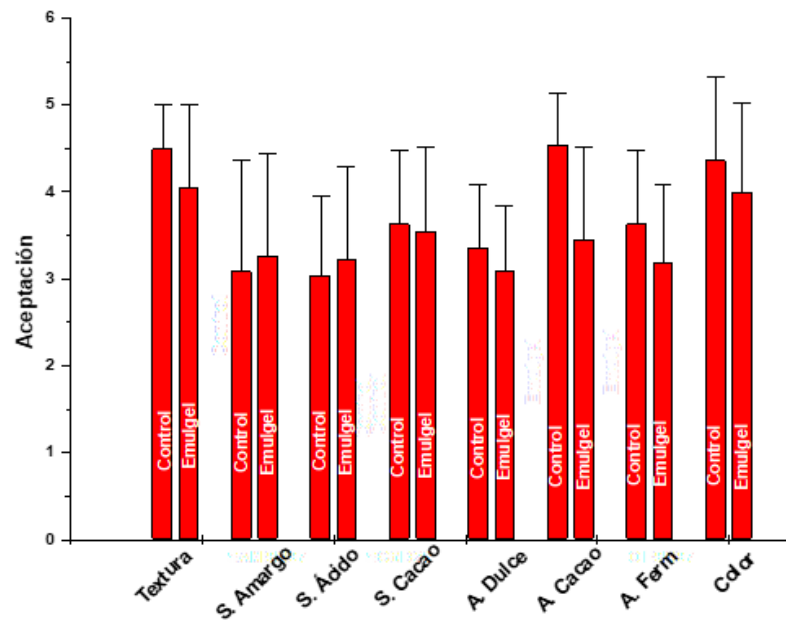
Tabla 14. Análisis de varianza

Fuente	Media	Varianza	N
Control	4,54545	0,35498	22
Emulgel	3,45455	1,11688	22

F = 17,78824
p = 1,28645E-4

De acuerdo con la **Tabla 14** y **Figura 23**, el análisis sensorial realizado al chocolate con la adición de emulgel, indica que el único parámetro en el cual existe diferencia significativa ($p \geq 0,05$) es el aroma de cacao con 1,05 puntos en la aceptación sensorial con respecto al chocolate clásico. Investigaciones realizadas por Espert et al. (2021) menciona que en formulaciones de chocolate donde se añade hidrogel con un 0,5% de celulosa, tiene mejores propiedades organolépticas con respecto a las formulaciones clásicas de chocolate donde se adiciona manteca de cacao.

Figura 23. Evaluación sensorial del chocolate con la adición de emulgel



CONCLUSIONES

La obtención de Hidrogel a partir de cáscara de arroz permite rechazar la Hipótesis Nula (H_0) y aceptar la Hipótesis Alternativa (H_1) que establece que es posible obtener hidrogel a partir de la metilación de la celulosa, demostrando ser una fuente viable para elaborar chocolate.

La caracterización de la cáscara de arroz nos indica que el éter de residuo es una fuente prometedora para la elaboración del hidrogel, se evidenció que el aumento de la concentración de hidróxido de sodio durante el pretratamiento alcalina también mejoró significativamente la deslignificación en el residuo agrícola y por lo tanto liberando más azúcares reductores de la CA. El proceso de deslignificación y solubilidad total de la cáscara de arroz se logró mediante la adición de hidróxido de sodio en concentración del 0,75% p/v fue el más efectivo, logrando un balance óptimo entre la remoción de lignina y la preservación de las propiedades hidrocoloides. Esto se evidencia en los resultados de viscosidad (234,8 mPa*s) y grado de Pureza (80%) Tabla 12, que fueron superiores a los tratamientos con concentraciones más altas de NaOH. Esta condición de pretratamiento produjo el mayor porcentaje de deslignificación sobre el contenido de lignina en la muestra de cáscara de arroz nativa no tratada. El contenido de hidratos de carbono en la CA pretratada ha aumentado en comparación con CA nativa, mientras que el contenido de lignina ha disminuido en la cáscara de arroz pretratada.

Por otro lado, la cuantificación del grado de metilación del hidrogel obtenido con 0,75% NaOH alcanzó un (DS) grado de sustitución de 1,70, superior al CMC comercial (0,75), manteniendo propiedades funcionales adecuadas para su aplicación. El consumo de HCl en este tratamiento indica una metilación efectiva de la celulosa.

En la evaluación sensorial donde se aplicó el Hidrogel extraído como sustituto parcial en chocolate, aunque hubo diferencias significativas en el parámetro aroma a cacao, el producto final mantuvo características sensoriales aceptables, demostrando su potencial como ingrediente funcional en aplicaciones alimentarias.

