UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Área del Conocimiento de Agricultura

“Valorización de subproductos de arroz para la obtención de proteínas por hidrólisis básica para su posible aplicación como materia prima en bioestimulantes agrícolas”

Trabajo monográfico para optar por el título de Ingeniero Químico

Elaborado por:

Br. Gracie Jannelly Cruz González

Carne 2019-1004U

Tutor:

MPA. Ing. Denis Antonio Escorcia Morales

27 de julio de 2026
Managua, Nicaragua

Universidad Nacional de Ingeniería
Área de Conocimiento de Agricultura
Formas de Culminación de Estudios

REF.DACA.FCE.180.2026
Managua, 20 de abril del 2026

Bachiller

GRACIE JANNELLY CRUZ GONZÁLEZ / 2019-1004U

Estimada Bachiller:

Es de mi agrado informarle que el PROTOCOLO de su Tema **MONOGRÁFICO**, titulado: **"VALORACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE ARROZ PARA LA OBTENCIÓN DE PROTEINAS POR HIDRÓLISIS BÁSICA PARA SU POSIBLE APLICACIÓN COMO MATERIA PRIMA EN BIOESTIMULANTES AGRÍCOLAS".** Ha sido aprobado por el Director de Área de Conocimiento de Agricultura.

Asimismo, le comunico estar totalmente de acuerdo, que el **MSc. Denis Antonio Escorcia Morales** sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presente concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **20 de octubre del 2026.**

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente

MSc. José Mamerto Mendez Úbeda
Director de Área de Conocimiento de Agricultura
DACA

MSc. Denis Antonio Escorcia Morales / Tutor
MSc. Helia Vanessa Taleno Oporta / Secretaria Académica DACA
C/c: Archivo

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis MPA. Ing. Denis Antonio Escorcia por su dedicación, guía y estima los cuales han sido fundamentales en la dirección y enriquecimiento de esta investigación.

Agradezco también a la Universidad Nacional de Ingeniería, por brindarme el espacio, los recursos y la formación necesaria para mi crecimiento académico y profesional, así como al Programa Académico de Investigación e innovación UNI, por su respaldo y apoyo otorgado durante la ejecución de esta investigación.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento a los docentes de la carrera, quienes a lo largo de mi formación contribuyeron con sus conocimientos, experiencias y compromiso a fortalecer mis capacidades académicas.

De manera especial agradezco al Dr. Danilo López y Lic. Osmar Flores cuya orientación y enseñanzas fueron clave en las etapas iniciales de este proceso investigativo, así como al Ing. Onil Morales y al Ing. Mauricio Gutiérrez, por su disposición, apoyo técnico y colaboración durante el desarrollo experimental de la investigación.

Finalmente agradezco a mis compañeros de carrera, quienes, con su apoyo y compañerismo, contribuyeron a la culminación de este trabajo. A todos ellos, mis más profundos agradecimientos por formar parte de este proceso académico.

DEDICATORIA

Con gran regocijo y profundo cariño dedico este trabajo a todas y cada una de las personas que confiaron y creyeron en mí, y que me acompañaron en este sueño construido a lo largo de muchos años. Este logro no representa únicamente la culminación de una etapa, sino también un compendio de vivencias, memorias y experiencias compartidas con quienes formaron parte de este camino. Sin su apoyo y afecto, nada de esto habría sido posible.

In memoriam, dedico este trabajo a mi padre, Francisco Cabrera Navarrete, por el tiempo que estuvo conmigo, quien con su dedicación, apoyo y cariño fue fundamental a lo largo de mi vida. Su ejemplo de paciencia, templanza y fortaleza continúa siendo una guía constante en cada paso que doy al igual que fortalece mi determinación.

A mi madre, Jasmina del Carmen González, por su apoyo incondicional, sacrificio y constancia en cada etapa de mi formación personal y académica, por haberme dado la oportunidad de tener una buena educación. Su amor y entrega fueron la base de todo lo que soy hoy y me permitieron perseverar incluso en los momentos más difíciles.

Dedico también este trabajo a mi pareja, Salomón González, por creer en mí y en mis capacidades, por recordarme que no estoy sola por su consuelo en los momentos difíciles y su apoyo constante a lo largo de las distintas etapas de esta monografía. Su presencia en mi vida es un gran regalo, este logro también le pertenece.

Finalmente, dedico este trabajo a mi familia, en especial a mi tía Blanca Lila González, por su acompañamiento, comprensión y apoyo, los cuales representaron una fuente constante de motivación y fortaleza durante mi proceso de formación.

RESUMEN

El trabajo monográfico "Obtención de proteína en subproductos del arroz por hidrólisis básica para su aplicación en bioestimulantes" tiene como objetivo principal valorizar la cascarilla y la semolina de arroz, subproductos agrícolas de bajo valor comercial, para la obtención de proteínas mediante hidrólisis básica, con el fin de utilizarlas como materia prima en la producción de bioestimulantes agrícolas. Los objetivos específicos incluyen la determinación de proteínas totales en la semolina y la cascarilla, la obtención de proteínas mediante hidrólisis básica, al igual que la caracterización de las propiedades funcionales de las proteínas extraídas.

La metodología empleada incluyó la selección y pre tratamiento de la materia prima (semolina y cascarilla de arroz), seguido de la caracterización de las muestras mediante la determinación de humedad, cenizas, pH y grasas. Posteriormente, se realizó la extracción de proteínas por hidrólisis básica utilizando soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) a diferentes concentraciones (1N y 0.1N), seguido de un proceso de desengrasado y neutralización del pH a uno apto para su conservación de 4.8. La determinación de proteínas se llevó a cabo mediante espectrofotometría y el método Hach TKN, mientras que la caracterización de las proteínas incluyó la evaluación de su densidad, actividad espumante y solubilidad.

Los resultados mostraron que la semolina de arroz presentó un mayor contenido de proteínas en comparación con la cascarilla, con valores de hasta 7062.5 mg/L en muestras desengrasadas y tratadas con NaOH 1N. En cuanto a la proteína seca, se obtuvo un rendimiento de 1.01 g en muestras de semolina tratadas con NaOH 1N sin desengrasar, mientras que las muestras desengrasadas mostraron un rendimiento de 0.49 g para semolina 1N y 0.44 g para semolina 0.1N. La cascarilla, por su parte, presentó un rendimiento menor, con valores de proteína seca que no superaron los 0.57 g. Además, se observó que la actividad espumante y la solubilidad de las proteínas extraídas dependen en gran medida del pH del medio, siendo más efectivas en condiciones alcalinas. La densidad de la proteína extraída fue de 0.88 g/mL, lo que indica una alta solubilidad en agua.

La alta solubilidad y las propiedades funcionales de estas proteínas, como su capacidad de retención de agua y actividad espumante, las hacen adecuadas para aplicaciones en el desarrollo de productos que mejoren la absorción de nutrientes y el crecimiento de las plantas. Además, el uso de estos subproductos agrícolas no solo reduce los residuos, sino que también ofrece una alternativa sostenible y económica para la producción de bioestimulantes, promoviendo prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Contenido

AGRADECIMIENTO i
DEDICATORIA ii
RESUMEN iii
I) INTRODUCCIÓN 1
II) OBJETIVOS 2
2.1. Objetivo general 2
2.2. Objetivo específico 2
III) MARCO TEÓRICO 3
3.1. Arroz 3
3.2. Cultivo del arroz en Nicaragua 3
3.3. Morfología 4
3.4. Residuos del arroz 6
3.5. Proteína de arroz 9
3.6. Obtención de proteínas 10
3.7. Propiedades funcionales 11
3.7.1. Propiedades dependientes de la interacción agua-proteína 11
3.7.2. Propiedades de superficie 12
3.7.3. Otras propiedes Densidad 12
IV) METODOLOGÍA 13
4.1. Materiales 13
4.1.1. Materia prima 13
4.1.2. Materiales y equipos 13
4.1.3. Caracterización de la materia prima 14
4.1.4. Extracción de proteína 15
4.1.5. Determinación y caracterización de la proteína extraída 16
4.2. Método 17
4.2.1. Caracterización de la materia prima 17
4.2.2. Extracción de proteína 18
4.2.3. Determinación y caracterización de la proteína extraída 19
4.3. Diseño experimental 19
4.3.1. Tipo de investigación 19
4.3.2. Factores y niveles 20
4.3.3. Tratamientos 20

4.3.4. Variable respuesta 22
4.3.5. Definición de la unidad experimental 22
4.3.6. Control local 22
4.3.7. Modelo matemático 23
4.3.8. Tamaño de la muestra 23
V) PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 24
5.1. Determinación de proteínas 24
5.2. Caracterización de la proteína 27
5.2.1. Densidad 27
5.2.2. Actividad espumante 28
5.2.3. Solubilidad 28
5.3. Resultados del diseño experimental 29
5.4. Análisis estadístico 30
VI) LIMITANTES 39
VII) CONCLUSIONES 40
VIII) RECOMENDACIONES 41
IX) NOMENCLATURA 42
X) BIBLIOGRAFÍA 43
XI) ANEXOS 45
10.1. Anexos A: Tablas 45
10.1.1. Determinación de humedad 45
10.1.2. Determinación de cenizas 45
10.1.3. Determinación de pH 46
10.1.4. Determinación de grasas 46
10.1.5. Desengrasado 47
10.2. Anexos B: Figuras 48

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Partes de la planta de arroz 5

Figura 3.2. Partes del grano de arroz 6

Figura 3.3. Elaboración de arroz blanco 7

Figura 3.4: Rendimiento promedio de la molienda de arroz 8

Figura 3.5. Etapas de la hidratación 11

Figura 3.6. Proceso de abssorción de proteínas. 12

Figura 5.2 *Gráfica normal de efectos estandarizados del diseño factorial 2^k* 34

Figura 5.3 *Gráfica de probabilidad normal de los residuos del diseño factorial 2^k para el porcentaje de rendimiento* 35

Figura 5.4. Gráfica de efectos principales para el rendimiento de extracción. 36

Figura 5.5 Gráfica de interacción para el rendimiento de extracción. 37

Figura 5.6. Gráfica de interacción para el rendimiento de extracción. 38

Figura B.1. Gráfica de la extracción de grasa obtenida 48

Figura B.2. Triturado de cascarilla. 48

Figura B.3. Tamizado de las muestras 49

Figura B.4. Resultado de determinación cenizas en las muestras. 49

Figura B.5. Determinación de pH. 50

Figura B.6. Determinación de grasas por equipo Soxhlet 50

Figura B.6. Resultado de la determinación de grasas de las muestras. 51

Figura B.7. Desengrasado de las muestras 51

Figura B.8. Determinación de proteínas. 52

Figura B.9. Determinación de proteínas por método Hach TKN. 53

Figura B.10. Caracterización de la proteína obtenida: Actividad espumante. 53

Figura B.11. Caracterización de la proteína obtenida: Solubilidad 54

Figura B.12. Ecuación de regresión del diseño factorial 2^k. 54

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Porcentaje de composición del grano y sus fracciones 9

Tabla 3.2. Fraccionamiento de la fibra, subproductos del arroz 9

Tabla 4.1. *Materiales y equipos, caracterización de la materia prima* 14

Tabla 4.2. *Materiales y equipo, extracción de proteína*..... 15

Tabla 4.3. *Materiales y equipo, caracterización de la proteína obtenida.* 16

Tabla *4.4*: Niveles para cada factor de la extracción de proteína 20

Tabla *4.5:* Matriz del diseño factorial 2^3 de la extracción de proteína 21

Tabla 5.1. Cantidad de proteína en sobrenadante..... 24

Tabla 5.2. Cantidad de proteína presente en la mezcla..... 24

Tabla 5.3. Determinación de proteínas totales por método Hach TKN..... 26

Tabla 5.4. Proteína seca 27

Tabla 5.5. *Resultados del rendimiento de extracción por replica de los tratamientos*..... 29

Tabla 5.6. *Resumen del diseño factorial 2^k generado en Minitab 19*..... 30

Tabla 5.7. Coeficientes codificados..... 31

Tabla 5.8. Análisis de varianza. 32

Tabla A.1. Humedad de muestras de materia prima..... 45

Tabla A.2. Determinación de cenizas 45

Tabla A.3. Determinación de pH..... 46

Tabla A.4. Determinación de grasas por método Soxhlet..... 46

Tabla A.5. Aceite extraído..... 47

Tabla A.6 Coeficiente de determinación del modelo factorial 2^k 47

I) INTRODUCCIÓN

La agricultura es uno de los pilares fundamentales en el desarrollo económico y social de Nicaragua, no obstante, en la actualidad, este sector se ha visto envuelto en diversos desafíos tales como la degradación del suelo, debido a las inadecuadas prácticas agrícolas, la limitada accesibilidad a las tecnologías y recursos adecuados, sin olvidar la creciente influencia negativa del cambio climático en el sector **(Urrea, 2014).**

Según este contexto, salta a la vista la necesidad de buscar alternativas que protejan los cultivos sin dañar o degradar el suelo que los sostiene además de contribuir al valor agregado de algunos subproductos de la actividad agrícola misma. Uno de los recursos más abundantes en el país son subproductos de la molienda de arroz generados en cantidades significativas teniendo una producción nacional por hectárea de 2.5 toneladas en promedio, de las cuales los subproductos de esta como lo son la cascarilla y semolina representan el 20% y 3% del rendimiento promedio respectivamente **(Nutrinews, 2024).** Hidrolizando estos residuos obtenemos sustancias útiles que se podrían aprovechar como principios activos en la producción de bioestimulantes.

Un bioestimulantes no es más que un producto natural que mejora el crecimiento y la salud de los cultivos mediante la promoción de la absorción de nutrientes y agua por parte de las raíces, mejorando la estructura del suelo y ayudando al metabolismo de los azucares, esto según el ingrediente activo que posea.

La determinación del contenido de proteínas totales en la semolina y la cascarilla de arroz es fundamental para evaluar su potencial como fuentes de proteínas. La evaluación de las propiedades funcionales, como la solubilidad, la emulsificación y la capacidad de retención de agua, proporciona información relevante para determinar la idoneidad de estas proteínas como materia prima en bioestimulantes agrícolas. Lo que permitirá la disminución de la generación de residuos y generará productos de mayor valor agregado, además de permitir un aprovechamiento eficiente de estos subproductos y generar beneficios económicos y ambientales para el país **(González, 2025).**

Con este enfoque, se busca no solo abordar los desafíos actuales que enfrenta la agricultura en el país, sino que además ofrece una solución innovadora y sostenible para impulsar la productividad agrícola y la capacidad de adaptación ante los efectos del cambio climático en la región. La presente investigación sienta las bases para el estudio del aprovechamiento de subproductos del arroz para la obtención de proteína en el país, que tiene el potencial de generar un impacto positivo en el sector agrícola además del sector económico y social.

II) OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Valorizar la cascarilla y la semolina del arroz para la obtención de proteína mediante hidrólisis básica para su uso como materia prima potencial en bioestimulantes.

2.2. Objetivo específico

- Determinar las proteínas totales en la semolina y la cascarilla de arroz usando el método colorimétrico de Lowry.
- Obtener proteínas de la cascarilla y la semolina, mediante hidrólisis básica.
- Caracterización de las proteínas funcionales en las proteínas extraídas.

