

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**EXTRACCIÓN DE PECTINA DE LA CASCARA DE PIÑA (Ananas Comosus)
MEDIANTE HIDROLISIS ACIDA Y SU APLICACIÓN EN REMOCIÓN DE
ARSÉNICO III**

PRESENTADO POR:

Br. KEIKO WENYI BACA APAZA

Br. JULIA SHIOMARA DE LA VEGA HUARHUA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

ASESORA:

Dra. AMANDA ROSA MALDONADO FARFÁN

FINANCIADO POR:

PROGRAMA “YACHAYNINCHIS
WIÑARINAMPAQ” - UNSAAC

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

La que suscribe, asesora del trabajo de investigación: “**EXTRACCIÓN DE PECTINA DE LA CASCARA DE PIÑA (Ananas Comosus) MEDIANTE HIDROLISIS ACIDA Y SU APLICACIÓN EN REMOCIÓN DE ARSÉNICO III**” presentado por: BACA APAZA, KEIKO WENYI identificada con DNI 73070255 y DE LA VEGA HUARHUA, JULIA SHIOMARA identificada con DNI 75789324, para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico. Informo que el Trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de laUNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **9%**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

| Porcentaje | Evaluación y Acciones | Marque con una (X) |
|----------------|---|--------------------|
| Del 1 al 10% | No se considera plagio. | X |
| Del 11 al 30 % | Devolver al usuario para las correcciones. | |
| Mayor a 31% | El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley. | |

Por tanto, en condición de asesora, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 04 de noviembre de 2024



.....
Dra. Ing. Amanda Rosa MALDONADO FARFAN

DNI: 23822559

ORCID: 0000-0002-4870-7078

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:
<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:402000774?locale=es-MX>

NOMBRE DEL TRABAJO

**EXTRACCION DE PECTINA DE LA CASCA
RA DE PIÑA MEDIANTE HIDROLISIS ACI
DA Y SU APLICACION EN REMOCION DE**

AUTOR

**KEIKO WENYI BACA APAZA / JULIA SHI
OMARA DE LA VEGA HUARHUA**

RECUENTO DE PALABRAS

14540 Words

RECUENTO DE CARACTERES

69211 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

85 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.5MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 4, 2024 8:49 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 4, 2024 8:50 PM GMT-5**● 9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

PRESENTACION

Distinguido Señor Decano y Docentes del Departamento Académico de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Siguiendo el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de Procesos y Escuela Profesional de Ingeniería Química vigente a la fecha, presentamos a vuestra consideración el trabajo de investigación titulada: “EXTRACCIÓN DE PECTINA DE LA CÁSCARA DE PIÑA (*Ananas Comosus*) MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA Y SU APLICACIÓN EN REMOCIÓN DE ARSÉNICO III”, para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico.

El trabajo de investigación está orientado a estudiar el proceso de extracción; caracterización fisicoquímica de la pectina de cáscara de piña (*Ananas Comosus*); y aplicación de la pectina extraída en la remoción de arsénico III.

Se espera que la información proporcionada pueda servir de referencia para futuras investigaciones.

DEDICATORIA

Primeramente, este trabajo dedico a mis padres Immer y Leonarda, por siempre estar a mi lado apoyándome dándome sus consejos y ser mi motivación para lograr mis objetivos; mucho de mis logros se los debo a ustedes incluyendo este.

A mi hermana Yulissa por creer en mí; cuidar de mí y brindarme la confianza a lo largo de mi trayectoria académica. A mi amado Manuel por ayudarme y estar siempre a mi lado en este proceso de investigación.

A Julia, porque compartimos muchas enseñanzas y aprendizajes en el proceso de investigación de este trabajo; ayudándonos mutuamente venciendo las dificultades que se presentaban en el camino.

Keiko Wenyi Baca Apaza

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y darme una maravillosa familia.

A mis padres, Juan y Juanita por guiarme, orientarme y darme la oportunidad de mi educación, por su apoyo y confianza para poder alcanzar esta meta en mi vida.

A mis hermanos, Antuane y Berny por ser parte de mi vida, darme su apoyo y acompañarme siempre.

A mis tesoros; Scott, Many, Kira, Morita, Thor y Pato por estar en mis noches de desvelo y subirme el ánimo siempre con su alegría y cariño.

A Keiko por poner su esfuerzo y dedicación durante este proceso de investigación, por compartir sus conocimientos y aprender nuevas cosas juntas apoyándonos recíprocamente en todo momento.

Julia Shiomara De La Vega Huarhua

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Programa “Yachayninchis Wiñarinanpaq” de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por financiar y respaldar la ejecución de la investigación.

A nuestra querida asesora la Dra. Amanda Maldonado, quien es una excelente profesional dedicada a la investigación, y quien nos apoyó incondicional en la ejecución del trabajo de investigación permitiéndonos hacer uso del Laboratorio de Tecnologías de nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Química, para la etapa experimental de nuestra investigación.

Asimismo, nos gustaría agradecer a los Ingenieros de nuestra Escuela Profesional que fueron parte de este proceso aconsejándonos y enseñándonos.

Por último, agradecemos a nuestras familias y amigos por el apoyo y consejos que nos brindaron, estaremos siempre agradecidas con todos ustedes.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la extracción de pectina a partir de la cáscara de piña, que es un residuo producido a diario en juguerías, lugares de abastos de fruta y hogares. Para ello el proceso contemplo la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico (H_2SO_4) a pH (1, 2 y 3) y temperaturas (50, 60 y 70 °C) durante 90 minutos.

Posteriormente, los productos obtenidos fueron caracterizados en cantidad y calidad, donde la pectina estuvo constituida por cantidad de metoxilos, ácido galacturónico, grado de esterificación y acidez libre. El resultado de la extracción de pH 3 y 70 °C fue seleccionada como pectina de mayor contenido de metoxilos y ácido galacturónico (indicador de calidad), con un porcentaje de 7.76 (%p/p) de metoxilos, 66.45 % de grado de esterificación, 48.54 (%p/p) de ácido galacturónico y 3.60 meq/g de acidez libre; siendo este la pectina de mejor calidad.

La pectina seleccionada se caracterizó por espectrofotometría IR, reconociendo los grupos funcionales característicos de una pectina comercial; entre ellos grupos -OH (Hidroxilo), -COOH (Carboxilo) y R-O-R (Éter).

La pectina de mayor pureza se aplicó en la remoción de Arsénico (III) en solución acuosa sintética con concentración inicial de 2.44 mg As/L. Obteniendo como el mejor resultado 57.42 % de remoción y una capacidad de adsorción de 3.75 mg/g.

Palabras Clave: Piña, hidrólisis ácida, pectina, metoxilos, ácido galacturónico, arsénico y adsorción.

ABSTRACT

In the present work, the extraction of pectin was carried out from pineapple peel, which is a waste produced daily in juice shops, fruit supply places and homes. For this, the process included acid hydrolysis with sulfuric acid (H₂SO₄) at pH (1, 2 and 3) and temperatures (50, 60 and 70 °C) for 90 minutes.

Subsequently, the products obtained were characterized in quantity and quality, where the pectin was constituted by the amount of methoxyls, galacturonic acid, degree of esterification and free acidity. The result of the extraction at pH 3 and 70 °C was selected as pectin with the highest content of methoxyls and galacturonic acid (quality indicator), with a percentage of 7.76 (% w/w) of methoxyls, 66.45 % degree of esterification, 48.54 (% w/w) of galacturonic acid and 3.60 meq/g of free acidity; this being the best quality pectin.

The selected pectin was characterized by IR spectrophotometry, recognizing the characteristic functional groups of a commercial pectin; among them -OH (Hydroxyl), -COOH (Carboxyl) and R-O-R (Ether) groups.

The highest purity pectin was applied in the removal of Arsenic (III) in synthetic aqueous solution with initial concentration of 2.44 mg As/L. Obtaining the best result was 57.42% removal and an adsorption capacity of 3.75 mg/g.

Keywords: Pineapple, acid hydrolysis, pectin, methoxyls, galacturonic acid, arsenic and adsorption.

CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| PRESENTACION | II |
| DEDICATORIA | III |
| AGRADECIMIENTO | IV |
| RESUMEN | V |
| ABSTRACT | VI |
| LISTA DE FIGURAS | XII |
| LISTA DE TABLAS | XIV |
| CAPÍTULO I: GENERALIDADES | 1 |
| 1.1. INTRODUCCION | 2 |
| 1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 4 |
| 1.3.1. Problema general | 4 |
| 1.3.2. Problemas específicos | 4 |
| 1.4. OBJETIVOS | 5 |
| 1.4.1. Objetivo general | 5 |
| 1.4.2. Objetivos específicos | 5 |
| 1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 5 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1. ANTECEDENTES | 8 |
| 2.2. BASES TEÓRICAS | 13 |
| 2.2.1. La piña (<i>Ananas Comosus</i>) | 13 |
| 2.2.2. Variedades de piña | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.3. Origen y taxonomía de la piña | 16 |
| 2.2.4. Pectina | 17 |
| 2.2.4.1. Cantidad de metoxilo | 18 |
| 2.2.4.2. Grado de esterificación | 18 |
| 2.2.4.3. Contenido de ácido galacturónico..... | 18 |
| 2.2.4.4. Acidez libre | 19 |
| 2.2.5. Tipos de pectina | 20 |
| 2.2.5.1. Pectina de bajo metoxilo | 20 |
| 2.2.5.2. Pectina de alto metoxilo | 20 |
| 2.2.5.3. Pectina de bajo metoxilo amidas..... | 20 |
| 2.2.6. Clasificación de Pectina | 20 |
| 2.2.6.1. Protopectina..... | 21 |
| 2.2.6.2. Ácidos pectínicos | 21 |
| 2.2.6.3. Ácidos pécticos..... | 21 |
| 2.2.6.4. Pectinas..... | 21 |
| 2.2.7. Propiedades de las pectinas | 22 |
| 2.2.7.1. Masa molecular | 22 |
| 2.2.7.2. Solubilidad | 22 |
| 2.2.7.3. Viscosidad | 22 |
| 2.2.8. Métodos de extracción de la pectina | 22 |
| 2.2.9. Arsénico | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.9.1. Efectos en la salud | 24 |
| 2.2.9.2. Efectos agudos | 25 |
| 2.2.9.3. Efectos a largo plazo | 25 |
| 2.2.10. Límites máximos permisibles del arsénico | 26 |
| 2.2.11. Remoción de metales pesados | 26 |
| CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS | 28 |
| 3.1. MUESTRA | 29 |
| 3.2. MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS | 29 |
| 3.2.1. Materiales | 29 |
| 3.2.2. Instrumentos | 30 |
| 3.2.3. Reactivos | 30 |
| 3.2.4. Equipos | 30 |
| 3.3. MÉTODOS | 30 |
| 3.3.1. Muestreo | 30 |
| 3.3.2. Preparación de la muestra | 31 |
| 3.3.3. Caracterización de las muestras | 35 |
| 3.3.4. Extracción de la pectina | 35 |
| 3.3.5. Parámetros del proceso | 42 |
| 3.3.6. Caracterización de la pectina (pura) | 42 |
| 3.3.7. Remoción de arsénico III | 42 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 46 |
| 4.1. Caracterización de la cáscara de piña | 47 |

| | |
|---|----|
| 4.2. Extracción de la pectina | 47 |
| 4.2.1. Cantidad de pectina extraída a diferentes condiciones | 48 |
| A) Rendimiento | 49 |
| B) Contenido de humedad | 51 |
| 4.3. Calidad de pectina extraída a diferentes condiciones | 52 |
| 4.3.1. Contenido de metoxilos | 52 |
| 4.3.2. Contenido de ácido galacturónico | 53 |
| 4.3.3. Grado de esterificación | 54 |
| 4.3.4. Acidez libre | 55 |
| 4.4. Análisis estadístico | 56 |
| 4.4.1. De la cantidad de pectina | 56 |
| 4.4.2. De la calidad de pectina | 59 |
| 4.5. Modelo matemático | 67 |
| 4.5.1. De la cantidad de pectina | 67 |
| 4.5.2. De la calidad de pectina | 69 |
| 4.6. Parámetros | 72 |
| 4.7. Caracterización de la pectina seleccionada | 72 |
| 4.8. Termogravimetría | 74 |
| 4.9. Remoción de arsénico III | 75 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 77 |
| APÉNDICES | 88 |
| Apéndice 1. Matriz de operacionalización de variables | 89 |

| | |
|---|-----|
| Apéndice 2. Caracterización de la cáscara de piña – análisis proximal | 91 |
| Apéndice 3. Análisis del ácido galacturónico y metoxilos de la pectina extraída de la cáscara de piña..... | 93 |
| Apéndice 4. Análisis de concentración de arsénico | 107 |
| Apéndice 5. Análisis de termogravimetría de la pectina extraída con mayor pureza | 116 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Variedades de piña | 16 |
| Figura 2 Estructura molecular básica de la pectina | 17 |
| Figura 3 Estructura del ácido galacturónico | 19 |
| Figura 4 Gráfica de especiación de arsénico | 24 |
| Figura 5 Preservación de las muestras recolectadas (cáscara de piña) | 31 |
| Figura 6 Selección y limpieza de la cáscara de piña..... | 31 |
| Figura 7 Secado de la cáscara de piña | 33 |
| Figura 8 Cáscara de piña molida..... | 33 |
| Figura 9 Etapas del proceso de preparación de la cáscara de piña (<i>Ananas Comosus</i>) | 34 |
| Figura 10 Hidrólisis ácida con agitación constante | 36 |
| Figura 11 Enfriamiento de líquido filtrado de la hidrólisis ácida..... | 37 |
| Figura 12 Coagulación de pectina con etanol al 96% | 37 |
| Figura 13 Proceso de decantación | 38 |
| Figura 14 Proceso de secado a 60 °C de pectina extraída | 38 |
| Figura 15 Etapas del proceso de obtención de pectina a partir de la cáscara de piña (<i>Ananas Comosus</i>) | 39 |
| Figura 16 Preparación de agua acidulada con arsenito de sodio | 42 |
| Figura 17 Solución de arsénico (III) con el bioadsorbente (pectina)..... | 43 |
| Figura 18 Remoción de arsénico (III) mediante prueba de jarras con bioadsorbente extraído (pectina) | 43 |
| Figura 19 Filtración de las muestras de remoción | 44 |
| Figura 20 Etapas del proceso de adsorción..... | 45 |
| Figura 21 Grafica de rendimiento de la pectina extraída de cada ensayo..... | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 22 Diagrama de Pareto estandarizada para P | 56 |
| Figura 23 Gráfica de efectos principales para P | 57 |
| Figura 24 Gráfica de interacción para P | 58 |
| Figura 25 Diagrama de Pareto estandarizada para %ME, %AG, %GE y AL | 61 |
| Figura 26 Grafica de efectos principales para %ME, %AG, %GE y AL | 63 |
| Figura 27 Gráfica de interacción para %ME, %AG, %GE y AL | 64 |
| Figura 28 Contornos de la superficie de respuesta estimada | 68 |
| Figura 29 Contornos de la superficie de respuesta estimada para %ME, %AG, %GE y %AL | 71 |
| Figura 30 Espectro infrarrojo de la pectina extraída y comercial | 73 |
| Figura 31 Grafico de curva TGA de la pectina extraída de mayor pureza | 74 |
| Figura 32 Grafica de capacidad de remoción vs cantidad de pectina | 76 |
| Figura 33 Grafica de porcentaje de remoción vs cantidad de pectina | 76 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Determinaciones químicas proximales a muestras representativas de piña (<i>Ananas Comosus</i>) | 13 |
| Tabla 2 Características fisicoquímicas de la piña (<i>Ananas Comosus</i>)..... | 14 |
| Tabla 3 Composición química proximal de la cáscara de piña húmeda y seca | 14 |
| Tabla 4 Variedades de piña..... | 15 |
| Tabla 5 Métodos de extracción de pectina..... | 23 |
| Tabla 6 LMP de arsénico (As)..... | 26 |
| Tabla 7 Técnicas de tratamiento para remoción de metales pesados..... | 27 |
| Tabla 8 Métodos de caracterización para la muestra (cáscara de piña) | 35 |
| Tabla 9 Factores y niveles..... | 40 |
| Tabla 10 Plan experimental..... | 41 |
| Tabla 11 Análisis proximal de la cáscara de piña seca | 47 |
| Tabla 12 Pectina extraída a diferentes condiciones | 48 |
| Tabla 13 Porcentajes de rendimiento de extracción de pectina | 50 |
| Tabla 14 Contenido de humedad de la pectina extraída | 51 |
| Tabla 15 Contenido de metoxilos de la pectina extraída | 52 |
| Tabla 16 Contenido de ácido galacturónico de la pectina extraída..... | 53 |
| Tabla 17 Grado de esterificación de la pectina extraída | 54 |
| Tabla 18 Acidez libre de la pectina extraída..... | 55 |
| Tabla 19 Efectos estimados para P | 56 |
| Tabla 20 Análisis de varianza para P | 58 |
| Tabla 21 Efectos estimados para %ME | 59 |
| Tabla 22 Efectos estimados para % AG..... | 59 |
| Tabla 23 Efectos estimados para %GE (%)..... | 60 |

| | |
|--|----|
| Tabla 24 Efectos estimados para AL (meq/g)..... | 60 |
| Tabla 25 Análisis de varianza para % ME..... | 65 |
| Tabla 26 Análisis de varianza para % AG..... | 65 |
| Tabla 27 Análisis de varianza para % GE..... | 66 |
| Tabla 28 Análisis de varianza para AL..... | 66 |
| Tabla 29 Coef. de regresión para P (g)..... | 67 |
| Tabla 30 Coef. de regresión para %ME..... | 69 |
| Tabla 31 Coef. de regresión para %AG..... | 69 |
| Tabla 32 Coef. de regresión para %GE..... | 69 |
| Tabla 33 Coef. de regresión para AL..... | 69 |
| Tabla 34 Grupos funcionales de la mejor pectina extraída y comercial..... | 73 |
| Tabla 35 Resultados de la concentración final de arsénico III..... | 75 |

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCION

Actualmente, los productos naturales orgánicos como la pectina están cobrando cada vez mayor importancia debido a sus múltiples beneficios y al proceso de obtención a partir de la corteza de alimentos naturales no procesados. Utilizado en la industria farmacéutica, alimentaria, cosmética y como alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas; ya que este último ha provocado consecuencias muy variadas en la salud y el medio ambiente.

La cáscara de piña se ha convertido en el mayor residuo orgánico que provoca problemas ambientales, como gases (metano, dióxido de carbono o óxido nitroso) de efecto invernadero por la descomposición de estos residuos, es por ello que es un reto fundamental eliminar o tratar esos residuos. En base a sus propiedades químicas, la cáscara de piña también tiene propiedades antioxidantes y de ella podemos extraer biopolímeros por la presencia de protopectina en su estructura celular, por tanto, se ha propuesto como fuente de pectinas.

La pectina forma coloides por excelencia, ya que tiene la propiedad de absorber una gran cantidad de agua, pertenecen a la familia de los oligosacáridos y polisacáridos de alto peso molecular y contienen largas cadenas formadas por unidades de 1,4- α -D-ácido galacturónico (GalpA). (Chasquibol, 2008)

Tres polisacáridos pécticos (homogalacturona, rhamnogalac - turona-I y galacturonas sustituidas) han sido separados y caracterizados y todos con tienen GalpA en mayor o menor cantidad. (Chasquibol, 2008)

Existen varios métodos para la extracción de pectina, entre ellos extracción con agua subcrítica, enzimática, asistida por microondas (EAM), alcalina, asistida por ultrasonido y extracción ácida. El método empleado por

hidrólisis ácida tiene un mayor rendimiento de extracción de pectina en cítricos, empleando cualquier tipo de ácido.

Esta investigación pretende brindar un método alternativo de remediación de menor costo que genera una economía circular para la extracción de pectina, a partir de la cáscara de piña, valorizando estos desechos orgánicos; y la aplicación de pectina en la remoción de arsénico (III) que permita nominarlo como alternativa de solución a la contaminación de aguas contaminadas.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial, la contaminación ambiental por la acumulación de residuos sólidos generados es debido a la sobrepoblación en el planeta, el almacenamiento inadecuado y la inapropiada gestión integral del manejo de residuos orgánicos.

En el Perú actualmente la generación per cápita de residuos sólidos es de 22505.10 Tm/día, según el MINAM. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística e Informática, la producción de piña es de 8807 Tm para el año 2019 en la región de Cusco.

Los residuos de cáscara de piña son un gran problema, debido a que son producidos diariamente por la población, específicamente en juguerías de mercados e industrias alimentarias (planta de procesamiento de néctares, mermeladas, confitura, entre otros).

La piña pesa 1 a 2 kg y posee el 65% de pulpa y 35 % de residuo (cáscara y corona), se estima que la cáscara pesa entre 500 a 800 g, por tanto, el residuo de cáscara generada es de 10 Tm/día aproximadamente.

Otro problema que se genera son las aguas contaminadas por metales pesados, entre ellos el arsénico, y en los últimos años se ha incrementado debido a la ausencia de tratamientos de aguas residuales generadas en industrias como textiles, siderúrgica, minera, metalúrgica, entre otras.

Asimismo, se ha detectado que las aguas naturales presentan concentraciones tóxicas de arsénico, ya que se encuentran en la corteza terrestre y es uno de los mayores problemas de la salud para toda una población.

El arsénico es un elemento extremadamente tóxico y un carcinógeno para el organismo humano. Y no solo en concentraciones altas, donde la exposición causa efectos agudos que pueden llegar a ser letales, sino también tiene efectos negativos crónicos para la salud a través de la ingesta de agua por largos periodos a bajas concentraciones (Alarcon, 2012). La toxicidad del arsénico depende del estado de oxidación, estructura química y solubilidad en el medio biológico (Alarcón et al, 2012).

Por tanto, es necesario plantear alternativas de valorización de las cáscaras de piña y la remoción de arsénico de las aguas residuales.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. Problema general

- ¿Es posible extraer pectina a partir de la cáscara de piña (*Ananas Comosus*) mediante hidrólisis ácida, para su aplicación como adsorbente de arsénico (III)?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Qué características fisicoquímicas presenta la cáscara de piña (*Ananas Comosus*)?

- ¿Cuál es la influencia del pH y temperatura en la cantidad de pectina extraída a partir de la cáscara de piña (*Ananas Comosus*)?
- ¿Cuáles son los parámetros de temperatura y pH que logran la mayor extracción de pectina?
- ¿Cuál es la capacidad de adsorción de As (III) con la pectina extraída a partir de la cáscara de piña (*Ananas Comosus*)?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

- Extraer pectina a partir de la cáscara de piña (*Ananas Comosus*) mediante hidrólisis ácida, para su aplicación como adsorbente de Arsénico (III)

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas a partir de la cáscara de piña (*Ananas Comosus*).
- Determinar la influencia del pH y temperatura en la cantidad de pectina extraída a partir de la cáscara de piña (*Ananas Comosus*).
- Determinar los parámetros de temperatura y pH que logran la mayor extracción de pectina.
- Determinar la capacidad de adsorción de Arsénico (III) con pectina extraída a partir de la cáscara de piña (*Ananas Comosus*).

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación fue realizado con la finalidad de ampliar el conocimiento sobre la obtención de un producto bionatural (pectina) y

validando sus propiedades en la remoción de arsénico (III) que permite catalogarlo como alternativa de solución a los problemas de residuos orgánicos (cáscara de piña) desechados y la contaminación de agua por arsénico. De esta manera se logrará minimizar la contaminación ambiental, causado por residuos sólidos orgánicos y aguas residuales.

Asimismo, esta investigación es importante desde un punto de vista académico, ya que permitirá desarrollar y comprender diferentes bases químicas, mecanismos estadísticos y continuidad.