Estos resultados afirman que es posible obtener un hidrogel funcional a partir de la cáscara de arroz, siendo el tratamiento con menor concentración de NaOH (0,75%) el más efectivo al proporcionar el mejor balance entre grado de metilación, pureza y propiedades hidrocoloides. El procedimiento desarrollado representa una alternativa sustentable para la valorización del residuo agroindustrial, contribuyendo a la economía circular y al desarrollo de nuevos materiales funcionales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda manejar equipos que controlen la temperatura de manera constante, permitiendo llevar a cabo la metodología del proceso sin interferir en el proceso adecuado para homogenizar todos los componentes.

Además, es importante realizar los análisis preliminares exhaustivos de las muestras, para mantener sus características organolépticas para la elaboración de las emulsiones y chocolate. Esto incluye comparar y evaluar diferentes emulgel a través de datos obtenidos para determinar cuál es el más adecuado.

BIBLIOGRAFIAS

- Abdulhameed, A., Mbuvi, H., Changamu, E., Githinji, I., & Maingi, F. (2025). Synthesis and characterization of cellulose phosphate-based superabsorbent hydrogels from rice husk under microwave heating. *Next Materials*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2024.100400>
- AboDalam, H., Devra, V., Ahmed, F. K., Li, B., & Abd-Elsalam, K. A. (2022). Rice wastes for green production and sustainable nanomaterials: an overview. *Agri-waste and microbes for production of sustainable nanomaterials*, 707-728. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128235751000093>
- Adsul, M. G., Singhvi, M. S., Gaikawai, S. A., & Gokhale, D. V. (2011). Development of biocatalysts for production of commodity chemicals from lignocellulosic biomass. In *Bioresource Technology* (Vol. 102, Issue 6, pp. 4304–4312). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.002>
- Ahmad, M., Manzoor, K., Ahmad, S., & Ikram, S. (2018). Preparation, kinetics, thermodynamics, and mechanism evaluation of thiosemicarbazide modified green carboxymethyl cellulose as an efficient Cu (II) adsorbent. *Journal of chemical & engineering data*, 63(6), 1905-1916. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jced.7b01008>
- Aguilar, J. (2009). *ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE ARROZ*. <http://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/211>
- Agustiany, E. A., Rasyidur Ridho, M., Rahmi DN, M., Madyaratri, E. W., Falah, F., Lubis, M. A. R., ... & Fudholi, A. (2022). Recent developments in lignin modification and its application in lignin-based green composites: a review. *Polymer Composites*, 43(8), 4848-4865. <https://doi.org/10.1002/pc.26824>
- AL-Rajabi, M. (2024). Impact of Alkali Concentration in Delignification Treatment for Cellulose Extraction from Rice Straw. *JORDANIAN JOURNAL OF ENGINEERING AND CHEMICAL INDUSTRIES (JJEI)*, 94–102. <https://doi.org/10.48103/jjeci7122024>
- AOAC. (2002). Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists (Horwitz, William, ed.). In *Journal of Chemical Education* (Vol. 43, Issue 9). <https://doi.org/10.1021/ed043p508.1>
- Ardila A., A. N., Arriola-Villaseñor, E., González, E. E. V., Guerrero, H. E. G., Hernández-Maldonado, J. A., Gutiérrez-Pineda, E., & Villa, C. C. (2024). Enhanced

- Cellulose Extraction from Banana Pseudostem Waste: A Comparative Analysis Using Chemical Methods Assisted by Conventional and Focused Ultrasound. *Polymers*, 16(19), 2785. <https://doi.org/10.3390/polym16192785>
- Aro, N., Pakula, T., & Penttilä, M. (2005). Transcriptional regulation of plant cell wall degradation by filamentous fungi. In *FEMS Microbiology Reviews* (Vol. 29, Issue 4, pp. 719–739). <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2004.11.006>
- Arora, R., Sharma, N. K., Kumar, S., & Sani, R. K. (2018). Lignocellulosic Ethanol: Feedstocks and Bioprocessing. In *Bioethanol Production from Food Crops: Sustainable Sources, Interventions, and Challenges* (pp. 165–185). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813766-6.00009-6>
- Awasthi, A., & Bhaskar, T. (2019). Combustion of lignocellulosic biomass. In *Biomass, Biofuels, Biochemicals: Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels* (pp. 267–284). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816856-1.00011-7>
- Azat, S., Korobeinyk, A. V., Moustakas, K., & Inglezakis, V. J. (2019a). Sustainable production of pure silica from rice husk waste in Kazakhstan. *Journal of Cleaner Production*, 217, 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.142>
- Barana, D., Orlandi, M., Salanti, A., Castellani, L., Hanel, T., & Zoia, L. (2019). Simultaneous synthesis of cellulose nanocrystals and a lignin-silica biofiller from rice husk: Application for elastomeric compounds. *Industrial Crops and Products*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111822>
- Barria, C. (2022). *Índice de cristalinidad de la celulosa en madera sometida a tensión: Comparación de diferentes métodos de medición usando DRX y análisis del comportamiento de los ordenamientos atómicos o fases de la celulosa*. <https://doi.org/http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/4108>
- Barzola, K. (2012). *Producción de arroz bajo riego de la variedad F – 50 mediante el uso de briquetas compuestas de N. P. K en el Cantón Daule*. 1, 75. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/31022>
- Bevilaqua, D. B., Montipó, S., Pedroso, G. B., & Martins, A. F. (2015). Sustainable succinic acid production from rice husks. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 1, 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2015.09.001>
- Butylina, S., Geng, S., & Oksman, K. (2016). Properties of as-prepared and freeze-dried hydrogels made from poly(vinyl alcohol) and cellulose nanocrystals using freeze-