III) MARCO TEÓRICO

3.1. Arroz

El Oryza sativa o arroz es un cereal y alimento indispensable para una dieta sana y equilibrada. Es el segundo cereal más cultivado en todo el mundo después del maíz; sin embargo, es el más consumido por la especie humana.

Se estima que se originó en Oryza al noreste de India, sobre las laderas del Himalaya. Esta hipótesis está apoyada por la presencia y conservación de la variabilidad genética existente en la zona, debido a la diseminación de cruzamientos y favorecido por el aislamiento de dichas condiciones ambientales. Según **(Acevedo, 2006)** la dispersión del arroz en el mundo se inició desde el sureste asiático (India) hacia China, 3000 años antes de Cristo (A.C) a pesar de esto la introducción del arroz a Europa Occidental ocurrió aproximadamente 320 A.C., mientras que en América se produjo en la época postcolonial, siendo traído por los colonizadores españoles, portugueses y holandeses.

En los comienzos, la recolección de arroz era básica para la supervivencia de los pueblos esto se evidencia por los cambios en el suelo que muestran que la recolección cambió tiempo después para convertirse en cultivos. Poco tiempo después de comenzar a cultivar arroz, se descubrieron nuevas variedades de este cereal que podían también cultivar y consumir, como la especie O. sativa que tiene la mayor relevancia económica, ya se cultiva en todo el mundo en climas tropicales y templados **(Acevedo, 2006)**.

3.2. Cultivo del arroz en Nicaragua

Nicaragua presenta dos tipos de producción; por un lado, tenemos el cultivo de arroz de riego del que se obtienen el 60% de la producción interna, este es el rubro del que se obtiene mejores rendimientos, es controlado por grandes productores. Por otro lado, tenemos el cultivo de arroz secado que representa el 40% de la producción nacional, este rubro está a cargo de pequeños y medianos productores que emplean técnicas más artesanales, esto según datos recopilados entre el 2004-2014 **(Lanzas, 2016).**

Nicaragua como productor de arroz presentan poca competitividad teniendo un promedio de 2.5 toneladas por hectáreas siendo de los rendimientos más bajos de la región, sin embargo, el arroz representa el 11% de PIB agrícola nacional,

generando 30,000 empleos anuales con unos 17,167 productores en 94,000 hectáreas.

En la mayoría de las pequeñas parcelas (inferior a 5 hectáreas) el cultivo de arroz se hace para auto consumo y comercio local el 60% de estas hectáreas se cultivan en condiciones de secado y el 40% con condiciones de riego de algún tipo, pero sorprendentemente estas últimas presentan una producción más deficiente. El rendimiento de las manzanas ahora durante el ciclo 2020-2021 es de 56.3 (qq/mzs) **(INIDE , 2021).**

Las áreas de mayor cultivo d este grano se concentran en la RAAN (19,900mz) con un 30% del total de arroz secano, Rio San Juan (14,45mz) representando el 21.8%, RAAS (11,960mz) el 18%, Chinandega 8.6%, Rivas 6.9%, Jinotega 3.6%, Chontales 2.8%, Nueva Segovia 2.5%, León 2.1% y el resto les corresponde a departamentos como Boaco, Carazo, Matagalpa, etc **(INIDE, 2011**).

La producción de arroz ha tenido un incremento del 2.5% en rendimiento en comparación con el ciclo pasado (2021-2022) donde se tuvieron 5.9 millones de quintales, a pesar de que aún con la producción del ciclo 2022-2023 esperada es de 6.1 millones de quintales **(Méndez, 2023**) abasteciendo el 72% del consumo aparente de 8.2 millones de quintales y una exportación de 0.13 millones de quintales, para cubrir la demanda se necesitó de importaciones de este grano, estas importaciones se dan principalmente hacia países de la misma región centroamericana como son; El Salvador, Costa Rica, Guatemala y Honduras, aunque Estados Unidos es su principal importador ya que es común que no se logre satisfacer la demanda Nacional.

3.3. Morfología

El arroz es una gramínea anual de origen subtropical, clasificado como planta C3 por su vía fotosintética, y con gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones de ambiente. Es una planta de tallos cilíndricos y huecos compuestos por nodos y entrenudos, hojas de lámina plana unidas al tallo por la vaina y su inflorescencia es una panícula (***Figura 3.1***). La altura de la planta varía entre 40 cm (enanas) y más de 7 metros (flotantes).

Figura 3.1. Partes de la planta de arroz



(Eudicota.svg - Wikimedia Commons, 2013)

Partes del grano:

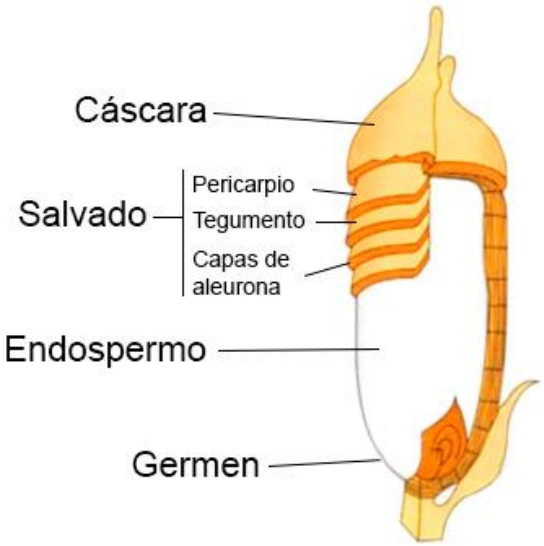
Cascarilla:
Es la capa exterior del grano y está compuesta por celulosa. La cascarilla protege el grano de arroz de agentes externos y es la capa que se remueve para obtener el arroz blanco. **(*Figura 3.2*)**

Salvado:
Capa que se encuentra debajo de la cascarilla y está compuesta por fibras y nutrientes. El salvado es rico en fibra y es la capa que se remueve para obtener el arroz blanco pulido.

Endospermo:
Es la capa más grande del grano y representa la mayor parte del mismo. Está compuesta por carbohidratos y es la capa que se utiliza para hacer harina de arroz.

Germen:
Parte del grano que se encuentra en la base del mismo y es la que puede germinar para dar origen a una nueva planta. El germen es rico en nutrientes, grasas y proteínas.

Figura 3.2. Partes del grano de arroz

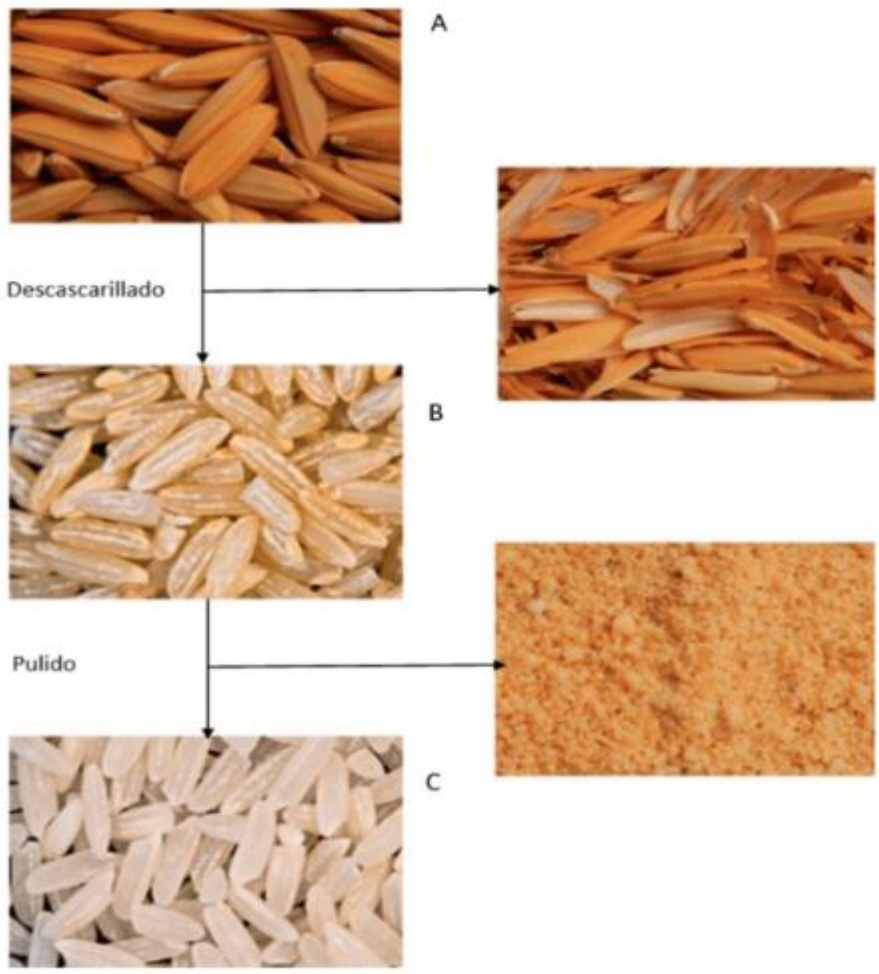


Miguel A. Lurueña et. Al., 2015

3.4. Residuos del arroz

En el proceso de industrialización se involucra las actividades de transformación del arroz cáscara como materia prima en arroz elaborado o pulido. El proceso de trasformación del grano empieza con el molino que elimina la cascara que resulta en el arroz integral, este luego pasa por un proceso en donde se elimina el salvado quedando finalmente el grano pulido constituido por el grano entero y el quebrado. Como residuo de la industria molinera de arroz se obtienen fracciones salvado de arroz y cascarilla. Ver ***Figura 3.3***.

Figura 3.3. *Elaboración de arroz blanco*



Grano entero (A), se separa en arroz integral (B) y cascara, para luego ser pulido y obtener arroz blanco (C) y salvado de arroz. ***Fuente:*** *(Buggenhout, 2013)*

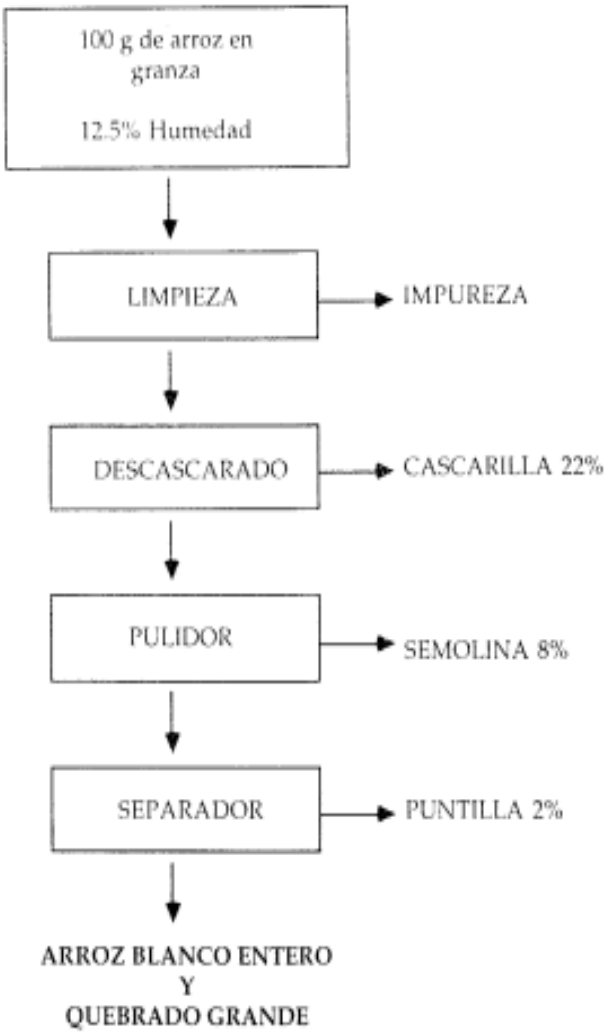
Semolina

La semolina es un producto derivado de la fricción del grano al ser procesado en las maquinas pulidoras, este se encuentra formado principalmente por las capas aleurónicas o cuerpo proteico del grano, es decir por las partículas externas o pericarpio, entre la cáscara y el endospermo del grano después de eliminar las cascara externa o cascarilla, hasta que el grano queda liso para el mercado. **(Nutrinews, 2024)** También puede contener partes de almidonosa del endosperma, al igual que endospermas quebrados, embriones y unas pocas cascarillas.

Cascarilla de arroz

Constituida por el endocarpio o cáscara externa del grano.
Entre otros residuos como lo son el afrecho de arroz y la puntilla, en diferentes fracciones en la molienda. Ver ***Figura 3.4.***

Figura 3.4: Rendimiento promedio de la molienda de arroz



(González E. V.)

De estos residuos al observar la composición aproximada del grano de arroz y sus fracciones en la ***Tabla 3.1***. Podemos notar el potencial de estas ya que, aunque los valores son diferentes según sea la especie de arroz estudiada, los porcentajes son suficientes para ser tomados en cuenta como una posible fuente de proteínas, teniendo en cuenta que son recursos rara vez utilizados y de bajo costo.

Tabla 3.1. Porcentaje de composición del grano y sus fracciones

	arroz cáscara	grano integral	grano pulido	cáscara	salvado	embrión
Proteínas	6,7-8,3	8,3-9,6	7,3-8,3	2,3-3,2	13,2-17,3	17,7-23,9
Lípidos	2,1-2,7	2,1-3,3	0,4-0,6	0,4-0,7	17,0-22,9	19,3-23,8
Fibra cruda	8,4-12,1	0,7-1,2	0,3-0,6	40,1-53,4	9,5-13,2	2,8-4,1
Cenizas	3,4-6,0	1,2-1,8	0,4-0,9	15,3-24,4	9,2-11,5	6,8-10,1
Almidón	62,1	77,2	90,2	1,8	16,1	2,4
Fibra dietaria	19,1	4,5	2,7	77,3	27,6-33,3	nd

Datos calculados sobre base seca. (Pinciroli, 2015)

Además de fracciones significativas encontradas en el subproducto: cascarilla presentada en la ***Tabla 3.2***. La cual muestra buenos niveles de proteína.

Tabla 3.2. Fraccionamiento de la fibra, subproductos del arroz

Composición nutricional	Unidad	Cantidad
Materia seca	%	92,00
NDT	%	10,00
Energía digestible	Mcal/kg	0,44
Energía metabolizable	Mcal/kg	0,28
Proteina (TCO)	%	2,80
Calcio (TCO)	%	0,09
Fósforo total (TCO)	%	0,08
Grasa (TCO)	%	0,70
Ceniza (TCO)	%	19,00
Fibra (TCO)	%	41,00

(Gélvez, 2024)

3.5. Proteína de arroz

Las proteínas son macronutrientes complejas que cumplen con muchas funciones vitales para la mayoría de trabajos que realizan las células y que son necesarios

para mantener la estructura, función y regulación de los tejidos y órganos del cuerpo. **(National Human Genome Research Institute, 2023)** Las proteínas a diferencia de otras moléculas biológicas como los carbohidratos y lípidos son los únicos macronutrientes que no tienen un compuesto inactivo que sirva de reservorio **(Chano, 2021**)**.**

Las proteínas encontradas en los vegetales son de tipo intracelular, como lo es el caso de la proteína de arroz, siendo el arroz un cereal y por ende teniendo que los cereales son una fuente abundante de proteína de origen vegetal. General mente, los atributos funcionales de estas proteínas están determinadas por su singularidad molecular, estructural y propiedades fisicoquímicas **(Chano, 2021**)**.** La calidad nutricional de la proteína de arroz es solo inferior a la avena y supera al trigo y maíz, esta es hipo alergénico y posee propiedades anticancerígenas por lo que es considerado un alimento funcional.

