

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**“ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO EN
LA EXTRACCIÓN ÁCIDA DE LA PECTINA DEL SANCAYO (*Lobivia
maximiliana*)”**

PRESENTADA POR:

WILLIAM GLADEMIR NINA PAUCAR

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PROMOCIÓN: 2013 - I

PUNO - PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO EN LA
EXTRACCIÓN ÁCIDA DE LA PECTINA DEL SANCAYO (*Lobivia maximiliana*)”

TESIS

PRESENTADA POR:

WILLIAM GLADEMIR NINA PAUCAR

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 02 DE FEBRERO DEL 2017

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:
M. Sc. DABLO PARI HUARCAYA

PRIMER MIEMBRO

:
Ing. EDGAR GALLEGOS ROJAS

SEGUNDO MIEMBRO

:
M. Sc. MARIENELA CALSIN CUTIMBO

DIRECTOR DE TESIS

:
Dr. ALEJANDRO COLOMA PAXI

PUNO - PERÚ

2016

Área : Ingeniería y tecnología

Tema : Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes

DEDICATORIA

A MI QUERIDO PADRE FRANCISCO, MI MADRE ROSA, A MIS HERMANOS Y HERMANAS POR SU APOYO MORAL E INCONDICIONAL ALENTARON LA CULMINACIÓN DE ESTA META.

DAR GRACIAS A NUESTRO SEÑOR JESUCRISTO POR DARME LA VIDA, LA BENDICIÓN Y ESTAR A MI LADO EN TODO MOMENTO.



AGRADECIMIENTO

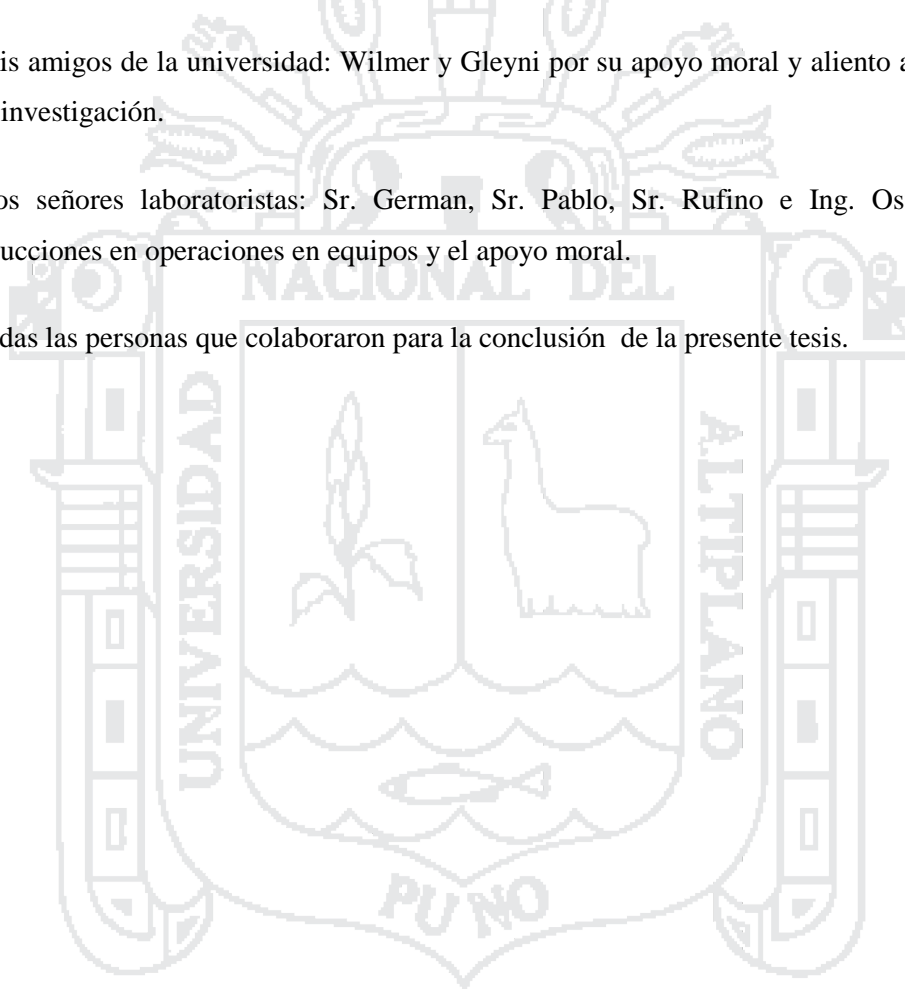
A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por la preparación y la formación profesional.

A los docentes: Dr. Alejandro Coloma Paxi, M. Sc. Pablo Pari Huarcaya, Ing. Edgar Gallegos Rojas, M. Sc. Marienela Calsin Cutimbo, M. Sc. Victor Choquehuanca Cáceres por el asesoramiento acertado en todo el periodo de la investigación.

A mis amigos de la universidad: Wilmer y Gleyni por su apoyo moral y aliento al desarrollo de esta investigación.

A los señores laboratoristas: Sr. German, Sr. Pablo, Sr. Rufino e Ing. Oswaldo por las instrucciones en operaciones en equipos y el apoyo moral.

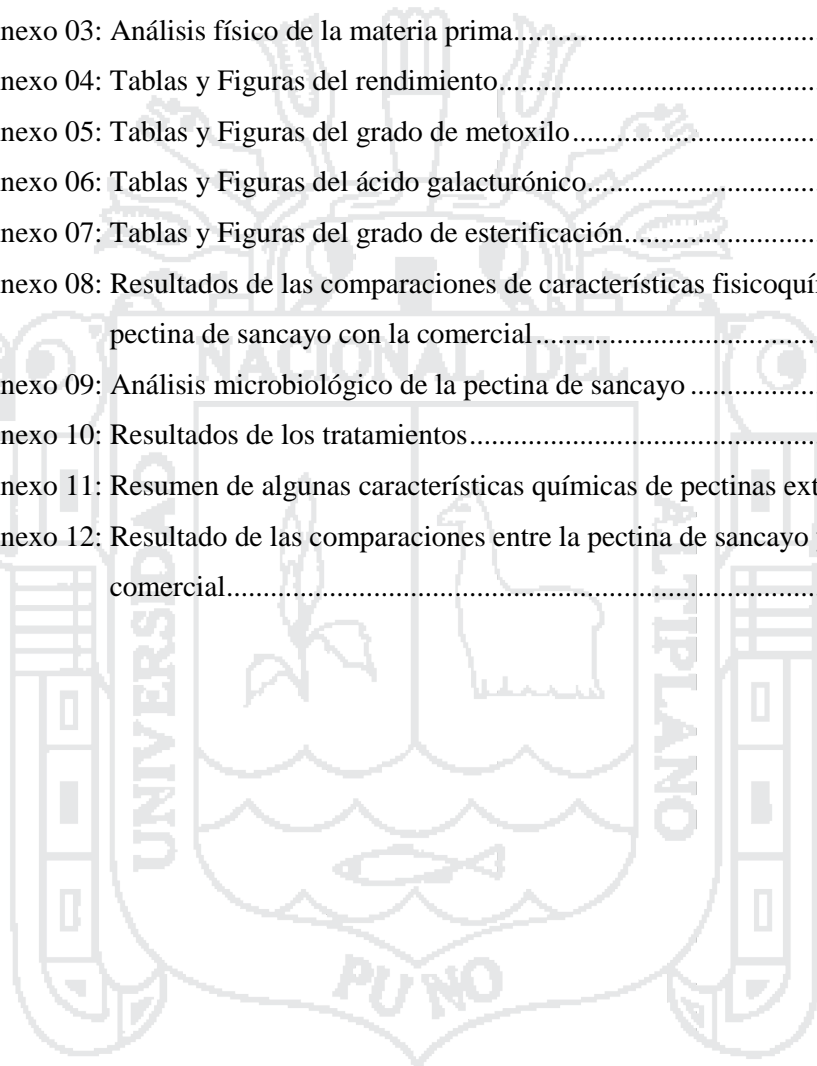
A todas las personas que colaboraron para la conclusión de la presente tesis.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
II. REVISIÓN LITERARIA.....	14
2.1. FAMILIA DE LAS CACTACEAE.....	14
2.2. SANCAYO.....	15
2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS PÉCTICAS.....	17
2.4. PECTINAS.....	18
2.5. EXTRACCIÓN ÁCIDA DE PECTINA.....	27
2.6. ACCIÓN DE AGENTES FÍSICOQUÍMICOS FRENTE A LAS PECTINAS.....	28
III. MATERIALES Y METODOS	
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	32
3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL.....	32
3.3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.....	32
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	34
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	38
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	43
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	45
4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA.....	45
4.2. DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO Y TEMPERATURA SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA EN LA OBTENCIÓN DE PECTINA.....	46
4.3. EVALUACIONES Y COMPARACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS ENTRE LA PECTINA DE SANCAYO CON LA PECTINA CÍTRICA COMERCIAL.....	52

V. CONCLUSIONES	57
VI. RECOMENDACIONES.....	58
VII. REFERENCIAS	59
ANEXOS	64
Anexo 01: Fotos de la investigación.....	64
Anexo 02: Informe de análisis de alimentos para el sancayo	65
Anexo 03: Análisis físico de la materia prima.....	66
Anexo 04: Tablas y Figuras del rendimiento.....	66
Anexo 05: Tablas y Figuras del grado de metoxilo.....	68
Anexo 06: Tablas y Figuras del ácido galacturónico.....	70
Anexo 07: Tablas y Figuras del grado de esterificación.....	72
Anexo 08: Resultados de las comparaciones de características fisicoquímicas entre la pectina de sancayo con la comercial.....	74
Anexo 09: Análisis microbiológico de la pectina de sancayo	77
Anexo 10: Resultados de los tratamientos.....	78
Anexo 11: Resumen de algunas características químicas de pectinas extraídas.	79
Anexo 12: Resultado de las comparaciones entre la pectina de sancayo y la pectina comercial.....	80