- thaw technique. *European Polymer Journal*, 81, 386–396.
<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2016.06.028>
- Cáceres, L. (2020). *Obtención de carboximetilcelulosa a partir de celulosa de cascarilla de*. <https://ria.utn.edu.ar/server/api/core/bitstreams/88d681a5-b1e7-4910-a3d9-c496c5ac1da1/content>
- Canché-Escamilla, G., De los Santos-Hernández, J.M., Andrade-Canto, S., & Gómez-Cruz, R. (2005). Obtención de Celulosa a Partir de los Desechos Agrícolas del Banano. *Información tecnológica*, 16(1), 83-88. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642005000100012>
- Cárdenas. (2013). *Levantamiento de Información para la Acreditación ISO 17025 del Laboratorio de Bromatología de la FIMCP en el Parámetro Humedad*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/30864>
- Castillo, Y. (2019). *PRE TRATAMIENTO Y SACARIFICACIÓN ENZIMÁTICA DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE ARROZ, CAÑA DE AZÚCAR Y MAÍZ*. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12996/4031>
- Castillo, Y., Juscamaita, J., A, P., Montalvo, J., Visitación, L., (2020). PRE TRATAMIENTO E HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ. *Rev Soc Quím Perú*. 85(4) <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n4/2309-8740-rsqp-85-04-476.pdf>
- CFN. (2017). *FICHA SECTORIAL ARROZ SUBGERENCIA DE ANÁLISIS DE PRODUCTOS Y SERVICIOS*. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2023/fichas-sectoriales-1-trimestre/Ficha-Sectorial-Arroz.pdf>
- Chauca, P. (2019). *Obtención de etanol de segunda generación a partir de biomasa lignocelulósica (cascarilla de arroz) en Tarapoto – San Martín 2019*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/36110>
- Cobos Mora, F., Gómez Villalva, J., Moran, E. H., & Litardo, R. M. (2020). *SUSTAINABILITY OF RICE CULTIVATION (Oryza sativa L.) IN DAULE, PROVINCE OF GUAYAS, ECUADOR*. 5, 2528–8083. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4116460>
- Cortés, C., & Jaramillo, L. (2020). *Valorización de cascarilla de arroz en diferentes sectores industriales*. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/4858>
- Cortes, W. (2014). *Tratamientos Aplicables a Materiales Lignocelulósicos para la Obtención de Etanol y Productos Químicos* *Applicable to Treatment Materials for*

- Obtaining Lignocellulosic Ethanol and Chemicals.*
<https://revistas.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/1297/905>
- Corrales, A. (2023). *Producción de xilooligosacáridos (XOS) a partir de cáscara de arroz.* <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/fee43121-c5a7-4cce-8bbd-f015a2f2db27>
- Cruz, M. (2014). *Evaluación de la deslignificación alcalina de la cáscara de arroz para su aprovechamiento en la obtención de resinas fenólicas.* <https://rein.umcc.cu/handle/123456789/1212>
- Dávila Jiménez, M. J., Granja Salazar, M. P., López Peña, M. J., Zambrano Suárez, V. S., & Erazo Morocho, E. A. (2022). Elaboración de hidrogeles para la remoción de residuos de agua a base de celulosa extraída del residuo de frutas. *Tierra Infinita*, 8(1), 158–163. <https://doi.org/10.32645/26028131.1160>
- Degiovanni, V. B., Martínez R, C. P., & Motta, F. O. (2010). Origen, taxonomía, anatomía y morfología de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.). *Producción Eco-Eficiente Del Arroz En América Latina*, 1, 35–58. <https://hdl.handle.net/10568/82462>
- Díaz, T. (2019). *USOS POTENCIALES DE CASCARILLA DE ARROZ EN EL DEPARTAMENTO DE CASANARE.* <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/30131>
- Dinaharan, I., Kalaiselvan, K., Akinlabi, E. T., & Davim, J. P. (2017). Microstructure and wear characterization of rice husk ash reinforced copper matrix composites prepared using friction stir processing. *Journal of Alloys and Compounds*, 718, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.05.117>
- Ebrahimi, M., Villaflores, O. B., Ordone, E. E., & Caparanga, A. R. (2017). Effects of acidified aqueous glycerol and glycerol carbonate pretreatment of rice husk on the enzymatic digestibility, structural characteristics, and bioethanol production. *Bioresource Technology*, 228, 264–271. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.106>
- Eraghi, A., & Fatehi, P. (2020). Technical lignin and its potential modification routes: A mini-review. *Industrial Crops and Products*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112732>
- Espert, M., Hernández, M. J., Sanz, T., & Salvador, A. (2021). Reduction of saturated fat in chocolate by using sunflower oil-hydroxypropyl methylcellulose based oleogels.