Los resultados de esta investigación se podrán ajustar al escalamiento tanto del proceso de obtención de pectina como de la recolección de aguas residuales contaminadas con arsénico.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1.ANTECEDENTES

2.1.1. A nivel Internacional

Cabarcas et al. (2012), en su investigación titulado “EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA A PARTIR DE CÁSCARAS DE PLÁTANO PARA DESARROLLAR UN DISEÑO GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN” extrajo y caracterizó pectina de la cáscara del plátano verde (*Hartón Musa AABsimmonds*) mediante hidrólisis ácida, con ácido clorhídrico (HCl) a temperaturas de 60 y 80°C y pH de 1.5 y 3, durante 60 min. La extracción a pH 1.5 y 80°C mostro una composición seca (23,06% p/p), pero con mayor contenido de cenizas, humedad y de color muy oscura (1.7% y 6.8%). La pectina obtenida a pH 3,0 y 60 °C fue la de mejor calidad en términos de contenido de cenizas, pero con rendimiento más bajo. Se concluyó que las condiciones máximas para el proceso de extracción de pectina de dicha investigación son pH 1.5 y temperatura de 60°C, clasificadas de bajo metoxilo, según el resultado de contenido de metoxilos (6.50 %).

Rodríguez et al. (2023), en su investigación denominado “EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DEL CACAO (*Theobroma Cacao L.*) Y SU APLICACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE BIOPELÍCULAS”, extrajeron pectina a partir de cáscaras de cacao utilizando el método de hidrólisis ácida, a diferentes condiciones experimentales. Para el método de extracción se usó ácido clorhídrico y cítrico, a pH (2, 3 y 4) y temperatura constante de 90 °C. Los resultados reportaron un rendimiento de extracción promedio de ácido cítrico de 1,06 % a pH=3,0 (T₂); el mayor rendimiento se dio con ácido

clorhídrico a pH= 3,0 siendo de 1,88% (T₅). Para el tratamiento (T₂) se obtuvieron 0,78 meq/g de acidez libre, grado de esterificación del 55,02%, 2,38% de grado de metoxilo. Se concluyó que hubo diferencias significativas en las pectinas extraídas debido a la influencia del tipo de ácido y valores de pH, ya que con ácido clorhídrico presentaron mayor rendimiento en la extracción a valores bajos de pH (2,0 y 3,0) respecto a las hidrólisis con ácido cítrico. Sin embargo, las pectinas extraídas con ácido clorhídrico presentaron coloraciones mucho más oscuras que las extraídas con ácido cítrico lo cual indica una mayor presencia de residuos de la cáscara del cacao que afectan la calidad de las pectinas, razón por la cual se escogió la pectina T₂ (ácido cítrico, pH= 3,0) para la elaboración de la película plástica.

El artículo de investigación de Avila, E. (2019), denominado “EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE CÁSCARAS DE PIÑA (*Ananas Comosus*) POR EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA” extrajo pectina mediante el método de hidrólisis ácida con ácido clorhídrico (HCL) al 37% de pureza, donde las variables de estudio fueron temperatura (50 y 90 °C) y tiempo (40 y 120 min). Se concluyó que los parámetros óptimos de extracción fueron a 90 °C y 40 minutos, resultando 1.15 % de rendimiento y 46.91 % grado de esterificación.

Zegada, V. (2015), en su investigación titulado “EXTRACCION DE PECTINA DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE NARANJA POR HIDRÓLISIS ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS (HMO)” extrajo pectina mediante el método por hidrólisis ácida convencional y asistida por

microondas, los parámetros a estudiar fueron tiempo (15 y 45 min) y temperatura (91 y 120 °C), donde la pectina obtenida fue caracterizada. Se reportó resultados de (62.4 y 77.4 %) de ácido galacturónico y (6.7 y 8.4 %) de contenido de metoxilos. Se concluyó que el mejor resultado fue a 91 °C y 45 min, con 77.4 % de ácido galacturónico y 8.4 % de metoxilos, es decir, la hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO) no fue eficiente frente al convencional.

El artículo de investigación de Martínez, M. N. & Urango, K. J. (2016), denominado “EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y COSTOS DE LA PECTINA EXTRAÍDA A PARTIR DE CÁSCARAS DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis flavicarpa*) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS (EAM)”, extrajo pectina mediante el método de hidrólisis ácida asistida por microondas (EAM) a condiciones de concentración de agua acidulada (0.12, 0.18 y 0.24 N), potencia (600, 800 y 1000 W) y tiempo (60, 80 y 100 segundos). El mejor resultado fue de 6.86 % de contenido de metoxilos a concentración de 0.24 n, 1000 vatios y 100 segundos, es decir, la pectina extraída es de bajo metoxilo.

Paredes, J. L. (2012), en su investigación denominado “REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO MEDIANTE DIFERENTES MATERIALES DE ADSORCIÓN”, removió arsénico (III) con 3 tipos de adsorbentes (DOW, goethita y pectina de maracuyá) en agua sintética y natural mediante prueba de jarras. Se preparó una solución de As de 0.22 mg/L para el agua sintética, y para el agua natural se recolectó del río Huautla. Se concluyó que el mejor

adsorbente para ambos tipos de agua fue la goethita, con 99 % de remoción de arsénico durante 20 min.

2.1.2. A nivel nacional

El artículo de Arroyo et al. (2008) titulado “EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINAS OBTENIDAS A PARTIR DE FRUTOS DE LA BIODIVERSIDAD PERUANA” tuvo como objetivo determinar el análisis de pectina en varias especies frutales. La extracción se realizó mediante inactivación de enzimas de los frutos del níspero de la sierra (*Nespilus germánica*) y de la granadilla (*Pasiflora ligularis*) a pH 2.5 y temperaturas (70 y 90 °c) por un tiempo de 75 minutos. Como resultado obtuvo un alto contenido de ácido galacturónico (87,97% y 85,99%), contenido de metoxilos (89,15% y 88,24%) y alto grado de esterificación (86,24% y 88,79%); caracterizado por FT-IR. Se concluyó que el mejor rendimiento fue de 23.85 % en la pulpa del níspero de la sierra, siendo esta pectina de alto metoxilo.

Ocas (2020), en su investigación denominado “RENDIMIENTO DE PECTINA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis* L.) A DIFERENTES VALORES DE pH Y TIEMPOS DE EXTRACCIÓN”, extrajo pectina a partir de la cáscara de naranja valencia, mediante el método de hidrólisis en medio ácida, y precipitación con alcohol etílico. La cáscara de naranja fue hervida para inactivar la enzima, y se hidrolizó con ácido cítrico. En la fase experimental se probaron dos valores de pH (2.5 y 3) y dos tiempos (45 y 60 minutos). Los resultados mostraron diferencias significativas entre los niveles de pH. Se concluyó que la mayor extracción

es de un 91 % de pectina de alto metoxilo a un pH de 2,5 a 60 min, y la menor extracción 69 % de pectina a un pH de 3 a 45 min.

En la investigación de Coral, V. & Marín, F. (2022) titulado “CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA CÁSCARA DE PIÑA (*Ananas Comosus*) VARIEDAD CAYENA LISA PARA LA OBTENCIÓN DE PECTINA” se extrajo y caracterizo la pectina, mediante el método de hidrólisis ácida a un tiempo constante de 80 minutos con ácido cítrico a pH (3, 4 y 5) y temperatura (60, 75 y 90 °C). Dando como mejor resultado 4.69 g de pectina; 10.11 % de rendimiento; 36.56 % de grado de esterificación y 5 mg/g de acidez libre a condiciones de pH 5 y temperatura 90°C.

Chumbes (2020), en su investigación denominada “HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA CÁSCARA DE MARACUYA (*Passiflora edulis*) PARA LA OBTENCIÓN DE PECTINA COMO AGENTE GELIFICANTE”, extrajo pectina a partir de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*), empleando el ácido cítrico para el hidrolizado y posteriormente el etanol para la separación y precipitación de la pectina. También determinó la relación que existe entre las variables temperatura, tiempo de hidrolizado y pH, encontrándose que la temperatura es la única que muestra diferencias significativas respecto al rendimiento de la pectina. Se concluyó que las condiciones óptimas de operación para la obtención de pectina son: temperatura = 85°C, tiempo = 60 minutos y pH = 3.

2.2.BASES TEÓRICAS

2.2.1. La piña (*Ananas Comosus*)

La piña o *Ananas Comosus* es un fruto fresco perteneciente a la especie *Ananas spp* según la Norma Técnica Peruana NTP 011 013 2024, familia de las bromeliáceas, compuesta de 46 géneros y 2000 especies aproximadamente. (Garavito, 2019)

La planta de la piña (*Ananas comosus*) es una planta perenne con una roseta de hojas puntiagudas de hasta 90 cm de longitud. (AMPEX, 2006). La tabla 1 indica la composición química proximal de la piña.

Tabla 1

Determinaciones químicas proximales a muestras representativas de piña (Ananas Comosus)

| Características | Unidades | Piña |
|------------------------|-----------------|-------------|
| Humedad | % | 90.9 |
| Proteína | % | 0.58 |
| Grasa | % | 0.24 |
| Carbohidratos | % | 7.98 |
| Fibra cruda | % | 0.62 |
| Ceniza | % | 0.30 |
| Vitamina C | mg | 65.04 |
| Grados Brix | °Brix | 10.8 |
| Acidez titulable | g/L | 1.47 |
| pH | - | 3.38 |

Fuente: Extraído de Decheco (2016)

Posteriormente, en la tabla 2 se indica las características fisicoquímicas de la piña.

Tabla 2*Características fisicoquímicas de la piña (Ananas Comosus)*

| Acidez total titulable (% ac. cítrico) | pH | Ácido propiónico (ppm) | Azúcares totales (%) | Azúcares reductores (%) |
|---|-----------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|
| 0.71 | 3.83 | 2.73 | 6.22 | 3.17 |

Fuente: Extraído de (Deheco, 2016)

En la tabla 3 se presenta la composición química proximal de la cáscara de piña en estado seco y húmedo, considerando los parámetros visualizados en la tabla.

Tabla 3*Composición química proximal de la cáscara de piña húmeda y seca*

| Parámetros | Húmeda | Seca |
|--------------------------------|---------------|-------------|
| Humedad (%) | 71.07 | 27.43 |
| Sólidos totales (%) | 29.03 | 72.57 |
| Sólidos volátiles (%) | 96.12 | 95.90 |
| pH | 4.70 | 4.70 |
| Cenizas (%) | 3.88 | 4.10 |
| Celulosa (%) | 11.20 | 12.00 |
| Hemicelulosa (%) | 7.00 | 6.50 |
| Pectina (%) | 6.70 | 7.10 |
| Sólidos en éter solubles (%) | 6.10 | 6.70 |
| Proteína (%) | 3.13 | 3.30 |
| Azúcares reductores (%) | 25.80 | 27.80 |
| Azúcares no reductores (%) | 5.70 | 4.90 |
| Lignina (%) | 11.52 | 11 |
| Ácidos grasos volátiles (mg/L) | 800 | 650 |

Fuente: Extraído de (Deheco, 2016)

2.2.2. Variedades de piña

Existen variedades de piña, en las cuales se pueden diferenciar según el color, tamaño y textura. En la tabla 4 se muestra cinco variedades de piña.

Tabla 4

Variedades de piña

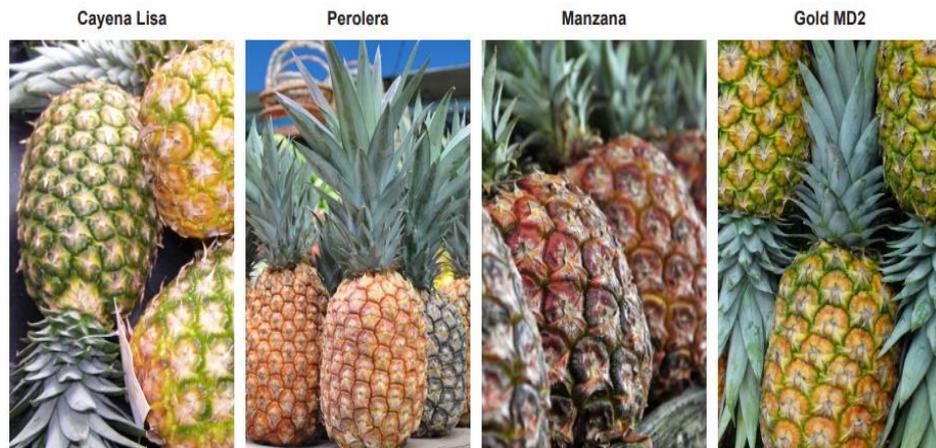
| Variedades de piña | |
|---------------------------|---|
| Cayena lisa | Se caracteriza por ser plantas de tamaño mediano con hojas largas de color verde oscuro. Los frutos son tubulares, con piel anaranjada y pulpa de color amarillo claro. Los ojos son planos, hexagonales poco profundos y es la más empleada en la industria. |
| Perolera | Es la variedad más común, la cual es una planta de grande tamaño. Fruto con forma cubica, de color amarillo tanto la pulpa como la cascara. Es muy empleada en la agroindustria por el contenido de jugo. |
| Manzana | Es una modificación de la variedad perolera la cual no cuenta con espinas en las hojas y es menos tolerante a la manipulación y al transporte. |
| Golden MD2 | También conocida como piña dorada, su fruto tiene un mayor contenido de azúcar que otras variedades, por lo que tiene buen sabor y aroma, el fruto es más pequeño que otras variedades, es ampliamente aceptado y utilizado en todo el mundo, su forma es más simétrica y uniforme, la pulpa es de color amarillo brillante, lo que la hace destacar y la hace muy atractiva en el mercado. |
| Champaka | Es un clon puro de la variedad Cayena lisa, resistente a enfermedades más que otras variedades y este es una variedad con alta aceptación y demanda en los mercados de exportación. |

Fuente: Elaborado a partir de Dane (2016) y AMPEX (2006)

En la figura 1, se puede visualizar las diferencias que existen entre las variedades de piña mencionadas.

Figura 1

Variedades de piña



Fuente: Extraído de (Dane, 2016)

2.2.3. Origen y taxonomía de la piña

Es una fruta originaria de América del Sur, se desconoce su lugar exacto de origen y es muy cultivada en las selvas centrales. Tiene 50 géneros y aproximadamente 2000 especies, algunas de sus variedades comerciales son: cayena lisa, golden, hawaiana, samba chanchamayo y lagarto. Es una fruta ligeramente ácida con propiedades antioxidantes y con bajo contenido de azúcar, es ideal para el mantenimiento del peso.

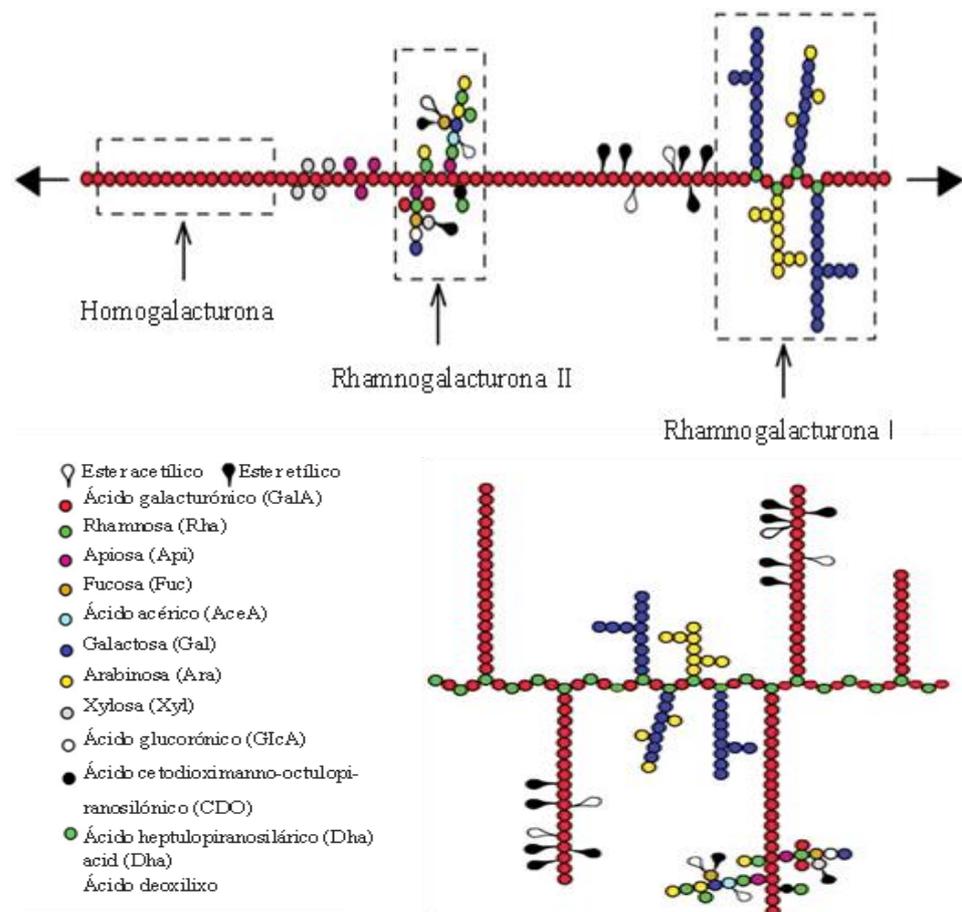
Tiene forma cilíndrica, con una corteza escamosa de color marrón, una corona de hojas espinosas y una pulpa amarilla, la pulpa es muy aromática y de sabor dulce, mide unos 30 centímetros y tiene un diámetro de 15. (deperu, 2023)

2.2.4. Pectina

Es un carbohidrato complejo, contiene al menos 65 % de unidades de ácido galacturónico, $C_6H_{10}O_7$. Sus cadenas están formadas por anillos de este ácido, cuyo número varía, desde algunos centenares, hasta alrededor de 1 000, con masas moleculares de aproximadamente 50 000 a 150 000 daltons. Cada anillo de la cadena posee un grupo carboxilo (-COOH), que puede estar esterificado con metanol, produciendo ésteres metílicos (-COOCH₃), o quedar neutralizado por una base. (Franco, 2015). En la figura 2, se visualiza la estructura molecular básica de la pectina, con sus respectivos grupos funcionales.

Figura 2

Estructura molecular básica de la pectina



Fuente: Extraído de (Arroyo, 2008)

Para determinar la calidad de pectina se evalúa sus propiedades fisicoquímicas, entre ellas el contenido de metoxilos, ácido galacturónico, grado de esterificación y acidez libre.

2.2.4.1. Cantidad de metoxilo

Es un grupo funcional que consiste en un grupo metilo unido a un oxígeno, determina la facilidad de la pectina para formar geles. (Matute, 2019)

2.2.4.2. Grado de esterificación

El grado de esterificación (DE) es la relación entre los grupos de ácido galacturónico esterificado y los grupos de ácido galacturónico total presentes en la pectina (MANTILLA, 2020). Este grado determina la propiedad gelificante de la pectina y, por ende, su aplicación. (MANTILLA, 2020).

Otro factor que influye dentro del grado de esterificación es el pH de la solución ya que la extracción a pH bajos genera enlaces estables entre residuos de ácido galacturónico e incrementa la hidrólisis del azúcar de la pectina, lo que aumenta el contenido de ácido galacturónico en esta. (Zaid, 2019)

2.2.4.3. Contenido de ácido galacturónico

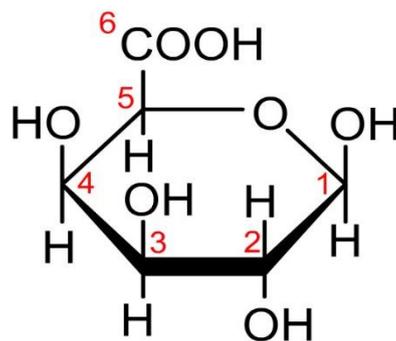
Dentro de una molécula de pectina, el ácido galacturónico es el principal componente y su análisis es indispensable para realizar análisis cualitativos (calidad), cuantitativos y estructurales de la pectina extraída. (Picot-Allain, 2020)

El contenido de ácido galacturónico (GalA) en una muestra suele ser empleado para determinar su contenido de pectina debido a que, en la estructura principal de la pectina, gran cantidad ácido urónico es ácido galacturónico y la otra parte es ácido glucurónico (Chaiwarit, 2019); es decir que la cuantificación permite estimar la pureza de la pectina extraída (Perussello, 2017)

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (1998), una pectina extraída puede ser catalogada como pectina comercial si su contenido de ácido galacturónico es mayor al 65%. En la figura 3 se muestra la estructura del ácido galacturónico de la pectina.

Figura 3

Estructura del ácido galacturónico



Fuente. Extraído de (Chemical Trading Guide , 2024)

2.2.4.4. Acidez libre

La acidez libre corresponde a la suma de los ácidos grasos no combinados, que resultan de la degradación de los triglicéridos que contienen, ya sea por acción enzimática, bacteriana o química.

Cantidad de ácidos fuertes en el agua, generalmente expresada en miliequivalentes de una base fuerte, necesarios para neutralizar una

muestra de un litro de agua, utilizando, por ejemplo, rojo de metilo como indicador. (Matute, 2019)

2.2.5. Tipos de pectina

2.2.5.1. Pectina de bajo metoxilo

Tienen un DM menor al 50%. Las pectinas LM se caracterizan por la capacidad de formar un gel solo en presencia de una sal polivalente, normalmente iones Ca^{++} , también en sistemas con valores bajísimos de sólidos solubles y un rango de pH muy amplio. (QPros, 2023)

2.2.5.2. Pectina de alto metoxilo

Tienen un DM mayor al 50%. Este tipo de pectinas pueden formar un gel en sistemas acuosos con elevado contenido de sólidos solubles y bajos valores de pH. (QPros, 2023)

2.2.5.3. Pectina de bajo metoxilo amidas

Se caracteriza por tener un bajo contenido de grupos metoxilos y amidas (CONH_2), este se obtiene mediante hidrólisis ácida o enzimática. Tiene mayor capacidad de gelificación en presencia de calcio.

2.2.6. Clasificación de Pectina

Según Gamboa (2009), “las pectinas se pueden clasificar de acuerdo a las modificaciones que sufren en su cadena principal, sin embargo, el término de pectina puede aplicarse a: protopectinas, ácidos pectínicos, ácido pectínicos y pectina”.

2.2.6.1. Protopectina

Se caracterizan por ser sustancias pectínicas insolubles en agua que se encuentran en los tejidos vegetales, a partir de las cuales se forman posteriormente sustancias pectínicas solubles en el proceso de hidrólisis. (Gamboa, 2009)

2.2.6.2. Ácidos pectínicos

Son ácidos poligalacturónicos con cantidades variables de grupos metilos esterificados con los grupos carboxilo del C₆. Las sales de los ácidos pectínicos, son denominadas pectinatos, tienen la propiedad de formar geles con azúcares, ácidos y cuando los contenidos de metilo son muy bajos tienden a formar geles con sales de calcio. (Gamboa, 2009)

2.2.6.3. Ácidos pécticos

Son galacturonatos que no contienen grupos metilos, también se les denomina ácidos poligalacturónicos. A las sales que lo conforman se les llama pectatos o ácidos poligalacturonatos. (Gamboa, 2009)

2.2.6.4. Pectinas

Constituyen aquellas sustancias pécticas de composición variable, cuyo componente principal son los ácidos pectínicos solubles en agua, de contenido de metoxilo y grado de neutralización variables. Poseen la capacidad de formar geles con azúcares y ácidos en condiciones adecuadas. Generalmente, presentan entre 60 a 70% de sus grupos carboxilos esterificados con metanol. (Gamboa, 2009)

2.2.7. Propiedades de las pectinas

2.2.7.1. Masa molecular

Su peso molecular oscila entre 2.600 y 1.125.000 g/mol, dependiendo de la fuente de los compuestos de pectina encontrados. (Chumbes M. , 2020)

2.2.7.2. Solubilidad

La pectina purificada y seca, es soluble en agua caliente (70 – 80 °C) hasta 2 a 3 % formando grumos viscosos por fuera y secos por dentro. (Escobedo, 2013)

2.2.7.3. Viscosidad

Las soluciones de pectina pueden tener valores de viscosidad altos y bajos, según la calidad y materia prima utilizada en la extracción. (Escobedo, 2013)

2.2.8. Métodos de extracción de la pectina

Existen diversos métodos de extracción, en la cual se puede visualizar en la tabla 5, desde antiguas hasta modernas.