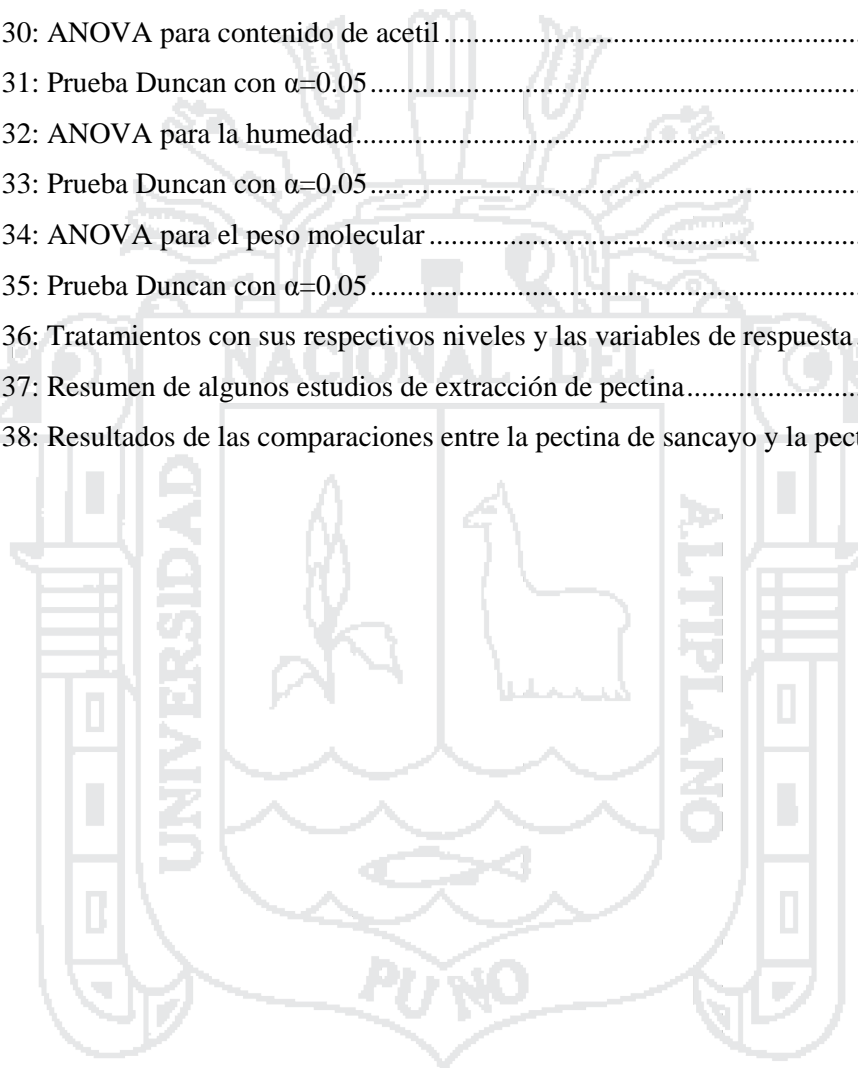
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Planta Sancayo.....	17
Figura 02: Estructura de la pectina.....	19
Figura 03: Diferentes tipos de uniones entre moléculas de pectina	19
Figura 04: Pectina de alto metoxilo	21
Figura 05: Pectina de bajo metoxilo.....	22
Figura 06: Pectina LM amidadas	22
Figura 07: Reacción y mecanismo de saponificación del ácido D-Galacturónico.....	23
Figura 08: Etapas de la investigación.....	38
Figura 09: Diagrama de flujo para la obtención de pectina de sancayo.....	39
Figura 10: Procedimiento para la comparación de características fisicoquímicas entre la pectina de sancayo y la pectina comercial.....	43
Figura 11: Gráfica de contornos para rendimiento.....	47
Figura 12: Gráfica de contornos para el contenido de metoxilo	48
Figura 13: Gráfica de contorno para el ácido galacturónico.....	49
Figura 14: Gráfica de contornos para el grado de esterificación.....	51
Figura 15: Comparación de medias entre pectina de sancayo y pectina comercial para el pH...	52
Figura 16: Comparación de medias entre pectina de sancayo y pectina comercial para la viscosidad.....	53
Figura 17: Comparación de medias entre pectina de sancayo y pectina comercial para el acetilo	54
Figura 18: Comparación de medias entre pectina de sancayo y pectina comercial para la humedad.....	55
Figura 19: Comparación de medias entre pectina de sancayo y pectina comercial para el peso molecular.....	56
Figura 20: Gráfica de maximización de respuesta para rendimiento	67
Figura 21: Gráfica de maximización de respuesta para el grado de metoxilo	69
Figura 22: Gráfica de maximización de respuesta para el ácido galacturónico	71
Figura 23: Gráfica de maximización de respuesta para el grado de esterificación	73

ÍNDICE DE TABLAS

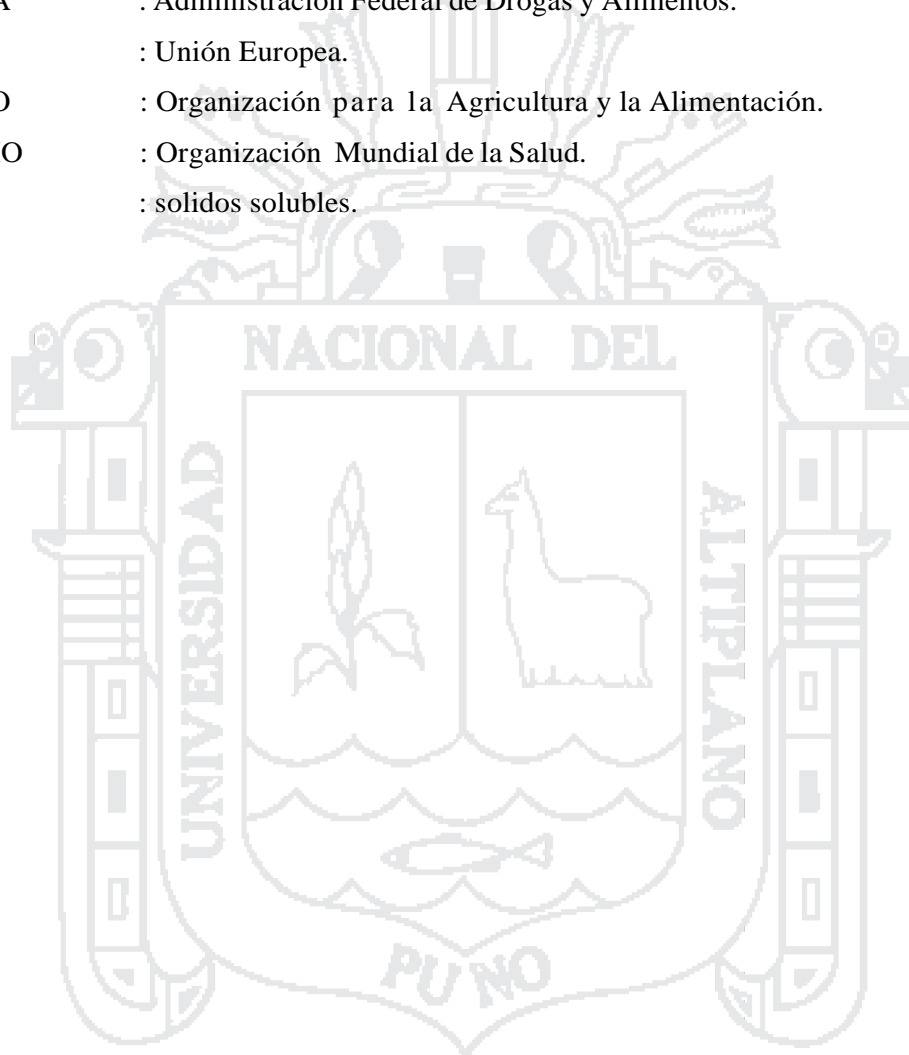
Tabla 01: Características de algunas de las cactaceae.....	15
Tabla 02: Clasificación taxonómica del Sancayo	17
Tabla 03: Normas internacionales de requerimientos de las pectinas.....	20
Tabla 04: Pectina extraída con ácido tartárico al 4 % a 95 °C	28
Tabla 05: Pectina extraída a distintas temperaturas, con ácido clorhídrico al 2 % durante 4 horas	28
Tabla 06: Análisis fisicoquímico del sancayo.....	46
Tabla 07: Características físicas del Sancayo.	66
Tabla 08: Análisis de varianza de rendimiento	66
Tabla 09: Coeficientes de regresión estimados del rendimiento en unidades codificadas.....	67
Tabla 10: Coeficientes de regresión estimados de rendimiento utilizando datos en unidades sin codificar	67
Tabla 11: Coeficientes de regresión estimados de grado de metoxilo en unidades codificadas.	68
Tabla 12: Análisis de varianza de grado de metoxilo	68
Tabla 13: Coeficientes de regresión estimados de grado de metoxilo (ajustado) en unidades codificadas.....	68
Tabla 14: Análisis de varianza de grado de metoxilo (ajustado)	69
Tabla 15: Coeficientes de regresión estimados de grado de metoxilo utilizando datos en unidades sin codificar	69
Tabla 16: Coeficientes de regresión estimados del ácido galacturónico en unidades codificadas.	70
Tabla 17: Análisis de varianza del ácido galacturónico	70
Tabla 18: Coeficientes de regresión estimados del ácido galacturónico (ajustado) en unidades codificadas.....	70
Tabla 19: Análisis de varianza del ácido galacturónico (ajustado)	71
Tabla 20: Coeficientes de regresión estimados del ácido galacturónico utilizando datos en unidades sin codificar	71
Tabla 21: Coeficientes de regresión estimados del grado de esterificación en unidades codificadas.....	72
Tabla 22: Análisis de varianza del grado de esterificación de la regresión de función de respuesta	72
Tabla 23: Coeficientes de regresión estimados del grado de esterificación (ajustado) en unidades codificadas.....	72
Tabla 24: Análisis de varianza del grado de esterificación (ajustado)	73

Tabla 25: Coeficientes de regresión estimados de grado de esterificación utilizando datos en unidades sin codificar	73
Tabla 26: ANOVA para el pH	74
Tabla 27: Prueba Duncan con $\alpha=0.05$	74
Tabla 28: ANOVA para viscosidad	74
Tabla 29: Prueba Duncan con $\alpha=0.05$	74
Tabla 30: ANOVA para contenido de acetil	75
Tabla 31: Prueba Duncan con $\alpha=0.05$	75
Tabla 32: ANOVA para la humedad.....	75
Tabla 33: Prueba Duncan con $\alpha=0.05$	75
Tabla 34: ANOVA para el peso molecular	76
Tabla 35: Prueba Duncan con $\alpha=0.05$	76
Tabla 36: Tratamientos con sus respectivos niveles y las variables de respuesta.....	78
Tabla 37: Resumen de algunos estudios de extracción de pectina.....	79
Tabla 38: Resultados de las comparaciones entre la pectina de sancayo y la pectina comercial	80



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

USP	: United States Pharmacopia Convection.
JEFC	: Comité Ad-hoc en Aditivos Alimenticios.
bs	: base seca.
FCC	: Codex Químico Alimenticio.
FDA	: Administración Federal de Drogas y Alimentos.
UE	: Unión Europea.
FAO	: Organización para la Agricultura y la Alimentación.
WHO	: Organización Mundial de la Salud.
s.s.	: solidos solubles.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo el análisis y determinación de la temperatura y tiempo en la extracción ácida de la pectina del sancayo (*Lobivia Maximiliana*) y su respectiva comparación, en cuanto a características fisicoquímicas, con la pectina comercial. Inicialmente se hizo un análisis fisicoquímico del sancayo, luego se procedió a la determinación de la influencia del tiempo y temperatura en el rendimiento, grado de metoxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación. A mayor temperatura y menor tiempo se obtuvo mayor rendimiento, a mayor temperatura y menor tiempo se obtuvo mayor contenido de metoxilo, a mayor temperatura y tiempo se obtuvo mayor contenido de ácido galacturónico y a menor temperatura y tiempo se obtuvo mayor grado de esterificación. Al final se hizo la comparación de características fisicoquímicas (pH, viscosidad, contenido de acetilo, humedad y peso molecular) entre la pectina obtenida, a temperatura de 90 °C/30 minutos, de sancayo con la pectina comercial en donde la viscosidad de la pectina de sancayo fue menor a la pectina comercial, el contenido de acetilo de la pectina de sancayo fue mayor a la pectina comercial, la humedad de la pectina de sancayo fue mayor a la pectina comercial y el peso molecular de la pectina de sancayo fue menor a la pectina comercial. Mientras para el pH fueron estadísticamente iguales. Se concluye que la pectina extraída de sancayo a temperatura de 80°C a 90°C por 30 minutos se obtiene mejores resultados y las características fisicoquímicas de la pectina comercial fueron mejores que la pectina de sancayo.

Palabras Claves: Sancayo, pectina, extracción acida, tiempo, temperatura.

ABSTRACT

The present research work aims at analysis and determination of temperature and time in the acid extraction of the pectin of the sancayo (*Lobivia Maximiliana*) and its respective comparison, as to physicochemical characteristics, with the commercial pectin. Initially a sancayo's physicochemical analysis became, next proceeded to him to the determination of the influence of time and temperature in the performance, degree of methoxyl, acid galacturónico and degree of esterification. Bigger performance was obtained to bigger temperature and minor time, to bigger temperature and bigger contents of methoxyl, to bigger temperature and time obtained minor time itself galacturónico obtained bigger contents of acid itself and bigger degree of esterification was obtained to minor temperature and time. At the end the contents of acetyl of sancayo's pectin did the comparison of physicochemical characteristics (pH, viscosity, contents of acetyl, humidity and molecular weight) between the pectin obtained, to 90 C/30's temperature minutes, of sancayo with the commercial pectin where the viscosity of sancayo's pectin was minor to the commercial pectin itself, you were older to the commercial pectin, the humidity of sancayo's pectin was major to the commercial pectin and the molecular weight of sancayo's pectin was minor to the commercial pectin. While for the pH they were statistically equal. One comes to an end than the extracted pectin sancayo to temperature of 80 C obtains to 90 C for 30 minutes better results and the physicochemical characteristics of the commercial pectin were better than sancayo's pectin.

Key words: Sancayo, pectin, acid extraction, time, temperature.

