



**Desarrollo de un adhesivo natural a partir de residuos agroindustriales para su
utilización en materiales de madera.**

Naranjo Martínez, Heidy Fernanda

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Petroquímica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Petroquímica

Dr. PhD. Rodríguez Maecker, Román Nicolay

07 de agosto del 2020



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "Desarrollo de un adhesivo natural a partir de residuos agroindustriales para su utilización en materiales de madera" realizado por la señorita Naranjo Martínez, Hedy Fernanda ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido, por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 05 de agosto de 2020



ROMAN NICOLAY
RODRIGUEZ
MARCOS

Dr. Rer. Nat., Ph.D Rodriguez Maecker, Roman Nicolay

DIRECTOR

C.C.: 1712082120

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS PETROQUIMICA - NARANJO HEIDY ver 2.docx (D77356755)
Submitted: 7/31/2020 6:14:00 PM
Submitted By: terasalepou@gmail.com
Significance: 2 %

Sources included in the report:

PY FINAL.docx (D50553601)
TESIS FINAL - Julio Barra.pdf (D52608007)
<https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/potencialidades-torta-ajonjoli-sesamun-t33146.htm>
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14184/1/T-ESPEL-IPE-0007.pdf>

Instances where selected sources appear:

6

Revisado



ESPEL IPE
ESPEL IPE
ESPEL IPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA****AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Heidy Fernanda Naranjo Martínez**, con cédula de ciudadanía N° **180457677-3** declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "**Desarrollo de un adhesivo natural a partir de residuos agroindustriales para su utilización en materiales de madera**" es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 11 de agosto de 2020



Naranjo Martínez, Heidy Fernanda

C.C.: 1804576773



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Naranjo Martínez, Heidy Fernanda** con cédula de ciudadanía N° **1804576773**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el presente trabajo de titulación "**Desarrollo de un adhesivo natural a partir de residuos agroindustriales para su utilización en materiales de madera**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 11 de agosto de 2020



Naranjo Martínez, Heidy Fernanda

C.C.: 1804576773

DEDICATORIA

“La mejor forma de predecir el futuro es crearlo”

Peter Drucker

Dedicado a:

A Dios

A mis Padres

A mis Hermanos

A mi amada familia

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de culminar una etapa más en mi vida, por brindarme la salud necesaria para ver lograr mis metas y sobre todo agradezco que nunca me haya abandonado y siempre esté presente en mis pensamientos y mi corazón.

A mis padres, Iván Naranjo y María Martínez por ser el pilar fundamental de mi vida, por guiarme en el camino correcto y nunca soltarme, por ser mis amigos y consejeros. por ser la motivación que me impulsa a seguir adelante, ya que gracias a su amor y apoyo incondicional pude estudiar y lograr un anhelo más en mi vida, ya que sin ustedes nada de mis logros hubiesen sido posibles.

A mis hermanos, Ricardo, Melanie y Abigail, por su paciencia y apoyo, gracias por acompañarme, por ser mis cómplices de vida y siempre sacarme una sonrisa en mis peores momentos.

A mi tutor, Dr. Roman Rodríguez gracias por brindarme sus conocimientos y su tiempo, ya que han sido mi soporte y mi guía en este trabajo.

Finalmente, agradezco a mis amigos, compañeros, conocidos y a mi amado Eduardo que ha compartido conmigo cada problema y alegría en esta etapa universitaria. Gracias a todas las personas que formaron parte de esta fase, y dejaron una enseñanza por la que siempre los recordaré.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	1
CERTIFICACIÓN	2
REPORTE URKUND	3
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	4
AUTORIZACIÓN	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO.....	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS	12
ÍNDICE DE FIGURAS	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I.....	16
1. GENERALIDADES.....	16

	9
1.1. Introducción	16
1.2. Antecedentes	18
1.3. Planteamiento del problema.....	19
1.4. Justificación e importancia	20
1.5. Objetivos generales y específicos.....	21
1.5.1. Objetivo General.....	21
1.5.2. Objetivos Específicos	21
1.6. Variables dependientes e independientes	22
1.6.1. Variable dependiente.....	22
1.6.2. Variable independiente.....	22
1.7. Hipótesis	22
CAPÍTULO II.....	23
2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Adhesivos	23
2.1.1. Generalidades	24
2.1.2. Clasificación.....	25
2.1.2.1. Adhesivos Sintéticos	25
2.1.2.2. Adhesivos Naturales	26
2.2. Ajonjolí	27
2.2.1. Generalidades	27
2.2.2. Torta de Ajonjolí.....	30
2.3. Proteínas.....	31
2.4. Descripción de la proteína de ajonjolí	34

	10
2.4.1. Desnaturalización de la proteína de ajonjolí	37
2.5. Diseño de Experimentos	38
2.5.1. Metodología de Superficie de Respuesta	38
2.5.1.1. Diseño de Box Behnken	39
2.6. Métodos de Caracterización.....	41
2.6.1. Reología.....	41
2.6.2. Método Kjeldahl.....	42
CAPÍTULO III.....	44
3. METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	44
3.1. Equipos, materiales y reactivos.....	44
3.1.1. Equipos.....	44
3.1.2. Materia Prima	44
3.1.3. Materiales.	44
3.1.4. Reactivos	45
3.2. Tratamiento de la torta residual de ajonjolí.....	45
3.3. Desengrasado de la torta residual de ajonjolí.....	46
3.4. Extracción alcalina de la proteína	49
3.5. Diseño experimental para la obtención del adhesivo mediante la utilización de aislado proteico.	56
3.6. Pruebas fisicoquímicas del adhesivo en láminas de madera.....	60
3.6.1. Mediciones reológicas.....	60
3.6.2. Mediciones de resistencia al agua.....	60
3.6.3. Mediciones de resistencia al cizallamiento	61

	11
CAPÍTULO IV	62
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1. Tratamiento de la torta residual.....	62
4.2. Desengrasado de la torta residual	62
4.3. Extracción alcalina de la proteína	67
CAPÍTULO V	71
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1. Conclusiones	71
5.2. Recomendaciones.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Caracteres genéticos en cultivares de ajonjolí	28
Tabla 2 Análisis proximal de la torta residual de ajonjolí	31
Tabla 3 Aminoácidos en el ajonjolí.....	35
Tabla 4 Diseño de Box Behnken para tres variables	40
Tabla 5 Factor de conversión para obtener la tasa de proteína bruta a partir del nitrógeno total	43
Tabla 6 Niveles para las variables independientes.....	57
Tabla 7 Diseño de metodología de superficie de respuesta de Box-Behnken para las variables independientes.....	57
Tabla 8 Rendimiento de molienda de la torta de ajonjolí.....	62
Tabla 9 Cantidad obtenida de torta desengrasada y aceite residual en gramos.....	63
Tabla 10 Masa de torta residual, antes y después de la extracción soxhlet.....	65
Tabla 11 Porcentaje de aceite presente en la torta residual de ajonjolí.....	66
Tabla 12 Análisis de dispersión de datos para el aceite presente en la torta residual.....	67
Tabla 13 Porcentaje promedio de tamizado de la torta desengrasada.....	67
Tabla 14 Rendimiento de extracción de proteína	68
Tabla 15 Análisis de dispersión de datos para la proteína presente en la torta desengrasada de ajonjolí.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Fuerza de cohesión y adhesión.....	23
Figura 2	Semilla de sésamo	28
Figura 3	Aminoácidos hidrofóbicos o apolares	32
Figura 4	Aminoácidos hidrofílicos o polares	33
Figura 5	Aminoácidos de polaridad intermedia.....	33
Figura 6	Desnaturalización de la proteína	37
Figura 7	Modelo de esferas y cilindros de dos aminoácidos polares	38
Figura 8	Grafica de una superficie de respuesta tridimensional	39
Figura 9	Representación gráfica del diseño de Box Benhken para tres variables	41
Figura 10	Molino manual de granos.....	46
Figura 11	Equipo de extracción soxhlet	47
Figura 12	Evaporador rotativo	48
Figura 13	Horno de convección forzada(ESCO-ISOTHERM).....	49
Figura 14	Tamiz mallado 180 μ m (ASTE M 11-70)	50
Figura 15	Suspensión de harina de ajonjolí con agua destilada a ph 11.....	51
Figura 16	Centrifugación de la suspensión a ph 11.....	52
Figura 17	Muestras iniciales (primera centrifugación)	53
Figura 18	Precipitado que contiene la proteína	54
Figura 19	Lavado del aislado proteico	55
Figura 20	Aislado proteico.....	55
Figura 21	Estufa de vacío marca BINDER.....	56
Figura 22	Baño maría con agitación	59

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como fin primordial, obtener un adhesivo natural libre de compuestos tóxicos a partir de material renovable, mediante el uso del aislado proteico obtenido del residuo agroindustrial resultante de la extracción del aceite de ajonjolí. Para el acondicionamiento y desengrasado de la materia prima, se realizó una extracción soxhlet en la que se sustrajo el aceite residual de la torta de ajonjolí utilizando una relación torta-solvente de 1:10. Para la obtención de la proteína se realizó una extracción alcalina, usando una base fuerte cuya concentración fue 2M de NaOH en la que la extracción se llevó a cabo debido al pH isoelectrico 4,5 de las proteínas. Se utilizó un diseño experimental de metodología de superficie de respuesta de Box-Behnken, utilizando 8 gramos del aislado proteico en 140 ml de agua destilada, donde las variables independientes para la producción del adhesivo natural fueron, potencial de hidrógeno, temperatura y tiempo de reacción, siendo las mejores las de 10, 50 °C y 60 min respectivamente. Las pruebas fisicoquímicas como reología, resistencia al agua y resistencia al cizallamiento, que se pretendían realizar al adhesivo natural para determinar la fuerza de adhesión como variable dependiente no se lograron llevar a cabo, debido a la situación actual que el mundo está atravesando con la pandemia COVID -19.

PALABRAS CLAVE:

- **AISLADO PROTEICO**
- **AJONJOLÍ**
- **ADHESIVO NATURAL**

ABSTRACT

The main purpose of this titling work was to obtain a natural adhesive free of toxic compounds from renewable material, by using the protein isolate obtained from the agro-industrial residue resulting from the extraction of sesame oil. For conditioning and degreasing the raw material, a soxhlet extraction was carried out in which the residual oil was subtracted from the sesame cake using a cake-solvent ratio of 1:10. To obtain the protein, an alkaline extraction was carried out, using a strong base whose concentration was 2M NaOH in which the extraction was carried out due to the isoelectric pH 4.5 of the proteins. An experimental design of the Box-Behnken response surface methodology was used, using 8 grams of the protein isolate in 140 ml of distilled water, where the independent variables for the production of the natural adhesive were, hydrogen potential, temperature and reaction time. , the best ones being 10, 50 °C and 60 min respectively. Physicochemical tests such as rheology, water resistance and shear resistance, which were intended to be carried out on the natural adhesive to determine the strength of adhesion as a dependent variable, could not be carried out, due to the current situation that the world is going through with the pandemic COVID -19.