En la extracción ácida la pectina se extrae haciendo uso de unas disoluciones ácidas fuertes, como el HCl, H₂SO₄ o ácidos orgánicos con un pH entre 1-3, a una temperatura entre 80-100 °C y agitación con un tiempo medio de 3 horas. El ácido cumple la función de hidrolizar las redes de la pared celular, liberando así la pectina. La alta temperatura promueve la liberación de pectina. Dependiendo de la materia prima utilizada, la tasa de extracción de pectina variará, ya que la tasa de extracción de pectina en cáscaras de cítricos (naranjas o

limones) oscila entre 11,1% y 21,3%. En pieles de manzana, este rendimiento es de alrededor del 16,6%. (Carrión, 2021)

Tabla 5

Métodos de extracción de pectina

| | |
|------------------------------|--|
| Métodos de extracción | Extracción Alcalina |
| | Extracción enzimática |
| | Extracción asistida por microondas (EAM) |
| | Extracción ácida |
| | Extracción con agua subcrítica |
| | Extracción asistida por ultrasonido |

2.2.9. Arsénico

El arsénico es un elemento natural que se encuentra en la corteza terrestre; el aire, el agua y la tierra; es muy tóxico en su forma inorgánica.

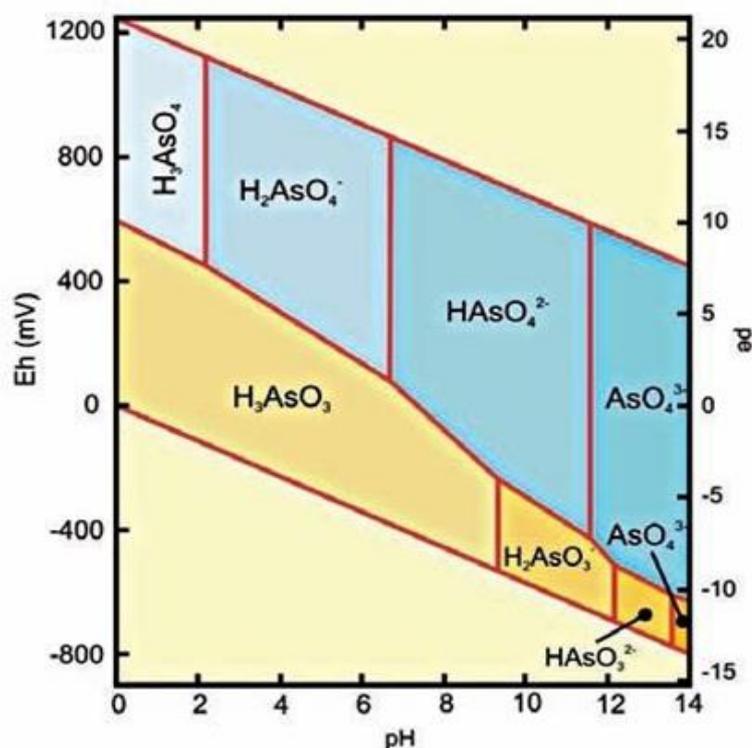
La toxicidad del arsénico (As) está fuertemente ligada a sus estados de oxidación, considerada como la más tóxica el arsenito (As^{3+}), seguido del Arseniato (As^{5+}) en su forma inorgánica. El arsenito se presenta como H_3AsO_3 y sus correspondientes derivados (H_4AsO_3^+ , H_2AsO_3^- , HAsO_3^{2-} , AsO_3^{3-}), y el arseniato se presenta como H_3AsO_4 y sus productos iónicos correspondientes ($\text{H}_2\text{AsO}_4^{2-}$, HAsO_4^{2-} , AsO_4^{3-}).

La forma orgánica de arsénico se produce principalmente como resultado de la actividad biológica en aguas superficiales o en aguas muy afectadas por la contaminación industrial, pero es insignificante. La especiación de As en sistemas acuáticos está controlada por el potencial redox (Eh) y el pH. (Escalera, 2017)

La figura 4 muestra un diagrama Eh-pH de especiación de arsénico (As) en sistemas acuáticos.

Figura 4

Gráfica de especiación de arsénico



Fuente. Extraído de (Peregrino, 2016)

En la figura 4 se observa que en condiciones oxidadas el arseniato encontrado en la mayoría de las aguas naturales (como $H_2AsO_4^-$ a pH < 6,8 y $HAsO_4^{2-}$ a pH > 6,8) es dominante. Y en condiciones reductoras el arsenito es la especie predominante, siendo la forma principal la especie neutra H_3AsO_3 a pH < 9,2. (Escalera, 2017)

Según la figura 4, se observa que el arsenito se encuentra disuelto a partir de un pH de 12 a 14; y esto hace posible que se pueda realizar el proceso de remoción.

2.2.9.1. Efectos en la salud

El arsénico inorgánico es un carcinógeno confirmado y es el contaminante químico más importante del agua de bebida en el mundo.

El arsénico también puede presentarse en forma orgánica. Los compuestos de arsénico inorgánico (como los que se encuentran en el agua) son extremadamente tóxicos, en tanto que los compuestos de arsénico orgánico (como los que se encuentran en el marisco) son menos perjudiciales para la salud. (Arsénico, 2022)

2.2.9.2. Efectos agudos

Los síntomas inmediatos de intoxicación aguda por arsénico incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. Estos van seguidos de entumecimiento y hormigueo en las extremidades, calambres musculares y, en casos extremos, la muerte. (Arsénico, 2022)

2.2.9.3. Efectos a largo plazo

Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). (Arsénico, 2022)

El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; también ha declarado cancerígeno el arsénico presente en el agua de bebida. (Arsénico, 2022)

Entre los demás efectos perjudiciales para la salud que se pueden asociar a la ingesta prolongada de arsénico cabe señalar problemas relacionados con el desarrollo, diabetes y enfermedades pulmonares y cardiovasculares. (Arsénico, 2022)

2.2.10. Límites máximos permisibles del arsénico

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud el valor límite máximo de arsénico en el agua es de 0.01 miligramos por litro.

Tabla 6

LMP de arsénico (As)

| Parámetros inorgánicos | Unidad de medida | Límite máximo permisible |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Arsénico (As) | mg As L-1 | 0.01 |

Fuente. Extraído de (Ministerio de Salud, 2011)

2.2.11. Remoción de metales pesados

La remoción o eliminación de contaminantes es un proceso de tratamiento que pasa el agua para eliminar cualquier tipo de sustancias contaminantes para la salud y el medio ambiente. El recurso hídrico debe pasar por varias etapas para que pueda volver a ser utilizado. El proceso de remoción de contaminantes puede ser utilizado en aguas residuales tanto industriales como domésticas; esto se refiere a que lo pueden utilizar desarrollos residenciales, edificios, supermercados, centros comerciales, fábricas, oficinas, etc. (CBR, 2020)

Existe varias técnicas de tratamiento para remoción de metales pesados (como el As) en aguas residuales, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7*Técnicas de tratamiento para remoción de metales pesados*

| | |
|--------------------------------|--|
| Técnicas convencionales | Filtración por membrana |
| | Intercambio iónico |
| | Adsorción (convencional) |
| | Precipitación química |
| | Electrocoagulación |
| | Coagulación - Floculación |
| | Electrofloculación |
| | Flotación |
| | Fotocatálisis en la degradación de metales pesados |

La técnica de adsorción es una técnica simple, sostenible, rentable y respetuosa con el medio ambiente para el tratamiento de aguas contaminadas en comparación con las demás tecnologías existentes. (Villasante, 2023)

La adsorción es un fenómeno superficial en el que un soluto o adsorbato (átomos, iones o moléculas) se transferido a un material sólido poroso (adsorbente), que lo separa de la fase líquida en la que se encontraba originalmente. La mayoría de los adsorbentes son materiales muy porosos y el proceso se produce principalmente en puntos específicos de las paredes de los poros. Los factores que afectan en la adsorción son: concentración inicial de adsorbato, pH, dosis de adsorbente, tiempo de contacto y temperatura. (Villasante, 2023)

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en el laboratorio de tecnologías (IQ-213) de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, y con otros laboratorios externos para análisis terciarios.

La investigación fue de tipo aplicado, enfoque cuantitativo, alcance explicativo y diseño experimental.

3.1.MUESTRA

La muestra para el estudio experimental estuvo constituida por residuos de la cáscara de piña de distintas variedades.

3.2.MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS

Los materiales, equipos e instrumentos que se utilizaron en la investigación se mencionan y clasifican de la siguiente manera:

3.2.1. Materiales

- Bureta
- Fiola
- Pipetas volumétricas
- Baguetas de vidrio
- Gotero
- Probeta
- Vasos de precipitados
- Colador
- Pizzetas
- Soporte universal
- Cuchillos
- Bandejas

- Pinzas
- Papel filtro Whatman
- Lienzo de tela

3.2.2. Instrumentos

- Cronómetro
- Termómetro
- Refractómetro
- Papel tornasol (para medir el pH)

3.2.3. Reactivos

- Agua destilada
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4)
- Alcohol etílico al 96%
- Solución de NaOH 0.1 M
- Arsenito de sodio (NaAsO_2)

3.2.4. Equipos

- Cocina eléctrica
- Agitador magnético
- Equipo de titulación
- Estufa

3.3.MÉTODOS

3.3.1. Muestreo

Las muestras fueron recogidas de los establecimientos donde expenden jugos de frutas del mercado modelo de Ttio en Wánchaq de la ciudad del Cusco, y fueron reservadas en bolsas de polietileno, donde se tomó las medidas de sanidad necesaria,

usando guantes y barbijos, para evitar la mezcla con otros residuos orgánicos. Asimismo, la cantidad de muestra recolectada fue de 10 kilogramos, que fueron transportados al laboratorio de investigación. En la figura 5 se visualiza el almacenamiento de las muestras recolectadas.

Figura 5

Preservación de las muestras recolectadas (cáscara de piña)



3.3.2. Preparación de la muestra

La muestra fue sometida a los siguientes procesos.

a. Selección y limpieza

Las muestras se seleccionaron de acuerdo a su grado de madurez y se limpiaron retirando las pulpas, deterioros u otros residuos que estuvieron en contacto con la muestra. (ver figura 6)

Figura 6

Selección y limpieza de la cáscara de piña



b. Lavado y desinfección

Primeramente, las muestras seleccionadas se lavaron con agua potable y se frotaron entre ellas para eliminar las impurezas adheridas a ellas. Posteriormente, se volvieron a lavar las muestras con agua destilada.

c. Cortado

La muestra se cortó en trozos pequeños manualmente, de aproximadamente 2 cm reduciendo su tamaño, para facilitar los siguientes procesos.

d. Escaldado

Se inactiva las enzimas pectinesterasas presentes en la muestra a temperaturas entre 70 y 80 °C, para evitar la oxidación de la muestra y así la degradación de la pectina. Según (Arroyo, 2008), se hidrolizarán los grupos ésteres metílicos para formar metano y pectinas de menor metoxilo.

e. Escurrido

Se eliminó la mayor parte del agua a través de un lienzo de tela y se lavaron los sólidos varias veces con agua destilada, donde se obtuvo una concentración de sólidos solubles de 5°Brix, según (Sosa Ingredients, s. f) un exceso de sólidos solubles o grados brix hace que la fuerza del gel disminuya.

f. Refinado

Se refinó la muestra para facilitar el proceso de secado, cortando la cáscara de piña en láminas delgadas y finas menores a 1 cm.

g. Secado

Las muestras se secaron a una temperatura de 55°C en el rango de 4 a 6 horas, hasta tener un contenido de humedad de aproximadamente de 6% que sería la humedad apropiada. Según la investigación de Cedeño, J & y Zambrano, J

(2014), nos que la humedad de cáscara de piña y bagazo debe estar no menor a 5%, para evitar perder sus propiedades y el desarrollo de microorganismos al ser almacenados. (ver figura 7)

Figura 7

Secado de la cáscara de piña



h. Molienda

Se trituró la cáscara de piña seca en polvo con un molino manual, para sus posteriores usos. (ver figura 8)

Figura 8

Cáscara de piña molida



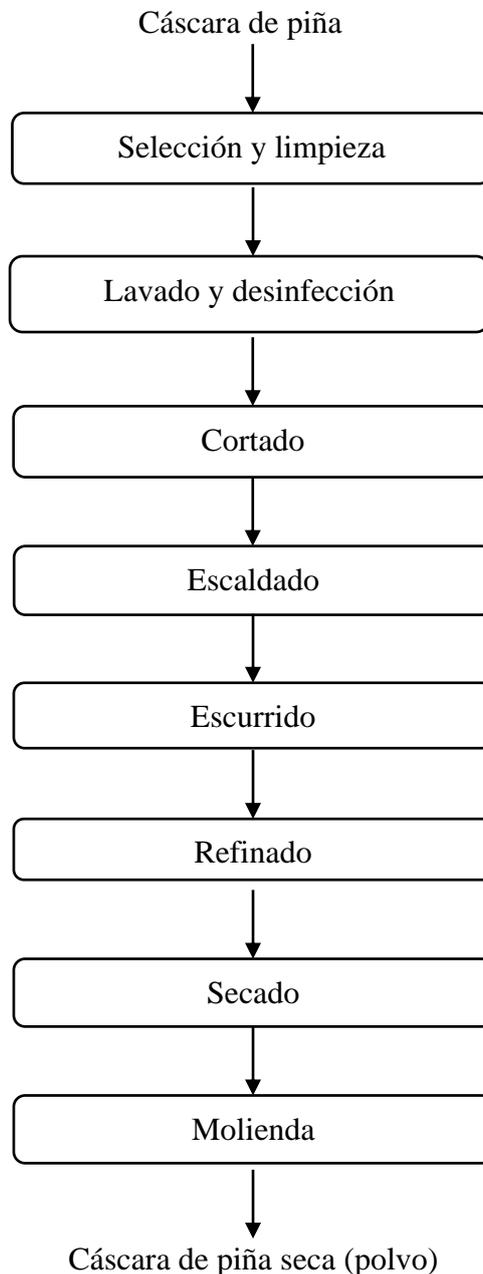
i. Almacenamiento

Se almacenó en envases de vidrio térmicos, para mejores condiciones de la muestra final.

En la figura 9 mediante un diagrama de flujo se representa las etapas de preparación de la muestra (cáscara de piña), para posteriormente realizar el proceso de extracción de pectina.

Figura 9

Etapas del proceso de preparación de la cáscara de piña (Ananas Comosus)



3.3.3. Caracterización de las muestras

La muestra (cáscara de piña) fue caracterizada, considerando los parámetros de porcentaje de humedad, grasa, proteína, carbohidratos, ceniza y energía total. En la tabla 8 se visualiza los métodos aplicados para determinar dichos parámetros.

Tabla 8

Métodos de caracterización para la muestra (cáscara de piña)

| Parámetros | Método |
|-------------------------|--|
| Humedad (%) | FAO Food and Nutrition Paper Vol 14/7 Página. 212-1986 |
| Cenizas (%) | FAO Food and Nutrition Paper Vol 14/7 Página. 205-1986 |
| Proteínas (%) | FAO Food and Nutrition Paper Vol 14/7 Página. 221-223-1986 |
| Carbohidratos (%) | Cálculo |
| Fibra (%) | FAO Food and Nutrition Paper Vol 14/7 Página. 228-1986 |
| Grasa (%) | Cálculo |
| Metoxilos (%p/p) | Volumetría de neutralización |
| Energía total (Kcal/kg) | Cálculo |

Fuente. Realizado a partir del apéndice 2

Estos análisis fueron realizados en el laboratorio SLAB PERÚ Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (ver apéndice 2)

3.3.4. Extracción de la pectina

La pectina se extrajo mediante el método de hidrólisis ácida, y se detallan los siguientes pasos para la extracción:

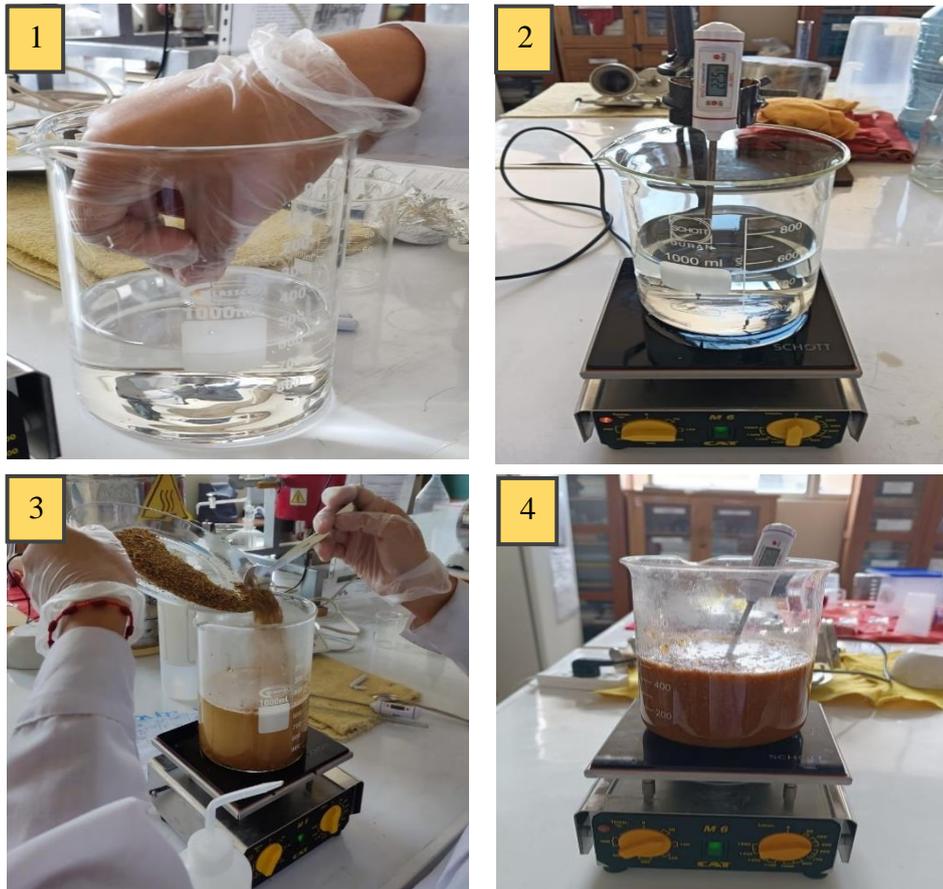
a. Hidrólisis ácida

Se inicio preparando 500 ml de agua acidulada en 6 vasos de precipitación, utilizando ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 0.1 N, hasta obtener el pH requerido de 1, 2 y 3. El agua acidulada se calentó hasta obtener el valor requerido de 50°C, 60°C y 70

°C, al mismo tiempo se agregó la muestra y se agitó constantemente con un agitador magnético para que no se deposite en el fondo del vaso, y el tiempo de hidrólisis fue de 90 min. (ver figura 10)

Figura 10

Hidrólisis ácida con agitación constante



b. Filtración

Para poder separar el sólido del líquido que contiene pectina, se realizó una filtración a través de un lienzo de tela.

c. Enfriamiento

El líquido filtrado fue llevado a un baño isotérmico para alcanzar una temperatura menor a los 20 °C, y evitar la degradación térmica de la pectina. (ver figura 11)

Figura 11

Enfriamiento de líquido filtrado de la hidrólisis ácida



d. Coagulación de la pectina:

Se agregó etanol al 96% al líquido filtrado y enfriado de la hidrólisis, agitándolo constantemente. La cantidad de etanol fue el 80% del líquido filtrado de cada ensayo. (ver figura 12)

Figura 12

Coagulación de pectina con etanol al 96%



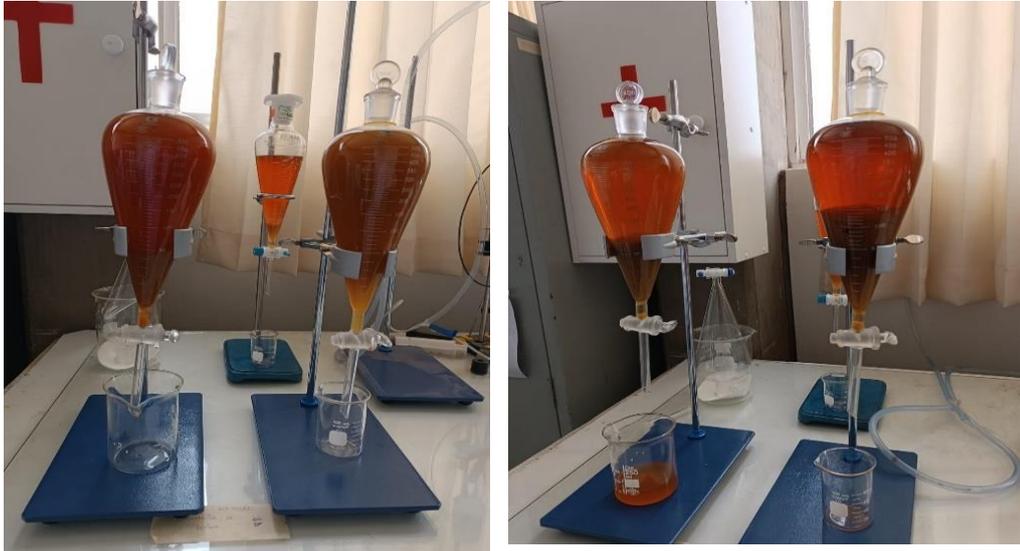
e. Decantación

La pectina se separó del etanol mediante una pera de decantación por 24 horas, que permitió separar el etanol y la pectina por gravedad, formando dos fases.

Posteriormente se extrajo la pectina precipitada de la pera de decantación. (ver figura 13)

Figura 13

Proceso de decantación



f. Secado:

Se distribuyó la pectina en placas petri y se secó a 60 °C durante 5 horas en la estufa. Posteriormente se dejó enfriar, y se registró el peso en balanza analítica. (ver figura 14)

Figura 14

Proceso de secado a 60 °C de pectina extraída



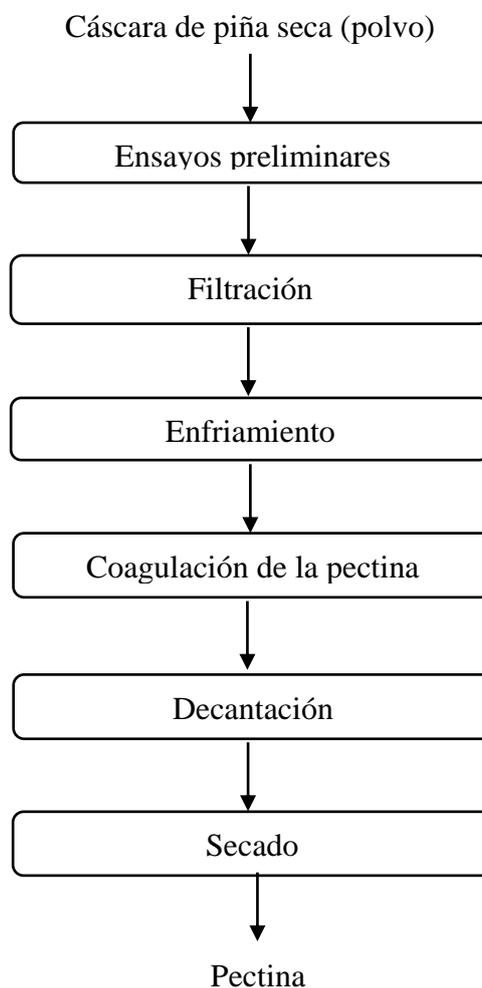
g. Almacenamiento

La pectina seca obtenida se almacenó en un ambiente seco, para su siguiente uso.