3.6. Obtención de proteínas

Las proteínas que se encuentran en los cereales se encuentran de forma intracelular, lo que hace necesaria la aplicación de métodos para la ruptura de las paredes celulares, estos métodos pueden ser mecánicos y no mecánicos, nos centraremos en las extracciones no mecánicas.

Las extracciones no mecánicas se basan en los tratamientos de separación de componentes e hidrolisis de las paredes celulares mediante el uso de métodos químicos o enzimáticos. **(Chano, 2021**)

Según la literatura los métodos no mecánicos más utilizados y con mejores porcentajes de rendimiento son la extracción alcalina y la enzimática, esto haciendo referencia a la extracción de la proteína del arroz en específico.

Extracción alcalina
En el año 1969 comenzaron los trabajos de extracción de la proteína en el salvado de arroz, estudios hechos por Chen y Houston al igual que otros autores, pero no fue hasta 1995 cuando se propuso un pH 11 en la extracción obteniendo un concentrado de 71-73% de proteína en peso, estudios posteriores han presentado rendimientos de entre 50 y 90% con cambios en el pH y según la variedad del arroz estudiado. **(Pinciroli, 2015)**

Extracción enzimática
Las enzimas más usadas para este trabajo son las proteasas en consorcio con las carbohidrasas que resultan ser más efectivas logrando rendimientos de hasta el 92% de proteína en peso.

3.7. Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales se pueden definir como toda propiedad no nutricional que imparte a un alimento o ingrediente determinadas caracteristicas sensoriales o determinado comportamiento físico, durante su preparación, procesamiento, almacenamiento o consumo **(Pinciroli, 2015).**

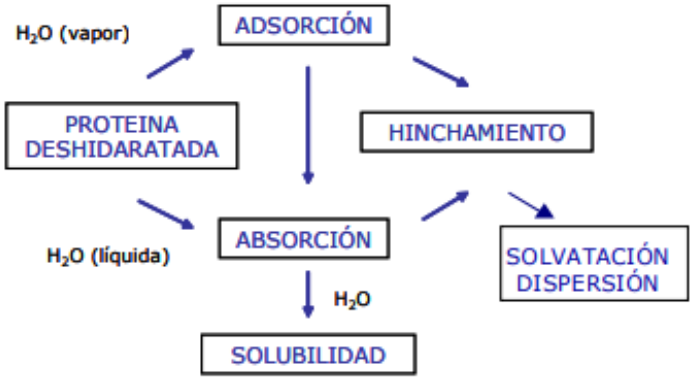
Estas son un reflejo de las propiedades intrinsecas de la proteína, estas dependen del tamaño molecular, forma, composición aminoacídica, secuencial, carga y distribución de la misma, etc. Estas propiedades pueden ser alteradas por factores como los son las condiciones del proceso, métodos de aislamiento, factores ambientales, interacción con otros componentes, concentración de la proteína, modificación causada por la extracción de la proteína, entre otros **(Pinciroli, 2015).**

3.7.1. Propiedades dependientes de la interacción agua-proteína

Solubilidad

Estas son consecuencia de la capacidad para interaccionar con las moleculas de agua a traves de grupos polares y no polares presentes en la estructura de la molecula. Los grupos polares interactuan con el agua a través de puentes de hidrógeno, enlaces dipolo-dipolo e interacciones con grupos ionizados, mientras que los no polares lo hacen atraves de la hidratación hidrofóbica.

Figura 3.5. Etapas de la hidratación



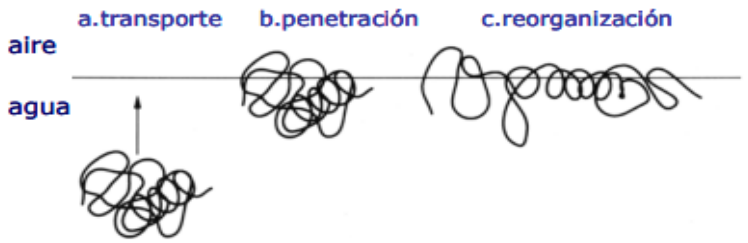
(Pinciroli, 2015)

3.7.2. Propiedades de superficie

Espumas
Entre sus propiedades se distinguen su capacidad de formación de espuma y su capacidad para estabilizar el sistema **(Pinciroli, 2015)**, la capacidad de formación de espuma está ligada a la velocidad de las proteínas de moverse y absorberse en la interfase y formar una lámina alrededor de la burbuja, como se muestra en la ***figura 3.6.***

Para la formación de espumas la proteína tiene que ser soluble, flexible, tener una masa molecular baja y balance lipofílico-hidrofílico aunque no todas las proteínas pueden espumar. Para que este sistema resulte estable la película creada debe mantenerse en el tiempo.

Figura 3.6. Proceso de absorción de proteínas.



A) Difución de la interface, B) Absorción, C) reorganización estructural. (Pinciroli, 2015)

Ya que este sistema es termodinámicamente inestable se produce la desestabilización de las burbujas, debido a el drenaje de liquido por efectos de la gravedad, acumulación de burbujas en la parte superior del resipiente por flotación, además que las burbujas grandes crecen a expensas de las pequeñas. Las propiedades de los espumantes se ven afectadas por el medio como es la concentración; la solubilidad proteica; pH y concentración de sales e hidratos de carbono.

3.7.3. Otras propiedes Densidad

La densidad no es más que la relación entre la masa de una sustancia y su volumen, esta se expresa en unidades de masa por volumen, tales como g/ml o kg/m^3. La densidad de una sustancia depende de la cantidad de sustancia presente, por lo que esta es una propiedad intensiva. **(jove, 2023)**

IV) METODOLOGÍA

La fase experimental para la caracterización de la materia prima, extracción de proteína de la semolina y cascarilla de arroz atreves de la hidrólisis básica y la posterior determinación y análisis de la proteína extraída se realizó en el laboratorio de procesos, correspondiente a la primera fase y en cuanto a las dos últimas se realizó en el laboratorio de alimentos, ambos pertenecientes al área de estudio de Ingeniería química de la Universidad Nacional de Ingeniería.

4.1. Materiales

4.1.1. Materia prima

La cascarilla de arroz y la semolina corresponden al tipo criollo “El Caraceño” extraído y distribuido por la industria arrocera “Arrocera Guadalupe 3R” de Jinotepe – Carazo.

4.1.2. Materiales y equipos

Los materiales y equipos necesarios se dividirán en tres fases, siendo estas: caracterización de la materia prima, extracción de proteína, determinación y caracterización de la proteína extraída.

4.1.3. Caracterización de la materia prima

Tabla 4.1. *Materiales y equipos, caracterización de la materia prima*

Proceso/prueba	Materiales	Equipo
Pre tratamiento	Cascarilla 2lb Semolina 2lb	Molino de cuchillas (Retsch GM200) Tamizador (RO RX-29)
Determinación de humedad por método analítico	Semolina 3g Cascarilla 3g	Termo balanza (Sartorius MA 150)
Determinación de cenizas	Cascarilla 2g Semolina 2g Crisoles	Mufla (Nabertherm LE 2/11) Balanza analítica (Mettler AE 200)
Determinación de pH	Cascarilla 10g Semolina 10g Agua destilada	Plancha de agitación y calentamiento (Corning PC-420D) pH metro (Thermo Scientific Orion Star A111)
Determinación de grasas	Cascarilla 5g Semolina 5g Dedales de celulosa Hexano	Equipo Soxlhet (Gerhardt) Roto vapor (Büchi Waterbath B-480) Balanza analítica (Mettler AE 200)

Elaboración propia.

4.1.4. Extracción de proteína

Como parte de la metodología experimental se tomarán 4 muestras (dos de semolina y dos de cascarilla) para desengrasar a concentraciones de solvente de 1N y 0.1N, además de 4 muestras de las materias primas a las mismas concentraciones dando un total de 8 muestras.

Tabla 4.2. *Materiales y equipo, extracción de proteína*

Proceso	Materiales	Equipo
Desengrasado	Cascarilla 100g Semolina 100g Hexano 96% Frascos de vidrio con tapa hermética	Rota vapor (Büchi Waterbath B-480) Horno (Thermostatic Oven M 710)
Extracción de proteína	Semolina Cascarilla Semolina desengrasada Cascarilla desengrasada Hidróxido de sodio Ácido clorhídrico Frascos de vidrio con tapa hermética Filtros de café	Bomba de filtro al vacío (Gast DOA-P704-AA) pH metro (Thermo Scientific Orion Star A111)

Elaboración propia.

4.1.5. Determinación y caracterización de la proteína extraída

Tabla 4.3. *Materiales y equipo, caracterización de la proteína obtenida.*

Proceso/prueba	Materiales	Equipo
Determinación de concentración de proteína por espectrofotometría, determinación de proteínas por método Hach TKN	Proteína extraída Tubos para centrífuga Reactivos Hach TKN	Espectrofotómetro (Metash UV-5100) Hach TKN (Hach DR 900) Centrífuga (Variseal V58C) Horno (Thermostatic Oven M 710)
Determinación de proteínas por método colorimétrico de Lowry	Kit de ensayo de proteínas	Espectrofotómetro (Metash UV-5100)
Densidad	-	-
Actividad espumante	Proteína seca extraída Probeta graduada 25ml Agua destilada	pH metro (Thermo Scientific Orion Star A111)
Solubilidad	Proteína seca extraída Ácido clorhídrico concentrado Hidróxido de potasio 8N	Plancha de agitación (Corning PC-420D) pH metro (Thermo Scientific Orion Star A111)

Elaboración propia

4.2. Método

Como se propuso con anterioridad los métodos estarán divididos de 3 fases: caracterización de la materia prima, extracción de proteína, determinación y caracterización de la proteína extraída.

4.2.1. Caracterización de la materia prima

Como primer paso para la caracterización de la materia prima es necesario pasar por un proceso de pre tratamiento, que consiste en la reducción del tamaño de partícula, tomando 2lb de cascarilla y colocándolo en un molino de cuchillas a 1000 rpm, para luego ser tamizado por tandas junto a la semolina que ya tiene un tamaño menor, hasta obtener un tamaño de partícula de 1mm para ambas muestras **(González G. C., 2025)**. Los resultados obtenidos serán presentados en anexos.

Para la caracterización de la materia prima esta se divide en:

- **Determinación de humedad por método analítico**

La norma mexicana NMX-F-425-1982 establece el método para la determinación de humedad en alimentos utilizando una termobalanza, el cual se fundamenta en que la humedad es tomada como la pérdida de peso al secado, con lo que usando un instrumento que emplea una balanza de torsión sensible para la muestra y una lámpara infrarroja para secar se determina dicha diferencia de peso en la muestra. **(Dirección general de normas Mexicanas, 1982).**

- **Determinación de cenizas**

La determinación de cenizas se utiliza una modificación del método estándar ASTM E1755-01 **(American Society for Testing and Materials, 2002)**. Donde se pesan 2g de muestra en crisoles colocados en una mufla a 500°c por 2h, pasado este tiempo se trasfieren a un secador para ser enfriados por un tiempo de 20 minutos, una vez pasado este tiempo se pesa nuevamente en la balanza analítica **(González G. C., 2025)**.

- **Determinación de pH**

Por método de determinación de pH en soluciones acuosas. Para este método se toman 10g de muestra de cascarilla y de semolina, para luego agregar 100ml de agua destilada, la mezcla se digesta por 20 minutos a 100°c, con 20 minutos más de enfriamiento, una vez atemperado se toma la medición de pH. **(American Public Health Association).**

- **Determinación de grasas**

Por método Soxhlet que utiliza el principio de reflujo de solvente y sifón para extraer de forma persistente la materia sólida con solvente puro, que garantiza una alta eficiencia de la extracción. En el cual se pesan 5g de cada muestra, se adicionan en un dedal de celulosa que se inserta en el equipo Soxhlet para agregar hexano por encima del nivel de la muestra, el equipo se lleva a una temperatura de 348°c por 2 horas. Al terminar se pasa por el roto vapor donde se termina de evaporar el solvente pesando el balón antes y después de ser evaporado el hexano **(Fernández, 2004)**.

Los resultados se expresan en porciento según:

$$\%Grasa = \frac{m(grasa)}{m(muestra)} \times 100 \qquad \textit{(Ecuación 4.1)}$$

$$\%Grasa = \frac{m(balón + grasa) - m(balón\ vacío)}{m(muestra)} \times 100$$

4.2.2. Extracción de proteína

- **Desengrasado**

En frascos herméticos se agregan 300ml de hexano al 96%, para luego pesar 100gr de cada materia prima para ser adicionadas en frascos separados luego se agregan los 300ml de solvente, estos frascos se sellan herméticamente por al menos 12 horas. **(González G. C., 2025).**

Trascurrido este tiempo las muestras se decantan, pasando el sobrenadante por el equipo de roto vapor, en el cual se extrae el solvente por 15 minutos a 70°c. Los valones usados son previamente pesados, luego vueltos a pesar. El precipitado de ambas muestras se lleva a secar al horno a 110°c por 4 horas. **(González G. C., 2025).**

- **Extracción de proteínas**

Para la extracción de proteínas se preparan soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) al 1N y 0.1N, y ácido clorhídrico (HCl) al 1N y 0.1N que serán adicionados en frascos herméticos, añadiéndose 100g de semolina y 200 ml de NaOH al 1N. el proceso se repetirá con la solución al 0.1N de NaOH y lo mismo para las muestras de cascarilla, para las muestras desengrasadas se realiza el mismo procedimiento, estos frascos se dejan en reposo por 16 horas.

Las muestras resultantes se filtran o decantan para luego proceder al neutralizado de las mismas a un pH de 4.8 utilizado HCl al 1N. Las muestras se dejan en

refrigeración por 24 horas el precipitado resultante se decanta para luego secarse en horno a 80°c por 4 horas. **(González G. C., 2025).**

4.2.3. Determinación y caracterización de la proteína extraída

- **Determinación de concentración de proteínas totales por método de absorbancia**

Este método se realizará tomando 6 muestras de cada uno de los recipientes, tres de sobrenadante y tres de la mezcla. Estas se introducen en las celdas del espectrofotómetro, previamente ajustado a medición de absorbancia a 550 nm. **(González G. C., 2025**).

- **Determinación de proteínas por método Hach TKN**

Hach program: 2410
Se emplea un factor de conversión de 6.25 para calcular el contenido proteico en cada muestra.

Las muestras con mayor concentración de proteínas se seleccionan para ser centrifugadas a 420 rpm durante 15 minutos en una centrífuga. Para su análisis de datos obtenidos se hace hizo uso de tablas de Excel. **(González G. C., 2025).**

4.3. Diseño experimental

4.3.1. Tipo de investigación

El presente trabajo se basa en un diseño mixto combinando elementos de la investigación aplicada con técnicas de tecnología de los alimentos, teniendo como centro la valorización de las proteínas obtenidas de dos subproductos de la producción arrocera como son la semolina y cascarilla de arroz. El desarrollo de esta se basa en previas investigaciones buscando nuevos usos de estos subproductos al igual que la aportación de nuevos conocimientos en la materia de la obtención de proteínas.