KEYWORDS:

- **PROTEIN ISOLATE**
- **SESAME**
- **NATURAL ADHESIVE**

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

El ajonjolí, perteneciente a la familia Pedaliáceae, es originaria de la India y de África, se encuentra alrededor de todo el mundo y es una de las semillas oleaginosas más utilizadas en la cocina y repostería, al igual que en cosmetología debido al gran porcentaje de aceite que posee el fruto de esta planta (Rey Bolivar, 1999).

La planta de ajonjolí posee una productividad media de 390 kg/ha en la que se estima un valor de 6 millones de hectáreas cultivadas, de las cuales Asia y África poseen cerca del 90% (Falasca, Anschau, & Galvani, 2010). En el Ecuador de acuerdo con estadísticas obtenidas en la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, se llega a la conclusión que el país tiene un promedio de 27 toneladas anuales.

Uno de los productos principales de la planta de ajonjolí es el aceite que se obtiene al extraerlo de la semilla, que se utiliza generalmente en cosmetología debido a sus propiedades antioxidantes. El proceso de extracción del aceite de ajonjolí genera residuos agroindustriales que no tienen un fin comercial, como lo es la torta residual. Se conoce que la torta residual de ajonjolí, tiene un 46.80% de proteínas (Rey Bolivar, 1999), que pueden ser utilizadas para la elaboración de otros productos entre ellos está la elaboración de un adhesivo natural.

Los adhesivos en su mayoría, están fabricados a base de productos petroquímicos, pero también se los puede obtener a partir del tratamiento de materiales

renovables, tales como las proteínas, celulosa o caucho natural. Los adhesivos de fuentes naturales como los que son a base de proteínas, regularmente se los utiliza en la fabricación de madera contrachapada o aglomerados. En la industria maderera más de seis mil millones de libras de resinas adhesivas han sido utilizadas, generando así un alto índice de contaminación ambiental debido a la emisión de compuestos tóxicos durante la etapa de producción (Mo & Sun, 2013).

La soya contiene un gran porcentaje de proteínas, comparada con otras plantas oleaginosas por lo que la mayor parte de adhesivos naturales provienen de la misma. Dado que los adhesivos a base de productos petroquímicos son superiores en fortaleza en relación con los adhesivos proteicos, es necesario seguir con la investigación de cómo mejorar las propiedades de encolado de los adhesivos a base de proteínas.

El presente estudio se basa en las similitudes de la semilla de ajonjolí con la semilla de soya, sus características y los porcentajes de aminoácidos presentes en las dos clases de plantas oleaginosas, para obtener un adhesivo natural que radica en el uso de proteínas que pueda ser utilizado en materiales de madera, como tableros aglomerados y madera contrachapada.

Debido a que la torta residual de ajonjolí, no tiene un valor agregado y generalmente se usa como alimento para los cerdos, es considerada la materia prima ideal para la elaboración de un adhesivo natural, ya que no tiene impactos negativos ambientales y ayuda a la optimización de recursos y utilización de materiales de desecho en la creación de nuevos productos que puedan tener un fin comercial.

1.2. Antecedentes

El desarrollo de la tecnología, en las últimas décadas ha dado un impulso notable a la biorefinería, permitiendo obtener productos similares a los derivados del petróleo, pero de fuentes alternas, más amigables con el medio ambiente. Los residuos agroindustriales como la torta de ajonjolí son una materia prima de bajo costo, adecuada para la producción de adhesivos naturales, además su aplicación no implica preocupaciones éticas asociadas con el uso de los recursos alimenticios.

Existen estudios como (Kuo et al., 2003) donde utilizan la harina de soya como materia prima, en la elaboración de adhesivos para tableros de fibra y tableros duros. En este se señala los parámetros que son importantes al producir los tableros de partículas, como la formulación del adhesivo, el proceso de encolado y los parámetros de la prensa.

También se encuentran publicaciones científicas como (Kalapathy, Hettiarachchy, Myers, & Hanna, 1995), donde utilizan el concentrado de proteína de soya y la tripsina como elementos primordiales en la elaboración de adhesivos utilizados en carpintería. Incluso describe un método simple para medir la fuerza adhesiva de la proteína de soya modificada en la madera y un procedimiento para producir proteína de soya modificada con una propiedad adhesiva mejorada.

Además, hay patentes como (Correa, 2004), que están relacionadas al aislamiento proteico del residuo agroindustrial que se obtiene de la extracción del aceite de ajonjolí. El concentrado proteínico que se obtiene mediante el proceso indicado en dicha patente es la materia prima para la elaboración de adhesivos naturales libres de compuestos petroquímicos que aportan al desarrollo de la química verde en el mundo.

Finalmente, es importante mencionar los estudios de recopilación de información como (Prasittisopin & Li, 2010), que pretende detallar las características que debe tener un adhesivo natural sin formaldehído, obtenido a partir de la harina de soya para la utilización en madera contrachapada. El camino hacia un desarrollo sostenible, que involucra satisfacer las necesidades del presente sin afectar la capacidad de satisfacer las necesidades del futuro, pasa por la utilización de recursos renovables para la obtención de productos de valor agregado y aprovechamiento de materia prima.

1.3. Planteamiento del problema

En la actualidad uno de los motivos para la crisis medioambiental que se presenta en el mundo, es el uso de productos de carácter no renovable que provienen de los combustibles fósiles o hidrocarburos como el petróleo, lo que ha llevado que las empresas realicen una intensa investigación en nuevas tecnologías y biopolímeros. Las reservas finitas de petróleo, el mercado en expansión de adhesivos para aglomerados de madera y los problemas peligrosos asociados con los adhesivos a base de formaldehído generan una necesidad urgente de desarrollo de adhesivos alternativos ecológicos a partir de materiales renovables (Huang & Li, 2008).

Los adhesivos a base de formaldehído, producen daños medioambientales y son perjudiciales para la salud humana, por lo que la agencia de protección ambiental restringe el uso de estos compuestos en la elaboración de los adhesivos, usados generalmente en la fabricación de tableros derivados de madera.

Civilizaciones antiguas ya utilizaban biopolímeros, entre ellos estaba la sangre animal, y diferentes fuentes de proteínas como adhesivo en varias aplicaciones. Pero al pasar el tiempo estas prácticas han ido disminuyendo, debido a que los polímeros a base de petróleo son más económicos y fáciles de producir, aportando al incremento de la

contaminación ambiental. El proceso de extracción de aceites esenciales, entre ellos el de la semilla de ajonjolí, produce residuos que no tienen ningún fin comercial. La mayoría de las empresas cosméticas que extraen dichos aceites, desechan los residuos agroindustriales y no obtienen ningún aporte económico de dichos residuos, generando descontento a nivel comercial.

El problema principal se centra en el desaprovechamiento de los recursos naturales existentes en el país y de los residuos agroindustriales. La torta residual generada en la extracción del aceite de semilla de ajonjolí, no tiene valor agregado, por lo que es importante el estudio del desarrollo de adhesivos a partir del mencionado residuo, con el fin de aportar nuevos conocimientos para la obtención de productos no tóxicos y amigables con el medio ambiente.

1.4. Justificación e importancia

El desarrollo e implementación de procesos que fomenten el avance sostenible de las naciones es uno de los principales objetivos en la actualidad, este objetivo se puede cumplir empleando tecnologías de bajos requerimientos energéticos, baja generación de desechos y que utilicen materia prima no convencional proveniente de recursos naturales renovables.

La necesidad de utilizar materia prima alternativa para la producción de adhesivos naturales es de vital importancia, debido al agotamiento de recursos no renovables como el petróleo, el impacto ambiental generado por la extracción del mismo, la contaminación de agua, aire y suelo en los procesos de refinación. La torta residual de la extracción de aceite de ajonjolí es considerada un desecho agroindustrial que en la actualidad no tiene fin comercial, por lo que mediante este estudio se pretende dar valor agregado a este residuo y así aprovechar sus propiedades adhesivas

al utilizarlo en materiales de madera, contribuyendo con el objetivo de proporcionar adhesivos naturales libres de formaldehído ni compuestos tóxicos que generen contaminación. La importancia del proyecto de tesis, radica en establecer bases científicas que impulsen el uso de material renovable como materia prima en los diferentes procesos productivos. Además, busca aprovechar todos los recursos naturales que tiene el país, como lo es el ajonjolí y su residuo agroindustrial, aportando con propuestas de crecimiento económico y aprovechamiento de materia prima.

Por lo tanto, es necesario buscar opciones viables para disminuir la contaminación ambiental y generar productos de valor agregado, con materia prima alternativa.

1.5. Objetivos generales y específicos

1.5.1. Objetivo General

Desarrollar un adhesivo natural a partir de residuos agroindustriales para su utilización en materiales de madera.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Acondicionar la torta residual de ajonjolí mediante extracción sólido - líquido para su utilización como materia prima.
- Obtener el aislado proteico mediante una extracción alcalina para su posterior uso en la elaboración de un adhesivo natural.
- Elaborar el adhesivo natural mediante la modificación del aislado proteico para su empleo en materiales de madera.
- Identificar los beneficios en las propiedades adhesivas del aislado proteínico modificado, mediante pruebas fisicoquímicas.

1.6. Variables dependientes e independientes

1.6.1. Variable dependiente

Fuerza adhesiva

1.6.2. Variable independiente

Temperatura, potencial de hidrógeno, tiempo de reacción

1.7. Hipótesis

El adhesivo proteínico se puede desarrollar a partir de residuos agroindustriales, como la torta de ajonjolí.

CAPÍTULO II

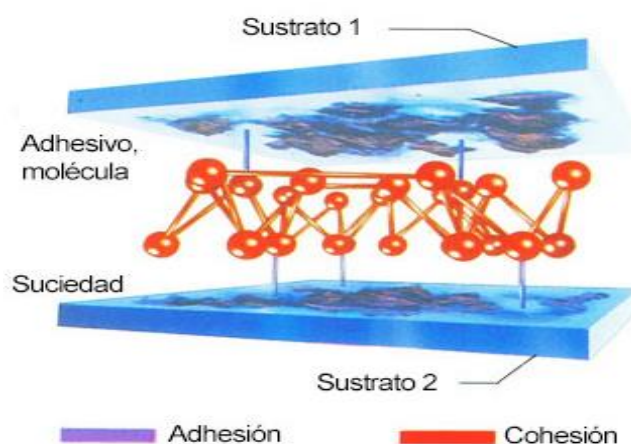
2. MARCO TEÓRICO

2.1. Adhesivos

Los adhesivos son sustancias que permiten una unión férrea a la separación entre las superficies de dos materiales, con motivo de brindar diferentes propiedades, entre ellas renuencia a la tracción, mayor flexibilidad, resistencia química y mayor dureza. (Domínguez Ortiz & Londoño Zuluaga, 2015). Los materiales que se pretenden unir se los denomina sustratos o adherentes, y los procesos que conlleva a la unión de dichos materiales se los conoce con los nombres de adhesión y cohesión como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Fuerza de cohesión y adhesión.