I. INTRODUCCIÓN

Las especies de la familia de las cactaceae, como el sancayo, pueden tener contenidos de mucilagos entre 3,78 % a 8,5 % y pectinas entre 5,32 % a 14,9 % (Azucena y Padrón, 2011).

El sancayo es una planta promisoría que se localiza en los medios endémica de los andes peruanos (Cutipa, 2009), crece en los lugares más áridos, su composición mucilaginoso y su crecimiento con poca disponibilidad de agua, lo convierte en una planta resistente a temperaturas bajas y a la sequía, condiciones comunes en los andes, con la capacidad de cubrir de vegetación territorios descartados para la agricultura y ganadería (Nina, 2017).

La investigación realizada se origina a raíz de un problema en los procesos de extracción de pectina para el sancayo por el método de hidrólisis ácida, en donde no se tiene un análisis y determinación de la temperatura y tiempo en la extracción ácida de pectina y como todo ello puede llegar a afectar a las características fisicoquímicas (rendimiento, grado de metoxilo, contenido de ácido galacturónico, grado de esterificación) en la pectina obtenida. También no se conoce si existe diferencias entre la pectina obtenida de sancayo con la pectina comercial en cuanto a sus características fisicoquímicas (Nina, 2017).

En este sentido, el presente trabajo de investigación tiene como importancia contribuir y ampliar los conocimientos del estudio científico de la extracción de pectina a partir de sancayo como materia prima, al analizar los efectos de la temperatura y tiempo sobre las características fisicoquímicas (rendimiento, grado de metoxilo, contenido de ácido galacturónico, grado de esterificación) de la pectina de sancayo y determinar la temperatura y tiempo necesaria para llevar a cabo una adecuada extracción. Así mismo, descubrir diferencias entre la pectina obtenida de sancayo con la pectina comercial referente a sus características fisicoquímicas (pH, viscosidad, contenido de acetilo, la humedad y el peso molecular) (Nina, 2017).

Los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes:

- Analizar y determinar la influencia de la temperatura y tiempo sobre el rendimiento, grado de metoxilo, grado de esterificación, contenido de ácido galacturónico en la extracción acida de la pectina de sancayo (*Lobivia maximiliana*).
- Evaluar y comparar las características fisicoquímicas (pH, viscosidad, contenido de acetil, humedad y peso molecular) de la pectina de sancayo con la pectina comercial.

II. REVISIÓN LITERARIA

2.1. FAMILIA DE LAS CACTACEAE

Plantas perennes, desde muy pequeñas hasta gigantescas, con los tallos continuos o articulados, globosos, ovoides, cilíndricos, planos, angulosos, con costillas y mamelones, simples o ramificados, solitarios o cespitosos, erguidos o decumbentes. Aréolas elípticas o circulares (lugar donde nacen las ramas, flores, espinas, gloquidios o pelusa). Las hojas típicas están ausentes, excepto en *Pereskia* que son simples, suculentas y alternas. En la mayoría las espinas representan hojas metamorfoseadas, los argumentos que apoyan esa homología entre hojas y espinas se basan en el origen de ambas estructuras en los puntos vegetativos y en su desarrollo filogenético. Las espinas se disponen formando fascículos en cada aréola (pequeñas almohadillas homólogas de las yemas) los cuales presentan dos puntos de desarrollo meristemático, que pueden originar además de espinas, brotes y flores. Se reconocen varias funciones de las espinas de las Cactáceas entre las que se mencionan: proteger contra la depredación de los animales; condensar la humedad del aire, para que la planta la utilice en su propia hidratación; ayudar a la dispersión y propagación vegetativa, proteger contra el efecto quemante del sol, disminuyendo la evaporación (Hoffmann, 2000).

Las flores son polinizadas probablemente por mariposas diurnas. Si bien la población produce muchas flores no ocurre así con los frutos, pues muchas plantas después de florecer no fructifican. Las paredes de los frutos, desde el mismo comienzo de la maduración (que se inicia a finales de febrero), son comidas al parecer por hormigas, muy abundantes en este período sobre las colonias de plantas, provocando que las semillas caigan en el ápice de la misma donde quedan atrapadas entre las mamilas por lo que algunas. De ellas germinan sobre la planta progenitora (Leyva et al., 2006).

Poseen altos niveles de carbohidratos no estructurales y materia mineral en donde predomina principalmente el calcio y potasio (Torres, 2010). Más del 60 % de los sólidos totales son polisacáridos mucilaginosos ligados a azúcares como glucosa, manosa, ramnosa, xilosa, arabinosa, galactosa y ácidos urónicos. El mucílago está compuesto de diferentes polisacáridos neutros, ácidos y acetilados (mananos, glucomananos, galactomananos), responsables de la gran capacidad que tiene la planta para retener agua y gracias a la cual puede sobrevivir en condiciones de sequía (Gampel, 2002).

El contenido de mucílago puede variar de 3,78 a 8,5 % y el de pectina de 5,32 a 14,19 %. El mucílago son carbohidratos complejos con gran capacidad de absorber agua y considerados

fuerza potencial industrial de hidrocoloides en proporciones que varían acorde al manejo del cultivo. El mucilago tiene la capacidad de gelificación con alto grado de viscosidad cuando se mezcla con agua, presenta composición química similar a las pectinas y por esta razón es generalmente asociado a ellas, no obstante, no parece estar químicamente relacionado, de manera covalente o no, a las pectinas estructurales de la pared celular (Azucena y Padrón, 2011).

Tabla 01: Características de algunas de las cactaceae.

COMPONENTES	Pencas de nopal*	Sanky**	Acanthocereus Tetragonus***	Hylocereus Undatus***	Epiphyllum Hookeri****
pH		2,95 ± 0,033			
Humedad (%)	88 - 94,12	93,34	87,95	91,30	85,63
Proteína (%)	2,07- 9,50		24,49	11,08	7,86
Extracto Etéreo (%)	0,40		1,23	0,94	2,95
Fibra cruda (%)			15,80	8,11	35,54
Carbohidratos (%)	75 - 87		46,35	67,51	
Cenizas (%)	6,59-17,10		12,12	12,36	7,23
Acidez (%)		2,69			
°Brix		3,4 ± 0,25			

*Torres (2010), Azucena y Padrón (2011)

**Evangelista y Rivas (2015)

***Juárez et al. (2012)

* ****Padrón et al. (2008)

2.1.2. DESCRIPCIÓN DEL GENERO LOBIVIA

Son plantas lobulares cortamente cilíndrica, simple o agrupada, costillas con muchas espinas. Flores diurnas, generalmente autoesteriles en forma de embudo corto o acampanadas, de disposición lateral, se origina en areolas antiguas; en algunas especies cerca del ápice y en otras por los lados de la planta, tubo floral corto y ancho, flor roja en la especie típica, pero en otras amarillas o blancas (Alanoca, 2009).

2.2. SANCAYO

2.2.1. INTRODUCCIÓN

Es endémica de los andes peruanos, tal como se aprecia en la Figura 01, crece en el altiplano puneño, en áreas secas, rocosas y pedregosas; se desarrolla entre 3.850 a 4.100 msnm.

(Cutipa, 2009). Es una planta silvestre importante para predecir el clima, según los campesinos. Una señal de buen año es cuando la floración de esta planta es abundante en el mes de agosto. Los campesinos asocian a esta planta mayormente como indicadora del futuro crecimiento de los tubérculos, principalmente de la papa. Cuando las flores de esa planta están destruidas en determinadas fechas en la estación de invierno, es señal de una mala producción de papa en el verano (Claverías, 1998).

2.2.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La variedad *Lobivia maximiliana* es una planta perene, color verde oscuro, diámetro de la panta de 10,0- 26,0 cm, costillas numerosas 14-22, espinas duras de color gris café rojizo a café oscuro en el extremo apical; flores vistosas, diurnas, pequeñas y pétalos de color rojo anaranjados miden de 3,5 a 4,1 cm de longitud y de 5cm a 6cm de diámetro (Cutipa, 2009);fruto baya esférica de 1,7 a 2,8 cm de diámetro, de color café rosa, pulpa de color blanco y semillas de color negro. Crece solitaria o formando grupos, con pocas espinas o muy espinosas. La forma solitaria puede ser globosa o deprimida. La agrupada de todos los tamaños, se trata habitualmente de grupos de 2 a 13 hijuelos. Esta forma se produce por gemación del tallo, ya que posee una sola raíz, raíz engrosada tuberiforme con ramificaciones fibrosas. Tallos esféricos, costillas numerosas (14 a 22), sesgadas, anchas (4 mm de ancho) y profundas (3 mm de alto). Epidermis color verde oscuro que con envejecimiento va variando a tonos amarillentos y rojizos. Hojas modificadas llamadas espinas, que nacen de las areolas; espinas duras de color gris café rojizo a café oscuro en el extremo apical, de 8 a 14 espinas por areola, 55 espinas centrales grandes de 4,2 a 5,1 cm de largo, 3 a 8 espinas radiales más pequeñas, finas y algunas algo horizontales de 0,7 a 2,7 cm de largo. En ejemplares adultos las espinas basales envejecen, ennegrecen y se vuelven quebradizas. Flores nacen de la 3° o 4° areolas formando una corona, brotan de 4 a 19 flores por planta, estambres numerosos (208 estambres), pistilo y estigma de 8 lóbulos de color verde limón. Frutos de baya esférica de 1,6 a 2,8 cm de longitud por 1,5 a 2,5 cm de diámetro. En el fruto se encontraron alrededor de 214 semillas negras pequeñas de 1 mm de diámetro, inmersas en pulpa blanca. Demora 1 a 2 meses en madurar. La aparición de brotes laterales, constituyendo un medio de propagación natural, llegando a desarrollar apretadas agrupaciones globosas, no se tiene datos sobre su reproducción por semilla (Alanoca, 2009)



Figura 01: Planta Sancayo (elaboración propia)

2.2.3. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Tabla 02: Clasificación taxonómica del Sancayo (Alanoca, 2009)

Reino	: Vegetal
Sub Reino:	Phanerogamae
División	: Angiospermae
Clase	: Dicotyledoneae
Subclase	: Archychlamydeae
Orden	: Cactales
Familia	: Cactaceae
Género	: Lobivia
Especie	: <i>Lobivia Maximiliana</i>
Nombre vulgar : Sancayo, waraco	

2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS PÉCTICAS

2.3.1. PROTOPECTINAS

Termino aplicado a las sustancias pécticas insolubles en agua, las cuales bajo condiciones controladas de hidrólisis originan ácidos pectínicos. Se caracterizan por tener todos los carboxilos esterificados y se hallan en mayor cantidad en los tejidos de los frutos no maduros o verdes (Navarro y Navarro, 1985)

2.3.2. ÁCIDOS PECTÍNICOS

Son los ácidos poligalacturónicos coloidales que contienen una apreciable proporción de grupos metil-éster. Estos ácidos, bajo condiciones adecuadas, son capaces de formar geles con azúcar y ácido, o si presentan un bajo contenido en metoxilo, con determinados iones metálicos. Las sales de los ácidos pectínicos se denominan pectinatos (Navarro y Navarro, 1985)

2.3.3. PECTINAS

Son los ácidos pectínicos solubles en agua caliente, con un contenido medio de éster metílico y grado de neutralización. Su principal característica es la capacidad de formar geles en presencia de suficientes sólidos solubles, ácidos o iones polivalentes (Navarro y Navarro, 1985)

2.3.4. ÁCIDOS PÉCTICOS

Son aquellas sustancias pécticas constituidas principalmente por ácidos poligalacturónicos prácticamente libres de grupos metoxilo debido a esto su grado de esterificación es de 0 % (León y Riveros, 2014). Las sales de estos ácidos se denominan pectatos y reaccionan fácilmente con los iones calcio de las células para producir compuestos insolubles en los jugos de frutas, dando un precipitado visible comúnmente en la separación de fases o abanderamiento en los néctares (Navarro y Navarro, 1985)

2.4. PECTINAS

2.4.1. DEFINICIÓN

La pectina es un polisacárido natural y uno de los constituyentes mayoritarios de las paredes de las células vegetales. Se obtiene a partir de los subproductos de la industrialización de los cítricos y las manzanas. Su estructura es la del ácido poligalacturónico esterificado parcialmente con grupos metilos y cadenas laterales de azúcares neutros, que facilitan la separación de las cadenas y, por consiguiente, su hidratación. Las pectinas en general, forman geles que pueden presentar retrogradación y cuya resistencia a los ciclos de congelación-descongelación dependen del contenido de azúcares del producto (Cubero et al. 2002).