Lo que se busca es obtener el mejor rendimiento de extracción de la proteína variando sus condiciones de hidrolisis básica como lo es la concentración de NaOH y el pretratamiento de la materia prima, así como la variación del rendimiento obtenido entre la semolina y la cascarilla de arroz buscando las mejores condiciones de extracción.

4.3.2. Factores y niveles

Los factores elegidos se seleccionaron tras una revisión bibliográfica cuidadosa, la respectiva elección de las concentraciones se basó en la evidencia presentada en los resultados de la investigación **"Obtención de proteína en subproductos del arroz por hidrólisis básica para su aplicación en bioestimulantes"** en la cual se logró demostrar que las concentraciones de 1N y 0.1N son adecuadas para lograr la extracción de las proteínas del grano 0.1N son adecuadas para lograr la extracción de las proteínas de la semolina y la cascarilla sin comprometer la integridad de la proteína **(González G. C., 2025)**, considerando los objetivos generales y específicos del trabajo, teniendo que la variable dependiente escogida se orienta a los mismos como se presenta en la ***tabla 6.***

Tabla *4.4*: Niveles para cada factor de la extracción de proteína

Factor		**Nivel**	
		-1	+1
A	Materia prima	Semolina	Cascarilla
B	Pretratamiento	Desengrasado	Engrasada
C	Concentración	1N	0.1N

Nota: *Por convección el efecto de un factor se denota con una letra mayúscula y los niveles + y -, para alto y bajo denominados arbitrariamente. Elaboración propia.*

4.3.3. Tratamientos

Se utilizó un diseño experimental factorial 2^k. Dado que se consideraron tres factores (A, B, C) y dos niveles, el número de tratamientos realizados fueron ocho ($2^3 = 8$). Las unidades experimentales se obtuvieron a partir de las ocho combinaciones posibles de los tres factores. Para ello, se creó la matriz de diseño de la siguiente forma: en la primera columna se alternan los signos comenzando por "- ". En la segunda columna, los signos se alternaron de dos en dos y, en la tercera columna, de cuatro en cuatro, siempre comenzando con el signo "- ", como se muestra en la ***tabla 4.5.***

Tabla *4.5:* Matriz del diseño factorial $\mathbf{2^3}$ de la extracción de proteína

Tratamiento	Factor A	Factor B	Factor C
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

Elaboración propia.

Definiciones de los tratamientos

A continuación, se definieron los tratamientos propuestos en la matriz de diseño, con el propósito de evaluar el efecto de los tres factores establecidos.

- Tratamiento 1(---): La materia prima utilizada fue la semolina, se aplicó pretratamiento de desengrasado, con una concentración de 1N.

- Tratamiento 2(+--): La materia prima utilizada fue la cascarilla, se aplicó pretratamiento de desengrasado, con una concentración de 1N.

- Tratamiento 3(-+-): La materia prima utilizada fue la semolina, no se aplicó pretratamiento, con una concentración de 1N.

- Tratamiento 4(++-): La materia prima utilizada fue la cascarilla, no se aplicó pretratamiento, con una concentración de 1N.

- Tratamiento 5(--+): La materia prima utilizada fue la semolina, se aplicó pretratamiento de desengrasado, con una concentración de 0.1N.

- Tratamiento 6(+-+): La materia prima utilizada fue la cascarilla, se aplicó pretratamiento de desengrasado, con una concentración de 0.1N.

- Tratamiento 7(-++): La materia prima utilizada fue la semolina, no se aplicó pretratamiento, con una concentración de 0.1N.

- Tratamiento 8(+++): La materia prima utilizada fue la cascarilla, no se aplicó pretratamiento, con una concentración de 0.1N.

4.3.4. Variable respuesta

La variable respuesta del diseño experimental se basa en el rendimiento de la extracción de la proteína de arroz. El objetivo fue evaluar el efecto de los tres factores y sus ocho posibles combinaciones en el rendimiento de la extracción, el cual se calculó mediante la siguiente ecuación en términos porcentuales (%P/P):

$$Rendimiento = \frac{PE}{PM} \times 100 \qquad \textit{(Ecuación 4.4)}$$

Donde:

PE: peso de la proteína extraída (g)

PM: peso de la materia prima utilizada en la extracción (g)

4.3.5. Definición de la unidad experimental

La unidad experimental de este estudio fue la cantidad de semolina y cascarilla de arroz que se procesaron en cada tratamiento, manteniendo las mismas condiciones en cada lote de materia prima, es decir, el pesado y tamizado de la semolina y la cascarilla sean las mismas. Al finalizar la extracción, se utilizó un método estándar que permite medir la cantidad de proteína obtenida, registrando los datos correspondientes.

4.3.6. Control local

El control local se llevó a cabo con el objetivo de minimizar las variaciones no deseadas durante el experimento. Como los son:

- Se aseguró que la cascarilla y la semolina utilizadas tuvieran las mismas condiciones de almacenamiento, siendo adquiridas del mismo proveedor, esto con el fin de evitar las variaciones en su composición físico-químicas.

- Se aseguró que la materia prima tuviera el mismo tamaño de partícula, reduciendo el tamaño de las partículas de la cascarilla por medio de un molino de cuchillas seguido de tamizado que garantizó que ambas materias primas tuvieran el mismo tamaño de partícula.

- Se utilizó el mismo equipo de laboratorio para cada tratamiento, garantizando que estuviera correctamente calibrados para evitar inconvenientes durante la extracción. Además, se siguió la metodología previamente establecida con rigurosidad, minimizando así las variaciones en los resultados.

4.3.7. Modelo matemático

El modelo matemático empleado para analizar los resultados fue el diseño factorial completo 2^k con 6 réplicas, lo que resultó en un total de 48 corridas (6 x 2^3). El análisis de los resultados se realizó utilizando el programa estadístico Minitab. Este modelo se seleccionó debido a su capacidad para describir como los factores (A, B y C) afectan la variable respuesta. Además, ofrece las siguientes ventajas, según **(Bao, 2020)**:

- No es necesario ejecutar un gran número de experimentos por cada factor.
- Facilitar la interpretación de las observaciones.
- Permite aumentar la cantidad de factores si se requiere de una investigación más amplia.

El modelo está expresado por la ecuación **(Bao, 2020)**:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_j + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \qquad \textit{(Ecuación 4.5)}$$

Donde:

μ: Efecto promedio global.

τ_j: Efecto del nivel i-esimo del factor A.

β_j: Efecto del nivel j-esimo del factor B.

$(\tau\beta)_{ij}$: Efecto de interacción entre τ_j y β_j.

ε_{ijk}: Componente del error aleatorio.

Este modelo permitió la evaluación del impacto de los factores seleccionados sobre la variable respuesta, lo que facilitó el análisis eficiente y comprensible de los resultados experimentales.

4.3.8. Tamaño de la muestra

La muestra consta de 1.36 kilogramos de cascarilla de arroz y 4.54 kilogramos de semolina de arroz criollo de las cuales se tomarán ciertas cantidades suficientes para realizar cada uno de los experimentos mencionados con anterioridad con el fin de llegar a la obtención de resultados adecuados.

V) PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Determinación de proteínas

Se tomaron seis muestras de cada uno de los recipientes, tres del sobrenadante y tres de la mezcla. Se tomaron muestras decantadas para ser leídas en le espectrofotómetro se usó la medición de absorbancia a 550nm usando tres muestras de cada sustancia (hecho por triplicado) obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 5.1. Cantidad de proteína en sobrenadante

Sobrenadante							
Semolina 1N D	**Cascarilla 0.1N D**	**Cascarilla 1N D**	**Semolina 0.1N D**	**Semolina 1N**	**Cascarilla 0.1N**	**Cascarilla 1N**	**Semolina 0.1N**
0.306	0.114	0.141	0.086	0.536	0.112	0.244	0.025
0.306	0.116	0.149	0.084	0.536	0.112	0.262	0.029
0.302	0.118	0.142	0.080	0.530	0.112	0.397	0.027

Nota: *D: desengrasado. Elaboración propia*

Observamos que la cantidad de proteína obtenida aumenta en las muestras engrasadas que, en las desengrasadas, lo que sugiere que la proteína precipitó de forma adecuada, igualmente vemos mayor cantidad de proteína en el sobrenadante de las muestras de semolina a diferencia de la cascarilla.

Tabla 5.2. Cantidad de proteína presente en la mezcla

Mezcla							
Semolina 1N D	**Cascarilla 0.1N D**	**Cascarilla 1N D**	**Semolina 0.1N D**	**Semolina 1N**	**Cascarilla 0.1N**	**Cascarilla 1N**	**Semolina 0.1N**
2.239	0.927	0.305	2.497	2.383	0.763	0.753	2.423
2.230	0.884	0.311	2.509	2.373	0.748	0.715	2.431
2.230	0.863	0.303	2.514	2.383	0.776	0.814	2.423

Nota: *D: desengrasado. Elaboración propia.*

En base en la tabla anterior se puede observar que en el caso de la extracción de la proteína usando la sémola de arroz es eficiente en todas las condiciones, pero muestra una ligera ventaja en condiciones de 0.1N. Por otra parte, el rendimiento de la proteína en la cascarilla fue menor y este se ve afectado por el pre tratamiento

de desengrasado y la concentración del solvente especialmente en condiciones de 1N.

Podemos modelar el rendimiento de extracción (R) como una función de la fuerza del reactivo (N) y del pre tratamiento (denotado por D):

$$R = f(N, D) \qquad \textit{(Ecuación 5.1)}$$

En el caso de la semolina ya que el impacto del desengrasado es mínimo, tenemos:

$$R_{Semolina} \approx 2.2\ a\ 2.5\ g \qquad \textit{(Ecuación 5.2)}$$

Y el impacto de D es mínimo, mientras que una concentración menor (0.1N) parece favorecer ligeramente la extracción.

En la cascarilla: *(Ecuación 5.3)*

$$R_{Cascarilla}(0.1N, con\ D) \approx 0.891g \quad y \quad R_{Cascarilla}(1N, con\ D) \approx 0.306g$$

Lo que indica que la combinación de un pre tratamiento (posiblemente desgrasado) con una solución 1N reduce notablemente la cantidad de proteína extraída. Sin pre tratamiento, los valores se estabilizan alrededor de 0.76 g para ambas concentraciones (0.1N y 1N).
A continuación, se realizaron pruebas de a las mismas muestras utilizando el método Hach por TKN realizando pruebas de nitrógeno a cada una para luego usar le factor de conversión de 6.25 para determinar la cantidad total de proteínas, se tomó una muestra del sobrenadante y una de una mezcla de ambos, al igual que muestras de proteína centrifugada resultado del paso siguiente.

Tabla 5.3. Determinación de proteínas totales por método Hach TKN

Muestra	Mezcla (mg/L)	Factor 6.25	Sobrenadante (mg/L)	Factor 6.25	Sobrenadante centrifugado (mg/L)	Factor 6.25
Semolina 1N D	1.13 *10^3	7062.5	116	725	-	-
Cascarilla 0.1N D	151	943.75	121	756.25	-	-
Cascarilla 1N D	100	625	96	600	-	-
Semolina 0.1N D	580	3625	149	931.25	121	756.25
Semolina 1N	600	3750	580	3625	540	3375
Cascarilla 0.1N	106	662.5	86	537.5	-	-
Cascarilla 1N	156	975	146	912.5	-	-
Semolina 0.1N	560	3500	89	556.25	73	456.25

Nota: *D: desengrasado. Elaboración propia*

Al multiplicar la cantidad de nitrógeno obtenido por el factor de conversión de 6.25 obtenemos la cantidad de proteínas totales de las muestras, solo se tomaron tres muestras para centrifugar estas corresponden a las muestras que presentaban mayor cantidad de proteína precipitada.

Se puede notar una diferencia notable entre los valores obtenidos de la semolina y la cascarilla siendo el primero quien muestra concentraciones considerablemente altas, llegando a valores de 7062.5mg/L en la muestra de 1N y desengrasada, mientras que los valores de la cascarilla solo van en el orden de 625 - 975 mg/L. lo que indica una superioridad de la semolina como fuente de proteína más rica que la cascarilla.

Al igual que se tomaron precipitados de las muestras que mostraban mayor concentración de proteínas para ser centrifugados a 420 rpm durante 15 min, las muestras elegidas fueron semolina 1N desengrasado, semolina 0.1N desengrasada, Semolina 1N, Semolina 0.1N.

Tabla 5.4. Proteína seca

Muestra	Peso capsula vacía (gr)	Peso capsula húmeda (gr)	Peso capsula seca (gr)	Cantidad de proteína (gr)	cantidad de humedad evaporada (gr)
Semolina 1N D	2.65	12.72	3.14	0.49	6.93
Semolina 0.1N D	2.65	12.5	3.09	0.44	6.76
Semolina 1N	2.63	22.36	3.64	1.01	16.09
Semolina 0.1N	2.65	22.6	3.22	0.57	16.73

Nota: *D: desengrasado. Elaboración propia*

Como podemos observar que la semolina al 1N sin desengrasar ofrece le mejor rendimiento en términos de proteína extraída con un 1.01g. El proceso de desengrasado resulta en precipitados mucho más secos y una masa seca casi equivalente a la cantidad de proteína, esto sugiere que el desengrasado no solo elimina lípidos, si no que parte del agua contribuyendo a un producto final con mayor concentración de proteína relativa. También podemos evidenciar la influencia de la concentración de reactivo utilizada, siendo 1N la más eficiente en la extracción.

5.2. Caracterización de la proteína

5.2.1. Densidad

Para determinar la densidad de la proteína extraída se utilizó la fórmula clásica:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \textit{(Ecuación 5.4)}$$

Donde:

- m es la masa de proteína (en gramos)
- V es el volumen de la muestra (en mL)

En el experimento, se obtuvo una masa de proteína de 0.44 g en un volumen de 0.5 mL, lo que se traduce en:

$$\rho = \frac{0.44\ g}{0.5\ mL} = 0.88\ g/mL \qquad \textit{(Ecuación 5.5)}$$

Este resultado implica que la proteína extraída es 100% soluble en 1 mL de agua, dado que las proteínas de los cereales se caracterizan por una solubilidad completa en condiciones apropiadas, dichas condiciones serán deducidas más adelante.

5.2.2. Actividad espumante

Para evaluar la actividad espumante de la proteína extraída, se tomó una muestra de proteína seca obtenida a partir de la extracción en medio 0.1N desengrasado. Se pesaron 0.1 g de la muestra y se colocaron en una probeta graduada de 25 mL, a la cual se le añadieron 10 mL de agua destilada. La mezcla se agitó suavemente y se midió el pH de la solución antes y después de la adición del agua.

El pH inicial de la proteína seca fue de 4.8, lo que indica que se encuentra en una condición estable que previene su desnaturalización. Al agregar agua destilada, el pH aumentó ligeramente a 5.1; sin embargo, en estas condiciones apenas se generó espuma, lo que sugiere que la solubilidad de la proteína en agua pura no favorece su capacidad espumante. Para evaluar el efecto del pH en la estructura proteica y su relación con la formación de espuma, se añadieron 10 mL de ácido clorhídrico concentrado, reduciendo el pH a 0.5. En este medio extremadamente ácido, la proteína se mantuvo estable sin cambios significativos en la generación de espuma.