Nota: (Henkel, 2015)

La adhesión es la propiedad de la materia por la cual se unen dos superficies de características iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares. Y la cohesión es la atracción entre moléculas que

mantiene unidas las partículas de un elemento. Se distinguen una de la otra ya que la cohesión es la fuerza de atracción entre partículas adyacentes dentro de un mismo cuerpo, mientras que la adhesión es la interacción entre las superficies de distintos cuerpos. Existen una gran cantidad de adhesivos, tanto de origen animal como vegetal, y algunos provienen de materia prima no renovable como el petróleo o combustibles fósiles, entre ellos tenemos las resinas sintéticas (Vega).

2.1.1. Generalidades

Los adhesivos se han utilizado durante miles de años y en la antigüedad la gran mayoría provenía de productos naturales tales como huesos, pescado, pieles, leche y plantas. A partir del año 1900 los adhesivos basados en polímeros sintéticos se introdujeron en el mercado, siendo hoy por hoy unos de los productos más utilizados en la industria al igual que en los hogares, en cualquier lugar se utilizan adhesivos o selladores de alguna manera.

Es posible distinguir tres etapas para que una unión se dé entre dos superficies:

- La primera etapa consiste en que el adhesivo se encuentre en estado líquido con el objetivo de poder extenderse fácilmente en la superficie y así humedecer los materiales que se pretenden unir con el fin de crear un contacto molecular íntimo entre el adhesivo y la superficie.
- La segunda etapa, afirma que el adhesivo líquido debe endurecerse para que pueda soportar las cargas que encontrará en servicio. Existe una excepción para los adhesivos sensibles a la presión,

debido que estos no se endurecen y permanecen permanentemente pegajosos.

- Finalmente, la tercera etapa consiste en comprender que, para obtener buenos resultados con la tecnología de unión adhesiva, es necesario conocimientos en diversas ciencias, tales como la química de la superficie, la química y la física de los polímeros, la ingeniería de materiales, la ingeniería mecánica, etc. (Da Silva, Öchsner, & Adams, 2018).

Para seleccionar de manera adecuada un adhesivo, se debe considerar factores como el costo, la compatibilidad con el proceso de ensamblaje, la resistencia del ensamblaje unido y la durabilidad. (Frihart, 2005)

2.1.2. Clasificación

2.1.2.1. Adhesivos Sintéticos

Los adhesivos sintéticos son aquellos que se derivan de los polímeros, sustancias químicas de cadenas moleculares muy largas y elevado peso molecular y se pueden clasificar en resinas elastoméricas, termoplásticas y termoestables. (Domínguez Ortíz & Londoño Zuluaga, 2015). Aproximadamente en los años 30 y 50, los adhesivos sintéticos alcanzan un desarrollo industrial cada vez más alto, siendo la guerra mundial un factor importante en este crecimiento industrial que hasta el momento no se ha detenido (Liesa, Alter, & Bilurbina, 1990).

Las resinas termoplásticas son macromoléculas que se caracterizan por ablandarse al exponerse al calor y solidificarse cuando la temperatura disminuye. Las termoestables en cambio, son moléculas que generan polímeros insolubles debido que

son reticulados mediante el proceso de curado, ocasionando incapacidad de molificarse con el calor.

Los elastoméricos se forman mediante la unión de resinas y caucho cuya característica principal es su flexibilidad a la resina termoestable, aportando de una manera positiva a la unión adhesiva (Domínguez Ortiz & Londoño Zuluaga, 2015).

2.1.2.2. Adhesivos Naturales

Los adhesivos naturales son aquellos que se caracterizan por su solubilidad y dispersabilidad en agua, además son extraídos de materias primas de origen vegetal y a su vez renovables, mediante diferentes procesos simples de desarrollar. Las proteínas que se encuentran inmersas en diferentes compuestos son de gran utilidad para la fabricación de adhesivos (Hernandez Ruiz, 2010).

En la Segunda Guerra Mundial los adhesivos de origen vegetal se usaron de manera extensiva siendo las principales, las colas de soya y sangre dispersas en alcalinos en madera contrachapada para todo tipo de usos de construcción, embalaje y transporte. Así, los pegamentos de proteínas vegetales y animales contribuyeron de manera importante a los éxitos logísticos de la guerra. (Lambuth, 1989) Son muchos los compuestos que destacan como materia prima para la elaboración de adhesivos naturales, entre ellos tenemos: la lignina, almidones, colas naturales, gluten, celulosa, proteínas derivadas, taninos, entre otros.

Los adhesivos a base de proteínas, son usados comúnmente en la industria maderera, para encolados, unión de tablas y aglomerados. Generalmente, son obtenidos a partir de harinas, o polvos de semillas como la chía, amaranto, sésamo, y muchos más. Además, los adhesivos vegetales pueden ser de gran utilidad en

otras industrias, un ejemplo de ello es el almidón que se usa en la industria papelera, o la caseína que es utilizada en el punto del papel de cigarro.

(Domínguez Ortiz & Londoño Zuluaga, 2015)

2.2. Ajonjolí

2.2.1. Generalidades

El ajonjolí es una planta que pertenece a la familia de los pedaliáceas, contiene cerca de 60 especies en 16 géneros de los cuales, cerca de 38 especies son del género *Sesamum*. Es un cultivo de semillas oleaginosas con un valor económico importante las cuales se cultivan en diferentes partes del mundo, principalmente en las áreas tropicales y subtropicales. Las semillas de ajonjolí como se muestra en la figura 2, son ampliamente utilizadas en alimentos, nutracéuticos, farmacéuticos y muchos procesos industriales en diferentes países debido a su alto contenido de aceite, proteínas y antioxidantes.

El aceite es el producto principal de la semilla de ajonjolí, superior en estabilidad y calidad a en comparación con otros aceites vegetales. Además, este aceite presenta resistencia a la oxidación de manera que facilita su conservación por mucho más tiempo en relación a otros aceites, esto se produce debido a que las semillas contienen un antioxidante natural llamado sesamol. Las zonas tradicionales impulsadoras de la producción de ajonjolí corresponden a la Costa Atlántica y la región Cundi-Tolimense (Orduz, 1998).

La composición química del sésamo muestra que la semilla es una fuente importante de aceite (44–58%), proteínas (18–25%), carbohidratos (13.5%) y cenizas (5%) (Saydut, Duz, Kaya, Kafadar, & Hamamci, 2008).

Figura 2*Semilla de sésamo*

Nota: (M. Fiorella., 2019)

Alrededor de todo el mundo, se siembran casi tres mil variedades diferentes de ajonjolí, las cuales se adaptan a las condiciones del lugar en que se encuentran, obteniendo así características genéticas diferentes como: hábitos de crecimiento, contenido de aceite, resistencia a enfermedades, números de capsulas por axila, color de la corteza de la semilla, sensibilidad al foto y termo-período, entre otras. En la tabla 1 se muestra los caracteres genéticos en cultivares de ajonjolí

Tabla 1

Caracteres genéticos en cultivares de ajonjolí

CARÁCTER	DOMINANTE	RECESIVO	OBSERVACIÓN
TALLO			
Habito de crecimiento	Erecta	Postrada	O intermedia

CONTINÚA



CARÁCTER	DOMINANTE	RECESIVO	OBSERVACIÓN
Tamaño planta	Alta	Enana	Plantas enanas correlacionadas con precocidad a la maduración.
Forma	Cuadrangular	Globular	O intermedia
Color	Purpura	Verde	Está ligada con el color del peciolo, corola y corteza de la semilla.
RAIZ			
Forma de la raíz	Fibroso o denso	Poco denso	Correlacionado con tolerancia a sequía
HOJAS			
Filotaxis	Alternada o espiral		
Forma	Dimorfica 3 a 5 div.	Lanceolada entera	Ajonjolí silvestre con mayores divisiones
Color	Púrpura	Verde Oscuro	Verde oscuro presenta mayor densidad de cloroplastos
Color a cosecha	Normal	Amarillo	Ligado con cápsulas amarillas a cosecha
FLOR			
Forma	Simetría	Asimetría	

CONTINÚA



CARÁCTER	DOMINANTE	RECESIVO	OBSERVACIÓN
Color	Coloreada	Blanca	
Pubescencia	Muy pubescente	Lisa	
SEMILLAS			
Tamaño	Larga	Pequeña	
Forma	Oblonga	Ovalada	
Textura	Rugosa	Lisa	
Maduración	Tardía	Temprana	Correlacionado con ramificación y altura de la planta.

Nota: (Rey Bolivar, 1999)

2.2.2. Torta de Ajonjolí

La Torta es el residuo sólido que se obtiene después del proceso de extracción de los aceites de las semillas o frutos oleaginosos. La torta de ajonjolí es considerada un residuo agroindustrial que tiene una cantidad importante de proteínas, útiles para diferentes fines. Se caracteriza principalmente por sus actividades antioxidante, antihipertensiva, anticancerígena que la convierten en un subproducto de especial interés y un alimento muy funcional para preservar la salud. (Daniel Oliva Martínez 2016). En la tabla 2 se presenta un análisis proximal de la torta residual de ajonjolí después del proceso de extracción de aceite de las semillas de sésamo.