En su forma natural encontramos la pectina en tres tipos: homogalacturonano, galacturonanos modificados y ramnogalacturonano I. El homogalacturonano está constituido por restos de ácido D-galacturónico unidos mediante un enlace α (1 \rightarrow 4), su estructura es como se muestra en la Figura 02. Los grupos carboxilos de los restos galacturonosil pueden encontrarse

esterificados con metanol o libres. Los grupos carboxilos libres pueden estar disociados y dar lugar a la formación de puentes de Ca^{2+} , que constituye la estructura conocida como caja de huevos. la pectina de naturaleza neutra está constituida por L-arabinosa, D-galactosa o ambas (Azcón y Talón, 2008).

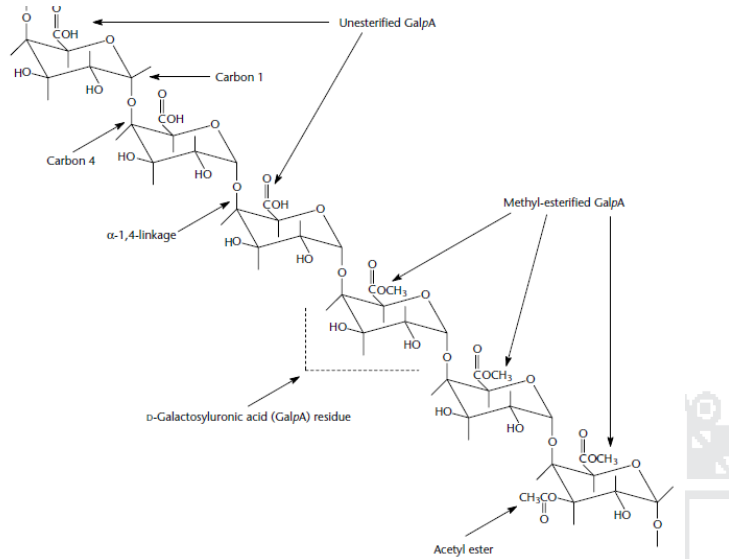


Figura 02: Estructura de la pectina (O'Neill et al. 2001)

Para crear una estructura resistente las pectinas usan mecanismos diversos en sus enlaces, tal como se muestra en la Figura 03.

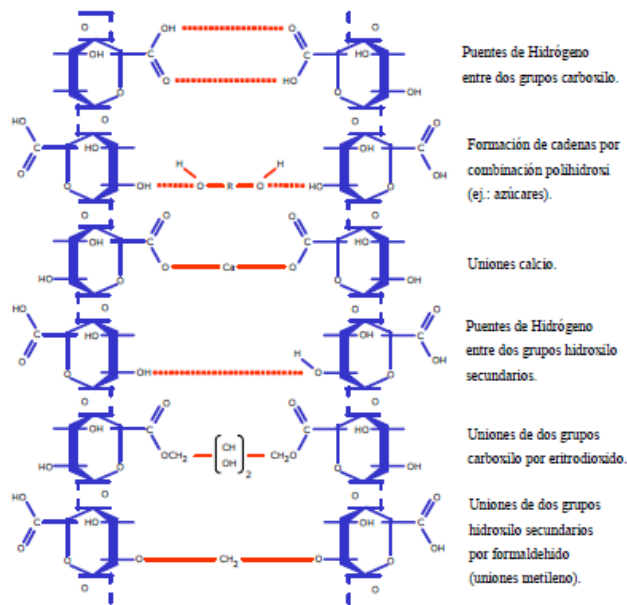


Figura 03: Diferentes tipos de uniones entre moléculas de pectina (García, 2009)

Tabla 03: Normas internacionales de requerimientos de las pectinas (García, 2009).

NORMAS		UE E440 pectina	UE E440 pectina amidada	FAO/WHO JECFA Pectina	FDA/FCC Pectina	USP Pectina
1	Pérdida de secado (%max)	12	12	12	12	10
2	Ceniza insoluble en ácido (3 N HCl) (%max)	1	1	1	1	-
3	Insolubles totales (%max)	-	-	3	3	-
4	Metilsulfato de sodio (%max)	-	-	-	0,1	-
5	Alcohol metil, etil, o isopropílico libre (en bs) (%max)	1	1	1	1	-
6	Alcohol metílico (%max)	-	-	-	-	0,3
	Alcohol etílico (%max)	-	-	-	-	0,5
	Alcohol isopropílico (%max)	-	-	-	-	0,5
7	Dióxido de azufre (en bs) (max. ppm)	50	50	50	50	-
8	Contenido de nitrógeno (pectina)(en bs y libre de ceniza) (%max)	1	-	2,5	-	-
9	Contenido de nitrógeno (pectina amidada) (%max)	-	2,5	2,5	-	-
10	Ácido galacturónico (en bs y libre de ceniza) (%min)	65	65	65	-	74
11	Contenido de metoxilo (en bs pectina no estandarizada) (%min)	-	-	-	-	6,7
12	Grado de amidación (%max)	-	25	25	25	-
13	Azúcar y ácidos orgánicos (%max)	-	-	-	-	160
14	Arsénico (max. ppm)	3	3	-	-	3
15	Plomo (max. ppm)	5	5	5	5	5
16	Cadmio (max. ppm)	1	1	-	-	-
17	Mercurio (max. ppm)	1	1	-	-	-
18	Metales pesados (como plomo) (max. ppm)	20	20	-	-	-
19	Pesticidas	Acorde a regulaciones generales alimenticias				
20	Gérmenes patógenos	Acorde a regulaciones generales alimenticias			Ausencia de salmonella	
21	Impurezas orgánicas volátiles	Acorde a regulaciones generales alimenticias			Límites definidos	

2.4.1.1. PECTINA COMO PECTATO DE CALCIO

Las pectinas en la célula se mantienen unidas por fuerzas de Van Der Walls relativamente fuertes y por enlaces iónicos (Ca²⁺). Estas pueden separarse por hidrólisis suave u otros medios,

transformándose en pectinas solubles, cuando se adiciona cloruro de calcio a estas pectinas solubles se precipitan en forma de péctato cálcico, la determinación de pectina como péctato de calcio consiste en solubilizar la pectina en agua caliente, para su posterior precipitación con una solución de cloruro de calcio anhidro en medio ácido (Silva, 2007).

En albedo de sidra el porcentaje de péctato de calcio es 5,22 %, en el fruto entero 3,13 % y en albedo seco 15,69 % (Lopez et al. 2000), en cacao 2,52 % en mucilago fresco y 2,8 % en mucilago seco, lo que da entender que a mayor cantidad de péctato de calcio se tendrá mayor extracción de pectina (Orocollo, 2005).

2.4.2. CLASIFICACIÓN DE LAS PECTINAS

2.4.2.1. PECTINAS DE ALTO ÍNDICE DE METOXILO (HM)

Este tipo de pectinas gelifican en medio ácido, en un rango de pH que va desde 2,0 hasta 3,5, con sólidos solubles mayores al 55 %, el grado de esterificación que debe presentar esta pectina debe de ser superior al 50 %, tiene la característica de ser térmicamente reversibles, este tipo de pectina se la puede encontrar mayor mente en la cascara de los cítricos especial mente en la naranja valencia. Cuando más esterificada este la pectina, más fácilmente se solubilizara en frio. Se recomienda dispersar en frio para facilitar su hidratación. La solubilidad de las pectinas HM es inversamente proporcional al contenido en solidos solubles del medio. Dado que las soluciones tienen una alta viscosidad, se recomienda realizarla en un medio con un contenido en solidos solubles (s.s.) inferior al 20 % y con una fuerte agitación mecánica. Otra opción es dispersar la pectina en una solución concentrada de azúcar o glucosa (s.s.= 70-80°Brix) que tenga poco de agua disponible, a continuación, diluir con agua hasta que la solución contenga menos de un 20 % de s.s. posteriormente se debe calentar hasta 80 °C para asegurar la completa solubilización de la pectina, garantizando así la formación de grumos (Cubero et al., 2002).

Las pectinas de alto metoxilo se gelifican debido a interacciones hidrofóbicas y a los puentes de hidrógeno entre las moléculas de la pectina, a bajo pH (menores a 3,5) y con alto contenido de azúcar (León y Riveros, 2014), su estructura se muestra en la Figura 04.

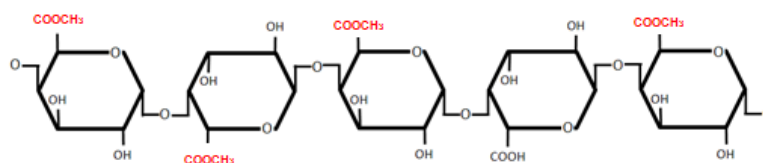


Figura 04: Pectina de alto metoxilo (Badui, 2006)

2.4.2.2. PECTINAS DE BAJO ÍNDICE DE METOXILO (LM)

Presentan un grado de esterificación menor del 50 % y no necesitan ni azúcar ni ácido para la gelificación, aunque si una cantidad controlada de calcio u otras sales divalentes. La LM gelifican en un amplio margen de sólidos solubles (10 % - 80 %) y pH entre 2,5-6,5 dando lugar a geles reversibles térmicamente y más o menos cohesionados según el contenido en calcio del producto y el valor de pH. Para mejorar la solubilidad en frío de las pectinas LM se recomienda neutralizarlas parcialmente. Si no es el caso, se recomienda hidratarlas en caliente. No presenta buena resistencia mecánica. Debido a su reactividad con el Ca^{2+} son apropiados como agentes gelificantes o espesantes en productos lácteos (Cubero et al., 2002), su estructura se muestra en la Figura 05.

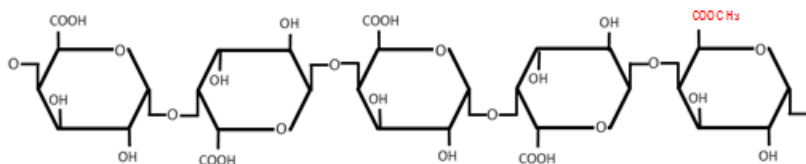


Figura 05: Pectina de bajo metoxilo (Badui, 2006)

2.4.2.3. PECTINAS LM AMIDADAS

Son pectinas de bajo metoxilo, pero algunos de los grupos metoxilo han sido sustituidos por grupos amida mediante una desesterificación amoniacal durante el proceso de obtención de la pectina. El margen de aplicación está entre 30 %-65 % de sólidos solubles y valores de pH entre 3-4,5, forman geles termorreversibles (Cubero et al., 2002), su estructura se muestra en la Figura 06.