Posteriormente, se modificó el pH del medio mediante la adición de 10 mL de hidróxido de potasio (KOH) 8N, lo que elevó el pH a 12.5 y produjo una reacción exotérmica. En estas condiciones, se observó una transformación estructural de la proteína que facilitó la retención de aire y, en consecuencia, se incrementó notablemente la espuma generada, alcanzando aproximadamente 5.5 cm de altura como se puede ver en la ***figura 3.1***. Estos resultados confirman que la actividad espumante de la proteína depende directamente del pH, siendo mínima en condiciones neutras o ligeramente ácidas y significativamente mayor en un medio alcalino, donde la estructura proteica se desdobla y permite una mayor incorporación de aire.

5.2.3. Solubilidad

La solubilidad de la proteína extraída también fue evaluada a través de los cambios observados en el experimento anterior. En condiciones iniciales, con un pH de 4.8, la proteína mostró una alta estabilidad, sin signos de precipitación o desnaturalización. Al agregar 10 mL de ácido clorhídrico concentrado, el pH se

redujo a 0.5, manteniendo la proteína en solución sin aparentes cambios estructurales. Sin embargo, al aumentar drásticamente el pH mediante la adición de hidróxido de potasio (8N), se observó una alteración en la solubilidad de la proteína, con una transición de un estado estable a uno en el que la proteína comenzó a desdoblarse y modificar su estructura.

Este comportamiento confirma que la solubilidad de la proteína extraída es altamente dependiente del pH del medio. En condiciones ácidas, la proteína mantiene su estabilidad, mientras que en un ambiente básico se favorecen procesos como la desnaturalización y el desdoblamiento estructural, lo que puede influir en sus propiedades funcionales. Estos resultados son consistentes con lo observado en la actividad espumante, donde un pH alcalino promueve cambios en la proteína que facilitan la formación de espuma. En conjunto, estos hallazgos permiten concluir que la solubilidad y la capacidad espumante de la proteína extraída pueden ser moduladas a través del ajuste del pH, ofreciendo un control sobre sus propiedades en aplicaciones potenciales.

5.3. Resultados del diseño experimental

Con los datos recopilados a lo largo de la fase experimental tuvieron como objetivo evaluar los efectos de las combinaciones de los tres factores con sus respectivos niveles, empleando el diseño factorial completo 2^3 con dos replicas (***factores y niveles pag.20)***. Al analizar los efectos, según el ***acápite 4.3.3***. Sé calculó el rendimiento de la extracción para cada uno de los tratamientos y sus respectivas replicas, utilizando la ***ecuación 4.4***.

Los resultados de la variable respuesta del diseño experimental se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5.5. *Resultados del rendimiento de extracción por replica de los tratamientos*

Tratamiento	Factores			Rendimiento					
	A	B	C	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5	Réplica 6
1	-	-	-	2.23%	2.24%	2.24%	2.23%	2.23%	2.23%
2	+	-	-	0.30%	0.31%	0.30%	0.31%	0.31%	0.30%
3	-	+	-	2.38%	2.38%	2.40%	2.37%	2.38%	2.38%
4	+	+	-	0.75%	0.75%	0.70%	0.72%	0.72%	0.81%
5	-	-	+	2.40%	2.50%	2.49%	2.51%	2.55%	2.51%
6	+	-	+	0.90%	0.93%	0.89%	0.88%	0.92%	0.86%
7	-	+	+	2.45%	2.42%	2.50%	2.43%	2.40%	2.42%
8	+	+	+	0.79%	0.76%	0.75%	0.75%	0.76%	0.78%

Nota: *Cálculo realizado en Microsoft Excel. Elaboración propia*

La ***Tabla 5.5*** presenta los rendimientos obtenidos para las seis réplicas de los ocho tratamientos del diseño factorial 2^3. En general, se observa una baja variabilidad entre las réplicas de cada tratamiento, lo que evidencia una adecuada precisión y repetibilidad del método experimental. Los tratamientos con el factor A en nivel bajo (-) registraron los mayores rendimientos, mientras que aquellos con el factor A en nivel alto (+) presentaron los valores más bajos.

Las réplicas fueron realizadas de forma independiente y analizadas en dos lotes experimentales efectuados en días diferentes, manteniendo las mismas condiciones operacionales y el mismo protocolo analítico. La consistencia de los resultados entre ambos lotes confirma la reproducibilidad del método y respalda la confiabilidad de los datos obtenidos.

5.4. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados de la parte experimental se realizó en el programa Minitab 19, utilizando la herramienta DOE para la generación del diseño factorial 2^k requerido en este estudio. Primero se definieron los tres factores a considerar y se seleccionó un diseño factorial completo con 6 réplicas, posteriormente, se definieron cada uno de los factores y sus respectivos niveles, conforme la ***tabla 4.4*****.** En la siguiente tabla se presenta el resumen del diseño generado en el programa:

Tabla 5.6. *Resumen del diseño factorial 2^k generado en Minitab 19*

Resumen del diseño			
Factores:	3	Diseño de base:	3;8
Corridas:	48	Replicas:	6
Bloques base:	1	Puntos centrales (total):	0

Elaboración propia.

Una vez que se estableció el diseño factorial, se ingresaron los valores del rendimiento obtenido para cada uno de los tratamientos y sus respectivas réplicas. Para luego solicitar al programa la realización del análisis del diseño factorial ***(Ver Tabla A.6 y la figura B.12).*** Los resultados se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 5.7. Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		0.015317	0.000041	377.55	0.000	
A	-0.017092	-0.008546	0.000041	-210.65	0.000	1.00
B	0.000992	0.000496	0.000041	12.22	0.000	1.00
C	0.002325	0.001162	0.000041	28.65	0.000	1.00
A*B	0.000533	0.000267	0.000041	6.57	0.000	1.00
A*C	0.000750	0.000375	0.000041	9.24	0.000	1.00
B*C	-0.001933	-0.000967	0.000041	-23.83	0.000	1.00
A*B*C	-0.000908	-0.000454	0.000041	-11.19	0.000	1.00

Nota: *Los datos fueron obtenidos del análisis factorial 2^k realizado en Minitab 19. Elaboración propia.*

El valor constante que el programa determinó fue de 0.015317, lo cual representa el rendimiento promedio alrededor de la variación de todas las combinaciones posibles. Lo que es términos generales, el factor más determinante fue el A (Materia prima) con un efecto de -0.017092 que definió el comportamiento global del sistema. Este resultado se debe a que la semolina de arroz tiene un contenido mayor de proteína y la presencia de las capas de aleurona y restos de endospermo donde se concentran las proteínas del grano. Por el contrario, la cascarilla de arroz posee una elevada proporción de elementos estructurales como la celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice, que limitan la solubilización y recuperación de las proteínas durante la hidrólisis alcalina.

El segundo factor con mayor influencia fue el factor C (Concentración) que, aunque regula la eficiencia del proceso su efecto está condicionado por los otros dos factores.

Por último, el factor B (pretratamiento) que presentó la menor influencia individual sobre el rendimiento. Esto sugiere que, bajo las condiciones evaluadas, el desengrasado no modificó significativamente la cantidad de proteína recuperada. Además, durante esta etapa experimental se observaron dificultades para el ajuste del pH después del proceso de digestión, esto pudo deberse a la capacidad amortiguadora (buffer) de las proteínas; que durante la hidrólisis alcalina las proteínas y los péptidos liberados presentan grupos amino ($-NH_2$) y carboxilo (-COOH) capaces de aceptar o ceder protones lo que hace que el pH no cambie de forma inmediata por lo que se requirió varias adiciones para alcanzar el valor deseado. Lo que hizo más complejo el desarrollo del pretratamiento y pudo limitar su efecto sobre la eficiencia de extracción. En consecuencia, aunque el desengrasado puede favorecer la eliminación de lípidos que interfieren en la extracción, su impacto fue menor en comparación con la influencia ejercida por la materia prima y la concentración del agente extractor.

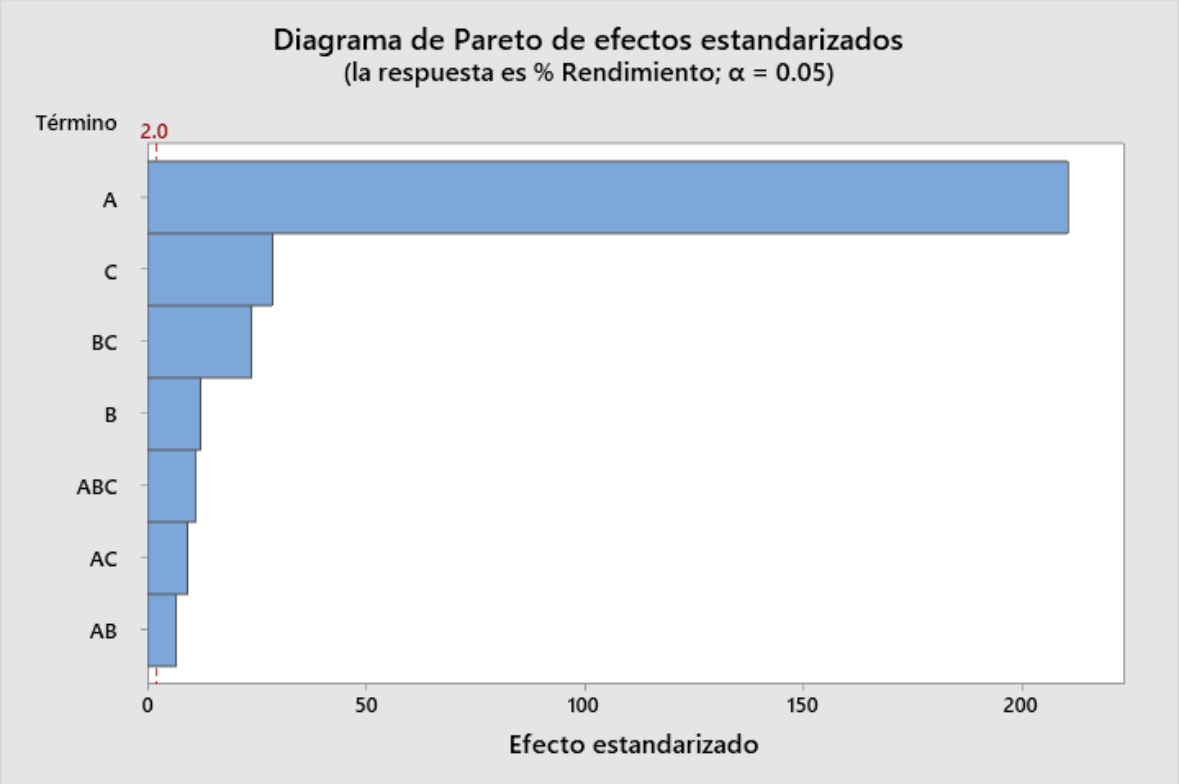
Tabla 5.8. Análisis de varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0.003647	0.000521	6595.09	0
Lineal	3	0.003582	0.001194	15114.64	0
A	1	0.003506	0.003506	44373.43	0
B	1	0.000012	0.000012	149.38	0
C	1	0.000065	0.000065	821.11	0
Interacciones de 2 términos	3	0.000055	0.000018	232.14	0
A*B	1	0.000003	0.000003	43.21	0
A*C	1	0.000007	0.000007	85.44	0
B*C	1	0.000045	0.000045	567.76	0
Interacciones de 3 términos	1	0.00001	0.00001	125.33	0
A*B*C	1	0.00001	0.00001	125.33	0
Error	40	0.000003	0		
Total	47	0.00365			

Nota: *Grados de libertad (GL), Suma de cuadrados ajustada (SC Ajust.) y cuadrado medio (MC Ajust.). Los datos fueron obtenidos del análisis factorial 2^k realizado en Minitab 19. Elaboración propia.*

A partir de la tabla de análisis de varianza (ANOVA) del diseño factorial completo 2^3 se determina que el modelo es altamente significativo ($F = 6595.09$, $p<0.001$), lo que demuestra que los factores estudiados y sus interacciones explican de manera adecuada la variabilidad de la respuesta, las cuales se representan en la ***figura 5.1*** *y* ***5.2*** respectivamente mediante el diagrama de Pareto estandarizado y la gráfica normal de los efectos estandarizados. La suma de cuadrados del modelo (SC = 0.003647) representa prácticamente la totalidad de la variación observada en el experimento, con un coeficiente de determinación cercano al 99.9%.

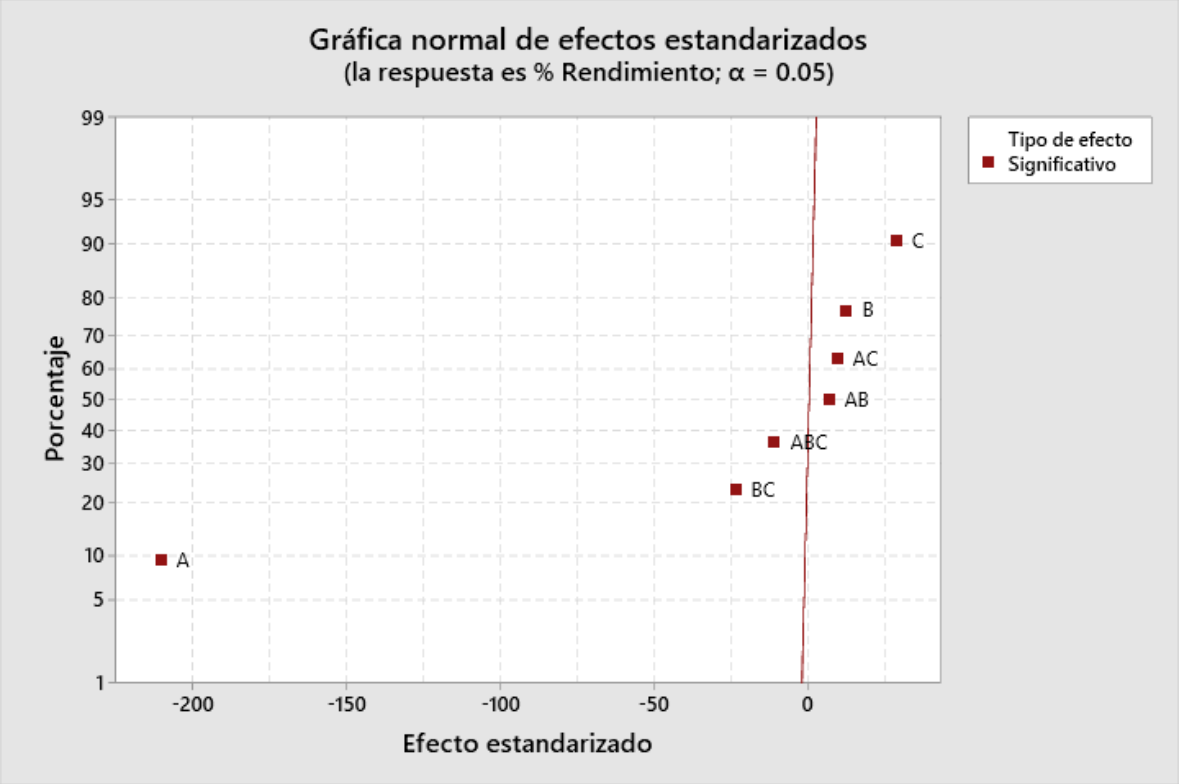
Figura 5.1 *Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial 2^k*



Nota: *Factor A (Materia prima, B (Pretratamiento), C (Concentración). Gráfico generado en Minitab 19. Elaboración propia.*

Los factores y sus combinaciones fueron ordenados de mayor a menor según su impacto sobre la variable respuesta. El valor de 2.0 representado por la línea roja en el gráfico corresponde al valor crítico, por lo que todos los factores e interacciones resultan estadísticamente significativos para el rendimiento de la extracción, ya que superan dicho umbral. Además, el factor A, asociado a la materia prima, presenta el mayor efecto estandarizado, lo que confirma que la selección de la materia prima es el principal determinante del rendimiento del proceso. En particular, la interacción B·C, la interacción entre el pretratamiento y la concentración puede atribuirse a que el desengrasado modifica las condiciones del medio de extracción, afectando la respuesta del sistema ante diferentes concentraciones de NaOH. No obstante, debido a las dificultades presentadas durante el ajuste del pH después de la digestión alcalina, el efecto del pretratamiento por sí solo fue reducido. Sin embargo, aunque esta interacción fue significativa, su efecto fue considerablemente menor que el efecto principal de la materia prima (A), lo que confirma que la selección de la materia prima fue el factor predominante en el proceso de extracción de proteínas.