Tabla 2*Análisis proximal de la torta residual de ajonjolí*

Humedad	6.21%
Grasa	4.42%
Nitrógeno	750%
Proteínas	46.8%

Nota: (Rey Bolivar, 1999)

2.3. Proteínas

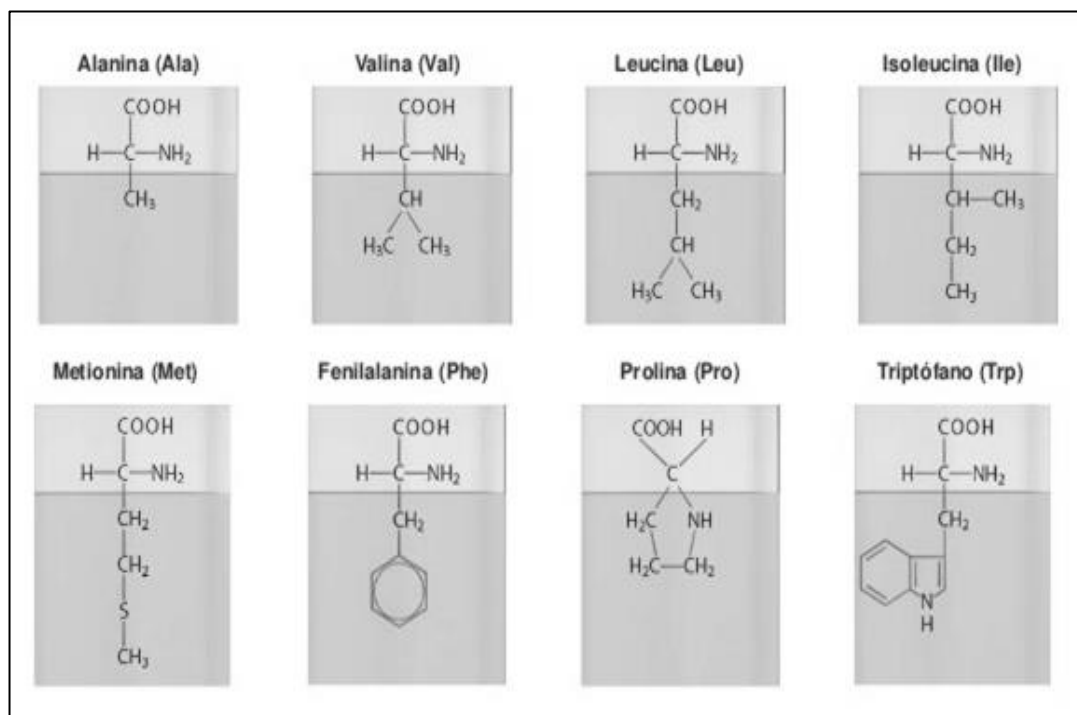
Las proteínas son macromoléculas de elevado peso molecular, que comúnmente tienen en su estructura carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, y azufre. Constituyen alrededor del 50 % o más, de su peso seco, por lo que se dice que representan las moléculas orgánicas más abundantes en el interior de la célula. Se puede descomponer en moléculas más sencillas mediante hidrólisis ácida, en la cual se obtienen una serie de compuestos orgánicos sencillos de bajo peso molecular. Las proteínas están formadas por aminoácidos, y generalmente se encuentran veinte aminoácidos diferentes de los 170 conocidos, como sillares estructurales de las proteínas presentes en los organismos superiores. En las moléculas proteicas, los aminoácidos se unen entre sí mediante enlaces peptídicos. Además, las proteínas se pueden dividir en proteínas simples y proteínas conjugadas, tomando como base su composición (Alvia et al., 2018).

Los enlaces peptídicos son uniones covalentes que se establece entre el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo amino de otro aminoácido. Este tipo de enlaces ocasiona que una molécula de agua se desprenda y se forme los péptidos. Las

proteínas, obtienen sus propiedades características en relación a la composición y cantidad de los diferentes aminoácidos que las componen. Estas definen características, tales como: polaridad, ionizabilidad y el punto isoeléctrico (Cardona Arango, 2014). De acuerdo a la polaridad de su cadena lateral y la capacidad de interaccionar con las moléculas de agua, los aminoácidos pueden ser Hidrofóbicos (Fig.3), Hidrofílicos (Fig.4) y de Polaridad intermedia (Fig.5).

Figura 3

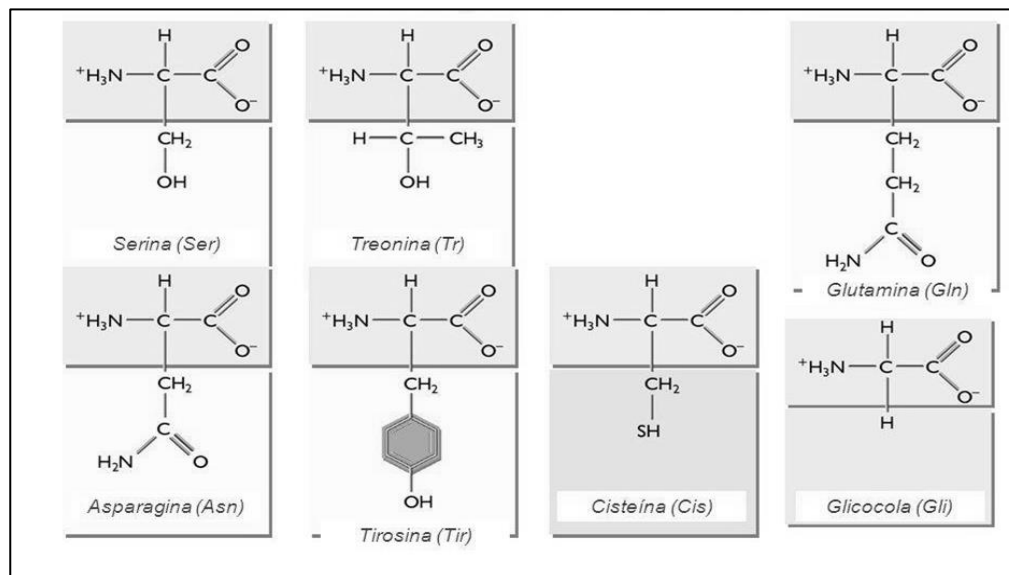
Aminoácidos hidrofóbicos o apolares



Nota: (Moreno, 2012)

Figura 4

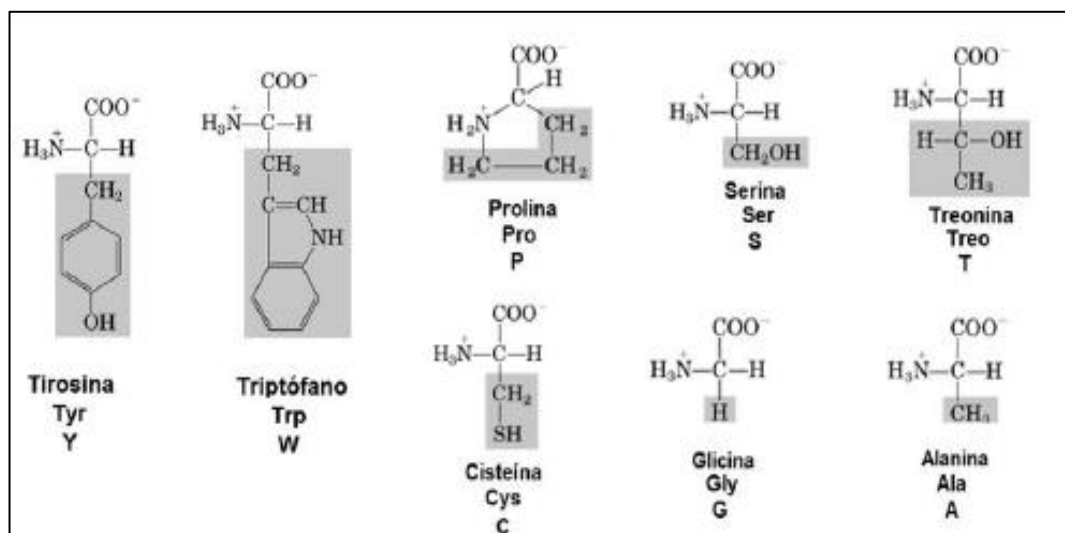
Aminoácidos hidrofílicos o polares



Nota: (Moreno, 2012)

Figura 5

Aminoácidos de polaridad intermedia



Nota: (Moreno, 2012)

Los aminoácidos hidrofóbicos son aquellos que están ubicados en las partes externas de las proteínas, a diferencia de los hidrofílicos que están ubicados en la parte interna de las mismas. Unos de los motivos por el cual las proteínas pueden ser usadas para la elaboración de adhesivos es que, cuando estas se encuentran difundidas en un solvente que es polar los desechos de los aminoácidos hidrofílicos y los que se encuentran cargados se localizan en los exteriores de la estructura, reaccionando de forma rápida con diferentes superficies como la madera.

2.4. Descripción de la proteína de ajonjolí

La semilla de sésamo es una fuente potencial de proteína, y su clasificación se basa en la extracción secuencial de Osborne que se fundamenta en la solubilidad de una proteína en una solución determinada, de esta manera se clasifican en cuatro clases de proteínas, tales como; las albúminas solubles en agua, las globulinas solubles en sal, las prolaminas solubles en mezclas de alcohol / agua y glutelinas solubles en ácido o álcali diluido (Onsaard, 2012).

La proteína presente en el ajonjolí es una macromolécula compleja que contiene diferentes aminoácidos como se muestra en la tabla 3, enlazados mediante cadenas peptídicas con el fin de generar una estructura primaria, en la cual se rigen sus propiedades.

Tabla 3*Aminoácidos en el ajonjolí*

Aminoácidos presentes en la semilla de ajonjolí	%
Arginina	4.55
Glicina	3.97
Leucina	3.20
Serina	2.95
Valina	2.33
Fenilamina	2.10
Isoleucina	1.96
Tirosina	1.87
Tremolina	1.60
Metionina	1.37
Lisina	1.27
Histidina	1.07
Triptófano	0.71
Cistina	0.39

Nota: (Chiriboga Espín, 2013)

Las proteínas de sésamo se han extraído mediante diversos métodos, extracción alcalina o salina y precipitación isoeléctrica. La proteína de sésamo o como se denomina comúnmente de ajonjolí puede llegar a ser aislada o concentrada, esto depende principalmente de las necesidades que tenga el consumidor. La precipitación isoeléctrica se genera cuando el pH de la proteína está en el punto isoeléctrico, eso

quiere decir que los grupos con carga positiva y negativa en las moléculas de proteína son iguales en número.

La proteína de ajonjolí aislada, se prepara a partir de la torta residual de sésamo desengrasada mediante extracción alcalina con una temperatura mínima, en la que se disuelve la proteína a través de una solución alcalina con un potencial de hidrógeno de 10 con el fin de apartar los materiales insolubles mediante un proceso de centrifugado y la siguiente precipitación isoeléctrica de la proteína a un potencial de hidrógeno de 4. También se obtiene mediante una extracción de sal que consiste en someter la proteína a una solución salina de NaCl 1M a pH 6 y luego precipitar a pH 4. Según estudios los dos aislados proteicos, obtenidos por los dos contienen aproximadamente 95% de proteína (Dench, Rivas R, & Caygill, 1981).

La proteína de sésamo es pobre en lisina, pero rica en metionina, este aminoácido es limitante en las dietas tropicales a base de leguminosas. Las propiedades en la proteína pueden ser alteradas, con el fin de utilizarlas como adhesivo, esto se logra mediante una modificación que permite incrementar su reactividad, lo que se conoce como desnaturalización.