En la figura 15 se muestra las etapas del procedimiento de extracción de pectina a partir de la preparación de muestra previamente mediante un diagrama de flujo.

Figura 15

Etapas del proceso de obtención de pectina a partir de la cáscara de piña (Ananas Comosus)



El rendimiento del proceso se calculó utilizando la ecuación 1:

$$\eta = \frac{\text{Cantidad de cáscara de piña}}{\text{Cantidad de pectina extraída}} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

El diseño de investigación desarrollado comprendió un diseño factorial, de dos factores a dos niveles cada uno, esto es, un diseño factorial completo $2^k = 2^2$, y con adición de dos puntos centrales.

VARIABLES INDEPENDIENTES

- Temperatura (°C)
- pH

VARIABLES DEPENDIENTES

- Cantidad de pectina extraída (g)
- Calidad de pectina (contenido de metoxilos (%p/p), ácido galacturónico (%p/p), grado de esterificación (%) y acidez libre (meq/g))

PARÁMETROS

- Temperatura ambiente
- Volumen de 500 ml de agua acidulada
- Cantidad de muestra (cáscara de piña) de 50 g

La matriz de operacionalización se muestra en el apéndice 1. En la tabla 9 se muestra los niveles y factores:

Tabla 9

Factores y niveles

| Factores | Niveles | | |
|-------------------------|---------|-------|------|
| | Bajo | Medio | Alto |
| | -1 | 0 | 1 |
| pH (numero) | 1 | 2 | 3 |
| Temperatura (°C) | 50 | 60 | 70 |

El plan experimental se muestra en la tabla 10.

Tabla 10*Plan experimental*

| N° de Ensayos | Variables independientes | | Variables dependientes | | | | |
|------------------|-----------------------------|----|----------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| | X1 | X2 | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 |
| | Temperatura (°C) | pH | Cantidad de pectina (g) | Metoxilos (%p/p) | Ácido galacturónico (%p/p) | Grado de esterificación (%) | Acidez libre (meq/g) |
| 1 | 70 | 1 | | | | | |
| 2 | 70 | 3 | | | | | |
| 3 | 60 | 2 | | | | | |
| 4 | 50 | 3 | | | | | |
| 5 | 50 | 1 | | | | | |
| 6 | 60 | 2 | | | | | |

Los resultados fueron evaluados estadísticamente con el software STATGRAPHICS que permitió determinar el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes, así como a través del análisis de varianza se caracterizaron a las variables más significativas estableciéndose el modelo matemático que representa a los experimentos desarrollados.

3.3.5. Parámetros del proceso

Los parámetros de temperatura y pH del proceso de extracción y caracterización de pectina fueron determinados en base a los resultados obtenidos de aquellos que lograron la mayor pureza de pectina.

3.3.6. Caracterización de la pectina (pura)

La pectina obtenida de mayor rendimiento fue caracterizada a través de espectro IR por transformada de Fourier; donde se determinaron sus grupos funcionales característicos.

3.3.7. Remoción de arsénico III

La pectina obtenida de mayor pureza se aplicó en la remoción de arsénico (III) para comprobar la eficiencia como adsorbente de este metal en aguas contaminadas.

a. Preparación de agua acidulada

A partir del arsenito de sodio (NaAsO_2) se preparó una solución madre con concentración de 500 ppm de arsénico (III). Luego se preparó disoluciones de 500 ml con 2.44 ppm de arsénico (III). Según el Ministerio de Salud (2011), el LMP de arsénico en el agua es de 0.01 ppm. (ver figura 16)

Figura 16

Preparación de agua acidulada con arsenito de sodio



b. Prueba de remoción

Las pruebas de remoción de arsénico (III) fueron desarrolladas con el equipo de prueba de jarras manteniendo una velocidad de agitación constante de 250 rpm durante 40 min. (ver figuras 17 y 18)

Figura 17

Solución de arsénico (III) con el bioadsorbente (pectina)



Figura 18

Remoción de arsénico (III) mediante prueba de jarras con bioadsorbente extraído (pectina)



Finalizando el tiempo de pruebas, se filtraron las soluciones y posteriormente fueron remitidas al laboratorio HidroLab S.A.C. para su respectivo análisis de concentración de arsénico III. (ver figura 19)

Figura 19

Filtración de las muestras de remoción



c. Determinación de la capacidad de remoción de arsénico III y porcentaje de remoción

La capacidad de remoción se calculó con la ecuación (2).

$$C_q = \frac{v}{m} (C_i - C_f) \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

C_q : capacidad de remoción $\left(\frac{mg}{g}\right)$

C_i, C_f : concentración inicial y final de arsénico III en solución $\left(\frac{mg}{L}\right)$

m : masa de pectina usada (g)

v : volumen de solución (L)

El porcentaje de remoción se calculó con la ecuación (3).

$$\%R = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100\% \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

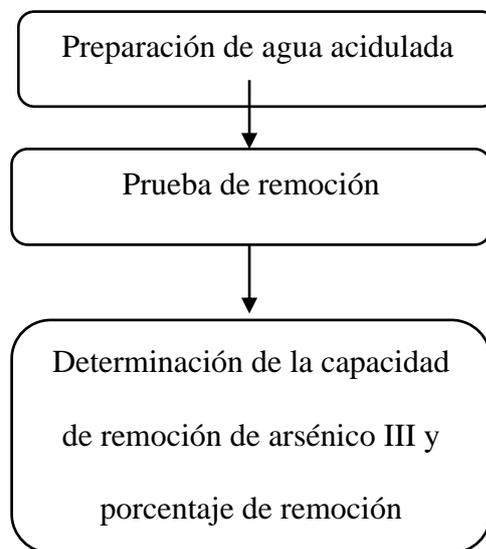
$\%R$: porcentaje de remoción (%)

C_i, C_f : concentración inicial y final de arsénico III en la solución ($\frac{mg}{L}$)

En la figura 20 mediante un diagrama de flujo se representa las etapas del proceso de remoción de arsénico III con el bioadsorbente (pectina extraída).

Figura 20

Etapas del proceso de adsorción



CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la cáscara de piña

La tabla 11 resume los resultados de la caracterización de la cáscara de piña (seca) mediante un análisis proximal.

Tabla 11

Análisis proximal de la cáscara de piña seca

| Parámetros | Unidad | Promedio |
|---------------|---------|----------|
| Humedad | % | 6.32 |
| Cenizas | % | 4.83 |
| Proteínas | % | 4.88 |
| Carbohidratos | % | 49.85 |
| Fibra | % | 19.6 |
| Grasa | % | 4.88 |
| Metoxilos | % p/p | 9.82 |
| Energía total | Kcal/kg | 4699.09 |

Fuente. Realizado a partir del apéndice 2

La cáscara de piña está conformada por mayor cantidad de carbohidratos con 49.85 %, indicando mayor cantidad de pectina, y dentro de ello se encuentra el ácido galacturónico.

Asimismo, la cáscara de piña contiene alto contenido de fibra con 19.6 % que es una fibra soluble que forma geles, el cual es un indicador visual de pectina; y es rica en metoxilos (9.82 %) que se encuentran en forma de metil ésteres. Por otro lado, puede existir una variación de metoxilos dependiendo la variedad de la piña y el clima en el que se cultivan.

4.2. Extracción de la pectina

A partir de 50 g de cáscara de piña (seca y molida) se obtuvo pectina a diferentes condiciones, con diversos resultados de rendimiento y humedad por ensayo, posteriormente se detallan en las tablas.

4.2.1. Cantidad de pectina extraída a diferentes condiciones

Para la extracción de pectina la muestra (cáscara de piña) fue sometida a hidrólisis ácida en diferentes condiciones de temperatura y pH en seis ensayos, como se observa en la tabla 12.

Tabla 12

Pectina extraída a diferentes condiciones

| Ensayo | Temperatura (°C) | pH | Pectina extraída seca (g) |
|---------------|-------------------------|-----------|----------------------------------|
| 1 | 70 | 1 | 2.00 |
| 2 | 70 | 3 | 7.01 |
| 3 | 60 | 2 | 5.17 |
| 4 | 50 | 3 | 2.90 |
| 5 | 50 | 1 | 1.54 |
| 6 | 60 | 2 | 5.30 |

- En el primer ensayo la pectina fue extraída a 70°C y pH 1, obteniendo 2.00 g de pectina, siendo uno de los ensayos con la más baja cantidad de pectina extraída. Asimismo, se observó una coloración oscura del producto final, ya que podría haber degradación térmica de la pectina a causa de pH bajo y temperatura alta.
- En el segundo ensayo la pectina fue extraída a 70°C y pH 3, obteniendo la mayor cantidad de pectina con 7.01 g, es decir, los parámetros fueron óptimos en el proceso de extracción. En la investigación de Avila, E (2019), reportó la mayor cantidad de pectina extraída con 10.408 g, a partir de 900 g de muestra (cáscara de piña). Esta diferencia se debe a la cantidad de muestra (cáscara de piña) y dosificación del ácido utilizado para la hidrólisis en ambas investigaciones, ya que en el presente estudio se utilizó ácido sulfúrico (0.1 N) y en el otro ácido clorhídrico, siendo uno más fuerte que

el otro. Asimismo, otra diferencia se evidencia en que no hubo variación de pH en la investigación de Avila, E (2019).

- En el tercer ensayo la pectina fue extraída a 60°C y pH 2, obteniendo 5.17 g de pectina, considerando que la temperatura y pH son menores que en el primer ensayo.
- En el cuarto ensayo la pectina fue extraída a 50°C y pH 3, obteniendo 2.90 g de pectina.
- En el quinto ensayo la pectina fue extraída a 50°C y pH 1, obteniendo 1.54 g de pectina, siendo el ensayo con el resultado más bajo, a raíz de la temperatura y pH bajo.
- En el sexto ensayo la pectina fue extraída a 60°C y pH 2, obteniendo 5.30 g de pectina, asemejándose al resultado del tercer ensayo, ya que son puntos medios del diseño factorial de la investigación.

Según los resultados obtenidos se deduce que, para el proceso de extracción con mayor cantidad de pectina, el rango de pH es de (2 – 3) a temperaturas entre (60 – 70) °C, para evitar la degradación de la pectina. No se podría decir que a mayor pH y temperatura se obtiene mayor cantidad de pectina, ya que Coral, V. & Marín, F. (2022) en su investigación reportaron que a 90°C y pH 5 obtuvieron 4.69 g de pectina (cáscara de piña), siendo casi la misma cantidad obtenida del tercer ensayo del presente estudio.

A) Rendimiento

En la tabla 13 se muestra los rendimientos de las pectinas extraídas, calculados a partir de la ecuación 1, para un tiempo constante de hidrólisis ácida de 90 minutos.

Tabla 13

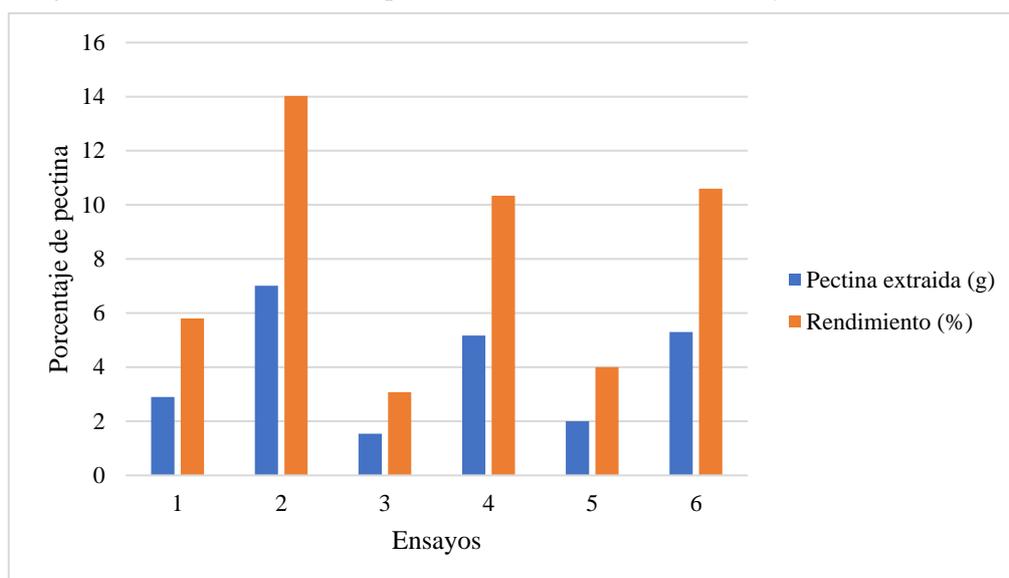
Porcentajes de rendimiento de extracción de pectina

| Ensayo | Temperatura (°C) | pH | Rendimiento (%) |
|--------|------------------|----|-----------------|
| 1 | 70 | 1 | 4.00 |
| 2 | 70 | 3 | 14.01 |
| 3 | 60 | 2 | 10.34 |
| 4 | 50 | 3 | 5.80 |
| 5 | 50 | 1 | 3.08 |
| 6 | 60 | 2 | 10.60 |

En la figura 21, se relacionó la cantidad de pectina extraída con el rendimiento.

Figura 21

Grafica de rendimiento de la pectina extraída de cada ensayo



Se observa que en el segundo ensayo muestra el mayor rendimiento de extracción de pectina con 14.01%, considerando que el pH se encuentra en el rango optimo, y la temperatura menor a 80 °C. El mayor rendimiento observado a pH 3 puede atribuirse al menor grado de desintegración de la pectina, ya que a pH's bajos pueden causar la depolimerización.

Avila, E (2019) en su investigación, obtiene 1.15% de rendimiento de pectina de cáscara de piña, considerando que fue el mayor rendimiento de su investigación. El bajo rendimiento se debe a la influencia del pH de estudio.

B) Contenido de humedad

En la tabla 14 se muestra el contenido de humedad de la pectina antes y después del proceso de secado, promediando para una humedad apropiada.

Tabla 14

Contenido de humedad de la pectina extraída

| Ensayo | Parámetros de extracción | Pectina húmeda (%) | Pectina seca (%) |
|---------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | T = 70°C pH = 1.0 | 64.00 | 6.50 |
| 2 | T = 70°C pH = 3.0 | 67.45 | 6.84 |
| 3 | T = 60°C pH = 2.0 | 65.33 | 6.01 |
| 4 | T = 50°C pH = 3.0 | 60.15 | 6.55 |
| 5 | T = 50°C pH = 1.0 | 68.47 | 6.00 |
| 6 | T = 60°C pH = 2.0 | 62.98 | 6.15 |

Para el contenido de humedad el tiempo de secado fue de 5 horas a 50°C, manteniendo constante las condiciones en cada ensayo, el mayor contenido de humedad fue del segundo ensayo. La humedad óptima de la pectina es de 6%, según Zegada, V. (2015), esto debido a que no se desarrollen microorganismos y tenga un almacenamiento de duración, por tanto, las pectinas extraídas son óptimas, ya que se encuentran cercanas al valor de 6.00 %.

4.3. Calidad de pectina extraída a diferentes condiciones

La pectina obtenida fue caracterizada en cuanto a contenido de metoxilos, ácido galacturónico, grado de esterificación y acidez libre, dando los siguientes resultados.

4.3.1. Contenido de metoxilos

En la tabla 15 se muestran los resultados del análisis de contenido de metoxilos por cada ensayo.

Tabla 15

Contenido de metoxilos de la pectina extraída

| Ensayo | Contenido de metoxilos (%p/p) |
|---------------|--------------------------------------|
| 1 | 4.97 |
| 2 | 7.76 |
| 3 | 4.97 |
| 4 | 3.41 |
| 5 | 4.66 |
| 6 | 5.59 |

El segundo ensayo mostró 7.76 %p/p del contenido de metoxilos, lo que indica que la pectina extraída es clasificada como de alto metoxilo, con la capacidad de formar geles fuertes en presencia de azúcar y ácido; considerando que Matute, T. (2019) en su investigación indica que la clasificación de bajo metoxilo es menor al 7.00 %p/p.

Por otro lado, los ensayos restantes mostraron resultados desde 3.41 %p/p hasta 5.59 %p/p de contenido de metoxilos, siendo de bajo metoxilo, esto se debe al tipo de ácido que se usó para la hidrólisis, ya que un ácido fuerte afecta la calidad de la pectina descomponiendo su estructura y así disminuyendo el contenido de metoxilos. (Martinez, 2016)

Ocas (2020) en su investigación considera como variable el tiempo, para extraer pectina de alto metoxilo. Sin embargo, el estudio realizado no considera variable el tiempo, ya que la pectina extraída (alto metoxilo) es el mismo en el intervalo de tiempo de 60 a 90 min, por tanto, el tiempo es constante.

4.3.2. Contenido de ácido galacturónico

En la tabla 16 se muestra los resultados del contenido de ácido galacturónico.

Tabla 16

Contenido de ácido galacturónico de la pectina extraída

| Ensayo | Contenido de ácido galacturónico (%p/p) |
|---------------|--|
| 1 | 31.06 |
| 2 | 48.54 |
| 3 | 31.06 |
| 4 | 21.36 |
| 5 | 29.12 |
| 6 | 34.95 |

De los resultados obtenidos, el segundo ensayo resultó con mayor contenido de ácido galacturónico de 48.54 %p/p, determinando la calidad de la pectina, es decir, entre mayor es el porcentaje mayor será la pureza. El límite establecido es entre 50.00 %p/p a 64.00 %p/p, por tanto, es posible que la pectina obtenida contenga impurezas como galactanos, xilanos, hemicelulosas u otras sustancias que son susceptibles a la precipitación alcohólica. (Zegada, 2015)

Asimismo, la presencia de las impurezas en la pectina que no se solubilizaron en el proceso de separación de la pectina en la solución péctica, se visualiza mediante coloración café oscura (Jiménez, 2017), requiriendo realizar

procesos de purificación, implementando lavados con etanol, debido a que la pectina no es soluble en esta sustancia, mientras que estos metabolitos, se pueden extraer con agua o combinaciones con alcohol o por centrifugación. (Jiménez, 2017)

4.3.3. Grado de esterificación

La tabla 17 muestra los resultados del grado de esterificación, que se realizó con la técnica de Owens, según (Rodríguez, 2023).

Tabla 17

Grado de esterificación de la pectina extraída

| Ensayo | Grado de esterificación (%) |
|---------------|------------------------------------|
| 1 | 61.56 |
| 2 | 66.45 |
| 3 | 63.64 |
| 4 | 41.82 |
| 5 | 52.54 |
| 6 | 65.01 |

El mayor grado de esterificación se observa en el segundo ensayo con 66.45 %, indicando ser pectina de alto metoxilo, es decir, más del 50% de los grupos carboxilos del ácido galacturónico se encuentran esterificado con metanol. (Ortega, 2018)

Asimismo, los otros ensayos muestran un grado de esterificación superior al 50 %, lo cual también indica una gelificación rápida a raíz de la temperatura, es decir, a mayor temperatura mayor gelatinización.

La disminución del pH de extracción produce también una disminución del porcentaje de esterificación, debido al aumento de la hidrólisis de los ésteres en los grupos carboxilos esterificados. Sin embargo, ni la temperatura ni el

tiempo de extracción tienen influencia sobre el porcentaje de esterificación.
(Cabarcas. E, 2012)

4.3.4. Acidez libre

En la tabla 18 se muestran los resultados de acidez libre de la pectina de cáscara de piña por cada ensayo.

Tabla 18

Acidez libre de la pectina extraída

| Ensayo | Acidez libre (meq/g) |
|--------|----------------------|
| 1 | 4.45 |
| 2 | 3.60 |
| 3 | 3.87 |
| 4 | 3.61 |
| 5 | 3.99 |
| 6 | 3.77 |

De los resultados obtenidos se reportan valores entre 3.60 meq/g a 4.45 meq/g de acidez libre, deduciendo que la acidez libre aumenta a medida que aumenta el pH de extracción de pectina, cuya deducción coincide con la investigación de Cabarcas et al. (2012) que reportaron valores entre 1.74 y 1.96 meq/g de acidez libre.

En la investigación de Coral, V. & Marín, F. (2022), reportaron un valor de 5.00 meq/g de acidez libre de la pectina extraída de la cáscara de piña de variedad cayena lisa, con dificultades de gelificación. Esta variación de valores se debe a la variedad del fruto y condiciones de extracción.

El contenido de acidez libre adecuada para la pectina extraída se encuentra entre 3.50 y 4.50 meq/g, midiendo los ácidos libres presentes en la estructura de la pectina, ya que de ello depende su poder gelificante.

4.4. Análisis estadístico

4.4.1. De la cantidad de pectina

El efecto de las variables independientes temperatura y pH sobre la variable dependiente P (cantidad de pectina) se muestran en la tabla 19.

Tabla 19

Efectos estimados para P

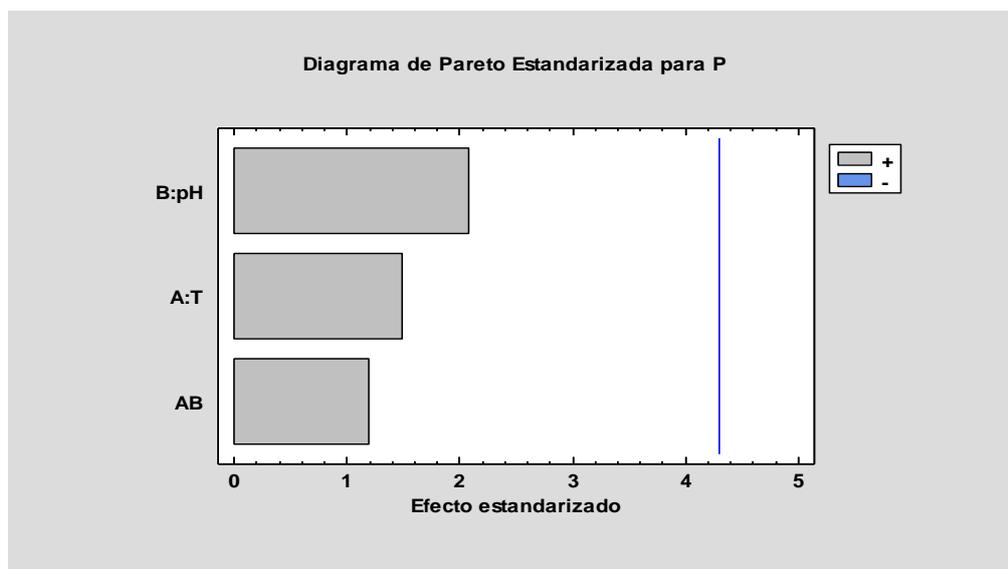
| Efecto | Estimado | Int. confianza |
|----------|----------|----------------|
| Promedio | 3.985 | +/- 2.69158 |
| A: T | 2.29 | +/- 6.593 |
| B: pH | 3.19 | +/- 6.593 |
| AB | 1.82 | +/- 6.593 |

Nota. Intervalos de confianza del 95.0 % de confianza (intervalos) basados en el error total con 2 g.l. ($t = 4.30265$)

El diagrama de Pareto permite conocer el orden de importancia de las variables del estudio (pH y temperatura) como se muestra en la figura 22.