- Food Hydrocolloids*, 120(April 2021), 0-5.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106917>
- Espinosa, F. (2013). *OBTENCIÓN DE ETANOL MEDIANTE HIDRÓLISIS ALCALINA, ENZIMÁTICA Y FERMENTACIÓN A PARTIR DEL EXCEDENTE ORGÁNICO DEL BANANO VARIEDAD MUSA PARADISIACA*.
<https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/9ba12613-dbe7-416a-8a55-9454c4dfa172>
- FAO (2024). *World food situation: Cereal supply and demand brief*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es>
- FAO (2023). Food Price Index. In *The Palgrave Encyclopedia of Global Security Studies* (Issue November). https://doi.org/10.1007/978-3-319-74319-6_464
- FAO. & OCDE. (2019). *OCDE-FAO Perspectivas*.
www.oecd.org/about/publishing/Corrigenda_AO_ES.pdf
- FAO (2017). *Seguimiento del Mercado del Arroz de la FAO (SMA) - octubre de 2014*. 3.
- Freitas, L. C., Barbosa, J. R., da Costa, A. L. C., Bezerra, F. W. F., Pinto, R. H. H., & Carvalho Junior, R. N. de. (2021). From waste to sustainable industry: How can agroindustrial wastes help in the development of new products? In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 169). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105466>
- Galiwango, E., & Rahman, N. (2018). Klason Method: An Effective Method for Isolation of Lignin Fractions from Date Palm Biomass Waste. In *Online* (Vol. 57).
<https://www.researchgate.net/publication/326983293>
- Gamboni, J. E., Sánchez, J. M., Slavutsky, A. M., & Bertuzzi, M. A. (2019). *OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CARBOXIMETILACIÓN DE CELULOSA PROVENIENTE DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR*.
https://www.aaiq.org.ar/SCongresos/docs/04_025/papers/10a/10a_1520_847.pdf
- Gao, Z., Shen, P., Lan, Y., Cui, L., Ohm, J.-B., Chen, B., & Rao, J. (2020). *Effect of alkaline extraction pH on structure properties, solubility, and beany flavor of yellow pea protein isolate*. *Food Research International*, 109045.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109045>
- Gao, Y., Liu, R., & Liang, H. (2024). Food Hydrocolloids: Structure, Properties, and Applications. In *Foods* (Vol. 13, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods13071077>

- García, L. (2013). *Obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de la caña de azúcar*. 47, 57–63. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223126409008.pdf>
- Garzón, P. (2023). *EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE ARROZ*. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9208>
- Gómez, N., & Gisel, C. (2018). *Obtención de celulosa a partir de residuos de la poda de pasto común por medio de líquido iónico (cloruro de 1-butil-3-metilimidazolio)*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/21236>
- González, M. (2024). *Obtención de biochar a partir de residuos agroindustriales (estiércol vacuno y cascarilla de arroz) mediante pirólisis térmica y su aplicación en cultivo de arroz (*Pyricularia oryzae* Cav.) combinado con suelo agrícola degradado*. <https://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/7235>
- Gutiérrez-Rojas, I., Moreno-Sarmiento, N., & Montoya, D. (2015). Mechanisms and regulation of enzymatic hydrolysis of cellulose in filamentous fungi: Classical cases and new models. *Revista Iberoamericana de Micología*, 32(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2013.10.009>
- He, X., Lu, W., Sun, C., Khalesi, H., Mata, A., Andaleeb, R., & Fang, Y. (2021). Cellulose and cellulose derivatives: Different colloidal states and food-related applications. In *Carbohydrate Polymers* (Vol. 255). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117334>
- Heinze, T., & Pfeiffer, K. (1999). Studies on the synthesis and characterization of methylcellulose. *Cellulose*, 6(1), 13-32.
- Hopson, C. (2023). *Formulación de ionogeles e hidrogeles de celulosa procedente del fraccionamiento de la madera y su aplicación en la impresión 3D*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=324900>
- Huang, G., Peng, W., Yang, S., & Yang, C. (2018). Delignification kinetic modeling of NH₄OH-KOH-AQ pulping for bagasse. *Industrial Crops and Products*, 123, 740–745. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.040>
- Huillca, M. (2019). *Efecto del uso de viruta, cascarilla de arroz y arena como materiales de cama sobre los parámetros productivos de pollos parrilleros*. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4749>
- INEN. (2014). Frutas frescas. Aguacate. Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 2-3.