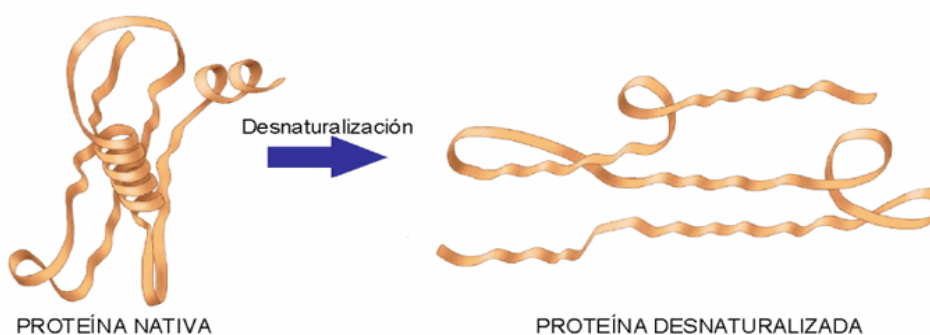
La modificación generalmente se utiliza para mejorar las propiedades funcionales de la proteína, en especial la solubilidad. Puede mover algunos aminoácidos hidrofóbicos que se encuentran incrustados dentro de la molécula para que sobresalgan e incrementar la resistencia al agua. Es así, que implica cambios estructurales de la proteína como en la conformación a diferentes niveles, además se pueden lograr características óptimas de superficie, tamaño, carga, flexibilidad molecular de la proteína y relación de hidrofobicidad / hidrofilia (Onsaard, 2012).

2.4.1. Desnaturalización de la proteína de ajonjolí

La desnaturalización, es un proceso en el cual se produce un cambio importante de la estructura nativa u original de la proteína como se muestra en la figura 6, sin ocasionar ningún tipo de alteración en la secuencia de aminoácidos, eso significa que los enlaces químicos primarios que unen un aminoácido a otro no se separan (Tanford, 1968). Es así, que las proteínas desnaturalizadas pierden su solubilidad. La desnaturalización de la proteína de ajonjolí, se lleva a cabo mediante adición de una base fuerte como el hidróxido de sodio, lo que permite que pueda interactuar con otros materiales cuando esta se encuentra en solución.

Figura 6

Desnaturalización de la proteína



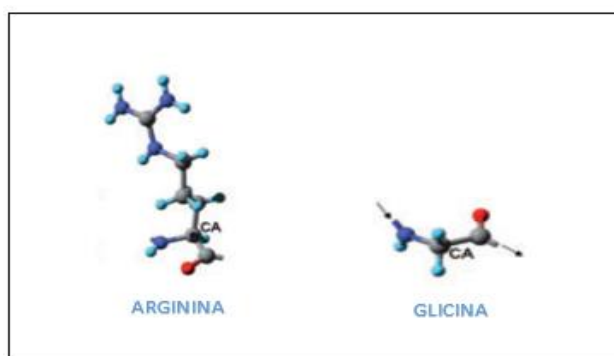
Nota: (Manzo, 2017)

Cuando se aplica los adhesivos proteicos en madera, estos se extienden, mojan y penetran en la superficie, dando como resultado una combinación de tres mecanismos: enclavamiento mecánico, interacción física y unión química covalente. La unión covalente se produce debido que la madera es un material celulósico polar con grupos hidroxilo y provoca que los adhesivos polares produzcan una buena adhesión a la madera. La proteína de ajonjolí genera un adhesivo polar debido a que sus

aminoácidos son en su mayoría polares, entre ellos tenemos la arginina y la glicina que tiene cargas positivas, en la figura 7 se puede apreciar la estructura de estos dos aminoácidos en particular.

Figura 7

Modelo de esferas y cilindros de dos aminoácidos polares



Nota: (Santos, 2009)

2.5. Diseño de Experimentos

2.5.1. Metodología de Superficie de Respuesta

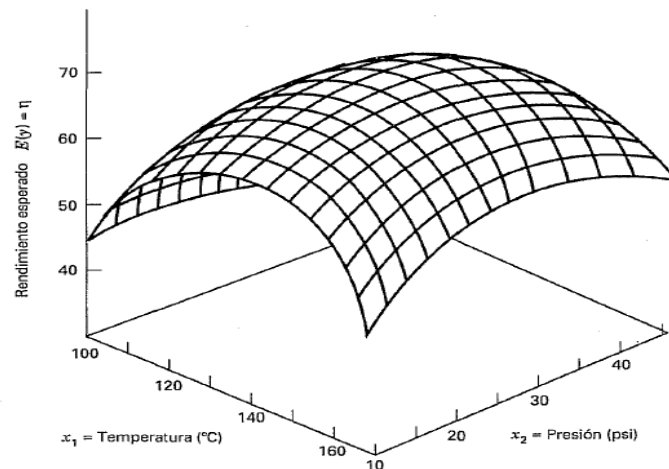
Es una aglomeración de técnicas estadísticas y matemáticas, que se utilizan con el fin de modelar y simular problemas que conlleven respuestas de interés. Esta metodología permite optimizar una respuesta, basándose en diversas variables, tales como temperatura, presión, entre otros (Montgomery, 2017).

Este tipo de diseños se clasifican de acuerdo al grado del modelo que se requiere utilizar y busca obtener propiedades como la ortogonalidad y la rotabilidad ya que estas aumentan la eficiencia de manera que faciliten la interpretación de los parámetros estimados en el modelo y de la superficie de respuesta (Pulido, De la Vara Salazar, González, Martínez, & Pérez, 2012).

El modelo gráfico del método, se aprecia en la figura 8, en donde η representa la superficie de respuesta.

Figura 8

Grafica de una superficie de respuesta tridimensional



Nota: (Montgomery, 2017)

2.5.1.1. Diseño de Box Behnken

El diseño de Box Behnken, se distingue generalmente por ser un diseño casi rotatable o rotatable, lo que significa que los vértices de la zona experimental no son tomados en cuenta como tratamientos. Dicho diseño se aplica únicamente cuando se tiene más de tres factores (Pulido et al., 2012). En la tabla 4, se puede visualizar el diseño de Box Behnken para tres variables. El diseño consiste en 15 tratamientos, cada uno con tres niveles.

Tabla 4*Diseño de Box Behnken para tres variables*

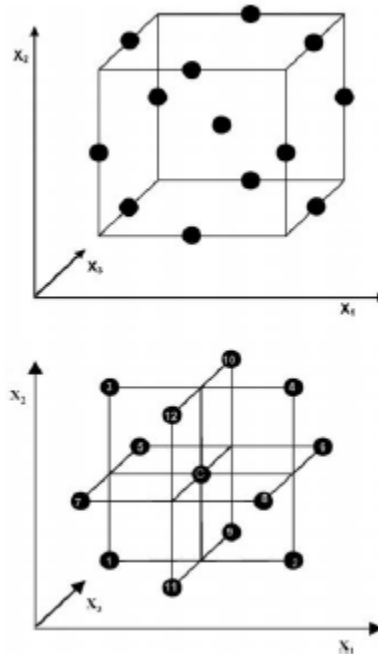
Corrida	x1	x2	x3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Nota: (Montgomery, 2017)

En este diseño, los puntos se ubican en medio de las aristas del cubo centrado en el origen sin incluir los tratamientos de los vértices, como el (1, 1, 1) y el (-1, -1, -1) que en algunos problemas experimentales resultan extremos y no se pueden correr. En la figura 9 se puede observar la representación gráfica del diseño de Box Behnken para tres variables.

Figura 9

Representación gráfica del diseño de Box Benhken para tres variables



Nota: (Ferreira et al., 2007)

Otras de las ventajas que presenta este diseño, es que permite la estimación de los parámetros del modelo cuadrático, detección de falta de ajuste del modelo, construcción de diseños secuenciales y uso de bloques (Ferreira et al., 2007).

2.6. Métodos de Caracterización

2.6.1. Reología

La reología es la ciencia de la deformación de la materia, la cual consiste en la interrelación entre deformaciones, fuerzas y tiempo. Se puede aplicar a diferentes materiales sean estos sólidos, líquidos o gaseosos. La ciencia de la reología fue fundada por dos profesores Marcus Reiner y Eugene Bingham, que tuvieron la

necesidad de describir las propiedades de flujo de fluidos. Dicha ciencia es usada para describir la consistencia de diferentes fluidos, mediante la viscosidad y la elasticidad. Por viscosidad se entiende la resistencia a fluir o el “espesamiento” y por elasticidad la “pegajosidad” o “estructura”.(Rojas, Briceño, & Avendaño, 2012)

Para un adhesivo es necesario que la viscosidad sea la adecuada, para que el mismo se pueda esparcir de forma rápida a las superficies que se pretende adherir. De igual manera el adhesivo no se debe secar de manera instantánea y es necesario que el tiempo de ensamblaje sea el idóneo.(Cardona Arango, 2014)

2.6.2. Método Kjeldahl

Existen diferentes métodos de cuantificación para proteínas, el método Kjeldahl es uno de los más exactos y de los más utilizados en la actualidad, ya que se basa en la cuantificación de forma indirecta a partir del contenido en nitrógeno de la muestra. El método consta de tres etapas: la etapa de digestión o mineralización, destilación y valoración.

- La etapa de digestión consiste en convertir el nitrógeno orgánico en ion amonio, mediante un tratamiento con ácido sulfúrico concentrado, en presencia de un catalizador y ebullición.
- La etapa de destilación tiene como fin primordial alcalinizar la muestra digerida para que el nitrógeno se desprenda en forma de amoniaco.
- Finalmente, la etapa de valoración se basa en la cuantificación del nitrógeno amoniacal que se realiza por medio de una volumetría ácido-base del ión borato formato, método en el cual se emplea ácido clorhídrico o sulfúrico utilizando como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de azul de metileno y rojo de metilo.

Una vez hecho el procedimiento, se procede al cálculo de porcentaje de proteína que consiste en multiplicar por un factor de conversión el % de nitrógeno calculado inicialmente con el número de equivalentes de nitrógeno recogidos (García Martínez & Fernández Segovia, 2012). Para el aislado proteico de ajonjolí se puede usar el factor de conversión de semillas oleaginosas, que se muestra en la tabla 5.

Tabla 5

*Factor de conversión para obtener la tasa de proteína
bruta a partir del nitrógeno total*

Alimentos	Factor (K)
Harina de trigo	5,70
Trigo, centeno, cebada	5,83
Arroz	5,95
Cacahuates	5,46
Almendras	5,18
Soja	5,71
Semillas oleaginosas	5,30
Leche y derivados	6,38
Come y derivados	6,25
Clara de huevo	6,70
Yema de huevo	6,62
Huevo entero	6,68
Gelatina	5,55
Vegetales	6,25

Nota: (García Martínez & Fernández Segovia, 2012)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Equipos, materiales y reactivos

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Petroquímica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- sede Latacunga, con el uso de equipos, materiales y reactivos que se enumeran a continuación con el fin de elaborar este trabajo de titulación:

3.1.1. Equipos

- Balanza analítica.
- Centrifuga.
- Calentador con agitador magnético.
- Mufla.
- PH metro Boeco.
- Agitador magnético.
- Estufa al vacío.
- Sorbona

3.1.2. Materia Prima

- Torta residual de ajonjolí

3.1.3. Materiales.

- Pipetas graduadas de 10ml.
- Vasos de precipitado 25 ml, 100ml, 600 ml, 1000 ml
- Papel filtro.
- Probeta de 100ml y 250 ml.