Figura 22

Diagrama de Pareto estandarizada para P

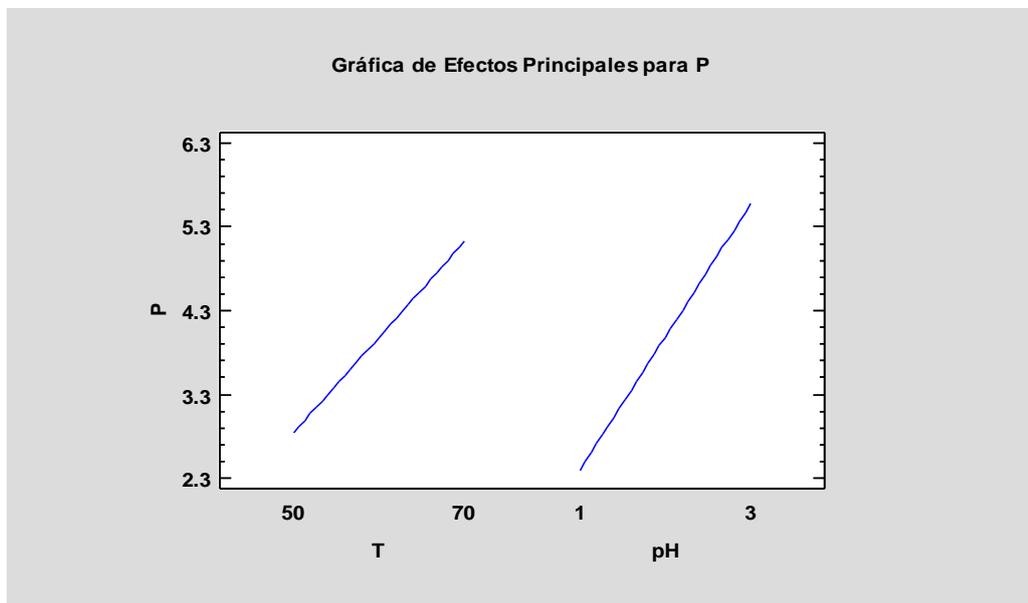


La tabla 19 y figura 22 muestran las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y sus interacciones; así como también se muestra el intervalo de confianza de cada uno de los efectos.

Se puede indicar que cuando se cambia el pH 1 a 3 se da un efecto correlativo en relación con P (cantidad de pectina extraída) en un 3.19 % en promedio, es decir que a mayor pH existe una mayor cantidad de pectina; por otro lado, cuando se varía la temperatura de 50 a 70 °C el P (cantidad de pectina extraída) se disminuye a 2.19 % en promedio, es decir a mayor temperatura existe menor cantidad de pectina; por lo tanto, la variable de mayor efecto sobre P (cantidad de pectina extraída) es el pH, seguido de la temperatura. Estas variaciones también se pueden visualizar en la figura 23.

Figura 23

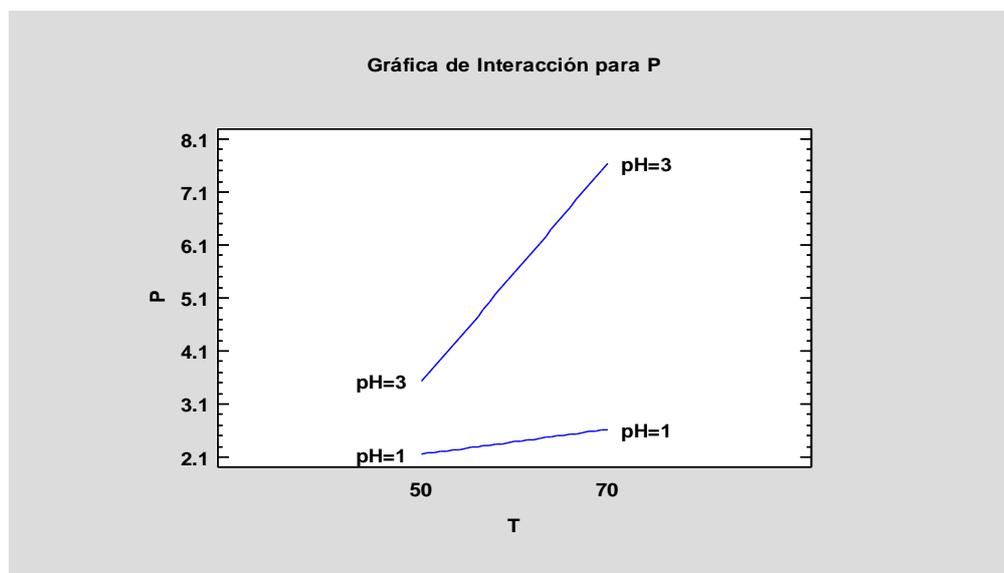
Gráfica de efectos principales para P



La figura 24 muestra la interacción de las variables independientes pH y temperatura; donde se pueden apreciar que los cambios presentan diferente pendiente de cada una de las variables y no se interceptan en el rango de estudio.

Figura 24

Gráfica de interacción para P



El análisis de varianza (ANOVA) se da en la tabla 20.

Tabla 20

Análisis de varianza para P

| Fuente | Suma de cuadrados | Gl | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| A: T | 5.2441 | 1 | 5.2441 | 2.23 | 0.2737 |
| B: pH | 10.1761 | 1 | 10.1761 | 4.33 | 0.1728 |
| AB | 3.3124 | 1 | 3.3124 | 1.41 | 0.3569 |
| Error total | 4.69595 | 2 | 2.34798 | | |
| Total (corr.) | 23.4286 | 5 | | | |

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de P en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, ningún efecto tiene un valor-P menor que 0.05,

indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. Por tanto, las dos variables de estudio (pH y temperatura) no son significativas.

4.4.2. De la calidad de pectina

Los efectos de las variables independientes (temperatura y pH) sobre las variables dependientes de calidad de pectina que son: contenido de metoxilos (%ME), ácido galacturónico (%AG), grado de esterificación (%GE) y acidez libre (AL), se muestra en las siguientes tablas y figuras.

En la tabla 21 y figura 25 se muestra los efectos de las variables independientes sobre el contenido de metoxilos (%ME).

Tabla 21

Efectos estimados para %ME

| Efecto | Estimado | Int. confianza |
|---------------|-----------------|-----------------------|
| Promedio | 5.22667 | +/- 0.556488 |
| A: T | 2.33 | +/- 1.36311 |
| B: pH | 0.77 | +/- 1.36311 |
| AB | 2.02 | +/- 1.36311 |

Nota. Intervalos de confianza del 95.0 % de confianza (intervalos) basados en el error total con 2 g.l. ($t = 4.30265$)

Los efectos de las variables independientes sobre el contenido de ácido galacturónico (%AG), se muestra en la tabla 22 y figura 25.

Tabla 22

Efectos estimados para % AG

| Efecto | Estimado | Int. confianza |
|---------------|-----------------|-----------------------|
| Promedio | 32.6817 | +/- 3.48658 |
| A: T | 14.56 | +/- 8.54035 |
| B: pH | 4.86 | +/- 8.54035 |
| AB | 12.62 | +/- 8.54035 |

Nota. Intervalos de confianza del 95.0 % de confianza (intervalos) basados en el error total con 2 g.l. ($t = 4.30265$)

Los efectos de las variables independientes sobre el grado de esterificación (%GE), se muestra en la tabla 23 y figura 25.

Tabla 23

Efectos estimados para %GE (%)

| Efecto | Estimado | Int. Confianza |
|---------------|-----------------|-----------------------|
| promedio | 58.5033 | +/- 12.582 |
| A: T | 16.825 | +/- 30.8194 |
| B: pH | -2.915 | +/- 30.8194 |
| AB | 7.805 | +/- 30.8194 |

Nota. Intervalos de confianza del 95.0 % de confianza (intervalos) basados en el error total con 2 g.l. (t = 4.30265)

Los efectos de las variables independientes sobre la acidez libre (AL) se muestra en la tabla 24 y figura 25.

Tabla 24

Efectos estimados para AL (meq/g)

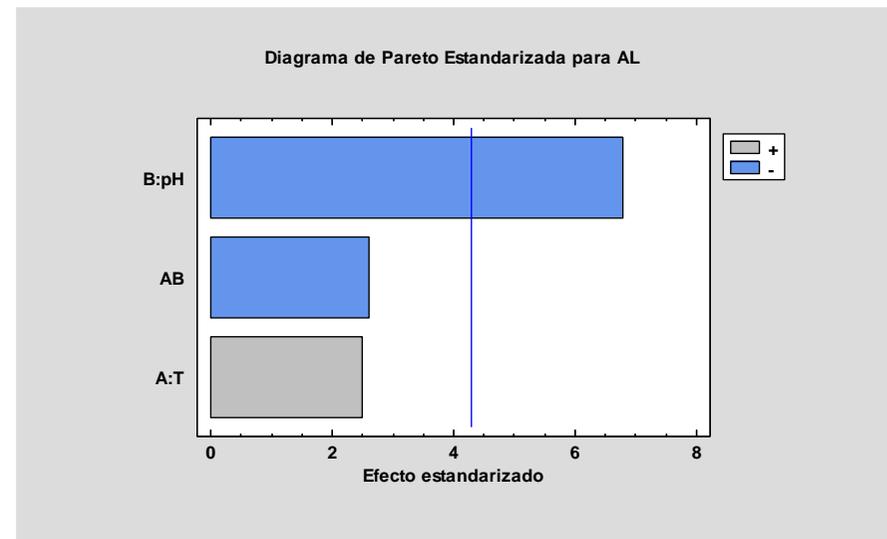
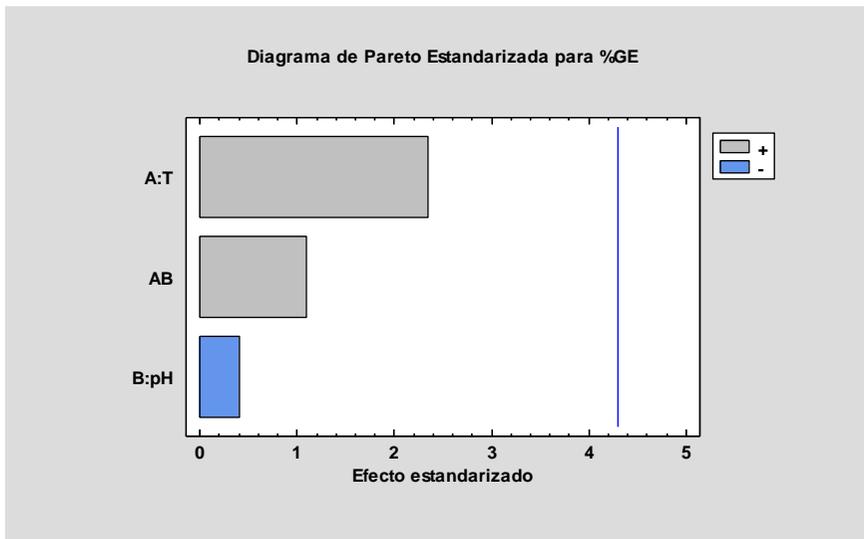
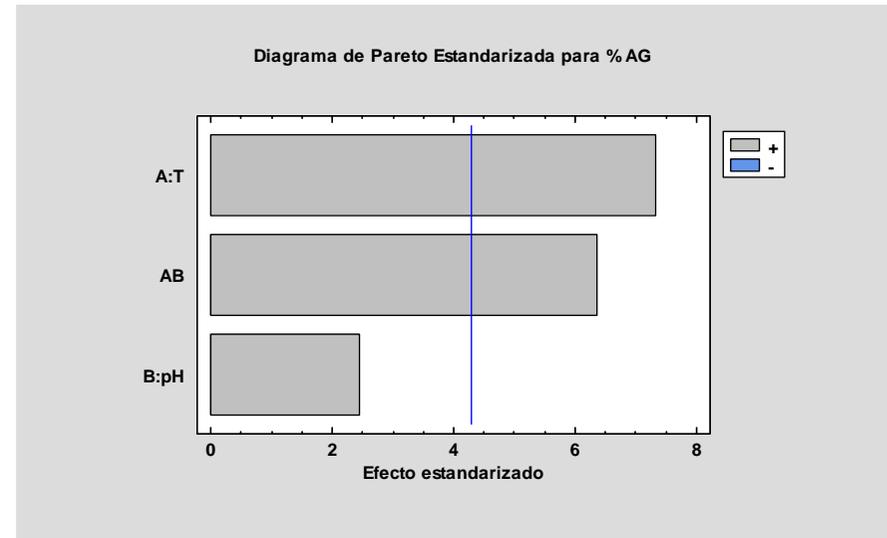
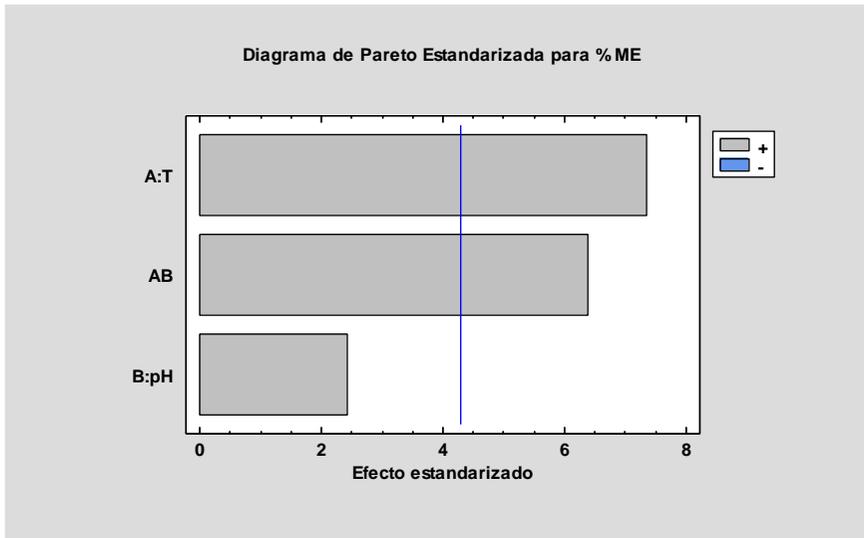
| Efecto | Estimado | Int. confianza |
|---------------|-----------------|-----------------------|
| promedio | 3.88167 | +/- 0.159103 |
| A: T | 0.225 | +/- 0.389721 |
| B: pH | -0.615 | +/- 0.389721 |
| AB | -0.235 | +/- 0.389721 |

Nota. Intervalos de confianza del 95.0 % de confianza (intervalos) basados en el error total con 2 g.l. (t = 4.30265)

Los diagramas de Pareto permitieron conocer el orden de importancia de las variables del estudio (pH y temperatura). Las tablas y figuras de efecto estimado de las variables dependientes muestran las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y sus interacciones; así como también se muestra el intervalo de confianza de cada uno de los efectos.

Figura 25

Diagrama de Pareto estandarizada para %ME, %AG, %GE y AL



Del diagrama de Pareto (ver figura 25) para el contenido de metoxilos (%ME) y ácido galacturónico (%AG) se observó un efecto directo y significativo de la temperatura, así como la interacción A*B (temperatura y pH). A diferencia del pH que no tiene un efecto significativo para el contenido de metoxilos (%ME).

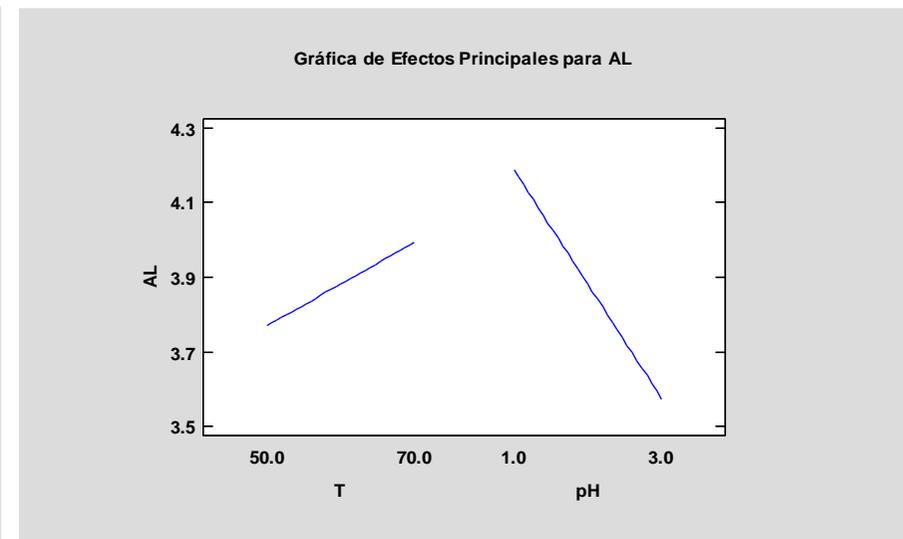
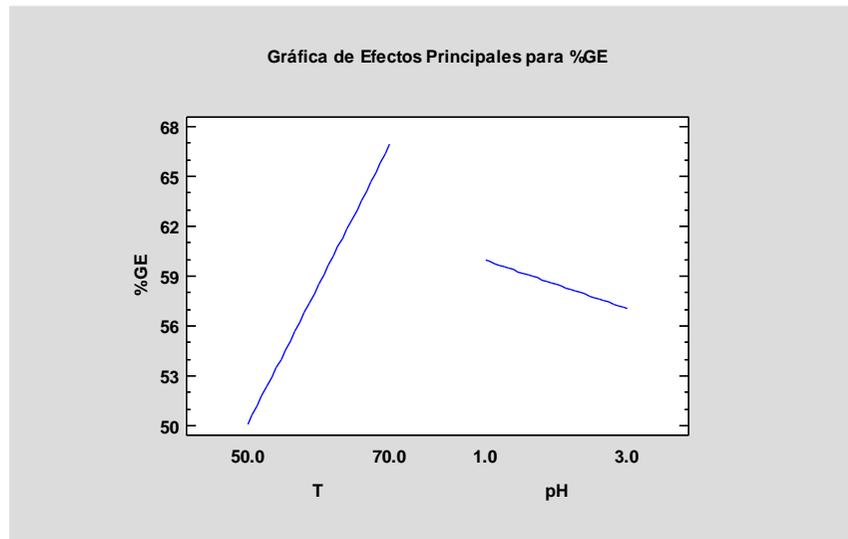
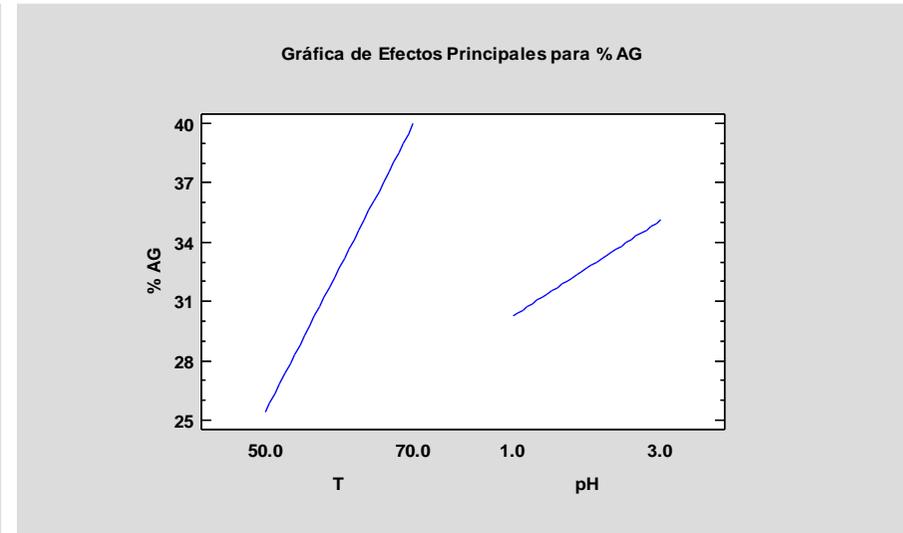
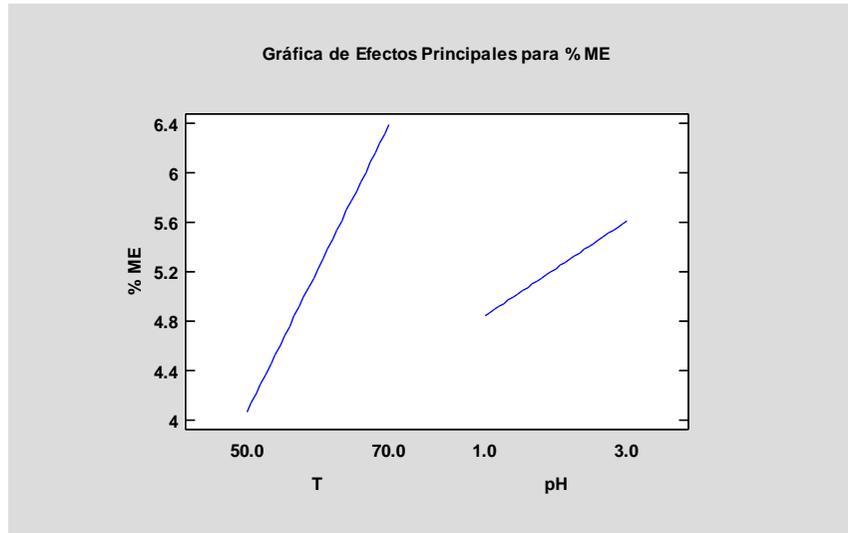
Para el grado de esterificación (%GE) se observó un efecto no significativo de la temperatura y pH. Sin embargo, el pH presenta un efecto inverso en relación con el grado de esterificación (%GE) en un 2.92 % (ver tabla 23) en promedio, es decir, que a menor pH existe un mayor grado de esterificación (%GE) y viceversa.

Para la acidez libre (AL) se puede indicar que cuando cambia el pH se da un efecto inverso en relación con la acidez libre (AL) en un 0.615 % (ver tabla 24) en promedio, es decir que a mayor pH existe un menor contenido de AL y viceversa, la variable de mayor efecto sobre la acidez libre (AL) es el pH.

En la figura 26 se muestra las gráficas de efectos principales de contenido de metoxilos (%ME), ácido galacturónico (%AG), grado de esterificación (%GE) y acidez libre (AL).