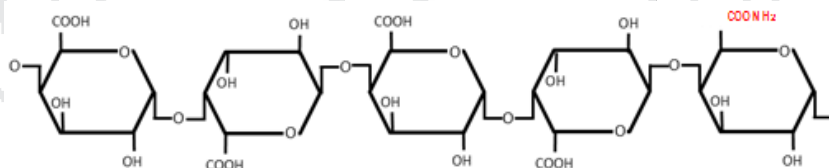


Figura 06: Pectina LM amidadas (Badui, 2006)

2.4.3. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS PECTINAS

Para obtener un gel con las características adecuadas, aparte de saber escoger entre los diferentes tipos de pectina que se puede encontrar en el mercado, hay que conocer cómo afecta a la gelificación los siguientes parámetros:

2.4.3.1. GRADO DE METOXILO

El grado de metoxilo es la relación de grupos ácido galacturónico metoxilados totales en el entendido de que el ácido galacturónico solo está parcialmente esterificado (Chevalier, 2016). Las moléculas de ácido D-galacturónico que conforman la estructura molecular de una sustancia péctica pueden presentar grupos Metil-Ester, la cantidad de estos grupos funcionales permiten evaluar la facilidad de formar geles, clasificarla como Bajo Metoxilo (LM), o de Alto Metoxilo (HM), además de determinar la sensibilidad de la pectina a la presencia de los cationes polivalentes (Suárez y Orozco, 2014)

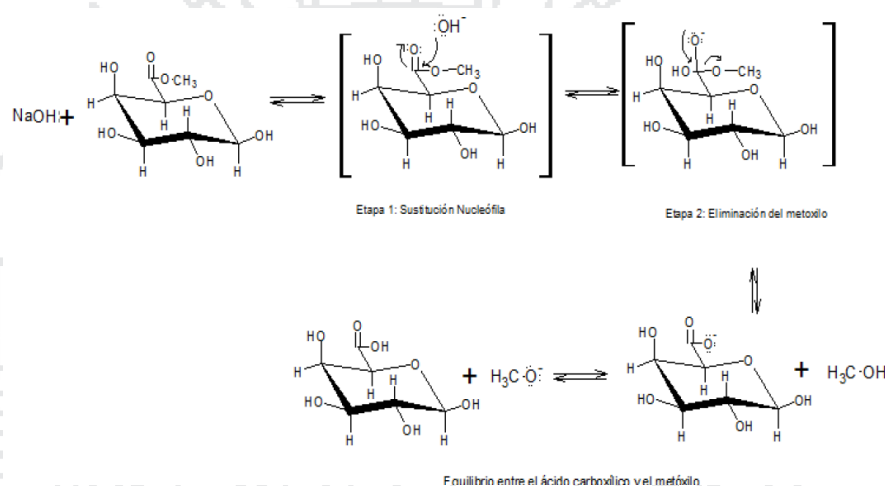


Figura 07: Reacción y mecanismo de saponificación del ácido D-Galacturónico (Suárez y Orozco, 2014)

Al aumentar la temperatura y tiempo de extracción se aumenta el rendimiento pero se reduce el porcentaje de metoxilos, debido al aumento de la hidrólisis de los ésteres en los grupos carboxilos metoxilados, y que está relacionado directamente con la calidad de la pectina (León y Riveros, 2014). A temperaturas altas más de 50°C hay demetilación progresiva a mayor velocidad. Las variaciones en el grado de metilación se pueden atribuir a factores como los diferentes contenidos de grupos metoxilo de las sustancias pécticas en su estado natural, durante la extracción y purificación de la pectina puede haber cambios significativos en el porcentaje por los tratamientos a los que se somete; además pueden existir cambios durante el almacenamiento ya que las soluciones de ácidos pécticos y pectínicos se degradan con el tiempo (García, 2009).

Un ácido pectínico completamente esterificado, tendría 16 % de grupos metoxílicos y esto es lo que equivale al 100 % de esterificación. Normalmente se encuentra en la pectina un 8,5 a 11 % de grupos metoxilos, siendo el mínimo necesario para conseguir una buena gelificación 8 % de grupos metoxilos. La proporción de metilación se expresa por el contenido en metoxilo (-

OCH3) lo cual dará a la pectina un grado determinado, sea alto si es mayor de 7 % o bajo si es menor a esa cantidad (León y Riveros, 2014)

2.4.3.2. ÁCIDO GALACTURÓNICO

El AG por ser un azúcar, una forma oxidada de la D-galactosa, estará acompañado de azúcares neutros como, L-arabinosa, L-ramosa, D-galactosa y de algunas impurezas arrastradas en las extracciones y para ello el AG no sirve para definir la fuerza del precipitado y comprobar la pureza del producto La FAO, FDA Y UE indica que una pectina de buena calidad no debe ser menor del 65 % y la USP establece como mínimo 74 % calculado en base seca. Valores menores son indicativo de que ha ocurrido una fragmentación de la pectina, ya sea por hidrólisis o acción enzimática (León y Riveros, 2014).

Los contenidos más altos de AG para cascara de cacao se observó a 90°C, donde alcanza un mayor rompimiento de los enlaces presentes en la estructura de la protopectina, provocado por el gran suministro de energía (Barazarte, 2006) , a tiempos de 60 minutos a 85°C. pH 2,0 se obtiene el mejor rendimiento en la cascara de plátano pero a pH 3,0 debido a la presencia de que se hidrolizan junto con la pectina extraída (Vasquez et al. 2008)

2.4.3.3. GRADO DE ESTERIFICACIÓN

El grado de esterificación es un índice que mide la proporción de grupos carboxilos de la cadena de galacturonanos presentes en la molécula de pectina que se encuentran esterificados con alcohol metílico (Barazarte, 2006). El cálculo del grado de esterificación expresado como porcentaje de esterificación por metilos, de los grupos carboxilo de los ácidos pectínicos, se basa en las determinaciones de la acidez libre y de las unidades metiladas. La suma de las unidades de carboxilos libres y de las unidades de carboxilos metilados corresponde al número de carboxilos totales de los ácidos pectínicos. La relación entre los carboxilos esterificados y los carboxilos totales (León y Riveros, 2014), expresados como mili equivalentes por gamo, puede llamarse grado de esterificación (Muñoz, 2011). A medida que la esterificación de la molécula aumenta, también aumenta su insolubilidad, para que esta se solubilice es necesaria la presencia de factores externos como calor para causar una hidrólisis de los esteres metílicos y lograr solubilizar la molécula en medio acuoso (Günauer, 2009). Cuando esta mayormente esterificado la pectina los grupos ácidos no están disponibles para formar enlaces cruzados con iones divalentes (Suárez y Orozco, 2014). El grado de esterificación varía según de la fuente obtenida (aloe vera 3 % a 9 %) (Kumar y Kumary, 2016).

2.4.3.4. pH

La presencia de grupos carboxilos libres da lugar a soluciones de pectina que exhiben un pH ácido. Una solución al 1 % de una pectina no tamponada (sin neutralización de los grupos carboxilos) puede dar un rango de pH de 2,7-3 (Smit, 1977). La tendencia a la formación del gel se incrementa con la reducción del pH (Cubero et al., 2002). El pH de las soluciones de pectina varía de 2,8 a 3,4 como función de grado de esterificación. Como polielectrolitos, las pectinas tienen calculada una constante de disociación aparente de $3,25 \times 10^{-4}$ a 19 °C (León y Riveros, 2014). La pectina es un ácido con un pK de unos 3,5, Presenta un alto porcentaje de ácidos disociados respecto a los no disociados, esto hace a la pectina más hidrofílica. Por lo que, la tendencia a gelificar aumenta considerablemente al disminuir el pH. Lo podemos evidenciar, en las pectinas de alto metoxilo, que generalmente requieren un pH de 3,5 para lograr gelificar (León y Riveros, 2014). Se determinó mediante el uso de un pH-metro, calibrando el pH de una solución de pectina en agua destilada al 1 % dando un pH de 3,05 (Durán y Honores, 2012) . Un porcentaje alto de grupos ácidos disociados respecto a los no disociados hace la pectina más hidrofílica. Por lo tanto la tendencia a gelificar aumenta considerablemente al bajar el pH. Esto se hace especialmente evidente en pectinas de alto metoxilo, las cuales requieren normalmente un pH por debajo de 3,5 para gelificar (Alfonso, 2010).

2.4.3.5. VISCOSIDAD

La viscosidad de la pectina de alto metoxilo depende: el grado de esterificación, longitud de la molécula, pH y temperatura y se incrementa conforme va alcanzando a la temperatura de ebullición. Las soluciones de pectina completamente esterificadas no cambian apreciablemente su viscosidad al variar el pH, pero al disminuir el grado de esterificación la capacidad de formar geles se vuelve dependiente del pH (Suárez y Orozco, 2014)

Concentraciones diferentes de un azúcar y diferentes azúcares afectan a la viscosidad de manera diferente. La viscosidad se incrementa marcadamente a medida que la temperatura se acerca a la temperatura de ebullición. La viscosidad intrínseca de la pectina extraída disminuye a medida que disminuye el pH de extracción, ya que a menor pH aumenta la degradación de las cadenas, que disminuyen su longitud y la viscosidad intrínseca está relacionada con la longitud de la cadena (Pagan, 1998).

En dispersiones de pectina una propiedad muy útil de la viscosidad es la resistencia del gel (soluto) a fluir en relación al agua conteniendo un electrolito. El objeto del electrolito es la de disminuir la ionización de los grupos carboxilos de la pectina. La pectina entonces pasa a ser un

electrolito neutro en vez de comportarse como un electrolito con gran efecto electroviscoso. El tiempo de extracción no es un factor importante en el aumento de la viscosidad de la pectina ya que es una característica propia de sus moléculas y está relacionada directamente con su peso molecular. La viscosidad de las pectinas disminuye con el aumento de temperatura, debido a que la molécula se rompe y su peso molecular disminuye (Alfonso, 2010). Usando un spin #06 en un viscosímetro Brookfield se determinó viscosidades de 219,7 cps para la pectina al 1 % (Durán y Honores, 2012), y en soluciones al 0,05 % de pectina la viscosidad fue de 19,2cp (lima), 10,7 (naranja), 7,2 (naranja dulce) y 12,2 (tejote).

Usando un viscosímetro BROOKFIELD spin #02 las viscosidades comprendidas entre 32 cps a 55 cps para cáscaras de toronja, en función de la temperatura, pH y tiempo. Optimizando 70 °C/80 minutos y pH 2,6 la viscosidad es 54,5 cps (Alfonso, 2010)

2.4.3.6. GRADO DE ACETILACIÓN

El grado de acetilo de la pectina es definido como la proporción de grupos ácidos acetil galacturónico para totalizar unidades del galacturona. La FAO establece que una buena pectina debe tener menos de 1 % de acetilo (Orocollo, 2005), y en características típicas de pectinas comerciales debe ser menores al 5 % (excepto por la pectina de remolacha) (García, 2009). Las pectinas de alto contenido de estos grupos tienen una baja capacidad de gelificación y por lo general debe ser menor al 3 %. La determinación de acetilo consiste en la saponificación de las muestras con NaOH 1 N con el fin de liberar los grupos acetilos y transformarlos en ácido acético (Pagan, 1998). En pectina de granadilla el contenido de acetil es 0,3 % a 0,5 % y en limón (0,26 %) (Bui et al., 2014), en toronja es de 0,456 % a 1,634 % y en pulpa de mango 0,215 % a 0,314 % (Ferreira, 2001), en epidermis de calabazas el contenido del acetil fue 0,018 % y 0,015 % (Ibrahuim, 2008), 0,27 % en mucilago de café típica y 0,32 % en pectina cítrica comercial, donde la influencia de los grupos acetilos se da en el poder gelificante de una pectina, entre otros factores, está influenciada por la remoción de grupos o cadenas laterales, los cuales están encubriendo grupos funcionales necesarios para la gelificación, tal es el caso de los grupos OH secundarios de las unidades de ácido galacturónico de pectinas esterificadas con ácido acético (Orocollo, 2005).

La hidrólisis en medio ácido disminuye los acetilos en varias veces superior. Guardando en frascos de vidrio y al repetir los análisis un año más tarde los acetilos sufren una pérdida espontánea, que en algunos casos llega a ser superior al 6 % de su contenido inicial. Esto parece indicar que los acetilos están débilmente ligados a la molécula pectica. A los álcalis los acetilos

son mucho más resistentes que los metoxilo, que se liberan casi instantáneamente, lo que impide el uso de sustancias alcalinas en la extracción de pectinas comerciales (Catalan, 1964).

2.4.3.7. HUMEDAD

La presencia de agua ligada en la pectina influye en la presencia de los grupos metoxilo; una mayor cantidad agua ligada al metoxilo, la pectina será más estable. Y una menor cantidad de agua ligada al metoxilo, se desestabiliza siendo fácilmente destruido, reduciendo su proporción en la molécula lo que ocasiona una posterior pérdida de gelificación. La función del agua ligada al grupo metoxilo de la pectina es impedir la hidrólisis inmediata del enlace carboxilo-metoxilo, protegiendo a la pectina de la desesterificación. Además va a generar más puentes de hidrógeno, necesarios para formar más uniones con otras moléculas logrando una gelificación fuerte (Günauer, 2009).