- Intapun, J., Rungruang, T., Suchat, S., Cherdchim, B., & Hiziroglu, S. (2021). The characteristics of natural rubber composites with klason lignin as a green reinforcing filler: Thermal stability, mechanical and dynamical properties. *Polymers*, *13*(7). <https://doi.org/10.3390/polym13071109>
- Jarmkom, K., Khobjai, W., Teachaoei, S., & Shuwisitkul, D. (2021). Synthesis of carboxymethyl cellulose from rice husk. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, *13*(Special Issue 1), 50–54. <https://doi.org/10.22159/ijap.2021.v13s1.Y0104>
- Jayaprakash, V., Sivasaravanan, S., Bupesh Raja, V. K., Anish, M., Raman, N., & Laxman, N. (2020). Optimization of drilling parameters of epoxy/rice husk composite material. *Materials Today: Proceedings*, *21*, 104–107. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.370>
- Jiang, B. N., Li, D., Zou, X. N., Wei, H. G., Zhong, C., & Chu, L. Q. (2023). Preparation and antibacterial activity of injectable methylcellulose/chitosan double network hydrogel. *Cellulose*, *30*(16), 10357–10372. <https://doi.org/10.1007/s10570-023-05516-x>
- Jiang, Z., & Hu, D. (2019). Molecular mechanism of anionic dyes adsorption on cationized rice husk cellulose from agricultural wastes. *Journal of Molecular Liquids*, *276*, 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.11.153>
- Kordi, M., Farrokhi, N., Pech-Canul, M. I., & Ahmadikhah, A. (2024). Rice Husk at a Glance: From Agro-Industrial to Modern Applications. *Rice Science*, *31*(1), 14–32. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.08.005>
- Laghari, S. M., & Tunio, M. (2018). Delignification of Rice Husk by Microwave Assisted Chemical Pretreatment. In *Technology & Applied Science Research* (Vol. 8, Issue 3). <https://www.researchgate.net/publication/346751985>
- Lanzas, K., & Reñazco, A. (2016). *Análisis de la producción del cultivo de arroz (Oryza sativa) en Nicaragua 2004-2014*. 40. <https://repositorio.una.edu.ni/3438/1/tne70l297.pdf>
- Linares, C. (2023). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CELULOSA MICROCRISTALINA OBTENIDA A PARTIR DEL RAQUIS Y PSEUDOTALLO DEL BANANO (Musa sapientum) APLICANDO EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA-ALCALINA PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/18511>

- Ling, Q., Harrison, M. D., Hassanpour, M., & Zhang, Z. (2024). Rice husk derived lignin/silica hybrid nanoparticles stabilized Pickering emulsion for phytosterol ester biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 283(P1), 137600. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137600>
- Listyaningrum, N. P., Sutrisno, A., & Wardani, A. K. (2018). Characterization of thermostable cellulase produced by Bacillus strains isolated from solid waste of carrageenan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 131(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/131/1/012043>
- Liu, Y., Ahmed, S., Sameen, D. E., Wang, Y., Lu, R., Dai, J., Li, S., & Qin, W. (2021). A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging application. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 112, pp. 532–546). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.016>
- López Legarda, X., Arboleda Echavarría, C., & Segura Sanchez, F. (2015). Producción de polisacáridos a partir de Ganoderma sp., aislado en la región andina. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(2), 44–54. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.47060>
- López, M., & Bolio, G. (2014). *OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.)*. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/784>
- López, X., Taramuel-Gallardo, A., Arboleda-Echavarría, C., Segura-Sánchez, F., & Luis Fernando Restrepo-Betancur, E. (2017). Comparación de métodos que utilizan ácido sulfúrico para la determinación de azúcares totales Comparison of methods using sulfuric acid for determination of total sugars. In *Rev. Cubana Quím* (Vol. 29, Issue 2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212017000200002
- Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., & Terrazas, T. (2021a). Lignin: composition, synthesis and evolution. *Madera y Bosques*, 27(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
- Martínez-Anaya, C., Balcázar-López, E., Dantán-González, E., & Folch-Mallol, J. L. (2008). *Celulasas fúngicas: Aspectos biológicos y aplicaciones en la industria energética* (Vol. 50). <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=24275>
- Montero, G., Toscano, L., Ramos, R. T., & Beleno, M. T. (2014). *Determinación de los principales componentes de la biomasa lignocelulósica; celulosa, hemicelulosa y*