Figura 5.2 *Gráfica normal de efectos estandarizados del diseño factorial 2^k*

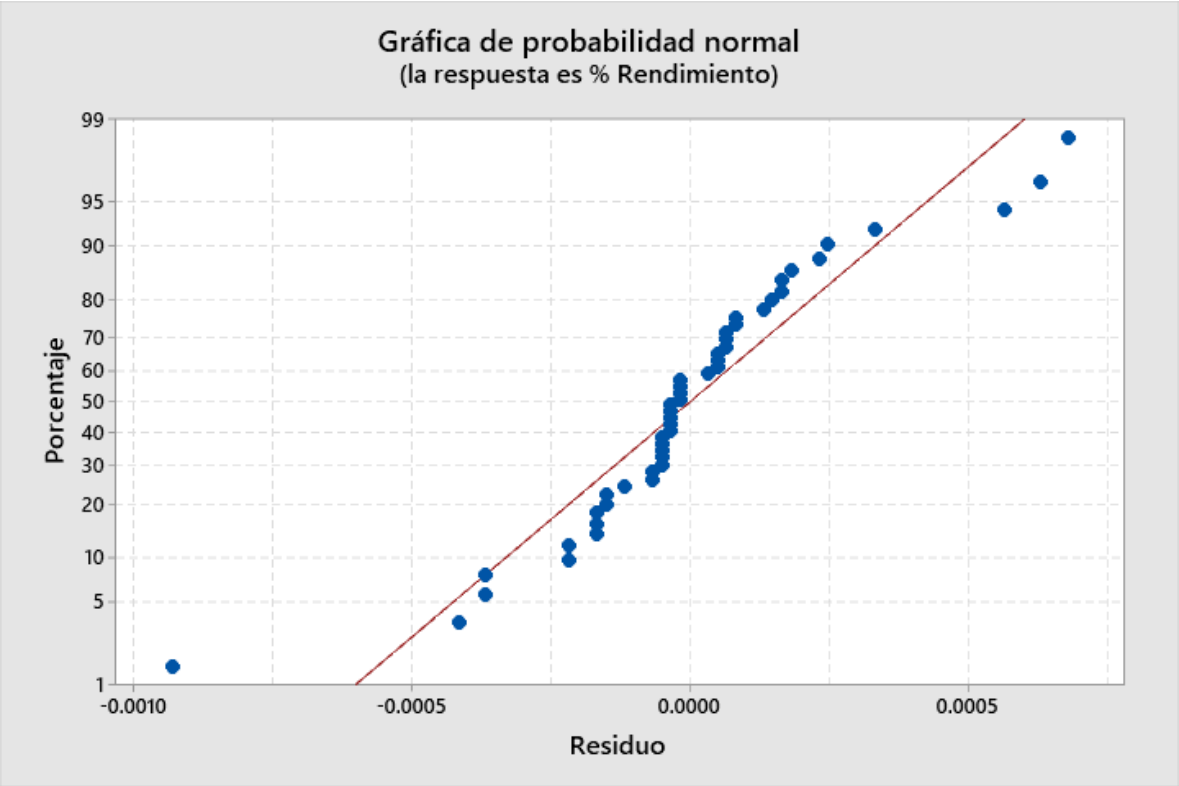


Nota: *Factor A (Materia prima, B (Pretratamiento), C (Concentración). En la gráfica los puntos entre más alejados estén de la línea roja mayor será su efecto en el rendimiento de la extracción. Gráfico generado en Minitab 19. Elaboración propia.*

Se observa que el factor A (materia prima) se encuentra claramente separado del resto y ubicado en el extremo izquierdo, lo que indica un efecto altamente significativo y negativo, confirmando que es el factor más influyente del proceso. Asimismo, los factores B (pretratamiento) y C (concentración), así como las interacciones AB, AC, BC y ABC, se ubican a la derecha de la línea de referencia, evidenciando que todos ellos son estadísticamente significativos. La dispersión de los puntos respecto a la línea recta confirma que el sistema no presenta un comportamiento puramente aleatorio, sino que está fuertemente influenciado por los factores estudiados y sus interacciones, en concordancia con los resultados obtenidos en el ANOVA y el diagrama de Pareto.

Para continuar con el análisis de los resultados es necesario evaluar el supuesto de normalidad del error experimental, lo cual se puede ver gráficamente en la ***figura 5.3*** a continuación:

Figura 5.3 *Gráfica de probabilidad normal de los residuos del diseño factorial 2^k para el porcentaje de rendimiento*

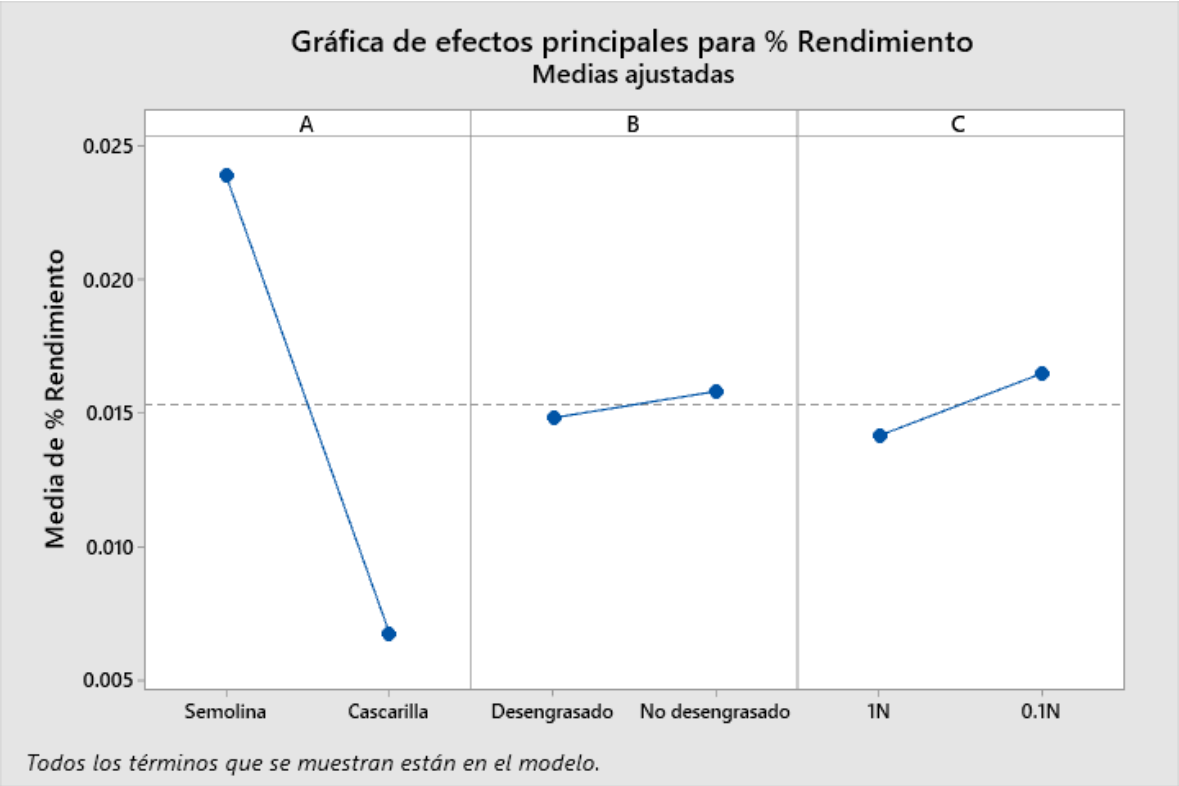


***Nota**:* Gráfico generado en Minitab 19. *Elaboración propia.*

En el gráfico se observa que la mayoría de los puntos se alinean razonablemente bien con la línea de referencia, especialmente en la región central, lo que indica que los residuos siguen aproximadamente una distribución normal. No se aprecia una curvatura sistemática ni patrones marcados que sugieran desviaciones importantes de la normalidad. Aunque existen algunos puntos en los extremos que se alejan ligeramente de la recta, estos no son lo suficientemente severos como para invalidar el supuesto de normalidad y son esperables en experimentos con alta precisión y bajo error experimental, como es el caso del presente estudio.

Ahora es necesario determinar que niveles de los factores del diseño son favorables. Para lo cual se le solicitó al programa de Minitab generar los gráficos factoriales, los cuales se presentan a continuación.

Figura 5.4. *Gráfica de efectos principales para el porcentaje de rendimiento de extracción.*

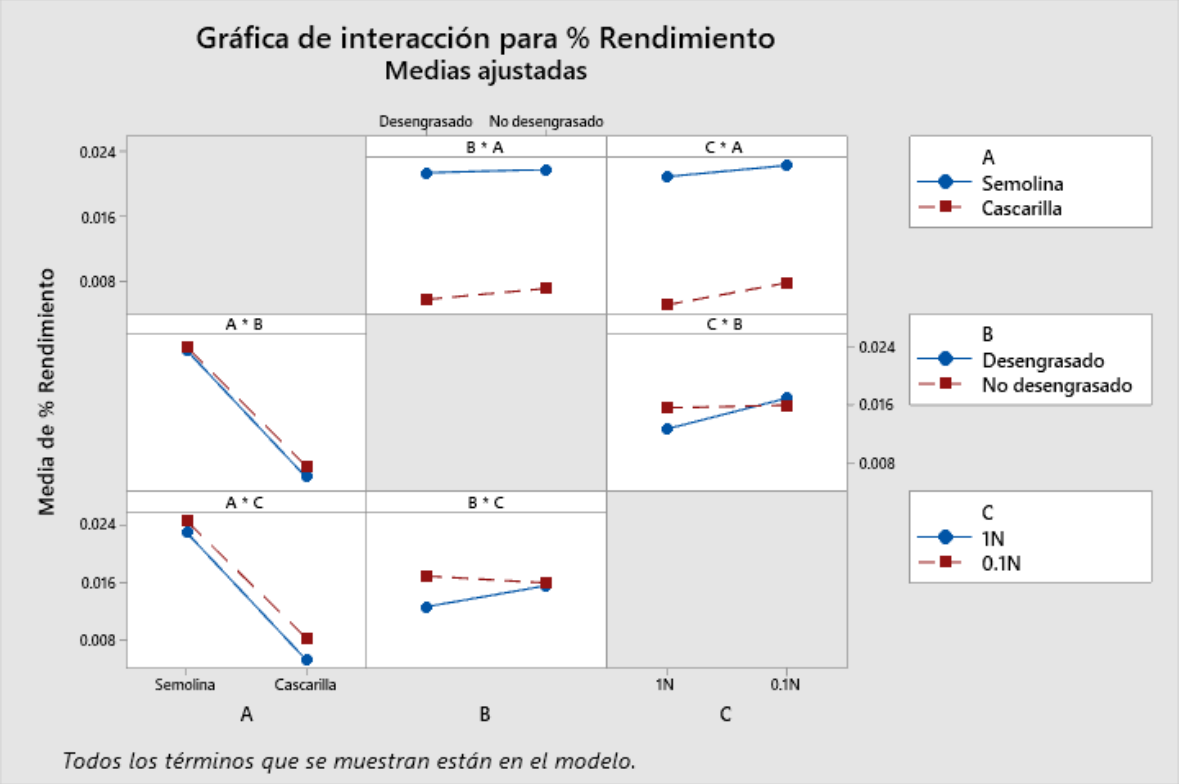


Nota: *(A) Materia prima, (B) Pretratamiento, (C) Concentración. Elaboración propia.*

El factor A (materia prima) presenta la pendiente más pronunciada, evidenciando una diferencia marcada entre el uso de semolina y cascarilla, siendo la semolina la que genera un mayor rendimiento. Este comportamiento confirma que la materia prima es el factor más determinante del proceso de extracción, en concordancia con los resultados del ANOVA y del análisis de efectos estandarizados.

Por su parte, los factores B (pretratamiento) y C (concentración) muestran pendientes más moderadas, indicando efectos directos menos intensos. El rendimiento aumenta ligeramente cuando no se aplica desengrasado y cuando se emplea una concentración de 0.1N, lo que sugiere que estos factores actúan como variables de ajuste del proceso. En conjunto, la gráfica confirma el orden de importancia de los factores, con A como el más influyente, seguido de C y finalmente B, y refuerza la necesidad de considerar las interacciones entre ellos para una adecuada optimización del rendimiento.

Figura 5.5 *Gráfica de interacción para el porcentaje de rendimiento de extracción.*

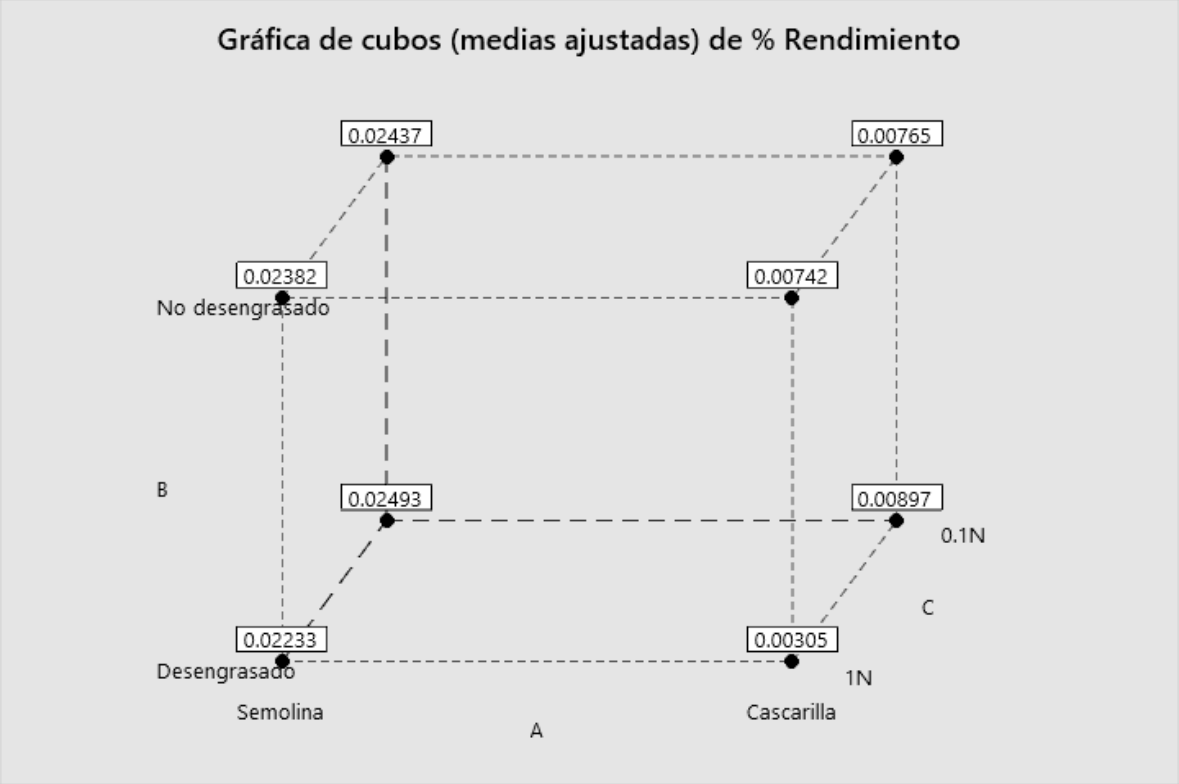


Nota: *Gráfico generado en Minitab 19. Elaboración propia.*

La gráfica de interacción para el porcentaje de rendimiento muestra claramente que el comportamiento del sistema depende de la combinación de los factores A, B y C, y no únicamente de sus efectos individuales. En la interacción A·B, se observa que el efecto del pretratamiento varía según la materia prima utilizada, siendo más favorable cuando se emplea semolina que cuando se utiliza cascarilla, lo que evidencia líneas no paralelas y confirma una interacción significativa entre ambos factores. De manera similar, la interacción A·C indica que el efecto de la concentración depende de la materia prima, ya que los cambios en el rendimiento entre 1N y 0.1N no son iguales para semolina y cascarilla.