- Embudos de vidrio.
- Frascos Ámbar 30 ml
- Equipo soxhlet.
- Balones volumétricos de 500 ml y 1000 ml
- Termómetro.
- Balones aforados de 100ml y 500ml.
- Tubos de centrifuga de 50ml.
- Soporte universal.

3.1.4. Reactivos

- Ácido Clorhídrico HCl 37%
- Hexano 96% CAS-No-110-54-3
- Hidróxido de Sodio NaOH 99 % CAS- No: 1310-73-2

3.2. Tratamiento de la torta residual de ajonjolí

La torta residual, subproducto de la extracción de aceite de las semillas oleaginosas de ajonjolí, se someten a un proceso de trituración en un molino manual de granos con el fin de reducir el tamaño de las partículas y así facilitar el proceso de tamizado, como se aprecia en la figura 10.

Figura 10

Molino manual de granos



El tamizado se lo realiza mediante un tamiz de mallado 40, con motivo de tener una muestra con tamaño de partículas homogénea. Luego se coloca en una estufa de convección forzada con el fin de eliminar cualquier cantidad de agua que pueda estar presente en la torta residual.

3.3. Desengrasado de la torta residual de ajonjolí

El desengrasado de la torta residual de ajonjolí se llevó a cabo mediante dos equipos de extracción Soxhlet cuyas mantas de calentamiento fueron aptas para balones de 250 ml y 1000 ml, en las que se utilizaron dos refrigerantes, dos extractores Soxhlet y 4 mangueras de hule para el proceso de refrigerado con agua, como se muestra en la figura 11.

Los solventes que se utilizaron fueron; el hexano por su característica de poco no polar que permite disolver las grasas, y el thinner que sirve como solvente desengrasante más económico, pero con un punto más alto de ebullición, se realizó el desengrasado con ambos solventes sin presentar diferencia al momento de extraer las

grasas de la torta residual. Para colocar las muestras de la torta, se utilizó dedales de celulosa abarcando cantidades aproximadas entre 20 - 30 g. La extracción de la grasa se llevó a cabo en un período de 4 horas, con una relación peso - volumen de 1:10 torta residual - solvente.

Figura 11

Equipo de extracción soxhlet



Terminado el proceso de desengrasado se procedió a realizar una serie de rota evaporaciones, con motivo de recuperar el disolvente utilizado en la extracción y determinar el peso de las sustancias que se extrajeron en dicho disolvente, así como se muestra en la figura 12.

Figura 12*Evaporador rotativo*

La torta desengrasada se secó al ambiente durante toda la noche con motivo de eliminar el hexano contenido en las muestras. Finalmente, se coloca la torta libre de grasa en una bandeja de aluminio y se esparce llevándola a una estufa de convección forzada a temperatura de 40 °C como se indica en la figura 13, por un tiempo de 2 horas, obteniendo de esta manera la harina de ajonjolí.

Figura 13

Horno de convección forzada(ESCO-ISOTHERM)



Una vez, que se ha secado la harina, esta se guarda en una bolsa hermética, y se almacenan a 4°C en un refrigerador hasta su posterior uso.

3.4. Extracción alcalina de la proteína

La obtención del aislado proteico se llevó a cabo mediante una extracción alcalina, según el procedimiento descrito en (Sayavedra & Rodríguez, 2018) y (Correa, 2004), que consiste en solubilizar la proteína presente en la torta desengrasada, incrementando el pH, al añadir una base fuerte como el hidróxido de sodio, el proceso se detalla a continuación:

- La torta desengrasada se tamizó mediante un tamiz de acero inoxidable de alta estabilidad ASTM E 11-70 con mallado de 180 μm como se

muestra en la figura 14, con el fin de obtener un tamaño de partícula homogénea.

Figura 14

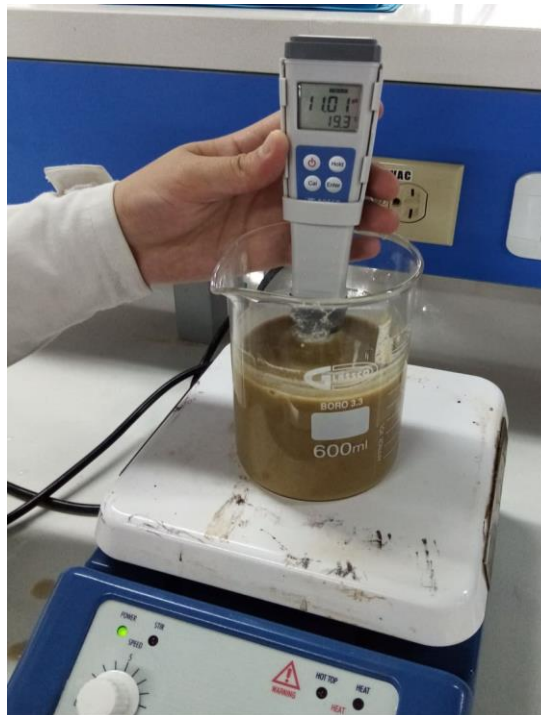
Tamiz mallado 180 μ m (ASTE M 11-70)



- Una vez tamizada la torta, se mezcló con agua destilada a una relación de 1:10 en un vaso de precipitación, luego la solución se ajustó a un pH alcalino de 11, en el cual se usó una solución de NaOH cuya concentración fue de 2M, y se agitó de manera continua mediante el uso de un agitador por un período de 60 minutos, como se indica en la figura 15.

Figura 15

Suspensión de harina de ajonjolí con agua destilada a ph 11.



- La suspensión se centrifugó a 3000 rpm durante 30 min en una centrífuga marca BOECO - Germany como se aprecia en la figura 16.

Figura 16

Centrifugación de la suspensión a ph 11



- Una vez que la muestra salió de la centrifuga, se pudo visualizar el sobrenadante y el precipitado de la solución, tal como se muestra en figura 17.

Figura 17

Muestras iniciales (primera centrifugación)



- Ya identificadas las dos fases de la muestra, el sobrenadante obtenido se filtró y el filtrado se ajustó a un pH de 4,5 con una solución 1M de HCl.
- Luego de dicho proceso la suspensión se centrifugó a 3000 rpm por 20 minutos, descartando el sobrenadante como se muestra en la figura 18.

Figura 18

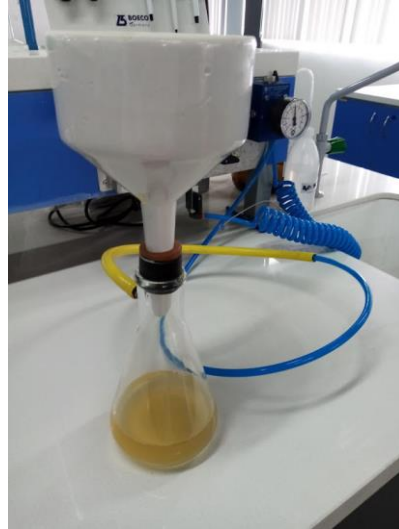
Precipitado que contiene la proteína



- El precipitado obtenido se logró neutralizar a pH 7 usando una solución de NaOH con una concentración de 1 M, dejándolo reposar durante toda una noche a una temperatura de 4°C.
- Después de mencionado proceso se realizó una serie de lavados al precipitado con agua destilada para eliminar la solución neutralizada mediante la utilización de un Embudo Büchner como se muestra en la figura 19, obteniendo el aislado proteico que se aprecia en la figura 20.

Figura 19

Lavado del aislado proteico

**Figura 20**

Aislado proteico



- Posteriormente se secó el aislado proteico a través de una estufa de vacío como se indica en la figura 21 con el fin de eliminar la humedad presente en la muestra.

Figura 21

Estufa de vacío marca BINDER



- Finalmente, la muestra seca se pesó y se almacenó en una bolsa hermética a 4°C.

3.5. Diseño experimental para la obtención del adhesivo mediante la utilización de aislado proteico.

Para la obtención del adhesivo natural se aplicó el diseño experimental de metodología de superficie de respuesta de Box-Behnken, que consiste en una combinación de tres factores en el cual, se forman combinando factoriales 2^k con diseños de bloques incompletos. Como el número de factores es 3, el diseño está formado por 15 tratamientos.

Mediante este método experimental es posible determinar la fuerza adhesiva del aislado proteico modificado, como variable de respuesta de las variables independientes que son el potencial de hidrogeno (x1), la temperatura (x2) y el tiempo de reacción (x3), en la tabla 6 se presentan los valores de las variables independientes en el nivel superior (1), nivel central (0) y nivel inferior (-1).

Tabla 6*Niveles para las variables independientes*

	Potencial de Hidrógeno (x_1)	Temperatura (x_2)	Tiempo de reacción (x_3)
nivel superior (1)	12	70	90 min
nivel central (0)	10	50	60 min
nivel inferior (-1)	8	30	30min

En la tabla 7 se muestra el diseño de metodología de superficie de respuesta de Box-Behnken para las tres variables independientes:

Tabla 7*Diseño de metodología de superficie de respuesta de Box-Behnken para las variables independientes*

Experimento	Potencial de Hidrógeno (x_1)	Temperatura (x_2)	Tiempo de reacción (x_3)
1	8	30 °C	60 min
2	12	30 °C	60 min
3	8	70 °C	60 min
4	12	70 °C	60 min
5	10	30 °C	30 min

CONTINÚA

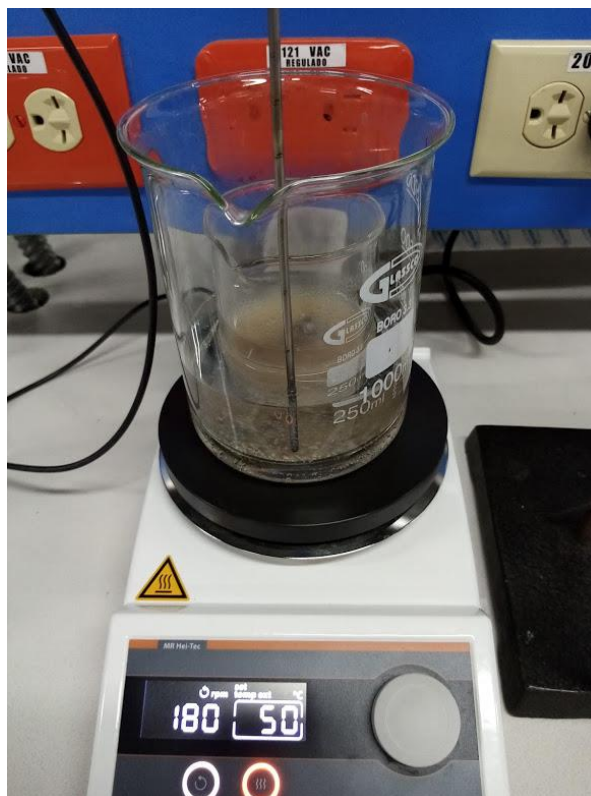
Experimento	Potencial de Hidrógeno (x_1)	Temperatura (x_2)	Tiempo de reacción (x_3)
6	10	70 °C	30 min
7	10	30 °C	90 min
8	10	70 °C	90 min
9	8	50 °C	30 min
10	12	50 °C	30 min
11	8	50 °C	90 min
12	12	50 °C	90 min
13	10	50 °C	60 min
14	10	50 °C	60 min
15	10	50 °C	60 min

La metodología experimental que se llevó a cabo para la producción del adhesivo natural siguiendo el diseño experimental presentando en la Tabla 7 se detalla a continuación:

- Se suspendió 8 gramos del aislado proteico en 140 ml de agua desionizada y se agitó la solución durante 10 minutos mediante un agitador magnético.
- Luego cada suspensión se ajustó a diferentes pH variando la concentración de NaOH, mediante una placa calefactora a 180 rpm cambiando el tiempo de reacción simulando un baño maría con agitación, como se muestra en la figura 22.