Figura 26

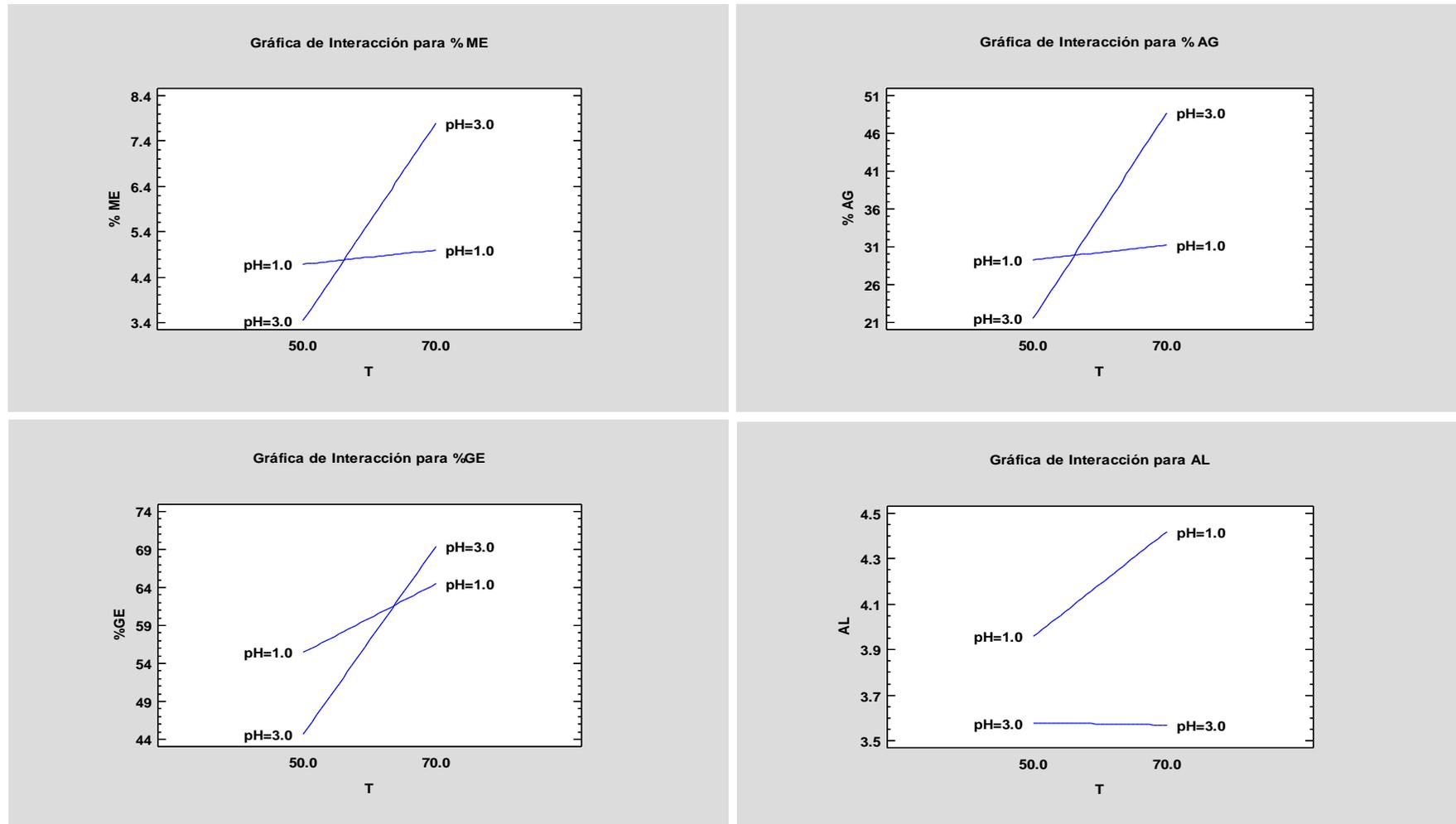
Grafica de efectos principales para %ME, %AG, %GE y AL



La figura 27 muestra las interacciones de las variables independientes temperatura y pH para %ME, %AG, %GE y AL.

Figura 27

Gráfica de interacción para %ME, %AG, %GE y AL



De la gráfica de interacción para el contenido de metoxilos (%ME) y ácido galacturónico (%AG) (ver figura 27) se puede apreciar que hay interacción significativa entre la temperatura y pH, es decir, son influyentes para determinar la calidad de la pectina extraída. Se observó que, a pH bajo, la temperatura tiene un menor efecto; y a pH alto, la temperatura tiene un alto efecto, por tanto, es un factor muy importante.

Para la acidez libre (AL) se muestra la interacción de las variables independientes; donde se puede apreciar que las líneas no se interceptan en el rango de estudio, sin embargo, si se amplía la experimentación existe la posibilidad que puedan interaccionar.

El análisis de varianza (ANOVA) se da en las tablas 25, 26, 27 y 28.

Tabla 25

Análisis de varianza para % ME

| Fuente | Suma de cuadrados | Gl | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| A: T | 5.4289 | 1 | 5.4289 | 54.09 | 0.0180 |
| B: pH | 0.5929 | 1 | 0.5929 | 5.91 | 0.1357 |
| AB | 4.0804 | 1 | 4.0804 | 40.65 | 0.0237 |
| Error total | 0.200733 | 2 | 0.100367 | | |
| Total (corr.) | 10.3029 | 5 | | | |

Tabla 26

Análisis de varianza para % AG

| Fuente | Suma de cuadrados | Gl | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| A: T | 211.994 | 1 | 211.994 | 53.81 | 0.0181 |
| B: pH | 23.6196 | 1 | 23.6196 | 6.00 | 0.1341 |
| AB | 159.264 | 1 | 159.264 | 40.42 | 0.0239 |
| Error total | 7.87968 | 2 | 3.93984 | | |
| Total (corr.) | 402.757 | 5 | | | |

En las tablas 25 y 26 se probó la significancia estadística de cada efecto, en este caso, dos efectos tienen un valor-P menor que 0.05, es decir, la variable independiente (temperatura) de estudio es significativa, al igual que la interacción A*B (temperatura y pH).

Tabla 27

Análisis de varianza para % GE

| Fuente | Suma de cuadrados | Gl | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| A: T | 283.081 | 1 | 283.081 | 5.52 | 0.1433 |
| B: pH | 8.49723 | 1 | 8.49723 | 0.17 | 0.7235 |
| AB | 60.918 | 1 | 60.918 | 1.19 | 0.3897 |
| Error total | 102.614 | 2 | 51.3069 | | |
| Total (corr.) | 455.11 | 5 | | | |

Según el análisis de varianza para el grado de esterificación (%GE) (ver tabla 27) muestra que ningún efecto tiene un valor-P menor que 0.05, a diferencia para la acidez libre (AL) (ver tabla 28) que muestra un efecto menor al límite establecido del valor-P.

Tabla 28

Análisis de varianza para AL

| Fuente | Suma de cuadrados | Gl | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| A: T | 0.050625 | 1 | 0.050625 | 6.17 | 0.1310 |
| B: pH | 0.378225 | 1 | 0.378225 | 46.10 | 0.0210 |
| AB | 0.055225 | 1 | 0.055225 | 6.73 | 0.1220 |
| Error total | 0.0164083 | 2 | 0.00820417 | | |
| Total (corr.) | 0.500483 | 5 | | | |

Según los resultados obtenidos del análisis estadístico para el contenido de metoxilos (%ME) y ácido galacturónico (%AG) se consideran indispensables para

la selección de pureza de la pectina extraída, ya que la interacción de temperatura y pH fue significativa, con mayor influencia de la temperatura.

Por otro lado, el análisis estadístico para el grado de esterificación (%GE) frente a la calidad de pectina, no presenta influencia de las variables independientes. A diferencia del análisis estadístico para acidez libre (AL) se observó que solo el pH es significativo.

4.5. Modelo matemático

4.5.1. De la cantidad de pectina

El modelo matemático del proceso de extracción de pectina de la cáscara de piña (*Ananas Comosus*), se determinó en función de las variables de estudio. Los coeficientes de regresión se presentan en la tabla 29, con ellos el modelo matemático que representa a los datos experimentales es:

Tabla 29

Coef. de regresión para P (g)

| Coeficiente | Estimado |
|-------------|----------|
| constante | 4.845 |
| A: T | -0.0675 |
| B: pH | -3.865 |
| AB | 0.091 |

Nota. Donde AB es la interacción temperatura y pH

La ecuación del modelo ajustado es:

$$P = 4.845 - 0.0675 * T - 3.865 * \text{pH} + 0.091 * T * \text{pH}$$

$$R^2 = 79.9563 \%$$

Donde:

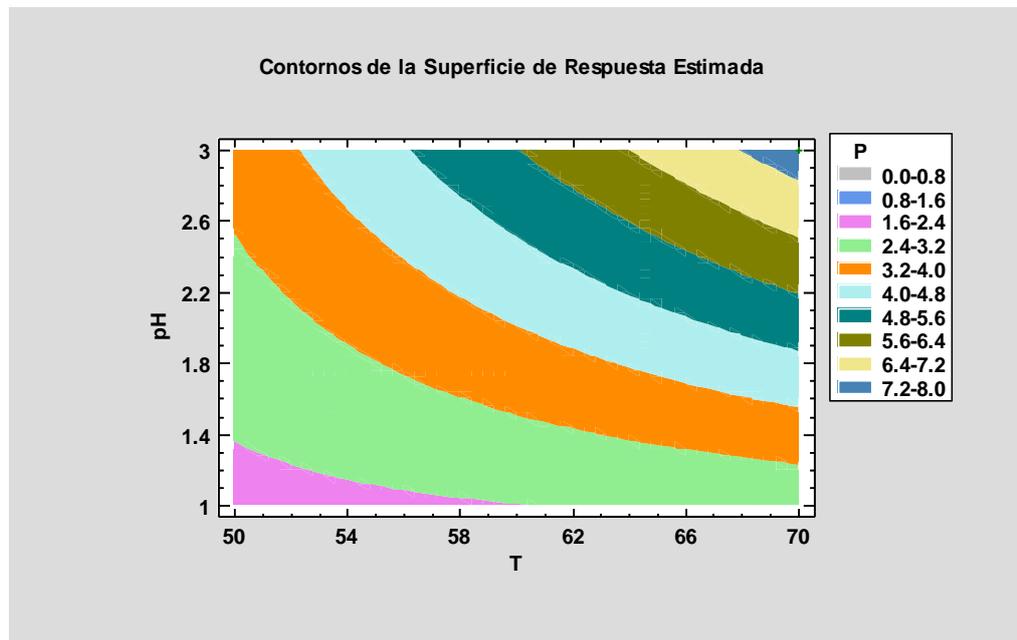
- T: temperatura (°C)
- pH: potencial de hidrogeno

- P: cantidad de pectina extraída

Donde el estadístico R^2 indica el modelo, así ajustado, explica 79.9563 % de la variabilidad en P. Por tanto, representa adecuadamente a los datos experimentales. Los contornos de la superficie de la respuesta estimada con el modelo se visualizan en la figura 28.

Figura 28

Contornos de la superficie de respuesta estimada



De la figura 28 en el contorno de la superficie de color azul oscuro, se observa que a mayores valores de temperatura y pH se pueden extraer mayor cantidad de pectina, en un rango de 7.2 g a 8.0 g. Por otro lado, cuando el proceso de extracción se encuentre a condiciones de menor temperatura y pH, se extraerá menor cantidad de pectina, en un rango de 1.6 g a 2.4 g, representado de color rosado. Los valores intermedios de temperatura y pH proporcionan extracción en un rango de 4.0 g a 4.8 g, representado de color turquesa. Por tanto, se puede apreciar que las mayores extracciones se pueden dar a pH 3 y temperatura de 70 °C en promedio.

4.5.2. De la calidad de pectina

El modelo matemático de contenido de metoxilos (%ME), ácido galacturónico (%AG), grado de esterificación (%GE) y acidez libre (AL); se determinó en función de las variables de estudio. Los coeficientes de regresión se presentan en las tablas 30, 31, 32 y 33.

Tabla 30

Coef. de regresión para %ME

| Coeficiente | Estimado |
|--------------------|-----------------|
| constante | 9.58667 |
| A: T | -0.0855 |
| B: pH | -5.675 |
| AB | 0.101 |

Tabla 31

Coef. de regresión para %AG

| Coeficiente | Estimado |
|--------------------|-----------------|
| constante | 59.8617 |
| A: T | -0.534 |
| B: pH | -35.43 |
| AB | 0.631 |

Tabla 32

Coef. de regresión para %GE

| Coeficiente | Estimado |
|--------------------|-----------------|
| constante | 57.7733 |
| A: T | 0.06075 |
| B: pH | -24.8725 |
| AB | 0.39025 |

Tabla 33

Coef. de regresión para AL

| Coeficiente | Estimado |
|--------------------|-----------------|
| constante | 2.41167 |
| A: T | 0.03475 |
| B: pH | 0.3975 |
| AB | -0.01175 |

La ecuación del modelo ajustado es:

➤ **Para el contenido de metoxilos:**

$$\% \text{ ME} = 9.58667 - 0.0855 * T - 5.675 * \text{pH} + 0.101 * T * \text{pH}$$

$$R^2 = 95.1292 \%$$

➤ **Para el contenido de ácido galacturónico**

$$\% \text{ AG} = 59.8617 - 0.534 * T - 35.43 * \text{pH} + 0.631 * T * \text{pH}$$

$$R^2 = 95.1089 \%$$

➤ **Para el grado de esterificación**

$$\%GE = 57.7733 + 0.06075 * T - 24.8725 * pH + 0.39025 * T * pH$$

$$R^2 = 43.6324 \%$$

➤ **Para la acidez libre**

$$AL = 2.41167 + 0.03475 * T + 0.3975 * pH - 0.01175 * T * pH$$

$$R^2 = 91.8038 \%$$

Donde:

T: temperatura (°C)

pH: potencial de hidrogeno

%ME: contenido de metoxilos (%p/p)

%AG: contenido de ácido galacturónico (%p/p)

%GE: grado de esterificación (%)

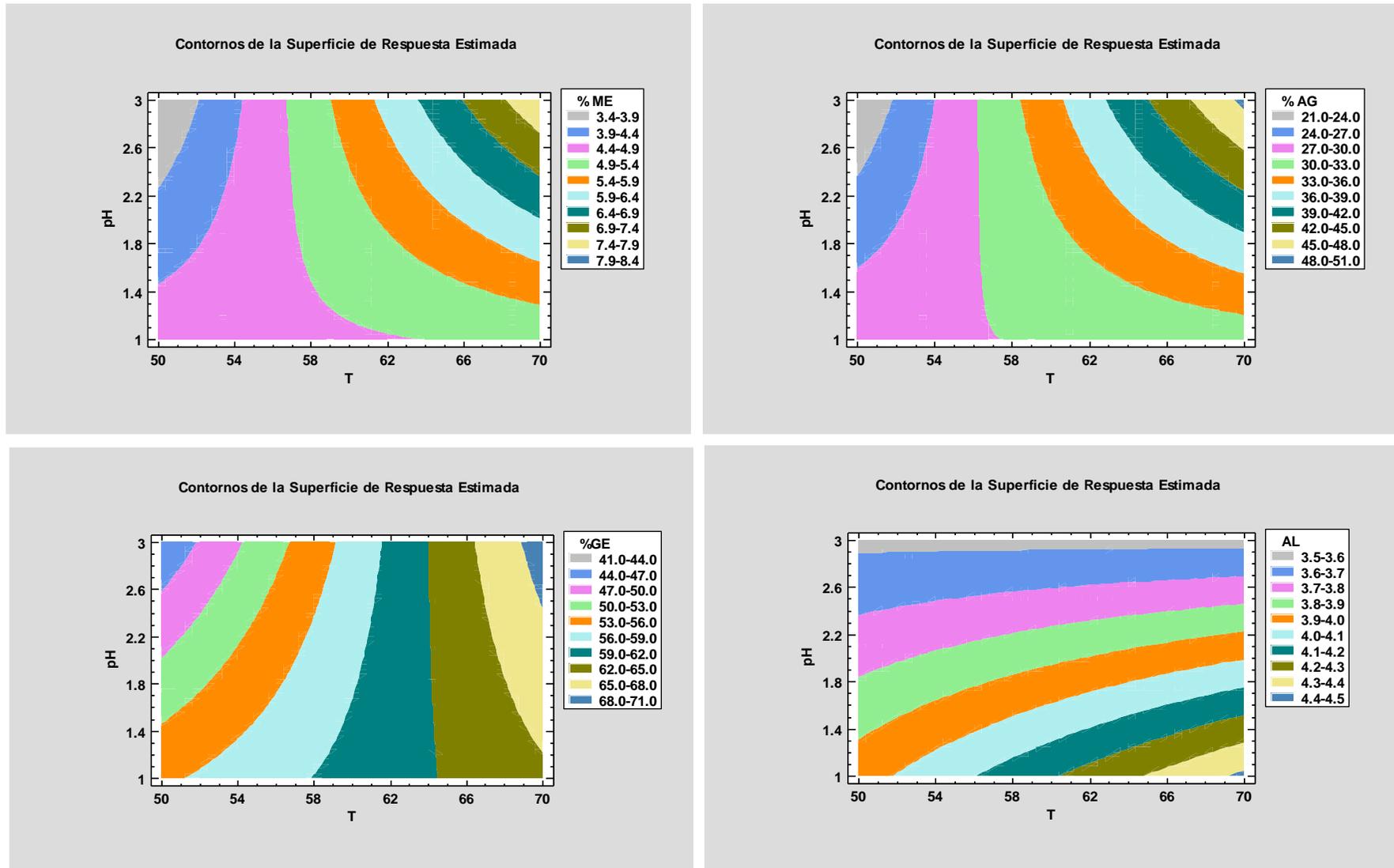
AL: acidez libre (meq/g)

El estadístico R^2 explicó 95.1292% de la variabilidad en el contenido de metoxilos (% ME), y 95.1089% del contenido de ácido galacturónico (%AG), 43.6324% del grado de esterificación (%GE), y 91.8038% de la acidez libre (AL).

Los contornos de la superficie de la respuesta estimada para contenido de metoxilos (%ME), ácido galacturónico (%AG), grado de esterificación (%GE) y acidez libre (AL); con los modelos se visualizan en la figura 29.

Figura 29

Contornos de la superficie de respuesta estimada para %ME, %AG, %GE y %AL



De la figura 29 en los contornos de la superficie de respuesta estimada para el contenido de metoxilos (%ME), ácido galacturónico (%AG), grado de esterificación (%GE) y acidez libre (AL), se observa que a temperatura y pH alto se puede tener mayor contenido de lo mencionado en la pectina, en un rango de (7.4 a 7.9 (%p/p)), (48 a 61 (%p/p)), (68 a 71 %) y (4.4 a 4.6 meq/g).

Por otro lado, cuando el proceso de extracción este bajo condiciones de menor temperatura y mayor pH, el contenido de %ME, %AG y %GE será menor, en un rango de (3.4 a 3.9 (%p/p)), (21 a 24 (%p/p)) y (44 a 47 %). Sin embargo, cuando el pH sea mayor y la temperatura este en el intervalo de (50 - 70 °C), el contenido de acidez libre será menor, en un rango de (3.6 a 3.8 meq/g).

4.6. Parámetros

Los valores de temperatura y pH correspondientes a la cantidad y pureza de la pectina extraída de cáscara de piña son:

- Temperatura = 70 °C
- pH = 3

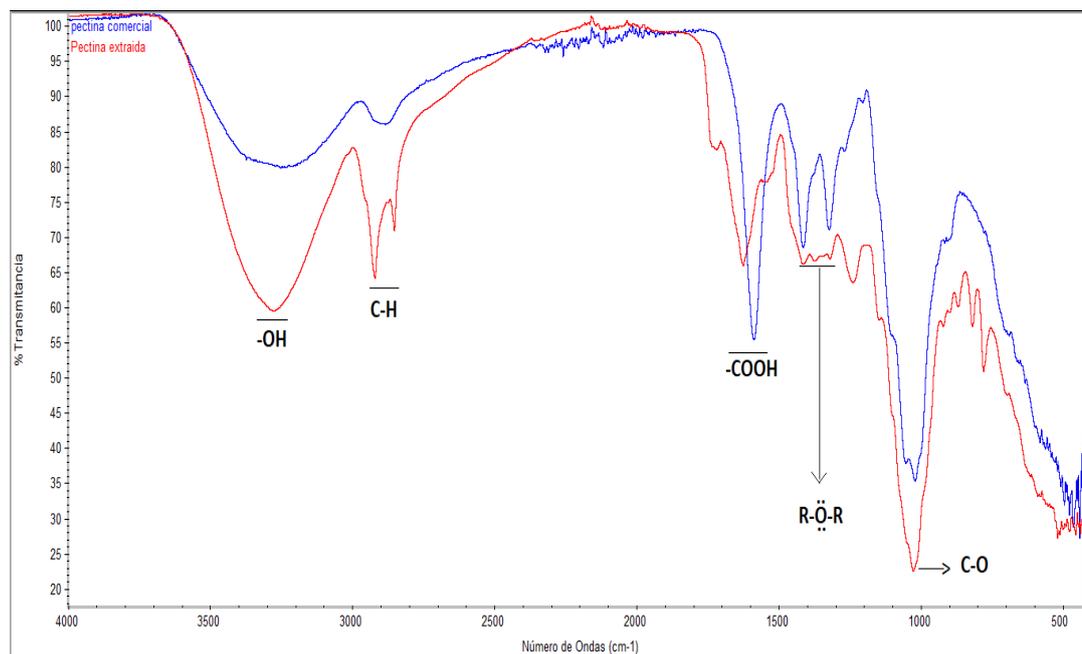
Para la cantidad de pectina (P) = 7.01 g, contenido de metoxilos (%ME) = 7.76 (%p/p), ácido galacturónico (%AG) = 48.54 (%p/p), grado de esterificación (%GE) = 66.45 % y acidez libre (AL) = 3.60 meq/g; los cuales vendrían a constituir los parámetros del proceso.

4.7. Caracterización de la pectina seleccionada

En la figura 30 se muestra los espectros infrarrojos de la pectina extraída y la pectina comercial, donde se pueden observar diferentes picos correspondientes a los diferentes grupos funcionales de gráficos de transmitancias vs longitudes de onda.

Figura 30

Espectro infrarrojo de la pectina extraída y comercial



En la figura 30 se observa una comparación del espectro IR de una pectina comercial con la pectina extraída, viendo así la similitud de sus grupos funcionales, en donde los pares de electrones de los átomos de oxígeno (O), de los grupos funcionales tienen cargas parciales negativas, lo que hace que puedan atraer cargas positivas, es decir, la pectina tiene carga negativa. La tabla 34 muestra los grupos funcionales detectados por el espectro IR mediante vibraciones.

Tabla 34

Grupos funcionales de la mejor pectina extraída y comercial

| Nº | Grupo funcional | Numero de onda (cm-1) |
|----|-----------------|-----------------------|
| 1 | -OH | 3200 - 3400 |
| 2 | -COOH | 1500 - 1700 |
| 3 | R-O-R | 1200 - 1500 |

El espectro infrarrojo de la pectina obtenida se evidencia claramente la presencia de los grupos funcionales característicos de una pectina comercial; entre

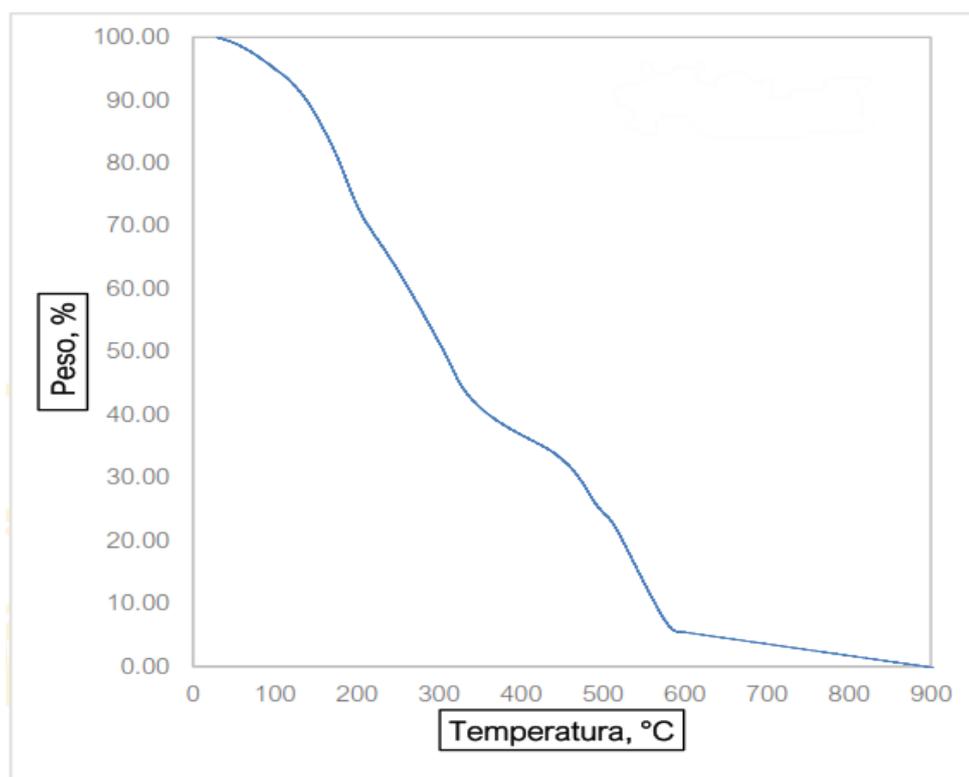
los $3200 - 3400\text{cm}^{-1}$ se encuentra la banda correspondiente a los grupos $-\text{OH}$, entre los $1500 - 1700\text{cm}^{-1}$ el grupo $-\text{COOH}$ carboxilo y entre los $1200-1500\text{cm}^{-1}$ el grupo R-O-R éter.