- lignina de la paja de trigo para su posterior pretratamiento biológico.*
<https://www.researchgate.net/publication/282365664>
- Mor V, D. R. (2013). Utilization of Rice Husk and Their Ash: A Review. In *RJCES* (Vol. 1, Issue 5).
- Morales, O. V. (2015). *ETANOL LIGNOCELULÓSICO, A PARTIR DE CASCARILLA DE CAFÉ, POR MEDIO DE HIDRÓLISIS QUÍMICA-ENZIMÁTICA Y FERMENTACIÓN.*
- Muharja, M., Darmayanti, R. F., Fachri, B. A., Palupi, B., Rahmawati, I., Rizkiana, M. F., Amini, H. W., Putri, D. K. Y., Setiawan, F. A., Asrofi, M., Widjaja, A., & Halim, A. (2023). Biobutanol production from cocoa pod husk through a sequential green method: Depectination, delignification, enzymatic hydrolysis, and extractive fermentation. *Bioresource Technology Reports*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101298>
- Murcia, D. (2005). *OBTENCIÓN DE ACETATO DE CELULOSA A PARTIR DE RESIDUOS CELULÓSICOS POSTCONSUMO.*
- Nath, P. C., Debnath, S., Sharma, M., Sridhar, K., Nayak, P. K., & Inbaraj, B. S. (2023a). Recent Advances in Cellulose-Based Hydrogels: Food Applications. *Foods*, 12(2), 1–27. <https://doi.org/10.3390/foods12020350>
- Nauman, S. A., Swannell, R. P. J., Lee, K., Mcdonagh, M., Hmchee, R. E., Kittel, A. J., Reisingrr, & j, 101~106 ;, P., Trampler, A., Hames, B. ; A. D., Nlsamanrepong, J. R., Govind, W., Pradhan, R., Siddiqur, S. B., Rosenberg, E., Lcgmann, R., Kushmaro, A., Taube, R., Adler, E., & Ron, E. Z. (1996). 15 Prince, R. C. (1995) m &&cd Biorenwdiariorl ofPerro/eunt Hydrocarbor~s. In) 1. hd. *IMicrobiol* (Vol. 160, Issue 1). Battelle Press 16 Ladousse.
- Navarrete, D. (2015). Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como medio filtrante. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/29845>
- Nwanna, E. C., Orakwe, L. C., Nwabanne, J. T., Nwachukwu, C. P., Ekpo, A. E., Oyeoka, H. C., & Maduegbuna, J. I. (2023). Synthesis and utilization of rice husk cellulose nanocrystals as biocomposite film reinforcement for edible packaging application. *UNIZIK Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2), 416–426.
- Okur, M., & Eslek Koyuncu, D. D. (2020). Investigation of pretreatment parameters in the delignification of paddy husks with deep eutectic solvents. *Biomass and Bioenergy*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105811>

- Oliveira, J. P. de, Bruni, G. P., Lima, K. O., Halal, S. L. M. El, Rosa, G. S. da, Dias, A. R. G., & Zavareze, E. da R. (2017). Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel. *Food Chemistry*, 221, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.048>
- Paulo, J., Oliveira, D., Pinheiro, G., Oliveira, K., Lisie, S., El, M., Silveira, G., Renato, A., Dias, G., & Zavareze, R. (2017). *Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel*. 221, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.048>
- Pauly, M., Gille, S., Liu, L., Mansoori, N., de Souza, A., Schultink, A., & Xiong, G. (2013). Hemicellulose biosynthesis. In *Planta* (Vol. 238, Issue 4, pp. 627–642). <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1921-1>
- PERALTA, W. E. (2021). *OBTENCIÓN DE NANOCRISTALES DE CELULOSA A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14619>
- Peralta, Y. M., Molina, R., & Moreno, S. (2024). Rice HUSK silica: A review from conventional uses to new catalysts for advanced oxidation processes. *Journal of Environmental Management*, 370, 122735. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122735>
- Pérez, R. H., Olarte Paredes, A., Salgado Delgado, R., Salgado Delgado, A. M., Medrano, A. S., & Martínez Candia, F. R. (2022). Manejo de la cascarilla de arroz como residuo postcosecha y su conversión en nanocelulosa. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30), 1e–17e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69697>
- Pérez, A., & Sánchez, D. (2020). *ANÁLISIS DE LA OBTENCIÓN DE FIBRAS DE CELULOSA A PARTIR DE RAQUIS DE BANANO MEDIANTE EXTRACCIÓN TRADICIONAL Y EXTRACCIÓN ACELERADA*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15661>
- Piltonen, P., Hildebrandt, N. C., Westerlind, B., Valkama, J. P., Tervahartiala, T., & Illikainen, M. (2016). Green and efficient method for preparing all-cellulose composites with NaOH/urea solvent. *Composites Science and Technology*, 135, 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2016.09.022>
- Prinsen, P. (2010). Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas. <http://hdl.handle.net/10261/66265>