Figura 22

Baño maría con agitación



- Concluido el tiempo de reacción, se obtuvo el adhesivo natural listo para ser utilizado en materiales de madera y evaluar su fuerza adhesiva mediante pruebas fisicoquímicas.

Debido, a la pandemia ocasionada por el virus COVID-19 las pruebas mencionadas en los literales 3.6, 3.6.1, 3.6.2 y 3.6.3 que se necesitan para medir la fuerza adhesiva no se pudieron realizar, a continuación, se muestra la parte teórica de cómo se pretendían a desarrollar las pruebas mencionadas:

3.6. Pruebas fisicoquímicas del adhesivo en láminas de madera.

Para realizar las diferentes pruebas de adhesión se pretende utilizar chapas de pino de (5 × 2 × 0.3) cm, en las cuales se debe colocar 100 mg de solución de proteína al 8%(p/p) a cada lado de la chapa de madera, y extender sobre un área de 2 x 2 cm para dar una concentración de proteína de 2.0 mg / cm². Dos piezas de madera adicionales de tamaño similar se superponen en estas áreas pegadas y se presionan con una carga de 5 kg durante 2 h. Finalmente, las piezas de madera encoladas se dejan secar a temperatura ambiente durante al menos 24 h antes de evaluar su resistencia adhesiva y resistencia al agua.(Yang, Kuo, & Myers, 2006)

3.6.1. Mediciones reológicas

Para determinar las propiedades reológicas del adhesivo, se pretende utilizar un Sistema de Reómetro rotacional Anton Paar Physica MCR-501. Para el análisis, las muestras deben estar a una temperatura de 25 ° C durante todo el proceso.(Mo & Sun, 2013)

3.6.2. Mediciones de resistencia al agua.

La resistencia al agua se evalúa mediante una prueba de remojo de tres ciclos establecida en la NTE INEN 900, que consiste en sumergir las piezas de ensayo de 127 mm por 50,8 mm de cada tablero en agua, a una temperatura de 24 °C ± 3 °C durante 4 horas y luego se debe secar a una temperatura entre el rango de 49 °C y 52 °C en un horno, durante 19 horas con suficiente circulación de aire con motivo de bajar el contenido de humedad de las piezas de ensayo dentro del rango de 4% a 12% de su masa. Este proceso de debe realizar tres veces, o hasta que todas las piezas de ensayo hayan fallado.(INEN, 2014)

La prueba de hervor de dos ciclos es establecida en la NTE INEN 900. Así, las piezas de ensayo de 76 mm por lado se sumergen en agua hirviendo durante 4 horas y después se secan a una temperatura de $63\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 20 horas con circulación de aire suficiente, con motivo de bajar el contenido de humedad de las piezas de ensayo a un máximo de 12 por ciento de su masa secada al horno. Se hierven de nuevo durante 4 horas, y se secan por tres horas a una temperatura de $63\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, y luego se examinan para observar la deslaminación. Si presenta deslaminación mayor que 25,4 mm de longitud continua, constituye falla de la pieza de ensayo. (INEN, 2014)

3.6.3. Mediciones de resistencia al cizallamiento

Luego de la prueba de hervor, se evalúa la resistencia al cizallamiento en la cual se preparan y prueban las muestras utilizando una maquina universal de ensayos.(Hettiarachchy, Kalapathy, & Myers, 1995)

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tratamiento de la torta residual

El tratamiento se llevó a cabo mediante la molienda de la torta residual de ajonjolí con motivo de adquirir un tamaño de partícula apropiado para el desengrasado, por lo que se tamiza con un cernidero de metal de uso doméstico mallado N° 40, en el que se descarta los fragmentos de mayor tamaño, en la Tabla 8 se resumen el rendimiento de la torta residual.

Después se introdujo en una estufa de convección forzada con el fin de suprimir la humedad presente en la torta.

Tabla 8

Rendimiento de molienda de la torta de ajonjolí

Torta	Rendimiento de Molienda
Ajonjolí	80%

4.2. Desengrasado de la torta residual

El proceso de desengrasado conllevó a realizar un alto número de réplicas hasta alcanzar una cantidad considerable de torta desengrasada, debido a la capacidad de los dedales utilizados en la extracción soxhlet. En la Tabla 9, se muestran la cantidad de harina desengrasada en gramos y las réplicas realizadas hasta obtener una cantidad importante de harina de ajonjolí.

Tabla 9*Cantidad obtenida de torta desengrasada y aceite residual en gramos.*

Nº Réplicas	Torta Residual (g)	Torta desengrasada (g)	Aceite residual (g)
1	22,17	18,1	4,07
2	21,925	17,84	4,085
3	22,655	18,2	4,455
4	22,029	17,83	4,199
5	22,736	18,47	4,266
6	21,149	16,5	4,649
7	22,977	18,74	4,237
8	23,958	19,98	3,978
9	25,071	21,01	4,061
10	24,0768	20,034	4,0428
11	24,912	20,89	4,022
12	23,833	19,945	3,888
13	23,621	19,756	3,865
14	24,589	20,039	4,55
15	25,46	20,85	4,61
16	24,8	20,02	4,78
17	26,64	22,031	4,609
18	24,64	20,5	4,14
19	24,988	20,79	4,198
20	28,656	24,54	4,116
21	29,244	24,87	4,374

CONTINÚA

Nº Réplicas	Torta Residual (g)	Torta desengrasada (g)	Aceite residual (g)
22	29,384	25,099	4,285
23	29,91	25,01	4,9
24	29,571	25,41	4,161
25	29,9	25,89	4,01
26	28,624	23,98	4,644
27	26,853	23,088	3,765
28	28,993	24,937	4,056
29	29,529	24,92	4,609
30	29,419	24,51	4,909
31	29,288	24,478	4,81
32	29,872	25,547	4,325
33	28,315	24,051	4,264
34	29,008	24,841	4,167
35	29,164	25,04	4,124
36	21,887	17,091	4,796
37	23,556	19,78	3,776
38	27,189	23,096	4,093
39	27,097	23,034	4,063
40	28,18	24,08	4,1
41	28,9	24,31	4,59
42	28,3	24,035	4,265
43	28,04	24,018	4,022
44	26,842	22,109	4,733

CONTINÚA

Nº Réplicas	Torta Residual (g)	Torta desengrasada (g)	Aceite residual (g)
45	28,634	24,57	4,064
46	28,686	24,64	4,046
47	25,513	20,84	4,673
	1240,7838	1039,339	201,4448

En la tabla 10 se puede apreciar el rendimiento de torta agroindustrial como materia prima, para la elaboración del adhesivo natural.

Tabla 10

Masa de torta residual, antes y después de la extracción soxhlet

Masa inicial de Torta	Masa final de Torta		Rendimiento
Antes – Extracción Soxhlet	Después– Soxhlet	Extracción	
1240,7838	1039,339		83,7647 %

En la tabla 11, se muestra el porcentaje estimado de aceite que se presume, está presente en el residuo agroindustrial.

Tabla 11

Porcentaje de aceite presente en la torta residual de ajonjolí

Torta	Nº repeticiones	Aceite residual en gramos	% de aceite residual
Ajonjolí	47	201,4448	16,23%

Estos resultados pueden ser garantizados mediante el estadístico “t”, de esta manera es posible comprobar si existe una diferencia significativa en cada réplica realizada mediante la extracción soxhlet, para el desengrasado de la torta residual.

A continuación, se realiza un análisis de resultados usando los siguientes datos:

- $t = 2,0129$
- $n = 47$

En la tabla 12 se calcula la media y la varianza en el intervalo de confianza al 95% de la diferencia de masas (masa inicial de torta residual y masa final después de la extracción Soxhlet) correspondiente a lo que se estima que es el aceite residual presente en la torta residual de ajonjolí.

De acuerdo al estadístico “t” el promedio 4,2860 correspondiente a la masa total aceite presente en la torta residual de ajonjolí es un valor asertivo debido que forma parte del intervalo de confianza del 95%. Es decir, se puede afirmar que el porcentaje de aceite en la torta residual es de 16.23%.

Tabla 12

Análisis de dispersión de datos para el aceite presente en la torta residual

Media (Mo & Sun)	4,2860
Desviación Estándar (s)	0,31
Intervalo de Confianza (μ)	95%
Superior	4,37
Inferior	4,19

En la Tabla 13 se muestra el peso promedio de las 6 réplicas del tamizado realizado a la torta desengrasada y molidas previamente, este resultado se expresa en porcentaje.

Tabla 13

Porcentaje promedio de tamizado de la torta desengrasada

Torta	Torta desengrasada inicial (g)	Mallado de 180 μm
Ajonjolí	1039,339	86,5934 %

4.3. Extracción alcalina de la proteína

En la Tabla 14, se puede apreciar el rendimiento de la extracción de proteína según la cantidad de proteína teórica, que indica que por cada 100 gr de ajonjolí se obtiene 18 gr de proteína. Mediante el método de extracción alcalina se alcanzó un alto rendimiento ya que, por cada 40 gr de torta desengrasada de ajonjolí, se obtuvo un rango de 6 a 7,2 gr de aislado proteico, dato promedio obtenido después de 23 réplicas.