2.4.3.8. PESO MOLECULAR

El peso molecular de la pectina es relacionado con la longitud de la cadena, una característica muy importante de la que dependen la viscosidad de sus disoluciones y su comportamiento en la gelificación de las jaleas. La determinación del peso molecular es difícil, debido a la extrema heterogeneidad de las muestras y parcialmente debido a la tendencia de las pectinas a agregarse, aún bajo condiciones no favorables a la gelación. Se determinaron que los pesos moleculares variaban de 20000 a 300000 g/mol (Pagan, 1998), también se ha establecido que los pesos moleculares de pectina están comprendidas en el rango de 100000 a 200000 g/mol (García, 2009).

2.5. EXTRACCIÓN ÁCIDA DE PECTINA

La hidrólisis, ayuda a extraer la pectina y al mismo tiempo reduce su calidad causando la ruptura del enlace entre el carboxilo y el metilo (Günauer, 2009). Puede notarse un incremento del rendimiento con la disminución del pH pudiendo estar asociado a la extracción de diferentes biomoléculas existentes en la cáscara tales como almidón, hemicelulosa, celulosa, entre otros, durante el proceso de hidrólisis. Se observa que el contenido de metoxilo disminuye con el descenso del pH (Vasquez et al., 2008). Las temperaturas de hidrólisis mayores a 98 °C y tiempos de hidrólisis mayores a 90 minutos, influyen negativamente en los resultados finales, desnaturalizando y disminuyendo el grado de esterificación (Durán et al. 2012).

En la extracción ácida también se extrae (10,07 % en nopal vs 0,07 % de la Pectina cítrica RS150 comercial), también se debe a la naturaleza de la materia prima utilizada, dicho contenido

hace que este producto se constituya como una fuente potencial de fibra (Montenegro, 2015). La acción del ácido será mayor cuando más tiempo actúe, ya que durante cierto tiempo va liberando del tejido vegetal pectina soluble (ácido urónico) sin degradar su molécula, hasta cierto límite (tabla 04) luego, pasado este, la proporción de dichos ácidos decrece (Catalan, 1964).

Tabla 04: Pectina extraída con ácido tartárico al 4 % a 95 °C (Catalan, 1964)

Tiempo de extracción (horas)	Metoxilo (%)	Acetilo (%)	Cenizas (%)
1	4,97	4,17	1,42
2	4,69	3,98	1,63
3	4,92	3,54	1,87
4	5,02	3,20	1,99
5	4,78	3,05	2,18

Mientras con el contenido en metoxilo, a baja temperatura de hidrólisis las pectinas obtenidas con ácido clorhídrico poseen una riqueza superior (tabla 05), al ir elevando la temperatura este ácido actúa con mayor intensidad sobre los enlaces existentes entre estos grupos y los carboxilos de la cadena galacturónica (Catalan, 1964).

Tabla 05: Pectina extraída a distintas temperaturas, con ácido clorhídrico al 2 % durante 4 horas (Catalan, 1964)

Temperatura de extracción (°C)	Rendimiento (%)	Metoxilo (%)	Acetilos (%)	Cenizas (%)
95	16,3	4,07	12,63	1,41
50	11,5	4,62	11,31	1,23
10	1,2	5,4	3,64	0,98

2.6. ACCIÓN DE AGENTES FISICOQUÍMICOS FRENTE A LAS PECTINAS

Otra propiedad importante de las pectinas es la degradación que presentan por agentes físicos-químicos, tales efectos se muestran en el siguiente orden:

2.6.1. ACCIÓN DE LOS ÁCIDOS

En medio ácido, las pectinas sufren primero desmetoxilación (Durán y Honores, 2012) o desesterificación y después la hidrólisis de los enlaces glicosídicos con la consecuente ruptura de la cadena o despolimerización, la cual predomina con el aumento de la temperatura. Los ácidos

solubilizan la protopectina, por esta razón se emplea un medio controlado en los procesos de extracción de la pectina; aceleran la separación de los metoxilos, si su efecto se continúa se afectan los enlaces glicosídicos α (1 – 4) y se pueden romper, y a un pH fuertemente ácido, temperaturas altas y tiempos largos, se presenta la decarboxilación con formación de CO₂ y furfural. A bajas temperaturas predomina la saponificación y altas temperaturas la despolimerización (Suárez y Orozco, 2014).

2.6.2. ACCIÓN DE LAS BASES

El tratamiento con álcali a elevadas temperaturas conduce a una muy rápida saponificación y degradación de la pectina, aun a temperatura ambiente, el álcali diluido remueve rápidamente los grupos ester-metil y causa su degradación (Orocollo, 2005).

Los medios alcalinos actúan sobre los grupos ester metílicos; estos pueden ser eliminados a bajas temperaturas sin que ocurra necesariamente la despolimerización. Esta propiedad es aprovechada en la producción comercial de pectinas de bajo metoxilo. La adición de hidróxido de sodio permite obtener primero las sales ácidas, luego los pectinatos neutros y después ocurre el fenómeno de desmetoxilación o sea rompimiento de los ésteres metílicos (Suárez y Orozco, 2014).

2.6.3. TEMPERATURA

Cuando se enfría una solución caliente de pectina aumenta la tendencia a la cohesión entre las cadenas moleculares, las energías térmicas de las moléculas decrecen y su tendencia a gelificar aumenta. Cualquier sistema que contenga pectina, tiene un límite superior de temperatura por encima de la cual la gelificación nunca ocurrirá. Por debajo de esta temperatura crítica, las pectinas de bajo metoxilo gelifican casi instantáneamente mientras que la gelificación de las de alto metoxilo depende del tiempo. En contraste con las pectinas de bajo metoxilo, las de alto, son termo reversibles (Alfonso, 2010).

Al incrementa la temperatura durante el secado se produce una mayor degradación de la pectina. Esta degradación se debe a la ruptura de los enlaces que produce una separación del grupo oxidrilo del agua con el metoxilo. Al separarse el grupo oxidrilo se une con el hidrógeno (protón) del medio formando agua. Al quedar el grupo metoxilo sin el agua ligada este queda expuesto y es fácilmente hidrolizable dando como lugar a la desesterificación de la molécula con la consecuente formación del anión carboxilo y el catión metilo. El catión metilo se une a los oxidrilos de medio líquido y por ionización forman el metanol o etanol, los cuales son altamente volátiles (Günauer, 2009).

2.6.4. AZUCARES

Estos hidratos de carbono, tienden generalmente a deshidratar las moléculas de pectina en solución cuantos más sólidos en solución hay menos agua disponible para actuar como disolvente de la pectina y por lo tanto la tendencia a gelificar se favorece. En valores de sólidos solubles superiores al 85 % el efecto deshidratante es tan fuerte que la gelificación de la pectina es muy difícil de controlar. Las pectinas de alto metoxilo gelifican a valores de sólidos solubles por encima del 55 %. Para cada valor de pH en el cual la gelificación es óptima y un rango de pH en el cual la pectina se puede gelificar. Las pectinas de bajo metoxilo pueden gelificar a cualquier valor de sólidos solubles. La temperatura de gelificación disminuye al disminuir el contenido de sólidos solubles (Alfonso, 2010).

La solubilidad de la pectina es directamente proporcional al número de grupos carboxílicos esterificados e inversamente proporcional al peso molecular. La pectina es soluble en agua caliente hasta 2-3 %; En el agua la pectina forma grumos viscosos por fuera y secos por dentro, por esta razón la pectina se mezcla siempre con azúcar, sales amortiguadoras o se humedece con etanol antes de añadir agua (Günauer, 2009).

Las pectinas forman geles fuertes, cuando la pectina entra en solución acuosa, sus grupos carboxilo se disocian parcialmente para formar iones carboxilo con carga negativa ($R-COO^-$) provocando así el aumento de la carga negativa de las moléculas y la recíproca repulsión entre ellas y el azúcar desarrolla una acción deshidratante sobre la pectina y la lleva al límite de la solubilidad; el ácido, liberando iones hidrógeno positivos, neutraliza la acción de los iones carboxilo negativos, reduce al mínimo el aumento de la carga eléctrica y la disociación de la pectina y favorece las uniones físicas de sus moléculas (Günauer, 2009).

Para las pectinas de alto metoxilo, el grado de gelificación o grado de jalea estándar es un número que representa el número de gamos de azúcar que soportaría un gamo de pectina para producir una jalea estándar de 65 % de azúcar y una cantidad específica de ácido. Los grados usuales son 100, 150 y 200, Así, 1 g de pectina del grado 100 gelificará 100 g de azúcar (León y Riveros, 2014).

2.6.5. IONES CALCIO

Las pectinas LM gelifican solo en presencia de una cierta cantidad de iones calcio. La pectina tiene la habilidad para asociar iones debido a un contenido alto de carga negativa un ejemplo es su afinidad por el calcio (Macartain, 2008)

2.6.6. LA PROPORCIÓN ENTRE GRUPOS HIDROFÓBICOS E HIDROFÍLICOS

La proporción determina la solubilidad de la pectina. El grupo éster es menos hidrofílico que el grupo ácido y en consecuencia una pectina de alto metoxilo con un alto grado de esterificación gelifica a temperaturas más altas que otra con menor grado de esterificación. Esta diferencia se refleja en la clasificación de las pectinas en pectinas de gelificación rápida, normal o lenta (Muñoz, 2011).



III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en las siguientes instalaciones de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno:

- Laboratorio de procesos industriales de la EPIA
- Laboratorio de microbiología de la EPIA
- Laboratorio de evaluación nutricional de la EPIA
- Laboratorio de ingenierías de la EPIA

3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

3.2.1. MATERIA PRIMA

- ✓ La materia prima usada en esta investigación para la extracción de pectina fue el sancayo (*Lobivia maximiliana*) procedente del distrito de Conduriri, provincia el Collao, Región Puno, de la propiedad del señor Francisco Nina Castillo, a una altitud de 3950 msnm, con coordenadas de 16°36'56''S y 69°42'09''O. Con cualidades químicas descritas en el Anexo 02 y cualidades físicas descritas en la Tabla 22.
- ✓ Para las comparaciones se usó: pectina extraída de sancayo y pectina cítrica estándar comercial marca "SANTHY sabores y aromas" con grado de jalea estándar 106.

3.3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

3.3.1. EQUIPOS

- Balanza analítica (marca PIONEER con cuatro decimales de precisión con un máximo de 210 g)
- Estufa (marca VACUCCELL)
- Destilador de agua (dos litros de capacidad marca GFL)
- Licuadora (marca OSTER de 600 W de potencia)
- Equipo para titulaciones
- Agitador magnético (marca OVAN serie # 8171001)
- Autoclave (VERTICAL PRESSURE STEAM STERILIZER modelo LS-850L-AA serie 186 con fecha de fábrica 04/2011, con cap. Máxima de 0,22MPa/134 °C/50L)

- Mufla (marca THERMO SCIENTIFIC)
- Potenciómetro (marca INOLAB)
- Refractómetro digital 0 – 80 ° B “Atago”.
- Determinador de actividad e agua (marca AGUA LAB dew point wáter activity meter 4te)

3.3.2. MATERIALES

- Tubos de ensayo con tapa (PIREX).
- Fiolas de 100, 250, 500 y 1000 ml (PIREX).
- Matraces 250 y 500 ml (PIREX).
- Pipetas volumétricas 1, 5 y 10 ml (PIREX).
- Probetas de 10, 50, 100 y 500ml (PIREX).
- Vasos precipitados 80, 150 250, 500 y 600 ml (PIREX).
- Recipientes de vidrio herméticos.
- Termómetro (marca BOECO GERMANY modelo SH-135 con capacidad de -50 °C a 300 °C con precisión de un decimal).
- Frascos de vidrio de 250 ml de capacidad.

3.3.3. REACTIVOS

- Ácido clorhídrico (0,05, 0,1 y 0,25 Normal estandarizado).
- Etanol al 96 y 70 % (de laboratorio ALKOFARMACIA, con contenido de 1 litro en recipiente de plástico).
- Hidróxido de sodio (0,05, 0,1 y 0,25 Normal estandarizado).
- Fenoltaleina al 1 %.
- Indicador rojo de fenol (solución de rojo de fenol 0,101 g más 28,2 ml NaOH 0,01 M y 250 ml de agua destilada).
- Heliantina (solución de naranja de metilo 0,125 g más 250 ml de agua destilada)
- Carbonato de sodio anhidro en polvo (proveedora MALLINCKRODT con una pureza del 99,9 %).
- Biftalato de potasio (proveedora MALLINCKRODT con una pureza del 99,9 %).
- Sulfato de magnesio-ácido sulfúrico ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$ proveedora RIEDEL-DEHAEN con una pureza del 99,8 %)
- Cloruro de calcio 1N
- Cloruro de sodio (proveedora RIEDEL con una pureza del 99,9%)
- Ácido acético 1N

- Agua destilada
- Hipoclorito de sodio (lejía comercial marca CLOROX con una pureza en cloro de 4 % p/p).