- Rashid, S., & Dutta, H. (2022). Physicochemical characterization of carboxymethyl cellulose from differently sized rice husks and application as cake additive. *LWT*, *154*, 112630. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112630>
- Rahman, M. S., Hasan, M. S., Nitai, A. S., Nam, S., Karmakar, A. K., Ahsan, M. S., Shiddiky, M. J. A., & Ahmed, M. B. (2021). Recent developments of carboxymethyl cellulose. In *Polymers* (Vol. 13, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym13081345>
- Reinoso, B., & Villamar, D. (2018). *Estudio de factores determinantes en la comercialización de arroz en el cantón Santa Lucía*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/11650>
- Rendo, M. (2015). *HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA CELULOSA MAGNITUD DEL PROBLEMA, SOLUCIÓN Y EXTENSIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL PAPEL*. <https://digital.cic.gba.gob.ar/items/b3c3a6b7-c3c2-48d9-954b-55c5032b61c7>
- Rica Tobía, C. (2019). *Evaluación de las excretas de pollos de engorde (Pollinaza) en la alimentación animal*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43624105>
- Rojas, D., Alvarez-Barreto, J., Arias, C., Proaño, J., Hernández-Aranda, V., Rojas-Tortolero, D., Álvarez-Barreto, J., Arias-Vega, C., Proaño-Saraguro, J., Portalanza-Chavarria, A., & Sosa, D. (2021). *Characterization and Use of a Crop Residue-Based Mat Mulch in the Production of Pepper (Capsicum annuum) during Dry Season*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061173>
- Rondón, Y. M., Farfán L, C. J., & Mora, F. (2015). *Efecto de dos tipos de material de cama sobre la carga parasitaria de cerdos en crecimiento y engorde alojados en cama profunda*. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-65762014000100007
- Saha, B. C. (2003). Hemicellulose bioconversion. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, *30*(5), 279–291. <https://doi.org/10.1007/s10295-003-0049-x>
- Salinas, G. (2019). *CASCARILLA DE ARROZ APLICADA EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS DE DISEÑO INDUSTRIAL*. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/6706>
- Sánchez, A. (2015). *SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DERIVADAS DE BIOPOLÍMEROS EXTRAÍDOS DE BIOMASA POR MÉTODOS TÉRMICOS*. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/9397>

- Santana Costa, J. A., & Paranhos, C. M. (2018). Systematic evaluation of amorphous silica production from rice husk ashes. *Journal of Cleaner Production*, *192*, 688–697. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.028>
- Sapper, M., Martínez-Navarrete, N., & Camacho, M. (2015a). Medida De Las Propiedades Físicas De Productos De Fruta En Polvo. *Departamento de Tecnología de Alimentos.*, 15–19. <https://riunet.upv.es/handle/10251/56749>
- Scheller, H. V., & Ulvskov, P. (2010). Hemicelluloses. *Annual review of plant biology*, *61*(1), 263-289. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112315>
- Serrano, B. (2022). *Obtención de fibras de celulosa a partir del líber de la planta cáñamo industrial (Cannabis Sativa L.) mediante tratamiento químico para uso textil.* <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/13e9cfa6-1efb-461a-be7d-1595afed4296>
- Shahabazuddin, M., Sarat Chandra, T., Meena, S., Sukumaran, R. K., Shetty, N. P., & Mudliar, S. N. (2018). Thermal assisted alkaline pretreatment of rice husk for enhanced biomass deconstruction and enzymatic saccharification: Physico-chemical and structural characterization. *Bioresource Technology*, *263*, 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.027>
- Shao, C., & Yang, J. (2020). Dynamics in Cellulose-Based Hydrogels with Reversible Cross-Links. *Advances in Polymer Science*, 319–354. DOI:10.1007/12_2019_58
- Shweta, K., & Jha, H. (2015). Rice husk extracted lignin-TEOS biocomposites: Effects of acetylation and silane surface treatments for application in nickel removal. *Biotechnology Reports*, *7*, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2015.05.003>
- Silverio, M., Enrique, D., Mendoza, Z., & Alexander, D. (2017). *EVALUACIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y RASTROJO DE MAIZ UTILIZADOS EN EL SISTEMA CAMA PROFUNDA EN LA CRIANZA DE CERDOS.* <https://biblioteca.espm.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=10820>
- Singh, S. K., & Dhepe, P. L. (2016). Isolation of lignin by organosolv process from different varieties of rice husk: Understanding their physical and chemical properties. *Bioresource Technology*, *221*, 310–317. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.042>
- Suárez-Forero, S. J., Candela-Soto, A. M., Henao-Martínez, J. A., & Bayona-Ayala, O. L. (2019). Evaluation of the performance of the preteretment with the hydrogen peroxide on sugar cane bagasse for removing lignin. *ITECKNE*, *16*(1), 21–28. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v16i1.2158>