Tabla 14*Rendimiento de extracción de proteína*

Nº	Torta	Cantidad de Proteína	Cantidad	de	Rendimiento
Réplicas	desengrasada (g)	Extraída (g)	proteína teórica (g)		(%)
1	40	7	7,2		97,22
2	40	6,9	7,2		95,83
3	40	6,9	7,2		95,83
4	40	7	7,2		97,22
5	40	7,1	7,2		98,61
6	40	7	7,2		97,22
7	40	7,12	7,2		98,89
8	40	7,2	7,2		100,00
9	40	7	7,2		97,22
10	40	6,98	7,2		96,94
11	40	6,79	7,2		94,31
12	40	7,1	7,2		98,61
13	40	7,2	7,2		100,00
14	40	7,1	7,2		98,61
15	40	7	7,2		97,22
16	40	6,89	7,2		95,69
17	40	7	7,2		97,22
18	40	7	7,2		97,22
19	40	7	7,2		97,22
20	40	7,1	7,2		98,61

CONTINÚA

Nº Réplicas	Torta desengrasada (g)	Cantidad de Proteína Extraída (g)	Cantidad de proteína teórica (g)	de Rendimiento (%)
21	40	7	7,2	97,22
22	40	6,99	7,2	97,08
23	40	7	7,2	97,22
		7,016		97,44

El rendimiento de la extracción de proteína es de 97,44 %, que equivale a un alto porcentaje en comparación con el valor teórico de proteína presente en las semillas de ajonjolí.

En la tabla 15 se muestra el análisis de dispersión de datos para la proteína presente en la torta desengrasada de ajonjolí, usando los siguientes datos:

- $t = 2,0756$
- $n = 23$

Tabla 15

Análisis de dispersión de datos para la proteína presente en la torta desengrasada de ajonjolí

Media (Mo & Sun)	7,016
Desviación Estándar (s)	0,096
Intervalo de Confianza (μ)	95%
Superior	7,057
Inferior	6,97

Mediante el análisis estadístico, se establece que la torta residual de ajonjolí posee un alto porcentaje de proteína en comparación al porcentaje reportado en la literatura, ya que es evidente que los resultados no superan el 1% de diferencia, entre lo real y lo teórico. De tal manera que la cantidad de proteína obtenida, se considera un valor eficiente en la elaboración del adhesivo natural.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La torta residual de ajonjolí es considerada un desecho agroindustrial, constituida principalmente por material proteico. De acuerdo a esta investigación, la torta residual de ajonjolí puede ser considerada una materia prima óptima para la elaboración de diversos productos, entre ellos un adhesivo natural debido a la cantidad de proteína que presenta.
- La utilización de NaOH como base fuerte en la extracción alcalina de la proteína, presentó un rendimiento del 97,44% considerándose un alto porcentaje en comparación a la cantidad de proteína teórica presente en la torta residual de ajonjolí, siendo la extracción alcalina uno de los métodos más eficientes al momento de sustraer la proteína.
- Independientemente de la proteína, la adición de un modificador como el NaOH, permite la desnaturalización de la proteína de ajonjolí lo que provoca que esta pueda interactuar con otros materiales cuando esta se encuentra en solución, como la madera o el papel. Al añadir este modificador a la proteína obtenida, mejoró la capacidad de adhesión de la misma, lo que se pudo observar al poner el contacto el adhesivo con dos láminas de madera triplex.
- Mediante observación, se determinó las condiciones óptimas para la producción del adhesivo natural por medio del diseño experimental Box-Behnken, estas fueron a la temperatura de 50°C, con un pH de 10 y un tiempo de reacción de 60 min, permitiendo la unión covalente entre el material celulósico polar de la

madera con los grupos hidroxilo presentes en el adhesivo natural de la proteína de ajonjolí cuyos aminoácidos son en su mayoría polares.

- En el proceso de elaboración del adhesivo se pudo observar que no es necesario que la proteína se encuentre totalmente seca, debido que al modificarla, la misma tiene que ser re-humectada, por lo que para la elaboración del adhesivo se puede partir con proteína con concentración de 50 % de humedad, lo que favorece en la disminución de costos en materia prima, y energía.

5.2. Recomendaciones

- El proceso de liofilizado para el secado de la proteína extraída permite un mejor desempeño en la elaboración del adhesivo natural, por lo que se recomienda tomar en cuenta dicho proceso para liberar la humedad de las muestras.
- Se propone realizar un estudio de factibilidad económica en la obtención de productos biodegradables, como el adhesivo natural a partir de residuos agroindustriales en el Ecuador.
- Luego de la extracción soxhlet se recomienda realizar una rota-evaporación para así poder recuperar el disolvente utilizado y separar las sustancias que se disolvieron en el mismo.
- La torta residual de ajonjolí es una materia prima potencial en la industria petroquímica, debido a la cantidad de proteína que posee, por lo tanto, se recomienda realizar más estudios que permitan determinar nuevas rutas de reacción para la obtención de nuevos productos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvia, M., Astudillo, H., Aida, J. R., Holguín, C., Vite Solórzano, F. A. D. M., Álava, S., & Vallejo Valdivieso, P. A. M. M. (2018). Introducción al estudio de la bioquímica.
- Cardona Arango, A. F. (2014). Desarrollo de un sistema adhesivo proteínico para la fabricación de tableros aglomerados de densidad media.
- Correa, R. (2004). Mexico Patent No.W0 2004/019694 A1: O. M. d. I. P. Intlectual.
- Chiriboga Espín, M. G. (2013). *Evaluación de la efectividad nutricional de la pasta de ajonjolí (Sesamum indicum L.) como sustituto de la pasta de soya en el crecimiento de codornices (Coturnix coturnix)*. Quito, 2013.
- Da Silva, L. F., Öchsner, A., & Adams, R. D. (2018). Introduction to adhesive bonding technology. *Handbook of adhesion technology*, 1-7.
- Daniel Oliva Martinez , L. A. G., J. Ly, Leidys Jiménez Domínguez. (2016). Potencialidades de la torta de ajonjolí (Sesamun indica L) para la producción de cerdos en ceba. *Ergomix*, 6.
- Dench, J. E., Rivas R, N., & Caygill, J. C. (1981). Selected functional properties of sesame (Sesamum indicum L.) flour and two protein isolates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32(6), 557-564.
- Domínguez Ortiz, M. A., & Londoño Zuluaga, C. (2015). Elaboración de tableros aglomerados empleando diferentes formulaciones adhesivas a partir de proteínas de soya.
- Falasca, S., Anschau, A., & Galvani, G. (2010). Las potenciales áreas productivas de sésamo (Sesamus indicum l) en argentina, materia prima para biodiesel. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 14, 11.63-11.68.

- Ferreira, S. C., Bruns, R., Ferreira, H., Matos, G., David, J., Brandao, G., . . . Souza, A. (2007). Box-Behnken design: an alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica chimica acta*, 597(2), 179-186.
- Frihart, C. R. (2005). *Wood adhesion and adhesives*: CRC Press, Boca Raton, FL.
- García Martínez, E. M., & Fernández Segovia, I. (2012). Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte.
- Henkel. (2015). Blog del Adhesivo Industrial. Retrieved from <http://blogadhesivoindustrial.com/index.php/manutencao-reparo-e-revisao/en-busca-de-la-adhesion-perdida-parte-2-pre-tratamiento-de-las-superficies/?lang=cl>. Recuperado el 08 del enero del 2020
- Hernandez Ruiz, M. (2010). Elaboración y evaluación de un adhesivo a partir del almidon de yuca nativo,(*Manihot sculenta crantz*), variedad M-TAI, utilizando hidroxido de sodio como agente hidrolizante.
- Hettiarachchy, N., Kalapathy, U., & Myers, D. (1995). Alkali-modified soy protein with improved adhesive and hydrophobic properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72(12), 1461-1464.
- Huang, J., & Li, K. (2008). A new soy flour-based adhesive for making interior type II plywood. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(1), 63-70.
- INEN, S. E. d. N. (2014). *TABLEROS DE MADERA CONTRACHAPADA. REQUISITOS*. Quito-Ecuador.
- Kalapathy, U., Hettiarachchy, N., Myers, D., & Hanna, M. (1995). Modification of soy proteins and their adhesive properties on woods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72(5), 507-510.

- Kuo, M., Myers, D. J., Heemstra, H., Curry, D., Adams, D. O., & Stokke, D. D. (2003). Soybean-based adhesive resins and composite products utilizing such adhesives: Google Patents.
- Lambuth, A. L. (1989). Adhesives from renewable resources: historical perspective and wood industry needs. *Adhesives from renewable resources. American Chemical Society, Washington, DC*, 1-10.
- Liesa, F., Alter, L. B., & Bilurbina, L. (1990). *Adhesivos industriales* (Vol. 39): Marcombo.
- Manzo, R. A. (2017). Proteínas. <http://biogeo.esy.es/BG1BTO/proteinas.htm>. Recuperado el 15 de enero del 2020
- Mo, X., & Sun, X. S. (2013). Soy proteins as plywood adhesives: formulation and characterization. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 27(18-19), 2014-2026.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*: John Wiley & Sons.
- Moreno, S. (2012). Temas Selectos de Bioquímica General. 19. <http://www.dagus.uson.mx/smoreno/4%20Amino%C3%A1cidos%20y%20Prote%C3%ADnas.pdf>. Recuperado el 25 de febrero del 2020
- Onsaard, E. (2012). Sesame proteins. *International Food Research Journal*, 19(4).
- Orduz, J. (1998). Características de la citricultura en el departamento del Meta y avances en el proceso de desarrollo tecnológico. *Actualización tecnológica en ajonjolí, caucho, hortalizas y frutales para la Orinoquia Colombiana. Memorias del Curso. Corpoica. Villavicencio, Meta*, 25-33.
- Prasittisopin, L., & Li, K. (2010). A new method of making particleboard with a formaldehyde-free soy-based adhesive. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(10), 1447-1453.

- Pulido, H. G., De la Vara Salazar, R., González, P. G., Martínez, C. T., & Pérez, M. d. C. T. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*: McGraw-Hill New York, NY, USA:.
- Rey Bolivar, L. (1999). El cultivo del ajonjolí producción y utilización.
- Rojas, O., Briceño, M. I., & Avendaño, J. (2012). Fundamentos de Reología. *Universidad de los Andes*, 3, 45.
- Santos, J. (2009). Proteínas: estructuras fascinantes *Proteínas: estructuras fascinantes*.
- Sayavedra, J., & Rodríguez, R. (2018). *Desarrollo de bioplásticos a partir de tortas residuales y gomas naturales*. Paper presented at the Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE.
- Saydut, A., Duz, M. Z., Kaya, C., Kafadar, A. B., & Hamamci, C. (2008). Transesterified sesame (*Sesamum indicum* L.) seed oil as a biodiesel fuel. *Bioresource Technology*, 99(14), 6656-6660.
- Tanford, C. (1968). Protein denaturation *Advances in protein chemistry* (Vol. 23, pp. 121-282): Elsevier.
- Vega, M. M. Seminario sobre adhesivos. *Departamento técnico. Henkel LOCTITE*.
- Yang, I., Kuo, M., & Myers, D. J. (2006). Bond quality of soy-based phenolic adhesives in southern pine plywood. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(3), 231-237.

ANEXOS