Asimismo, las interacciones B·C muestran diferencias en la respuesta del rendimiento dependiendo de la combinación entre el pretratamiento y la concentración, destacándose un mayor rendimiento cuando se combinan condiciones específicas de ambos factores. La falta de paralelismo entre las líneas en estas gráficas confirma la existencia de interacciones significativas, lo cual es consistente con los resultados del ANOVA y el análisis de efectos estandarizados. En conjunto, estas gráficas refuerzan que la optimización del rendimiento de la extracción debe considerar simultáneamente la materia prima, el pretratamiento y la concentración, ya que la respuesta del sistema está fuertemente condicionada por la interacción entre estos factores.

Figura 5.6. *Gráfica de cubos para el porcentaje de rendimiento de extracción.*



Nota: *Gráfico generado en Minitab 19. Elaboración propia*

En el gráfico se observa que las combinaciones que utilizan semolina como materia prima presentan los valores más altos de rendimiento en comparación con aquellas que emplean cascarilla, confirmando nuevamente que el factor A (Materia prima) es el más determinante del proceso. Asimismo, dentro de las condiciones con semolina, los mayores rendimientos se obtienen cuando se combina con concentración 0.1N, independientemente del pretratamiento, lo que evidencia el efecto positivo del factor C (Concentración).

Por el contrario, las combinaciones que utilizan cascarilla muestran los valores más bajos de rendimiento, especialmente cuando se trabaja a 1N, lo que representa la condición menos favorable del proceso. El efecto del pretratamiento (B) es menor en comparación con A y C; sin embargo, se observa que el no desengrasado tiende a favorecer ligeramente el rendimiento en la mayoría de las combinaciones. En conjunto, la gráfica de cubos indica que la condición óptima dentro del rango estudiado corresponde al uso de semolina, concentración 0.1N y pretratamiento no desengrasado, mientras que la combinación de cascarilla, 1N y desengrasado resulta la menos eficiente, lo que concuerda con los resultados obtenidos en el ANOVA y las gráficas de interacción.

VI) LIMITANTES

Durante el desarrollo de la investigación se presentaron limitaciones relacionadas con el tiempo disponible para la ejecución de la fase experimental, lo que impidió realizar la determinación del contenido de proteínas totales mediante el método colorimétrico de Lowry, establecido inicialmente en la metodología. En su lugar, se empleó un procedimiento alternativo basado en la determinación del nitrógeno total mediante método Hach TKN y la medición de la absorbancia de las muestras a 550 nm mediante espectrofotometría, utilizando un factor de conversión de 6.25 para estimar el contenido proteico. Si bien esta metodología permitió obtener resultados confiables para el cumplimiento de los objetivos planteados, la aplicación del método de Lowry habría permitido completar la evaluación del contenido de proteínas mediante una técnica colorimétrica ampliamente utilizada.

Asimismo, el desarrollo experimental estuvo condicionado por la disponibilidad de equipos de laboratorio. Para la determinación del contenido proteico mediante el método de Lowry se requería un espectrofotómetro con programas y configuraciones específicas para este tipo de análisis; sin embargo, el equipo disponible no disponía de dichas funciones. Adicionalmente, su interfaz y configuración se encontraban en un idioma distinto al español e inglés, lo que dificultó su calibración y operación para las condiciones requeridas por el método. En consecuencia, fue necesario recurrir a una metodología alternativa basada en espectrofotometría y el método Hach TKN, la cual permitió obtener resultados confiables para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

VII) CONCLUSIONES

Se determinó el contenido de proteínas totales en la semolina y la cascarilla de arroz, evidenciándose que la semolina presentó una mayor concentración de proteínas en comparación con la cascarilla. El mayor contenido proteico se obtuvo en la semolina tratada con hidróxido de sodio (NaOH) 1N, alcanzando una concentración de 7062.5 mg/L, lo que confirma que este subproducto posee un mayor potencial para el aprovechamiento de proteínas.

La hidrólisis básica permitió obtener proteínas a partir de ambos subproductos del arroz, obteniéndose los mayores rendimientos en la semolina tratada con hidróxido de sodio (NaOH) 1N sin desengrasar, con 1.01 g de proteína seca, mientras que la cascarilla presentó un rendimiento máximo de 0.57 g. El análisis del diseño experimental demostró que la materia prima fue el factor con mayor influencia sobre el rendimiento de extracción, seguida por la concentración de hidróxido de sodio (NaOH), mientras que el pretratamiento de desengrasado presentó una influencia menor en la respuesta del proceso.

Las proteínas extraídas presentaron propiedades funcionales que respaldan su potencial aplicación en la formulación de bioestimulantes agrícolas. La proteína obtenida registró una densidad de 0.88 g/mL, además de una actividad espumante y solubilidad dependientes del pH, observándose una mayor estabilidad alrededor de pH 4.8 y un incremento de la actividad espumante en condiciones alcalinas. Estas propiedades evidencian un comportamiento funcional favorable para su incorporación en formulaciones destinadas al sector agrícola.

Se cumplió el objetivo general de valorizar la cascarilla y la semolina de arroz mediante la obtención de proteínas por hidrólisis básica, demostrando que ambos subproductos constituyen una fuente aprovechable de proteínas. La semolina destacó como la materia prima con mayor potencial debido a su mayor contenido proteico y rendimiento de extracción, lo que evidencia la viabilidad técnica de su aprovechamiento como materia prima para la elaboración de bioestimulantes. El empleo de estos subproductos contribuye a la valorización de residuos agroindustriales y promueve estrategias de aprovechamiento sostenible y de economía circular en el sector agrícola.

VIII) RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar la investigación sobre la obtención de proteínas mediante hidrólisis básica utilizando otros subproductos derivados del arroz y diferentes materias primas de origen vegetal, con el propósito de comparar su rendimiento de extracción, contenido proteico y propiedades funcionales. Lo que permitirá identificar nuevas fuentes de proteína con potencial de aprovechamiento para el desarrollo de bioestimulantes y contribuirá a la valorización de residuos agroindustriales.

Para futuras investigaciones que empleen semolina y cascarilla de arroz bajo condiciones similares a las evaluadas en este estudio, se recomienda prescindir de la etapa de desengrasado. Los resultados del diseño experimental demostraron que este factor presentó la menor influencia sobre el rendimiento de extracción de proteínas, mientras que durante su ejecución incrementó la complejidad del proceso debido a las dificultades presentadas en el ajuste del pH posterior a la digestión alcalina. En consecuencia, la eliminación de esta etapa permitiría simplificar la metodología, reducir el tiempo de procesamiento y el consumo de reactivos, sin afectar significativamente el rendimiento de extracción.

Se recomienda profundizar en la caracterización fisicoquímica y funcional de las proteínas obtenidas mediante la incorporación de ensayos adicionales, tales como la capacidad de gelificación, estabilidad térmica, capacidad de retención de aceite y determinación del perfil de aminoácidos. Estos análisis permitirán establecer con mayor precisión las propiedades de las proteínas extraídas y ampliar el conocimiento sobre sus posibles aplicaciones.

Finalmente, se recomienda desarrollar estudios de aplicación de las proteínas obtenidas en formulaciones de bioestimulantes agrícolas, evaluando su efecto sobre el crecimiento y desarrollo de diferentes cultivos, así como su compatibilidad con otros componentes de las formulaciones y su estabilidad durante el almacenamiento. La validación de estos aspectos permitirá determinar su viabilidad a escala de aplicación y consolidar el potencial de estos subproductos como materia prima para la elaboración de bioestimulantes.

IX) NOMENCLATURA

$\boldsymbol{\rho}$: Densidad $\boldsymbol{g/ml}$

$\boldsymbol{N}$: Fuerza del reactivo **N**

$\boldsymbol{m}$**:** Masa $\boldsymbol{g}$

$\boldsymbol{D}$: Pre tratamiento

$\boldsymbol{R}$: Rendimiento de la extracción. $\boldsymbol{g}$

$\boldsymbol{R_{Semolina}}$: Rendimiento de la extracción de semolina. $\boldsymbol{g}$

$\boldsymbol{R_{Cascarilla}}$: Rendimiento de la extracción de cascarilla. $\boldsymbol{g}$

$\boldsymbol{V}$: volumen $\boldsymbol{ml}$

$\boldsymbol{\mu}$: Efecto promedio global.

$\boldsymbol{\tau_j}$: Efecto del nivel i-esimo del factor A.

$\boldsymbol{\beta_j}$**:** Efecto del nivel j-esimo del factor B.

$(\boldsymbol{\tau\beta})_{ij}$: Efecto de interacción entre τ_j y β_j.

$\boldsymbol{\varepsilon_{ijk}}$**:** Componente del error aleatorio.

GL*: Grados de libertad*

SC Ajust.: *Suma de cuadrados ajustada*

MC Ajust.: *Cuadrado medio*

X) BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, M. A. (junio de 2006). origen, evolución y diversidad del arroz . São Paulo, Brazil.

American Public Health Association. (s.f.). Standard Methods Committee of the American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. *4500-H^+: pH, 24ª*. (W. C.-H. Lipps, Ed.) Washington, DC: APHA Press.

American Society for Testing and Materials. (Febrero de 2002). Standard test method for in biomass. *ASTM International*. Obtenido de https://cdn.standards.iteh.ai/samples/8457/4487012bcf3a4baba73de90afd9ad6b8/ASTM-E1755-01.pdf

Bao, S. F. (Julio de 2020). Diseño de experimentos: Diseño Factorial. Barcelona, España.

Buggenhout, J. B. (2013). La suceptibilidad a la rotura del arroz crudo y sancochado. *Revista de ingenieria de alimentos*, 117,304-315.

Chano, M. G. (2021). Revisión sistemática de métodos analíticos sobre extracción de proteína vegetal. Riobamba, Ecuador.

Dirección general de normas Mexicanas. (1982). NMX F-428-1982 (Método rápido de la termobalanza). México. Obtenido de https://www.studocu.com/es-mx/document/centro-de-ensenanza-tecnica-industrial/calidad-y-medio-ambiente/nmx-f-428-1982-termobalanza/45470420

Fernández, H. Z. (2004). Análisis quimico de los alimentos: métodos clásicos. La Habana, Cuba: Editorial Universitaria del Ministerio de Educación Superior. Obtenido de https://juliocruz82.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/analisis-quimico-de-los-alimentos-mc3a9todos-clc3a1sicos.pdf

Gélvez, L. (2024). *Mundo Pecuario*. Obtenido de https://mundo-pecuario.com/tema61/nutrientes_para_rumiantes/arroz_cascarilla-498.html?utm_source=chatgpt.com

González, E. V. (s.f.). El valor nutritivo de los subproductos del arroz en Costa Rica. Composicion quimica, disponibilidad y uso. Costa Rica. Recuperado el 25 de Marzo de 2025

González, G. C. (10 de 02 de 2025). Obtención de proteína de arroz por hidrólisis básica para su aplicación en bioestimulantes. Managua, Nicaragua.

INIDE. (2011). *INIDE*. Obtenido de bases de datos CENAGRO: https://www.inide.gob.ni/Home/dataBasesCENAGRO

INIDE. (2021). Obtenido de INIDE : https://www.inide.gob.ni/docs/Anuarios/Anuario2021/Anuario_Estadistico2021.pdf

jove. (30 de Abril de 2023). *jove*. Obtenido de https://www.jove.com/v/10082/determining-the-density-of-a-solid-and-liquid?language=Spanish&utm_source=chatgpt.com

Lanzas, K. R. (Octubre de 2016). *repositorio UNA.* Obtenido de https://repositorio.una.edu.ni/3438/1/tne70l297.pdf

Méndez, T. C. (10 de febrero de 2023). *El 19 digital*. Obtenido de https://www.el19digital.com/articulos/ver/titulo:136837-nicaragua-presenta-incremento-en-todos-los-rubros-de-produccion-durante-este-2023

National Human Genome Research Institute. (3 de Noviembre de 2023). Obtenido de https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Proteína

Nutrinews. (09 de Diciembre de 2024). *porciNews.* Obtenido de https://porcinews.com/abc-porcino/ficha-de-materia-prima-salvado-de-arroz/

Pinciroli, M. P. (2015). *El arroz.* Obtenido de SEDICI: http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46744

Urrea, J. (octubre de 2014). *Centro Internacional de Agricultura Tropical.* Obtenido de https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/0baaca94-fba9-4f94-b516-40b5314f6ea7/content

XI) ANEXOS

10.1. Anexos A: Tablas

10.1.1. Determinación de humedad

Se tomaron 3g de ambas muestras por termo balanza, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla A.1. Humedad de muestras de materia prima

Semolina			**Cascarilla**		
1	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
0.03%	0.03%	0.03%	0.17%	0.17%	0.17%

Elaboración propia.

Como podemos observar en la tabla la semolina presenta una humedad de 0.14% menor que la presentada en la cascarilla.

10.1.2. Determinación de cenizas

Se pesaron 2g de muestra en crisoles para luego ser colocados en la mufla a 500°c por 2h, una vez pasado el tiempo se transfirieron a un desecador para ser enfriados por un tiempo de 20min, una vez terminado ese tiempo se pesó nuevamente obteniendo los siguientes resultados:

Tabla A.2. Determinación de cenizas

Semolina			**Cascarilla**		
Masa crisol	**Masa crisol + ceniza**	**% ceniza**	**Masa crisol**	**Masa crisol + ceniza**	**% Ceniza**
13.2058	13.3810	0.0017	12.4416	12.8786	0.0042
12.3299	12.5115	0.0018	13.2056	13.878 0	0.0067

Elaboración propia.