4.8. Termogravimetría

En la figura 31 se observa un gráfico de la descomposición térmica de la pectina extraída de mejor calidad.

Figura 31

Grafico de curva TGA de la pectina extraída de mayor pureza



Fuente. Extraído del apéndice 5

De la figura 31 se observó degradación térmica de la estructura molecular de la pectina en el rango de 43 a 100 °C, modificando considerablemente sus propiedades fisicoquímicas.

4.9. Remoción de arsénico III

En la tabla 35 se muestra los resultados obtenidos de la concentración final de arsénico después de la aplicación del adsorbente; capacidad de remoción y porcentaje de remoción.

Tabla 35

Resultados de la concentración final de arsénico III

| Ensayos | C _i (mg As/L) | C _f (mg As/L) | C _i -C _f (mg As/L) | Masa de pectina (g) | Capacidad de remoción (mg/g) | Porcentaje de remoción (%) |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2.44 | 1.69 | 0.75 | 0.1 | 3.75 | 30.74 |
| 2 | 2.44 | 1.39 | 1.05 | 0.2 | 2.63 | 43.03 |
| 3 | 2.44 | 1.31 | 1.13 | 0.3 | 1.89 | 46.52 |
| 4 | 2.44 | 1.04 | 1.40 | 0.4 | 1.75 | 57.42 |

Nota. Realizado a partir del apéndice 4

De la tabla 35 se observa que presenta el 57.42 % de remoción de arsénico con el bioadsorbente extraído (pectina), pero del primer ensayo se observa la mejor capacidad de remoción con 3.75 mg/g.

Paredes, J. L. (2012) en su investigación, realizó remoción de arsénico (III) mediante pectina de cáscara de maracuyá con concentración inicial de 0.22 mg As/L, reportando resultados de 31.82 % de remoción con 0.2 g de dosis de adsorbente.

Khuhawar, M. Y. et al (2011), en su investigación de remoción de arsénico con desechos de naranja reportó el 85 % de remoción aproximadamente. Considerando la equivalencia del metal y el método de remoción aplicado se evidencia la diferencia que existe en el presente estudio con el mencionado. Asimismo, otra diferencia se evidencia en la dosificación, tratamiento previo a los desechos de cáscara; y a las impurezas presentes en la pectina extraída de este estudio.

Las figuras 32 y 33 muestran la capacidad y porcentaje de remoción frente a la cantidad de pectina extraída (adsorbente).

Figura 32

Grafica de capacidad de remoción vs cantidad de pectina

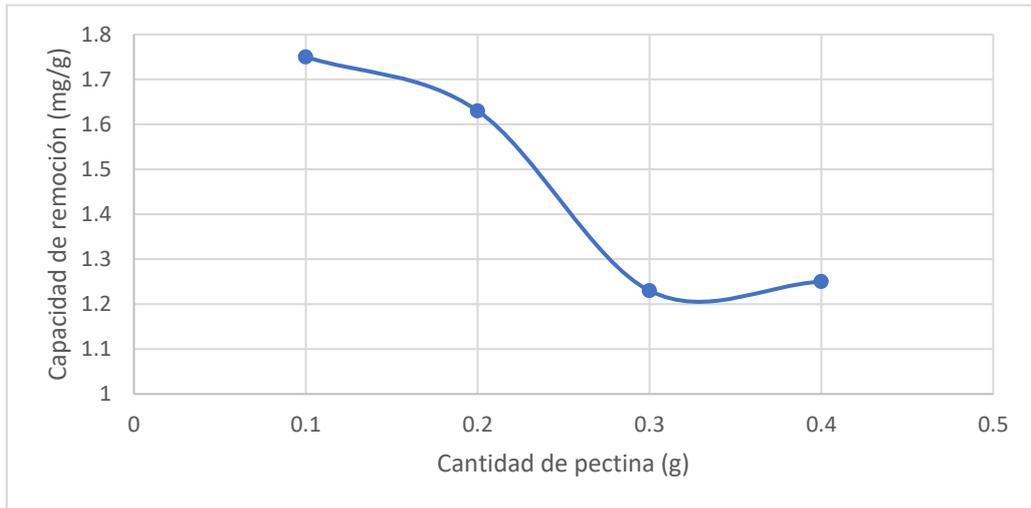
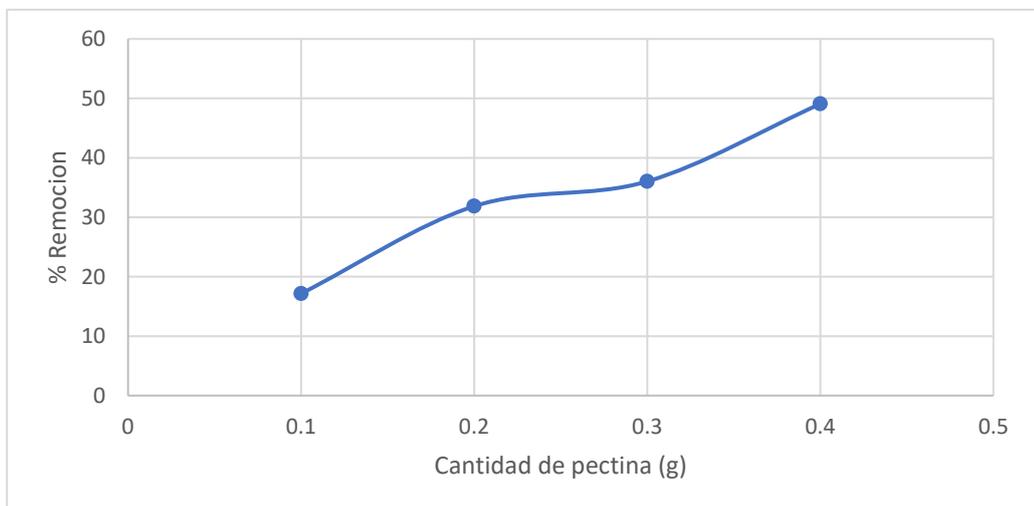


Figura 33

Grafica de porcentaje de remoción vs cantidad de pectina



De la figura 32, se observa que, a menor cantidad de pectina, su capacidad de adsorción es mayor; y de la figura 33, se observa que a mayor cantidad de pectina hay mayor porcentaje de remoción, teniendo un efecto inverso.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se extrajo pectina a partir de la cáscara de piña (*Ananas comosus*) mediante hidrólisis ácida, obteniendo la mayor cantidad de pectina extraída a Temperatura de 70°C y pH 3, con 14.01 % de rendimiento.
2. Se determinaron las características fisicoquímicas a partir de la cáscara de piña, evidenciando entre ellos 9.82 % p/p de metoxilos, 49.85% de carbohidratos, 19.6% de fibra, 4.88% de grasas, 6.32% de humedad, 4.83% de cenizas y 4.88% de proteínas; antes del proceso de extracción de pectina.
3. Mediante los ensayos para la extracción de pectina se determinó la influencia del pH y temperatura durante el proceso de hidrólisis, esto permitió estudiar y seleccionar la pectina extraída de mejor calidad.
4. Se determinaron que a parámetros de pH 3 y temperatura de 70°C durante el proceso de hidrólisis, obtuvieron la mayor cantidad de pectina con 7.01 g y calidad de pectina con 7.76 %p/p de metoxilos, 48.54 %p/p de ácido galacturónico, grado de esterificación de 66.45% y acidez libre de 3.60 meq/g.
5. Se comprobó la pureza de la pectina obtenida mediante la caracterización de sus grupos funcionales y se observó que la pectina posee una carga parcial negativa debido a que en su estructura se encuentran moléculas de oxígeno que le permiten formar enlaces con el arsénico que posee una carga parcial positiva.
6. A partir de la aplicación de la pectina extraída como adsorbente, se determinó la capacidad de adsorción de arsénico (III) con 3.75 mg/g. Demostrando así una remoción de más del 50 %.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda lavar continuamente en la etapa de preparación de las muestras (cáscara de piña), para disolver la pectina en el agua acidulada y luego precipitarla nuevamente para obtener más pectina.
- Realizar diferentes métodos de extracción de pectina de cáscara de piña, para evaluar su rendimiento.
- Evaluar el método utilizado con diferentes tipos de ácidos para estudiar su influencia de este sobre la calidad y rendimiento de la pectina extraída.
- Realizar la operación de secado al vacío en lugar de secado por convección, ya que esto evitara un posible oscurecimiento de la pectina.
- Se recomienda realizar un estudio de prefactibilidad para una planta procesadora de pectina de cáscara de piña.

REFERENCIAS

- Aguilar, P. O. (5 de Julio de 2022). Efectos sobre la salud por agua contaminada con metales pesados. Obtenido de file:///C:/Users/User/Downloads/8630-Manuscrito-53471-1-10-20220607.pdf
- Alarcon, M. T. (2012). Remocion de Arsenico en agua de consumo humano en latoniameica. *Ira edicion*. (M. L. Carrasco, Ed.) Colombia. Obtenido de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1054/1/Libro-ArsenicoEdit%207%20marzo%202012.pdf>
- AMPEX. (Septiembre de 2006). Perfil de Mercado de la Piña (Ananas comosus L.). Obtenido de file:///C:/Users/User/Downloads/231845782-Perfil-Pina.pdf
- Arroyo, E. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. Lima, Perú: Universidad de Lima. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428492010.pdf>
- Avila, E. (Noviembre de 2019). EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE CÁSCARAS DE PIÑA (ANANAS COMOSUS) POR EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA. Acacias: UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD). Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28389/ecavilag.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cabarcas. E, H. C. (17 de Mayo de 2012). EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA A PARTIR DE CÁSCARAS DE PLÁTANO PARA DESARROLLAR UN DISEÑO GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN. Cartagena de Indias. Obtenido de

<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/109/Trabajo%20de%20grado-Extraccion%20y%20caracterizacion%20de%20pectina%20a%20partir%20de%20cascaras%20de%20platanos%20para%20desarrollar%20un%20dise%C3%B1o%20genera~1.pdf?sequence=1>

Carrión, A. D. (2021). *OBTENCIÓN DE PECTINA MEDIANTE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS*. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/47728/TFG-I-1892.pdf?sequence=1>

CBR, I. (2020). Remoción de contaminantes. Obtenido de <https://blog.cbr-ingenieria.com.mx/proceso-de-remocion-de-contaminantes>

Cedeño, J. &. (Febrero de 2014). *CÁSCARAS DE PIÑA Y MANGO DESHIDRATADAS COMO FUENTE DE FIBRA DIETÉTICA EN PRODUCCIÓN DE GALLETAS*. Calceta: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/439/1/TESIS%20GALLETAS.pdf>

Chaiwarit, T. M.-H. (2019). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/338042216_Mango_cv_Nam_Dokmai_peel_as_a_source_of_pectin_and_its_potential_use_as_a_film-forming_polymer

Chasquibol, N. A. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. Lima, Perú. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428492010.pdf>

Chumbes, M. (2020). *HIDRÓLISIS ACIDA DE LA CASCARA DE MARACUYA (Passiflora edulis) PARA LA OBTENCION DE PECTINA COMO AGENTE GELIFICANTE.* Obtenido de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/4411/MERCEDES%20MELANIA%20CHUMBES%20MONTES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chumbes, M. M. (2020). *HIDRÓLISIS ACIDA DE LA CASCARA DE MARACUYA (Passiflora edulis) PARA LA OBTENCION DE PECTINA COMO AGENTE GELIFICANTE.* Huacho. Obtenido de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/4411/MERCEDES%20MELANIA%20CHUMBES%20MONTES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Coral, V. &. (2022). *CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA CÁSCARA DE PIÑA (Ananas comosus) VARIEDAD CAYENA LISA PARA LA OBTENCIÓN DE PECTINA.* Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Obtenido de https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/8189/Victor_Tesis_Titulo_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cruz, A. (2018). *EXTRACCIÓN DE PECTINA BRUTA Y SU NIVEL DE GELIDIFICACION OBTENIDA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE GUAYABA (Psidium guajava) RECOLECTADA DE LA ZONA DEL VALLE*

DE CHIPILLICO EN EL DISTRITO DE LAS LOMAS. Piura. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2621/IAIA-CRU-HER-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Dane. (2016). Principales características del cultivo de la Piña (Ananas comosus L.). Colombia. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_dic_2016.pdf

Danovich, C. L. (2019). Extracción de pectina de albedo de limón mediante enzimas pécticas producidas por una levadura autóctona. Posadas, Argentina. Obtenido de https://rid.unam.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12219/2781/Danovich%20CL_2019_Extracci%c3%b3n%20de%20pectina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Decheco, A. (Enero de 2016). APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE Ananas comosus (PIÑA) PARA LA PRODUCCION DE ETANOL POR VIA FERMENTATIVA DE Saccharomyces cerevisiae. Paris. Obtenido de <https://repositorio.ulcb.edu.pe/bitstream/handle/ULCB/35/INFORME%20FINAL%20%202016%20-%20DE%20CHECO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

deperu. (7 de mayo de 2023). Obtenido de <https://www.deperu.com/abc/frutas/5254/lapina>

Devia, J. E. (2003). *Proceso para producir Pectinas CÍtricas*. Obtenido de <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/918/823>

Eliseo, D. (2005). ESTUDIOS DE OBTENCIÓN DE PECTINA APLICANDO PROCESOS DE MEMBRANA. Santa Fe, Argentina. Obtenido de

<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/241/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Escobedo, S. G. (2013). *Valorización de la cascara de maracuyá como subproducto para obtener pectina usando como agente hidrolizante ácido cítrico*. Obtenido de

https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/491/1/TL_Escobedo_Soberon_GilbertoMartin.pdf

Franco, V. Y. (2015). *EXTRACCIÓN DE PECTINA DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE NARANJA POR HIDRÓLISIS ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS (HMO)*.

Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312015000100007&script=sci_arttext

Gamboa, M. (2009). *Aprovechamiento de los residuos obtenidos del proceso de despulpado del mango, de las variedades Smith, Tommy Atkins, Haden y Bocado como materias primas para la obtencion de pectina (tesis postgrado)*.

Obtenido de <http://ri2.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/1133/2/PGIQ009G30.pdf>

Garavito, E. (2019). *EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE CÁSCARAS DE PIÑA (ANANAS COMOSUS) POR EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA*. Obtenido de

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28389/ecavilag.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

khuhawar, M. Y. (November de 2011). *Use of Orange Peel Waste for Arsenic Remediation of Drinking Water*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/278718145_Use_of_Orange_Peel_Waste_for_Arsenic_Remediation_of_Drinking_Water

Lopez, Y. M. (2022). Obtención de pectina a partir de la cáscara de maracuyá, fuente para la elaboración de plástico biodegradable. *9(1)*. Colombia. Obtenido de <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/3018/3276>

MANTILLA, M. R. (octubre de 2020). Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/a662def1-9127-4a24-a99b-e1656a759acf/content>

Martinez, M. &. (2016). EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y COSTOS DE LA PECTINA EXTRAÍDA A PARTIR DE CÁSCARAS DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis flavicarpa*) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS (EAM). Berástegui, Córdoba. Obtenido de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/3e6e608e-899d-4931-b286-c57a93747f78/content>

Matute, T. (2019). EVALUACIÓN DE LA PECTINA EXTRAÍDA DE LA CÁSCARA DE LA CHIRIMOYA (*Annona cherimola*), DETERMINANDO SU CAPACIDAD DE MODIFICADOR REOLÓGICO. Cuenca, Ecuador: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18451/1/UPS-CT008702.pdf>

Ministerio de Salud. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima, Perú. Obtenido de

http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf

Muñoz, J. C. (2007). *Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "citrus cinensis" pretratada*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/323353409.pdf>

Muñoz, M. E. (2014). Extracción de pectina del exocarpo y endocarpo de la pitahaya (*Hylocereus triangularis*) para uso agroindustrial. Quevedo, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/254>

Nizama, K. (2015). *OBTENCION Y CARACTERIZACION DE PECTINA A PARTIR DE LA CASCARA DE CACAO (Theobroma cacao L.)*. Piura, Peru. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/675/IND-NIZ-YAM-15.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ocas, L. M. (2020). RENDIMIENTO DE PECTINA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis* L.) A DIFERENTES VALORES DE pH Y TIEMPOS DE EXTRACCIÓN. Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4160/TESIS%20LUZ%20MARINA%20OCAS%20QUILICHE%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Organizacion Mundial de la Salud. (7 de Diciembre de 2022). Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>

Ortega, F. P. (Febrero de 2018). Extracción Rápida de Pectina a Partir de Cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando Microondas. Córdoba, Colombia. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v29n1/0718-0764-infotec-29-01-00129.pdf>

- Paredes, J. L. (2012). Remoción de arsénico del agua para uso y consumo humano mediante diferentes materiales de adsorción. México. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5084/Tesis.pdf>
- Perussello, C. A. (2017). Obtenido de <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12290>
- Picot-Allain, M. R. (2020).
- Plomo. (s.f). *Organización Panamericana de la Salud*. Obtenido de <https://www.paho.org/es/temas/plomo#:~:text=El%20plomo%20es%20un%20metal,%2C%20del%20aparato%20digestivo%2C%20renales.>
- QPros*. (7 de mayo de 2023). Obtenido de <https://qpros.co/pectinas-clasificacion-y-aplicaciones/>
- Rodríguez, D. A. (2023). Extracción de pectina a partir de la hidrólisis ácida del cacao (*Theobroma Cacao L.*) y su aplicación en la obtención de biopelículas. Colombia. Obtenido de <https://doi.org/10.21789/22561498.1885>
- Sosa Ingredients. (s. f). PECTINAS. Spain. Obtenido de https://www.sosa.cat/wp/wp-content/uploads/Pectines_CAST.pdf
- Zaid, R. M. (2019). Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.017>
- Zegada, V. (Mayo de 2015). EXTRACCIÓN DE PECTINA DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE NARANJA POR HIDRÓLISIS ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS (HMO). Bolivia: Centro de Investigaciones de Procesos Industriales (CIPI). Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312015000100007

APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de operacionalización de variables

| Variables | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Unidades | Instrumentos |
|-------------------------------------|--|---|--------------------|-----------------|---------------------|
| Temperatura | Magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro. | La temperatura es la variable que será medida por un termómetro. | - | °C | Termómetro |
| pH | Medida de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa. | El pH adecuado para el proceso de hidrólisis ácida. | - | Unidad de pH | pH metro |
| Cantidad de pectina extraída | Cantidad de pectina localizada en la pared celular que actual como cementante, | Es la cantidad de pectina extraída de las cáscaras de piña que será utilizada en el | - | g | Balanza analítica |

| | | | | | |
|---|--|--|---|--|---|
| | ayudando a dar composición y rigidez a los órganos vegetales. | proceso de hidrólisis ácida. | | | |
| | | Será medida según su | | | |
| Calidad de la pectina extraída | La calidad de la pectina que nos dan a conocer cuál es la más pura. | contenido de metoxilos, ácido galacturónico, grado de esterificación y acidez libre. | <ul style="list-style-type: none"> • Metoxilos • Ácido galacturónico • Grado de esterificación • Acidez libre | <ul style="list-style-type: none"> • (%p/p) • (%p/p) • (%) • (meq/g) | <ul style="list-style-type: none"> • Método de Volumetría de neutralización. • Método de Owens. |

Apéndice 2. Caracterización de la cáscara de piña – análisis proximal



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-2024-1110

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC o DNI : 20172474501
1.3 Dirección : CALLE PACHACUTEC- SANTIAGO-CUSCO

2. DATOS DE LA MUESTRA

- 2.1 Producto : ALIMENTO
2.2 Muestreado por : CLIENTE ^(c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-05-23
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-05-23 al 2024-05-31
2.6 Fecha de Emisión : 2024-05-31
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-120030-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

| ENSAYO | MÉTODO |
|--------------------------|--|
| Análisis Proximal | |
| Grasa | FAO Food and Nutrition Paper Vol 14/7 Página. 212- 1986 |
| Humedad | FAO Food and Nutrition Paper Vol 14/7 Página 205 - 1986 |
| Proteínas | FAO Food and Nutrition Paper Vol 14/7 Página. 221-223 - 1986 |
| Carbohidratos | Cálculo |
| Fibra | FAO Food and Nutrition Paper Vol 14/7 Página 228 - 1986 |
| Ceniza | Cálculo |
| Metoxilos | |
| Energía total Kcal | |

4. RESULTADOS

- 4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Caracterización de cáscara de piña PE-01 ^(c)


DIEGO RONANO VERGARAY D'ARRIGO
Químico
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS PROXIMAL

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

| Código de Laboratorio | Parámetro | Unidad | LCM | Promedio |
|-----------------------|----------------------------------|---------|------|----------|
| S-2160 | Humedad | % | 0.01 | 6.32 |
| | Proteínas <i>Factor: 6.38</i> | % | 0.01 | 4.88 |
| | Carbohidratos | % | 0.01 | 49.85 |
| | Fibra | % | 0.01 | 19.60 |
| | Grasa | % | 0.01 | 4.88 |
| | Ceniza | % | 0.01 | 4.83 |
| | Metoxilos | %p/p | N.A. | 9.82 |
| | Energía Total | Kcal/Kg | N.A. | 4699.09 |

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

^(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

Apéndice 3. Análisis del ácido galacturónico y metoxilos de la pectina extraída de la cáscara de piña



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-0657**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC o DNI : 20172474501
1.3 Dirección : CALLE TIGRE N°127

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : PECTINA
2.2 Muestreado por : CLIENTE
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-04-08
2.5 Período de Ensayo : 2024-04-09 al 2024-04-18
2.6 Fecha de Emisión : 2024-04-19
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-113620-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

| ENSAYO | MÉTODO |
|---|---|
| <u>Determinación de Grupos Metoxilos</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |
| <u>Determinación de Ácido Galacturónico</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de Muestra: Pectina PE-01, extraído a T=70 °C, pH=1.0



Diego Romano
DIEGO ROMANO FERRER
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

| Código de Laboratorio | Parámetro | Unidad | LCM | Resultados |
|-----------------------|--------------------------------------|--------|------|------------|
| S-1447 | Determinación de Grupo Metoxilos | %p/p | N.A | 4.97 |
| | Determinación de Ácido Galacturónico | %p/p | N. A | 31.06 |

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

⁽¹⁾ Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

Laboratorio de ensayo e investigación

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-0658**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC o DNI : 20172474501
1.3 Dirección : CALLE TIGRE N°127

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : PECTINA
2.2 Muestreado por : CLIENTE (C)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-04-08
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-04-09 al 2024-04-18
2.6 Fecha de Emisión : 2024-04-19
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-113620-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

| ENSAYO | MÉTODO |
|---|---|
| <u>Determinación de Grupos Metoxilos</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |
| <u>Determinación de Ácido Galacturónico</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de Muestra: Pectina PE-02, extraído a T=70 °C, pH=3.0



Diego Romano Vergara O Arrigo
Químico
Cep. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

| Código de Laboratorio | Parámetro | Unidad | LCM | Resultados |
|-----------------------|--------------------------------------|--------|------|------------|
| S-1448 | Determinación de Grupo Metoxilos | %p/p | N.A | 7.76 |
| | Determinación de Ácido Galacturónico | %p/p | N. A | 48.535 |