- Sun, J., Sun, X., Sun, R., & Su, Y. (2004). Fractional extraction and structural characterization of sugarcane bagasse hemicelluloses. *Carbohydrate Polymers*, 56(2), 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.02.002>
- Sun, S., Cao, X., Sun, S., Xu, F., Song, X., Sun, R. C., & Jones, G. L. (2014). Improving the enzymatic hydrolysis of thermo-mechanical fiber from *Eucalyptus urophylla* by a combination of hydrothermal pretreatment and alkali fractionation. *Biotechnology for Biofuels*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s13068-014-0116-8>
- Sunil. (2015). Current perspectives in enzymatic saccharification of lignocellulosic biomass. *Biochemical Engineering Journal*, 102, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.02.033>
- Syazwanee, M., Shaziera, A., Izzati, M., Azwady, A., & Muskhazli, M. (2018). Improvement of Delignification, Desilication and Cellulosic Content Availability in Paddy Straw via Physico-chemical Pretreatments. *Annual Research & Review in Biology*, 26(6), 1–11. <https://doi.org/10.9734/arrb/2018/40947>
- Tareq, A., & Hussien, M. S., Mustafa, A. M., & Mahmood, A. R. (2019). Extracting Cellulose Fibers from Rice Husks to Prepare a pH Sensitive Hydrogel with Sodium Alginate. *Recent Researches in Earth and Environmental Sciences*, 113–124. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18641-8_8
- Terán, H., & Pamela, M. (2018). *OBTENCIÓN DE NANOCELULOSA A PARTIR DE CELULOSA DE PUNTAS DE ABACÁ . PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA.* <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19544>
- Tezcan, E., & Atıcı, O. G. (2017). A new method for recovery of cellulose from lignocellulosic bio-waste: Pile processing. *Waste Management*, 70, 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.017>
- Tsegaye, B., Balomajumder, C., & Roy, P. (2019). Alkali delignification and *Bacillus* sp. BMP01 hydrolysis of rice straw for enhancing biofuel yields. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0175-x>
- Valverde-Orozco, V., Gavilanes-Terán, I., Idrovo-Novillo, J., Carrera-Beltrán, L., Buri-Tanguila, S., Salazar-García, K., & Paredes, C. (2022). Characterization of Agro-Livestock Wastes for Composting in Rural Zones in Ecuador: The Case of the Parish of San Andrés. *Agronomy*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/agronomy12102538>
- Vega-Baudrit, J., Sibaja, M., Nikolaeva, S., & Rivera, A. (2014). SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE CELULOSA AMORFA A SYNTHESIS AND

- CHARACTERIZATION OF AMORPHOUS CELLULOSE FROM TRIACETATE OF CELLULOSE. In *Rev Soc Quím Perú* (Vol. 80, Issue 1). <http://scielo.org.mx/pdf/iit/v16n3/v16n3a8.pdf>
- Wang, C., Yang, J., Wen, J., Bian, J., Li, M., Peng, F., & Sun, R. (2019). Structure and distribution changes of Eucalyptus hemicelluloses during hydrothermal and alkaline pretreatments. *International Journal of Biological Macromolecules*, *133*, 514–521. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.127>
- Watkins, D., Nuruddin, M., Hosur, M., Tcherbi-Narteh, A., & Jeelani, S. (2015). Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. *Journal of Materials Research and Technology*, *4*(1), 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2014.10.009>
- Worth, F., Us, C., & Scales, N. (1931). *Presented By STARTER 5000 Bench pH Meter STARTER 5000 Medidor de pH de banco STARTER 5000.*
- Xavier, L., Rocha, M., Pisani, J., & Zecchi, B. (2024). Aqueous two-phase systems based on cholinium ionic liquids for the recovery of ferulic and p-coumaric acids from rice husk hydrolysate. *Applied Food Research*, *4*(1), 100381. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100381>
- Zainal, S. H., Mohd, N. H., Suhaili, N., Anuar, F. H., Lazim, A. M., & Othaman, R. (2021). Preparation of cellulose-based hydrogel: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, *10*, 935–952. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.012>
- Zhang, W., Liu, Y., Xuan, Y., & Zhang, S. (2022). Synthesis and Applications of Carboxymethyl Cellulose Hydrogels. In *Gels* (Vol. 8, Issue 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/gels8090529>
- Zumalacárregui-De. Lourdes. (2015). *Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad Potential Uses of Bagasse for Ethanol Production Versus Electricity Production Pérez-Ones Osney*. *3*, 407–418. <https://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v16n3/v16n3a8.pdf>

Anexos

Anexo 1. Cáscara de arroz



Anexo 2. Secado



Anexo 3. Pulverizado y tamizado



Anexo 4. Determinación de ceniza



Anexo 5. Deslignificación alcalina



Anexo 6. Hidrogel liofilizado



Anexo 7. Determinación de lignina