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA

- HUMEDAD.-** Método gravimétrico usando el equipo determinador de humedad (A.O.A.C., 1990).
- PROTEÍNA.-** Según el Método de micro-Kjeldahl, empleando el factor 6.25 para obtener proteína total (A.O.A.C., 1990).
- GASA.-** Se usó el método de Soxhlet, empleando como solvente éter de petróleo (A.O.A.C., 1990).
- CENIZAS.-** Por calcinación a 550 °C durante 3- 5 horas (A.O.A.C., 1990).
- FIBRA BRUTA.-** Mediante digestión ácida y básica (A.O.A.C., 1990).
- CARBOHIDRATOS.-** Se obtiene por diferencia después que se han completado los análisis para humedad, proteína, gasa, ceniza y fibra (A.O.A.C., 1990)..
- pH.-** Con un potenciómetro marca INOLAB de rango 0-14(A.O.A.C., 1990).
- ACIDEZ TOTAL.-** Mediante titulación con NaOH 0,1 N y Fenolftaleína al 1 % como indicador, los resultados se expresaron como % de ácido cítrico.(A.O.A.C., 1990).
- PECTATO DE CALCIO.-** Según la metodología de las Normas mexicanas (1980) y el método de Carré y Hayes (1922), citado por Orocollo (2005).
- RELACIÓN DIÁMETRO TOTAL.-** Este valor se obtuvo de la división entre diámetro polar y ecuatorial (Ochoa, 2013).
- PESO.-** Se determinó mediante una balanza analítica (marca KERN modelo 24K2N), con capacidad máxima de 24 kg (A.O.A.C., 1990).
- ACTIVIDAD DE AGUA.-** Se determinó mediante el equipo AGUA LAB (dew point wáter activity meter 4te) (A.O.A.C., 1990)

3.4.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA PECTINA

3.4.3.1. RENDIMIENTO

Se determinó mediante los peso de la materia prima usada, en este caso Sancayo, y la pectina obtenida al final del proceso (Montenegro, 2015). Se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{W2}{W1} \times 100$$

Donde:

W1= masa del Sancayo después del pelado

W2=masa de la pectina obtenida

3.4.3.2. CONTENIDO DE METOXILO

El contenido de metoxilo es un factor importante en el control del tiempo de fraguado de pectinas, la sensibilidad de los cationes polivalentes y su utilidad en la preparación de geles sólidos bajos, películas y fibras. Se determina mediante la saponificación de la pectina y la titulación del grupo carboxilo liberado (Owens et al., 1952).

1. Pesar 0,5 g de la sustancia péctica (libre de amonio y cenizas) en un matraz erlenmeyer con tapa de 250 mL. Humedezca con 5 mL de etanol.
2. Agregar 1g de NaCl para hacer más notorio el punto final (agitar)
3. Agregar 100 mL de agua destilada libre de carbonatos, y 6 gotas del indicador de Hinton o Rojo de Fenol. Asegurarse que toda la sustancia péctica esté disuelta y que no haya grumos que se retengan en las paredes del matraz.
4. Titular lentamente (para evitar una posible desesterificación) con NaOH 0,1 N, hasta el cambio de color del indicador (pH 7,5) este cambio debe persistir por lo menos 30 segundos.
 - ✓ Agregar 25 mL de NaOH 0,25 N a la solución.
 - ✓ Agitar vigorosamente y déjela en reposo a temperatura ambiente con tapa, por 30 minutos en un matraz tapado.
 - ✓ Agregar 25 mL de HCl 0,25N (o una cantidad equivalente a la base agregada) y titule con NaOH 0,1N hasta el mismo punto final como anteriormente.

$$\% \text{ contenido de metoxilo} = \frac{\text{ml de alcali} \times \text{normalidad del alcali} \times 3,1}{W_{\text{muestra}}}$$

3.4.3.3. ÁCIDO GALACTURÓNICO

La pectina, que es un poligalacturónico parcialmente esterificado contiene 10 % o más de material orgánico compuesto de arabinosa, galactosa y azúcares. La estimación del contenido de ácido galacturónico es esencial para determinar la pureza y el grado de esterificación además de evaluar las propiedades físicas.

Procedimiento

Haciendo uso del peso equivalente, contenido en metoxilo y los datos de la alcalinidad de las cenizas, calcular el ácido galacturónico de la expresión dada a continuación (Owens et al., 1952).

$$\% AG = 176x \frac{(meq\ alcali\ peso\ equivalente + meq\ alcali\ saponificacion + meq\ cenizas\ titulables)}{peso\ de\ la\ muestra(mg)} \times 100$$

3.4.3.4. DETERMINACIÓN DE GRADO DE ESTERIFICACIÓN

Depende del ácido galacturónico (AUA) y metoxilo, según el método de Doesburg (1965) citado por León y Riveros (2014).

$$\% GE = \frac{\% metoxilos \times 176 \times 100}{\% AG \times 31}$$

3.4.3.5. pH

El pH se determinó usando una solución al 1 % (p/v) de pectina en agua destilada (León y Riveros, 2014). Para lo cual se usó el equipo potenciómetro marca INOLAB (A.O.A.C., 1990).

3.4.3.6. DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD

Según la metodología adoptada por Alfonso (2010), para determinar la viscosidad de tiene los siguientes procedimientos:

- ✓ Preparar una solución al 1 % (p/v) de pectina, evitando la formación de grumos y adhesión en las paredes del recipiente.
- ✓ Agitar por 10 minutos con agitador magnético.
- ✓ Tomar la viscosidad, con el viscosímetro probando cada husillo y variando las velocidades de rotación hasta encontrar los valores de viscosidad.

Los husillos son rotores donde cada rotor tiene un límite de medida de la viscosidad, para el viscosímetro NAHITA se tiene cuatro rotores.

3.4.3.7. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE ACETILO

El contenido Acetil fue determinado según el método de Ibrahuim (2008) y Mc Cready y Owens (1950), citados por Orocollo (2005).

- ✓ Pesar 0,5 g de pectina y añadir 25ml de 0,1 N NaOH, tapar el matraz y agitar los contenidos hasta que todo la pectina este disuelta.

- ✓ Dejar en reposo a temperatura ambiente por al menos 1 hora o preferiblemente toda la noche.
- ✓ Diluir la solución a 50ml con agua destilada. Añadir 20 ml y llevar al aparato de destilación.
- ✓ Añadir 20 ml de solución sulfato de magnesio ácido sulfúrico (se prepara mezclando 100g de cristales de sulfato de magnesio y 1,5 g de ácido sulfúrico diluido para 180 ml)
- ✓ Destilar al vapor y coleccionar 100 ml de destilado manteniendo el volumen constante en el frasco de destilación
- ✓ Titular el ácido acético (el destilado) con NaOH 0,05 N usando rojo de fenol como indicador
- ✓ Llevar a cabo una destilación en blanco usando 20 ml de agua y 20 ml de la solución sulfato de magnesio ácido sulfúrico y titular como se describe en el caso de la muestra
- ✓ El título debe ser menor de 0,1 ml de álcali estándar

$$\% \text{ acetilo} = \frac{N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} \times 4,3}{\text{peso de la muestra en la alícuota}}$$

Donde:

N_{NaOH} : normalidad del hidróxido de sodio.

V_{NaOH} : volumen de gasto del hidróxido de sodio.

3.4.3.8. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Se determinó usando el determinador de humedad, para lo cual se pesa 2 g de pectina en el propio equipo. El equipo trabaja a una temperatura de 130 °C x 10 minutos. El resultado final lo expresa en porcentaje de humedad (A.O.A.C., 1990).

3.4.3.9. DETERMINACIÓN DEL PESO MOLECULAR

Se determina mediante la viscosidad y la concentración (Untiveros, 2003).

$$\text{peso molecular (gr/mol)} = \frac{\left(Nr^{\frac{1}{6}} - 1\right) \times 6}{(C)(4,7 \times 10^{-5})}$$

Donde:

Nr: viscosidad relativa

C: concentración

3.4.4. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

- ✓ Recuento total de Mohos, (ICMSF, 1999)
- ✓ Recuento total de Escherichia Coli, (ICMSF, 1999)
- ✓ Recuento total de Bacillus Cereus, (ICMSF, 1999)
- ✓ Ausencia o presencia de Salmonella sp, (ICMSF, 1999)

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El trabajo de investigación se realizó en tres etapas, primero se hizo un análisis fisicoquímico del sancayo, luego se procedió a la determinación de la influencia de temperatura y tiempo en el rendimiento, grado de metoxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación, en la obtención de pectina, al final se hizo las comparaciones de las características fisicoquímicas entre la pectina de sancayo con la pectina comercial, se muestra en detalle de las etapas en la Figura 08 y la explicación de cada uno de ellas en los apartados 3.5.1, 3.5.2 y 3.5.3

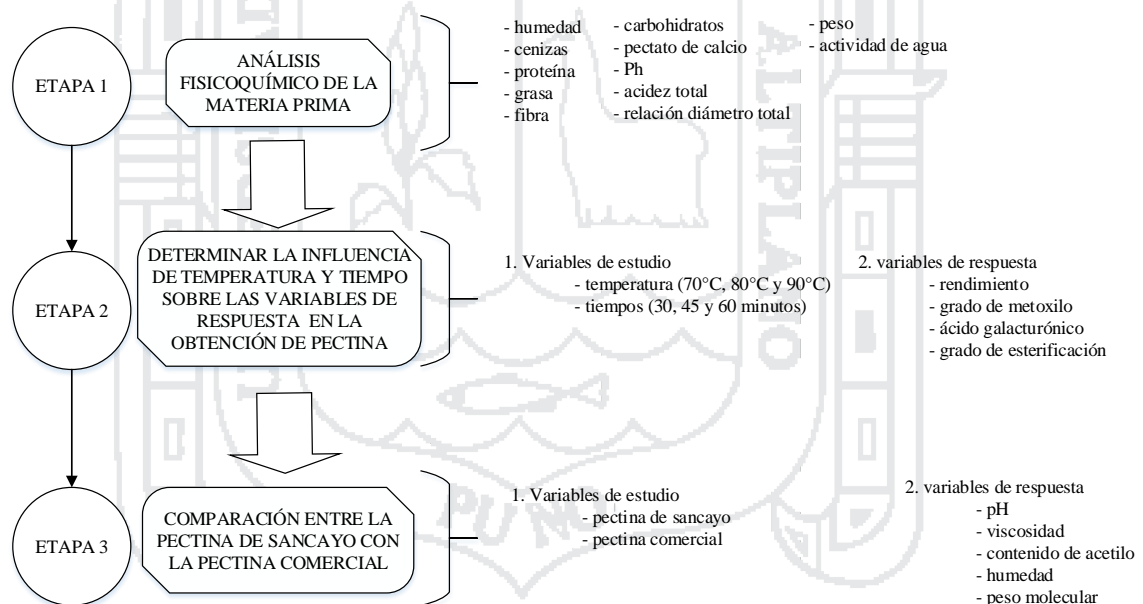


Figura 08: Etapas de la investigación

3.5.1. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA

El sancayo fue sometido a un análisis fisicoquímico de humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra, carbohidratos, pectato de calcio, pH, acidez total, relación diámetro total, peso, actividad de agua

3.5.2. DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO Y TEMPERATURA SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA EN LA OBTENCIÓN DE PECTINA

Se determinó la influencia de la temperatura y tiempo en el rendimiento, grado de metoxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación, en la obtención de pectina de sancayo. Para ello se estableció un diagrama de flujo que se muestra en la Figura 09, donde los procesos fueron adoptados de Shewfelt y Smit (1972), Souty y Jaquemin (1976), Soult y Cols (1981), citados por Navarro y Navarro (1985) y Owens et al. (1952), cada proceso empleado fue descrito y explicado.