Al analizar los resultados mostrados en la tabla se aprecia que el porcentaje de cenizas en la cascarilla es mayor demostrando así que cada gramo de cascarilla

contiene más material inorgánico lo que puede dificultar la extracción de la proteína de las muestras ya que esto puede afectar la solubilidad además de la posibilidad de que con ciertas condiciones de pH se pueda afectar la pureza de la proteína extraía.

10.1.3. Determinación de pH

A continuación, se presentan los resultados de cada muestra digestada:

Tabla A.3. Determinación de pH

Muestra	**1**	**2**	**3**
pH cascarilla	7.00	6.85	7.15
pH semolina	6.17	6.22	6.33

Elaboración propia.

Ambas muestras presentan un pH cercano al neutro, con una ligera variación que puede afectar el estado de ionización que se traduce en la solubilidad de las mezclas.

10.1.4. Determinación de grasas

Se obtuvieron los siguientes resultados al aplicar el método de extracción por equipo Soxhlet:

Tabla A.4. Determinación de grasas por método Soxhlet

Muestra	**Cascarilla**			**Semolina**		
	1	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Peso del recipiente	16.9611	16.6684	16.8101	16.8981	17.1568	17.1547
Peso del recipiente más grasa	19.3324	19.558	17.84121	19.071	19.8995	18.4306
mL de grasa	2.3713	2.8896	1.03111	2.1729	2.7427	1.2759

Elaboración propia.

Podemos observar cómo ambas materias primas tienen un valor cercano de grasas por lo que se tomó la decisión de realizar muestras desengrasadas tanto de semolina como de cascarilla para evaluar las diferencias entre la extracción entre muestras desengrasadas y engrasadas.

10.1.5. Desengrasado

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la digestión de las muestras, tomando el sobrenadante y realizando la extracción de grasa en roto vapor por 15mins a 70°C:

Tabla A.5. Aceite extraído

Materia prima	Balón vacío (gr)	Balón lleno (gr)	Aceite (mL)
Semolina 1	102.12	107.6	5.42
Semolina 2	102.69	106.96	4.25
Semolina 3	103.28	108.25	4.87
Semolina 4	102.35	107.62	5.2
Cascarilla 1	101.62	101.68	0.07
Cascarilla 2	101.75	101.85	0.1
Cascarilla 3	102.52	102.81	0.09
Cascarilla 4	101.08	101.17	0.09

Elaboración propia.

Estos valores toman en cuenta la densidad del aceite (0.92g/ml). Observamos un aumento del 98% en la cantidad de grasa presente en la muestra de semolina, como se muestra en la ***figura B.1.***

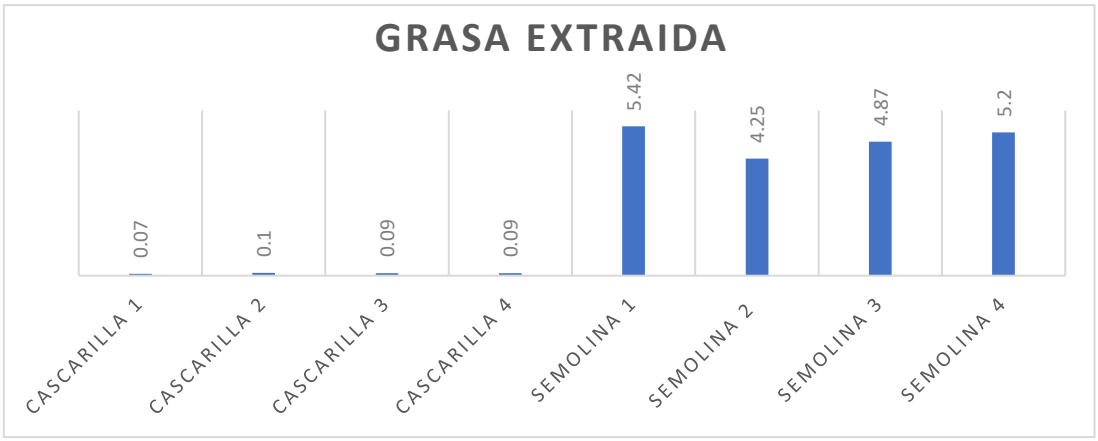
Tabla A.6 Coeficiente de determinación del modelo factorial 2^k

S	R	R^2 (ajustado)	R^2 (predeterminado)
0.0002811	99.91%	99.90%	99.88%

Nota: *Los resultados del coeficiente de determinación indican que el modelo explica el 99,90% de la variabilidad en el rendimiento de extracción observado en los experimentos. Los datos fueron obtenidos en Minitab 19. Elaboración propia.*

10.2. Anexos B: Figuras

Figura B.1. Gráfica de la extracción de grasa obtenida



Nota: *En la gráfica se aprecia como la semolina representa un 98% de la grasa extraída. Elaboración propia.*

Figura B.2. Triturado de cascarilla.



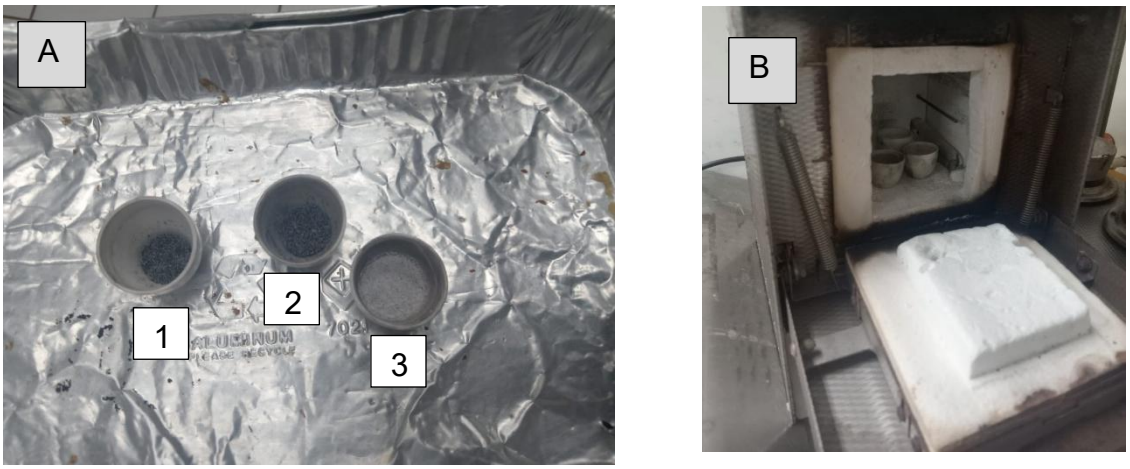
Elaboración propia.

Figura B.3. Tamizado de las muestras



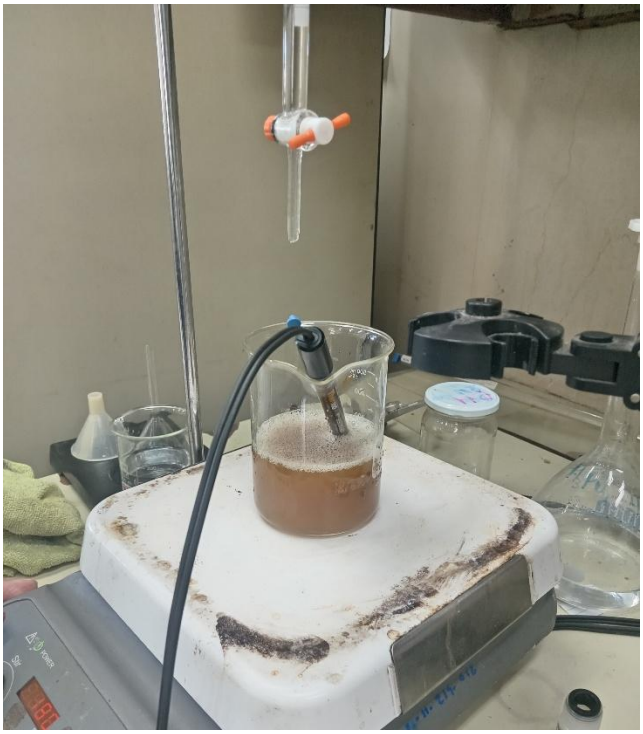
Elaboración propia.

Figura B.4. Resultado de determinación cenizas en las muestras.



Nota: *En la imagen A se puede apreciar diferencias en las tonalidades de las cenizas obtenidas producto de las muestras de semolina (1,2) de tono más oscura y las muestras obtenidas de la cascarilla contenida en el crisol 3 tono más claro evidencia el contenido más alto de ceniza presente en la cascarilla. Por otro lado, la imagen B muestra las muestras contenidas en crisoles dentro de la mufla. Elaboración propia.*

Figura B.5. Determinación de pH.



Elaboración propia.

Figura B.6. Determinación de grasas por equipo Soxhlet



Elaboración propia

Figura B.6. Resultado de la determinación de grasas de las muestras.



Nota: *Luego de la extracción de grasas de las muestras se colocó la grasa obtenida en viales para el posterior cálculo de las grasas obtenida. Elaboración propia*.

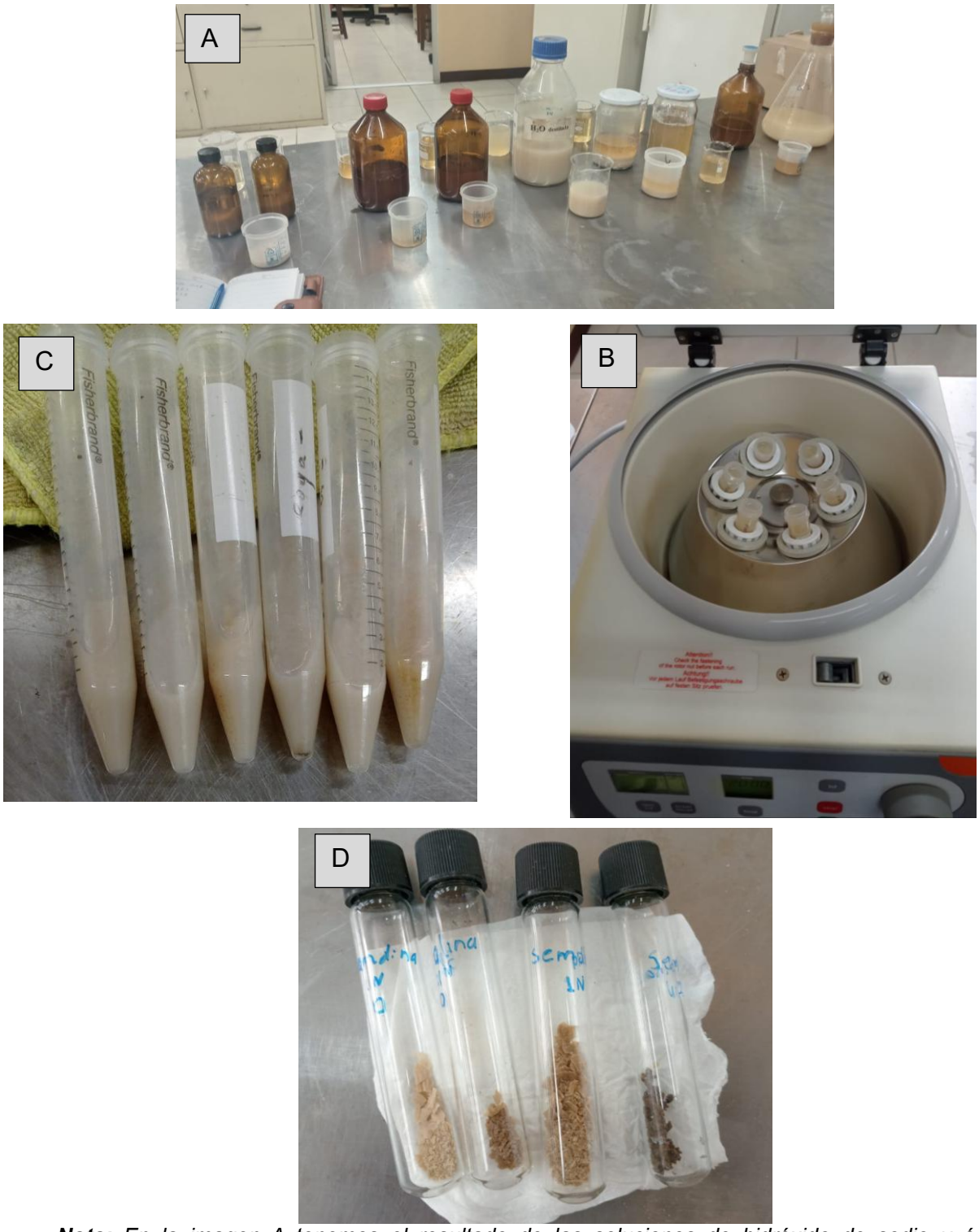
Figura B.7. Desengrasado de las muestras.





Nota: *Para el desengrasado de las muestras estas fueron agregados en frascos sellados al que se les agregó hexano al 96%, estos fueron dejados de un día para otro en reposo para luego ser decantadas y llevadas a extracción por roto vapor durante 15 mins a 70°C, el precipitado resultante fue llevado a secar a horno por 4horas a 110°C. Elaboración propia.*

Figura B.8. Determinación de proteínas.



Nota: *En la imagen A tenemos el resultado de las soluciones de hidróxido de sodio y ácido clorhídrico, se tomaron las muestras resultantes que presentaron mayor cantidad de proteína para ser sometidas a centrifugado a 420rpm por 15 minutos (imagen B) resultando en los viales observados en la imagen C, estos fueron luego secados en horno (imagen D). Elaboración propia.*

Figura B.9. Determinación de proteínas por método Hach TKN.



Elaboración propia.

Figura B.10. Caracterización de la proteína obtenida: Actividad espumante.



Nota: *El pH inicial de la muestra se modificó desde 4.8 a 12.5 con la adición de ácido clorhídrico concentrado, en estas condiciones se produjo una reacción exotérmica y formación de estructuras de proteínas que retiene el aire, con la ayuda de una regla se midió el tamaño de la espuma generada usando una regla. Elaboración propia.*

Figura B.11. Caracterización de la proteína obtenida: Solubilidad**.**



Elaboración propia.

Figura B.12. Ecuación de regresión del diseño factorial 2^k**.**

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

% Rendimiento = 0.015317 - 0.008546 A + 0.000496 B + 0.001162 C + 0.000267 A*B + 0.000375 A*C
- 0.000967 B*C - 0.000454 A*B*C

Nota: *Figura generada en Minitab 19. Elaboración propia.*

Universidad Nacional de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARÁUZ PALACIOS

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 2

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6FFBAFC4		
NOMBRE	CRUZ GONZÁLEZ GRACIE JANNELLY		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA		
CARRERA	Ingeniería Química		
TURNO	Diurno	**SEXO**	F
AÑO MATRICULADO	6	**GRUPO**	6T1-QUI-R
SIT. ESC	REINGRESO	**AÑO ING. EDUC. SUP**	2019

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	6T1-QUI-	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en https://singu.setec.edu.ni/

Correo:
Clave:

FECHA: 17/07/2026 10:58:55

Creado Por: 6FFBAFC4
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:

- **-- Ciencias de la Salud: 21 de JULIO, 2026**
- **-- PRESENCIAL: LUNES 27 DE JULIO, 2026**
- **-- SABATINO: SÁBADO 25 DE JULIO**
- **-- DOMINICAL: DOMINGO 26 DE JULIO, 2026**