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

⁽¹⁾ Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

Laboratorio de ensayo e investigación

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-0659**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC o DNI : 20172474501
1.3 Dirección : CALLE TIGRE N°127

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : PECTINA
2.2 Muestreado por : CLIENTE (*)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-04-08
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-04-09 al 2024-04-18
2.6 Fecha de Emisión : 2024-04-19
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-113620-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

| ENSAYO | MÉTODO |
|---|---|
| <u>Determinación de Grupos Metoxilos</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |
| <u>Determinación de Ácido Galacturónico</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de Muestra: Pectina PE-03, extraído a T=60.°C, pH=2.0



DIEGO ROMANO VILGABRY O'ARRIGO
QUÍMICO
COP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

| Código de Laboratorio | Parámetro | Unidad | LCM | Resultados |
|-----------------------|--------------------------------------|--------|------|------------|
| S-1449 | Determinación de Grupo Metoxilos | %p/p | N.A | 4.97 |
| | Determinación de Ácido Galacturónico | %p/p | N. A | 31.06 |

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

⁽¹⁾ Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

Laboratorio de ensayo e investigación

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-0660**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC o DNI : 20172474501
1.3 Dirección : CALLE TIGRE N°127

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : PECTINA
2.2 Muestreado por : CLIENTE
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-04-08
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-04-09 al 2024-04-18
2.6 Fecha de Emisión : 2024-04-19
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-113620-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

| ENSAYO | MÉTODO |
|---|---|
| <u>Determinación de Grupos Metoxilos</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |
| <u>Determinación de Ácido Galacturónico</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de Muestra: Pectina PE-04, extraída a T=50 °C, pH=3.0



DIEGO ROMANO RENGARAY D'ARFICO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

| Código de Laboratorio | Parámetro | Unidad | LCM | Resultados |
|-----------------------|--------------------------------------|--------|------|------------|
| S-1450 | Determinación de Grupo Metoxilos | %p/p | N.A | 3.41 |
| | Determinación de Ácido Galacturónico | %p/p | N. A | 21.36 |

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

⁽¹⁾ Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

Laboratorio de ensayo e investigación

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-0661**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC o DNI : 20172474501
1.3 Dirección : CALLE TIGRE N°127

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : PECTINA
2.2 Muestreado por : CLIENTE (C)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-04-08
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-04-09 al 2024-04-18
2.6 Fecha de Emisión : 2024-04-19
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-113620-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

| ENSAYO | MÉTODO |
|--|---|
| <u>Determinación de Grupos Metoxilos</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |
| <u>Determinación de Ácido Galacturónico.</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de Muestra: Pectina PE-05, extraído a T=50 °C, pH=1.0 (C)



Diego Romano Vergara
DIEGO ROMANO VERGARA O'ABRIGO
QUÍMICO
COP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

| Código de Laboratorio | Parámetro | Unidad | LCM | Resultados |
|-----------------------|--------------------------------------|--------|------|------------|
| S-1451 | Determinación de Grupo Metoxilos | %p/p | N.A | 4.66 |
| | Determinación de Ácido Galacturónico | %p/p | N. A | 29.12 |

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

^(*) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra como se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

Laboratorio de ensayo e investigación

FIN DE DOCUMENTO

INFORME DE ENSAYO
IE-2024-0662

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC o DNI : 20172474501
1.3 Dirección : CALLE TIGRE N°127

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : PECTINA
2.2 Muestreado por : CLIENTE (C)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-04-08
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-04-09 al 2024-04-18
2.6 Fecha de Emisión : 2024-04-19
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-113620-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

| ENSAYO | METODO |
|--|---|
| <u>Determinación de Grupos Metoxilos</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |
| <u>Determinación de Acido Galacturónico.</u> | Caracterización de Pectina - Volumetría de Neutralización |

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de Muestra: Pectina PE-06, extraído a T=60 °C, pH=2.0



Diego Romano Ferragary O Arrago
QUÍMICO
COP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

| Código de Laboratorio | Parámetro | Unidad | LCM | Resultados |
|-----------------------|--------------------------------------|--------|------|------------|
| S-1452 | Determinación de Grupo Metoxilos | %p/p | N.A | 5.59 |
| | Determinación de Ácido Galacturónico | %p/p | N. A | 34.95 |

Leyenda

LCM: Limite de Cuantificación de Método.
N.A. No Aplica.

⁽¹⁾ Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

Laboratorio de ensayo e investigación

FIN DE DOCUMENTO

ANEXO N° 0078 - 2024

EL PRESENTE **ANEXO** ES EMITIDO POR **SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC** QUIEN ASEGURA HABER ANALIZADO LA MUESTRA PROPORCIONADA POR NUESTRO CLIENTE A QUIEN SE IDENTIFICA POSTERIORMENTE.

Informe de Ensayo IE-2024-0657 hasta IE-2024-0662

1. DATOS DEL CLIENTE

| | | |
|---------------|---|--|
| 1.1 Cliente | : | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO |
| 1.2 RUC o DNI | : | 20172474501 |
| 1.3 Dirección | : | CALLE TIGRE N°127 |

2. DATOS DE LA MUESTRA

| | | |
|------------------------------|---|--------------------------|
| 2.1 Producto | : | PECTINA |
| 2.2 Muestreado por | : | CLIENTE (C) |
| 2.3 Número de Muestras | : | 06 |
| 2.4 Fecha de Recepción | : | 2024-04-08 |
| 2.5 Periodo de Ensayo | : | 2024-04-09 al 2024-04-18 |
| 2.6 Fecha de Emisión | : | 2024-04-19 |
| 2.7 Fecha y Hora de Muestreo | : | No Precisa |
| 2.8 N° de cotización | : | COT-113620-SL24 |

3. REPORTE FOTOGRÁFICO



Imagen N°1: DETERMINACIÓN DE GRUPOS METOXILOS

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.



Imagen N°2: DETERMINACIÓN DE GRUPOS METOXILOS

SLab
Laboratorio de ensayo e investigación

FIN DE DOCUMENTO

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

Apéndice 4. Análisis de concentración de arsénico



Informe de Análisis 334594/2024.0

Cotización: C6075/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 13-06-2024 14:49

| Identificación del Cliente | |
|----------------------------|----------------------------------|
| Cliente: | BACA APAZA KEIKO WENYI |
| Dirección: | Molino II -Santiago-Cusco - Peru |
| Contacto: | Keiko Wenyi Baca Apaza |
| Teléfono: | 903 067 665 |

| N° Muestra: 334594-1/2024.0 - Id: 1234094 - ANÁLISIS DE AGUA DE PROCESO | |
|---|---|
| Matriz: | Agua de procesos |
| Término de muestreo: | 06-06-2024 16:00 |
| Fecha de Recepción: | 11-06-2024 10:18 |
| Departamento: | Cuzco |
| Provincia: | Cuzco |
| Distrito: | Cusco |
| Punto de muestreo: | LABORATORIO - SOLUCION MADRE / Agua sintética, realizada en laboratorio |
| Dirección de muestreo: | UNSAAC |
| Tipo de muestreo: | Puntual |
| Coordenadas: | -- |
| Muestreado por: | El Cliente |
| Instrumento ambiental: | -- |
| Proyecto: | Análisis de arsénico en agua sintética |

Resultados Analíticos

Análisis No Acreditados

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha y Hora Análisis |
|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| Arsénico | 2,44 mg As/L | 0,02 mg As/L | SM 3030 F, 3120 B | 13-06-2024 09:42 |

Notas

ND: No determinado.

LD: Límite de Detección.

SM: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24th. Edition 2023.

*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.

Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

Código de Validación: dba29ecfce8841ed9390ee4aaf4c116c

La validación de este documento puede ser realizada en: <portal.mylmsweb.cloud>.

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 13-06-2024 14:49

| Identificación del Cliente | |
|---|-----------------------|
| Cliente: BACA APAZA KEIKO WENYI | |
| Dirección: Molino II -Santiago-Cusco - Peru | |
| Contacto: Keiko Wenyi Baca Apaza | Teléfono: 903 067 665 |

| N° Muestra: 334540-1/2024.0 - Id: 1234087 - ANÁLISIS DE AGUA DE PROCESO | |
|---|---|
| Matriz: Agua de procesos | |
| Término de muestreo: 06-06-2024 16:00 | Fecha de Recepción: 11-06-2024 09:56 |
| Departamento: Cuzco | Provincia: Cuzco |
| Distrito: Cusco | Punto de muestreo: LABORATORIO - 1° ENSAYO REPLICA / Agua sintética, Realizada en laboratorio |
| Dirección de muestreo: UNSAAC | Tipo de muestreo: Puntual |
| Coordenadas: --- | Muestreado por: El Cliente |
| Instrumento ambiental: --- | Proyecto: Análisis de Arsénico en agua sintética |

Resultados Analíticos

Análisis No Acreditados

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha y Hora Análisis |
|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| Arsénico | 1,53 mg As/L | 0,02 mg As/L | SM 3030 F, 3120 B | 13-06-2024 09:45 |

Notas

ND: No determinado.
 LD: Límite de Detección.
 SM: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24th. Edition 2023.
 *: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
 Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió
 Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres
 Jefe de Laboratorio
 CIP N° 209612

Código de Validación: 6631e2b7a5c140129097e6598572f923

La validación de este documento puede ser realizada en: <portal.mvilimweb.cloud>

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 13-06-2024 14:49

| Identificación del Cliente | |
|---|-----------------------|
| Cliente: BACA APAZA KEIKO WENYI | |
| Dirección: Molino II -Santiago-Cusco - Peru | |
| Contacto: Keiko Wenyi Baca Apaza | Teléfono: 903 067 665 |

| N° Muestra: 334473-1/2024.0 - Id: 1234086 - ANÁLISIS DE AGUA DE PROCESO | |
|---|--|
| Matriz: Agua de procesos | |
| Término de muestreo: 06-06-2024 16:00 | Fecha de Recepción: 11-06-2024 09:53 |
| Departamento: Cuzco | Provincia: Cuzco |
| Distrito: Cusco | Punto de muestreo: LABORATORIO - 1° ENSAYO / Agua Sintética realizada en Laboratorio |
| Dirección de muestreo: UNSAAC | Tipo de muestreo: Puntual |
| Coordenadas: --- | Muestreado por: El Cliente |
| Instrumento ambiental: --- | Proyecto: Análisis de Arsénico en agua sintética |

Resultados Analíticos

Análisis No Acreditados

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha y Hora Análisis |
|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| Arsénico | 1,85 mg As/L | 0,02 mg As/L | SM 3030 F, 3120 B | 13-06-2024 09:38 |

Notas

ND: No determinado.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.
 *: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
 Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió
 Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres
 Jefe de Laboratorio
 CIP N° 209612

Código de Validación: d65acc67dae94150a933070034f1bb31
 La validación de este documento puede ser realizada en: <portal.mylimsweb.cloud>.

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 13-06-2024 14:49

| Identificación del Cliente | |
|---|-----------------------|
| Cliente: BACA APAZA KEIKO WENYI | |
| Dirección: Molino II -Santiago-Cusco - Peru | |
| Contacto: Keiko Wenyi Baca Apaza | Teléfono: 903 067 665 |

| N° Muestra: 334554-1/2024.0 - Id: 1234089 - ANÁLISIS DE AGUA DE PROCESO | |
|---|---|
| Matriz: Agua de procesos | |
| Término de muestreo: 06-06-2024 16:00 | Fecha de Recepción: 11-06-2024 10:03 |
| Departamento: Cuzco | Provincia: Cuzco |
| Distrito: Cusco | Punto de muestreo: LABORATORIO - 2° ENSAYO REPLICA / Agua sintética, realizada en laboratorio |
| Dirección de muestreo: UNSAAC | Tipo de muestreo: Puntual |
| Coordenadas: -- | Muestreado por: El Cliente |
| Instrumento ambiental: -- | Proyecto: Análisis de Arsénico en agua sintética |

Resultados Analíticos

Análisis No Acreditados

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha y Hora Análisis |
|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| Arsénico | 1,08 mg As/L | 0,02 mg As/L | SM 3030 F, 3120 B | 13-06-2024 09:29 |

Notas

ND: No determinado.
 LD: Límite de Detección.
 SM: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24th. Edition 2023.
 *: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
 Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió
 Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres
 Jefe de Laboratorio
 CIP N° 209612

Código de Validación: 033a0ea3825f45479b2515bf264b083c
 La validación de este documento puede ser realizada en: <portal.mylimsweb.cloud>.

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 13-06-2024 14:49

| Identificación del Cliente | |
|---|-----------------------|
| Cliente: BACA APAZA KEIKO WENYI | |
| Dirección: Molino II -Santiago-Cusco - Peru | |
| Contacto: Keiko Wenyi Baca Apaza | Teléfono: 903 067 665 |

| N° Muestra: 334553-1/2024.0 - Id: 1234088 - ANÁLISIS DE AGUA DE PROCESO | |
|---|---|
| Matriz: Agua de procesos | |
| Término de muestreo: 06-06-2024 16:00 | Fecha de Recepción: 11-06-2024 09:59 |
| Departamento: Cuzco | Provincia: Cuzco |
| Distrito: Cuzco | Punto de muestreo: LABORATORIO - 2° ENSAYO / Agua sintética, realizada en laboratorio |
| Dirección de muestreo: UNSAAC | Tipo de muestreo: Puntual |
| Coordenadas: -- | Muestreado por: El Cliente |
| Instrumento ambiental: -- | Proyecto: Análisis de Arsénico en agua sintética |

Resultados Analíticos

Análisis No Acreditados

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha y Hora Análisis |
|-----------|-------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| Arsénico | 1,7 mg As/L | 0,02 mg As/L | SM 3030 F, 3120 B | 13-06-2024 09:46 |

Notas

ND: No determinado.

LD: Límite de Detección.

 SM: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24th. Edition 2023.

*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.

Laboratorio Hidrolab S.A.C dedara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


Raquel Rosales Torres

Jefe de Laboratorio

CIP N° 209612

Código de Validación: 3f89a8aad89048638dd98e86ec07d9cb

 La validación de este documento puede ser realizada en: portal.mylmsweb.cloud.

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 13-06-2024 14:49

| Identificación del Cliente | |
|---|-----------------------|
| Cliente: BACA APAZA KEIKO WENYI | |
| Dirección: Molino II -Santiago-Cusco - Peru | |
| Contacto: Keiko Wenyi Baca Apaza | Teléfono: 903 067 665 |

| N° Muestra: 334567-1/2024.0 - Id: 1234091 - ANÁLISIS DE AGUA DE PROCESO | |
|---|---|
| Matriz: Agua de procesos | |
| Término de muestreo: 06-06-2024 16:00 | Fecha de Recepción: 11-06-2024 10:09 |
| Departamento: Cuzco | Provincia: Cuzco |
| Distrito: Cusco | Punto de muestreo: LABORATORIO - 3° ENSAYO REPLICA / Agua sintética, realizada en laboratorio |
| Dirección de muestreo: UNSAAC | Tipo de muestreo: Puntual |
| Coordenadas: --- | Muestreado por: --- |
| Instrumento ambiental: --- | Proyecto: Análisis de Arsénico en agua sintética |

Resultados Analíticos

Análisis No Acreditados

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha y Hora Análisis |
|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| Arsénico | 1,02 mg As/L | 0,02 mg As/L | SM 3030 F, 3120 B | 13-06-2024 09:40 |

Notas

ND: No determinado.
 LD: Límite de Detección.
 SM: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24th. Edition 2023.
 *: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
 Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió
 Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres
 Jefe de Laboratorio
 CIPN° 209612

Código de Validación: a21c3d5d192e4fa8b732c4333435f910
 La validación de este documento puede ser realizada en: portal.mylimsweb.cloud.

Cotización: C6075/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 13-06-2024 14:49

| Identificación del Cliente | |
|---|-----------------------|
| Cliente: BACA APAZA KEIKO WENYI | |
| Dirección: Molino II -Santiago-Cusco - Peru | |
| Contacto: Keiko Wenyi Baca Apaza | Teléfono: 903 067 665 |

| N° Muestra: 334569-1/2024.0 - Id: 1234090 - ANÁLISIS DE AGUA DE PROCESO | |
|---|---|
| Matriz: Agua de procesos | |
| Término de muestreo: 06-06-2024 16:00 | Fecha de Recepción: 11-06-2024 10:06 |
| Departamento: Cuzco | Provincia: Cuzco |
| Distrito: Cusco | Punto de muestreo: LABORATORIO - 3° ENSAYO / Agua sintética, realizada en laboratorio |
| Dirección de muestreo: UNSAAC | Tipo de muestreo: Puntual |
| Coordenadas: -- | Muestreado por: El Cliente |
| Instrumento ambiental: -- | Proyecto: Análisis de Arsénico en agua sintética |

Resultados Analíticos

Análisis No Acreditados

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha y Hora Análisis |
|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| Arsénico | 1,59 mg As/L | 0,02 mg As/L | SM 3030 F, 3120 B | 13-06-2024 09:39 |

Notas

ND: No determinado.
 LD: Límite de Detección.
 SM: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24th. Edition 2023.
 *: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
 Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió
 Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres
 Jefe de Laboratorio
 CIPN° 209612

Código de Validación: c8b37ff2c1614a6f865d913b7ee866a1

La validación de este documento puede ser realizada en: portal.mylimsweb.cloud.

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 13-06-2024 14:49

| Identificación del Cliente | |
|--|-----------------------|
| Cliente: BACA APAZA KEIKO WENYI | |
| Dirección: Molino II - Santiago-Cusco - Peru | |
| Contacto: Keiko Wenyi Baca Apaza | Teléfono: 903 067 665 |

| N° Muestra: 334580-1/2024.0 - Id: 1234093 - ANÁLISIS DE AGUA DE PROCESO | |
|---|---|
| Matriz: Agua de procesos | |
| Término de muestreo: 06-06-2024 16:00 | Fecha de Recepción: 11-06-2024 10:15 |
| Departamento: Cuzco | Provincia: Cuzco |
| Distrito: Cusco | Punto de muestreo: LABORATORIO - 4° ENSAYO REPLICA / Agua sintética, realizada en laboratorio |
| Dirección de muestreo: UNSAAC | Tipo de muestreo: Puntual |
| Coordenadas: --- | Muestreado por: El Cliente |
| Instrumento ambiental: --- | Proyecto: Análisis de Arsénico en agua sintético |

Resultados Analíticos

Análisis No Acreditados

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha y Hora Análisis |
|-----------|---------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| Arsénico | 0,998 mg As/L | 0,02 mg As/L | SM 3030 F, 3120 B | 13-06-2024 09:42 |

Notas

ND: No determinado.
 LD: Límite de Detección.
 SM: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24th. Edition 2023.
 *: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
 Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió
 Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres
 Jefe de Laboratorio
 CIP N° 209612

| |
|---|
| <p>Código de Validación: 63cb674049c54107b485565db458ca4c</p> <p>La validación de este documento puede ser realizada en: portal.mylmsweb.cloud</p> |
|---|

Cotización: C6075/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 13-06-2024 14:49

| Identificación del Cliente | |
|---|-----------------------|
| Cliente: BACA APAZA KEIKO WENYI | |
| Dirección: Molino II -Santiago-Cusco - Peru | |
| Contacto: Keiko Wenyi Baca Apaza | Teléfono: 903 067 665 |

| N° Muestra: 334579-1/2024.0 - Id: 1234092 - ANÁLISIS DE AGUA DE PROCESO | |
|---|---|
| Matriz: Agua de procesos | |
| Término de muestreo: 06-06-2024 16:00 | Fecha de Recepción: 11-06-2024 10:11 |
| Departamento: Cuzco | Provincia: Cuzco |
| Distrito: Cusco | Punto de muestreo: LABORATORIO - 4° ENSAYO / Agua sintética, realizada en laboratorio |
| Dirección de muestreo: UNSAAC | Tipo de muestreo: Puntual |
| Coordenadas: -- | Muestreado por: El Cliente |
| Instrumento ambiental: -- | Proyecto: Análisis de Arsénico en agua sintética |

Resultados Analíticos

Análisis No Acreditados

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha y Hora Análisis |
|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| Arsénico | 1,08 mg As/L | 0,02 mg As/L | SM 3030 F, 3120 B | 13-06-2024 09:31 |

Notas

ND: No determinado.

LD: Límite de Detección.

 SM: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24th. Edition 2023.

*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.

Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIPN° 209612

Código de Validación: 8f0cd81bfd7748c0aed6406a436037eb

 La validación de este documento puede ser realizada en: portal.mylimsweb.cloud.

Apéndice 5. Análisis de termogravimetría de la pectina extraída con mayor pureza



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS
S.A.C.**

INFORME DE ENSAYO IE-2024-1862

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC o DNI : 20172474501
1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 (LOCAL DIGA - ANTIGUO
COMEDOR) CUSCO - CUSCO - CUSCO

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : PECTINA
2.2 Muestreado por : CLIENTE ^(c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-08-07
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-08-08 al 2024-08-15
2.6 Fecha de Emisión : 2024-08-16
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-133660-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

| ENSAYO | MÉTODO |
|---------------------------------|--|
| Análisis Termo gravimétrico TGA | ASTM E1131 Método de prueba estándar para análisis de composición por termogravimetría |

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Termogravimetría PE-01 ^(c)


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE TERMOGRAVIMETRÍA (TGA)

- Método: ASTM E1131 "Método de prueba estándar para análisis composicional por Termogravimetría".
- Equipo Utilizado: Analizador térmico - Perkin Elmer - STA 6000.
- Rango de Temperatura: 35.00 °C – 700.00 °C. Atmósfera de Nitrógeno.

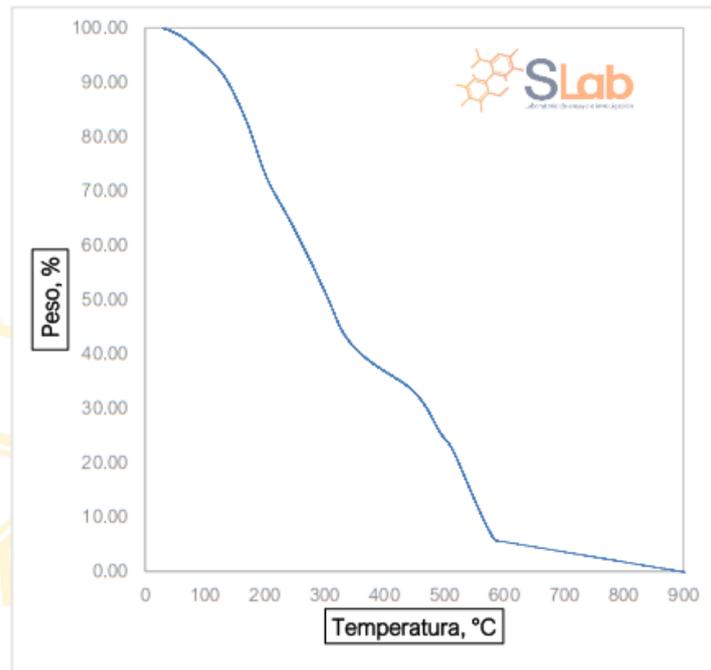


FIGURA N°1: GRÁFICO DE CURVA TGA

Comentarios:

- Para el rango de temperatura de 43 °C a 200 °C, se genera de pérdida de masa de posible humedad, siendo un 28 % de pérdida de peso.
- Para el rango de temperatura de 200 °C a 360 °C, se genera de pérdida de masa de posible degradación de la pectina, siendo un 32 % de pérdida de peso.
- Para el rango de temperatura de 360 °C a 600 °C, se genera de pérdida de masa de posibles componentes de PVA, siendo un 35 % de pérdida de peso.

Leyenda

(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.



FIN DE DOCUMENTO