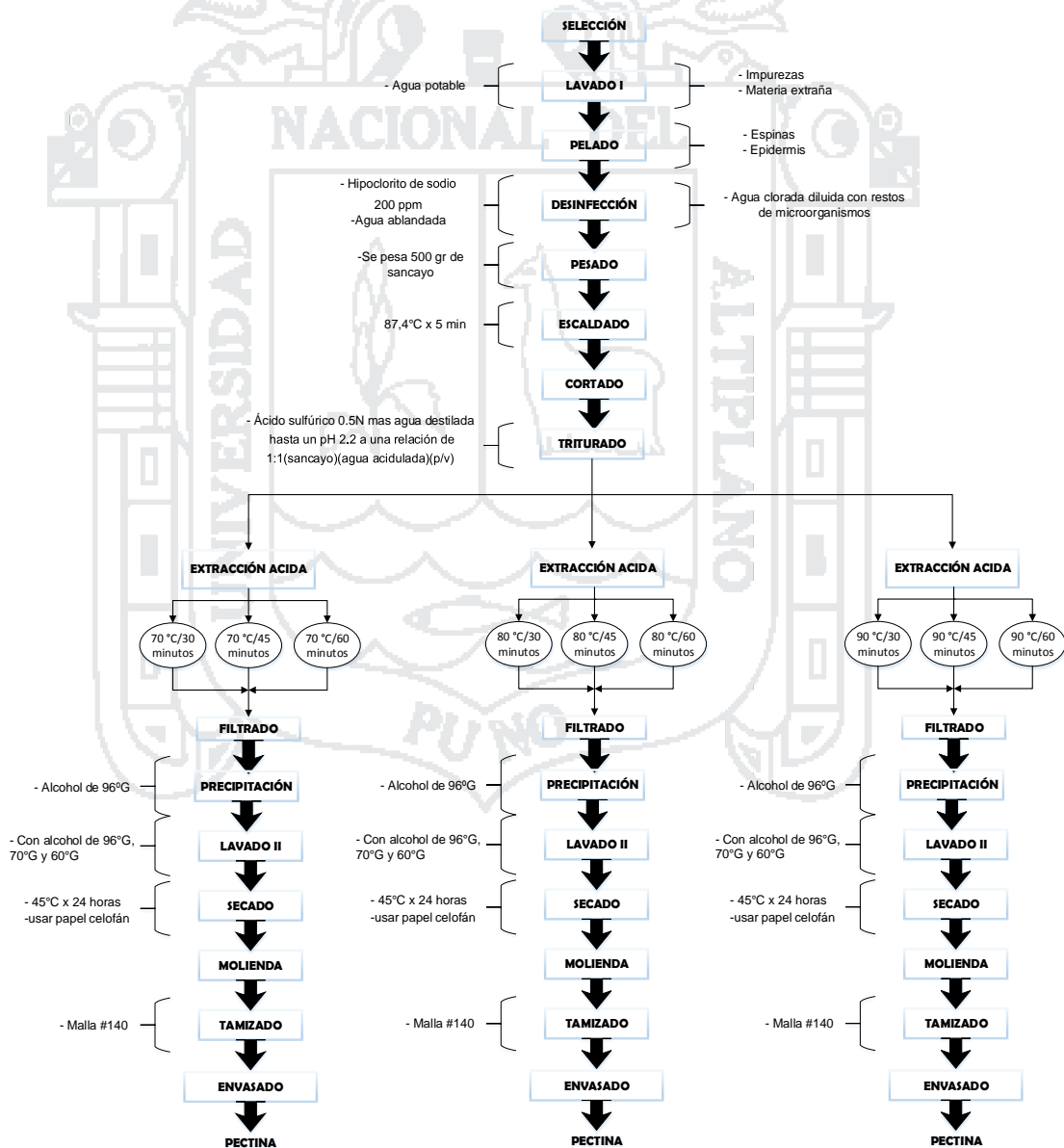


Figura 09: Diagrama de flujo para la obtención de pectina de sancayo

A. SELECCIÓN

Se seleccionó aquellos sancayos que resulten adecuados para el experimento. Estableciendo criterios de relación diámetro total, aspecto visual, peso, que estén en buen estado y más aspectos que se describen en la Tabla 22,

B. LAVADO I

Se procedió a retirar impurezas y materia extraña con agua potable y con ayuda de una escobilla se retira toda partícula extraña que se haya quedado plegado al sancayo

C. PELADO

Se retiró las espinas y la epidermis del sancayo con ayuda de cuchillo con mucho cuidado para evitar cortes o contaminación a la materia prima.

D. DESINFECCIÓN

Se usó hipoclorito de sodio a una concentración de 200 ppm para eliminar microorganismo existente en nuestra materia prima (Montenegro, 2015), luego se lava con agua ablandada para quitar los restos de cloro.

E. PESADO

Se procedió a pesar el sancayo ya pelado previo al escaldado, este peso será nuestra referencia para hallar el rendimiento de la pectina vía húmeda, la cantidad a pesar debe ser de 500 g de sancayo.

F. ESCALDADO

A una temperatura de 87,4 °C x 5 minutos (que es la temperatura de ebullición del agua en Puno) para inactivar pectinesterasas y poligalacturonasa (León y Riveros, 2014).

G. CORTADO

Cortar de tamaño homogéneo (Rodríguez et al., 1995), la pulpa del Sancayo con el fin de facilitar el triturado.

H. TRITURADO

Haciendo uso de una licuadora se trituro la pulpa de Sancayo usando como medio solvente el agua acidulada hasta poder lograr una distribución más uniforme disminuyendo el tamaño de partícula facilitando para su extracción de la pectina.

Se adicionó la solución acidulada antes de ser licuado, se usó ácido sulfúrico de concentración 0,5 N para la extracción y agua destilada (Montenegro, 2015) hasta alcanzar un p(H) de 2,2 (Devia, 2003) en una relación de 1 (Sancayo):1 (agua acidulada) (p/v), el tiempo de licuado fue de 2 minutos esto favorece un medio más homogéneo y distribuido.

I. EXTRACCIÓN ÁCIDA

La materia prima triturada y en solución con agua acidulada dentro de ella, se procede a vaciarlos en los frascos de vidrio.

Haciendo uso de la autoclave y realizando ajuste de temperatura mediante un termómetro de cable aislado y un cronometro para calcular el tiempo en que demora en llegar a la temperatura deseada en el centro de los frascos de vidrio de 250 ml de capacidad. Se procedió a la extracción acida del Sancayo usando combinaciones entre los parámetros: tiempo (30, 45, 60 minutos) y temperatura (70,80 y 90 °C) según el diseño experimental.

J. FILTRADO

Después de haber terminado la extracción se procedió a enfriar de inmediato para evitar posibles degradaciones de la pectina. Mediante el uso de la tela organsa se procedió a filtrar separando la fase solida (partículas gruesas y suspensiones) de la liquida (Rodríguez et al., 1995). La parte solida se descartó.

K. PRECIPITACIÓN

La parte liquida del filtrado se le añade alcohol etílico al 96° para precipitar la pectina, el volumen usado del alcohol es del 60 % del líquido filtrado (Devia, 2003), esta se estableció luego de varias pruebas y a ver corroborado con la bibliografía. De esta forma se puede obtener una un gel de pectina consistente y de forma definida, al mantener una agitación constante al momento de añadir el alcohol para asegurar una mejora en la precipitación. Se deja en reposo 24 horas con el alcohol etílico para terminar de separar los carotenoides y flavonoides (Chasquibol et al., 2008) . Pasado ese tiempo se verá tres proporciones: en el fondo el sedimento de color verde, en la

intermedia el alcohol y en la parte superior la pectina húmeda en forma de goma de color blanquecino. Con la ayuda de una espátula o cucharilla se procede a separar la pectina del medio para los lavados respectivos.

L. LAVADO II

La pectina húmeda obtenida se lava sucesivamente con alcohol de 96°, 70° y 60 para la eliminación de restos de ácido, impurezas, materiales no urónico tales como los azúcares galactosa, arabinosa, ramnosa, xilosa, fructuosa, etc. Asimismo ayuda a reducir el contenido de ceniza, el cual afecta la habilidad de la pectina de gelificarse, obteniendo una pectina aún más blanquecina y consistente (León y Riveros, 2014)

M. SECADO

La pectina húmeda se seca en la estufa a una temperatura de 45 °C por un lapso de 24 horas, usando papel celofán encima de las lunas de reloj para evitar q esta se pegue. Pasado el tiempo se retira de la estufa y se coloca en el desecador hasta que se enfríe

N. MOLIENDA

Con un mortero y capsula de porcelana se tritura la pectina seca, se usó papel celofán para evitar pérdidas en la molienda hacia el exterior.

O. TAMIZADO

Mediante el uso de un tamiz número #140 se obtuvo una pectina más fina y de granulometría más uniforme

P. ENVASADO

La pectina obtenida se trasladó a envases de vidrio hermético protegidos de la humedad, temperatura y alejada de la luz solar. Hay que evitar exposiciones prolongadas al medio ambiente pues la pectina tiene naturaleza higroscópica.

3.5.3. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS ENTRE LA PECTINA DE SANCAYO Y LA PECTINA COMERCIAL

Se compararon las características físico-químicas (pH, viscosidad, contenido de acetilo, humedad y peso molecular) entre la pectina de sancayo del tratamiento obtenida a 90 °C/30

minutos con la pectina cítrica comercial de la marca “SANTHY sabores y aromas” según el procedimiento de la Figura 10.

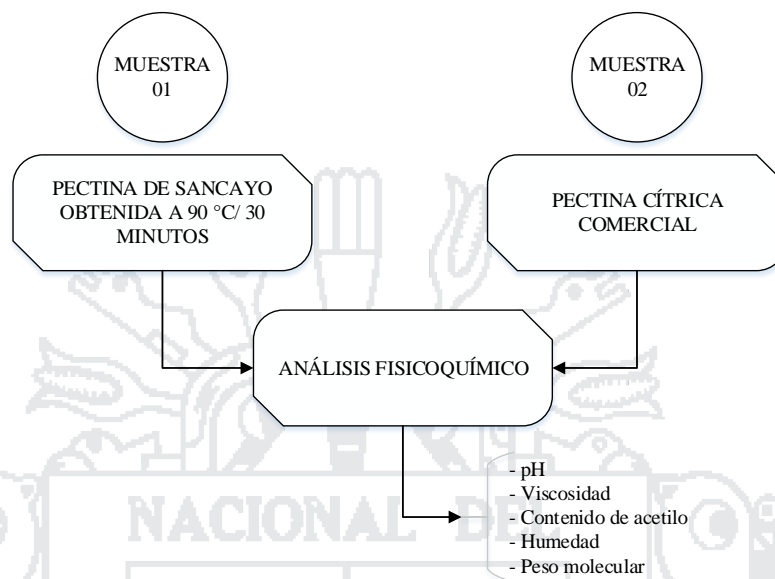


Figura 10: Procedimiento para la comparación de características fisicoquímicas entre la pectina de sancayo y la pectina comercial

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.6.1. DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO Y TEMPERATURA SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA EN LA OBTENCIÓN DE PECTINA

Para el análisis estadístico de la temperatura y tiempo y su efecto sobre las variables de respuesta, se crea en el software estadístico Minitab 15 Español un Diseño Completamente al Azar (DCA), con un arreglo factorial 3^2 con dos repeticiones con un nivel de confianza del 95 %. Se introduce los datos en el diseño creado para luego hacer las corridas. Al finalizar las corridas nos mostrará el ANOVA y en ella los factores e las interacciones que afectan significativamente a las variables de respuesta. Se efectúa el ajuste de la función de respuesta, por motivos que los factores son cuantitativos, encontrando la ecuación de respuesta, la gráfica de superficie de respuesta y contornos.

Variables en estudio

- Temperatura: Con tres niveles (70 °C, 80°C y 90 °C)
- Tiempo: Con tres niveles (30 minutos, 45 minutos y 60 minutos)

Variables de respuesta

- Rendimiento: En unidades de porcentaje (%)
- Contenido de metoxilo: En unidades de porcentaje (%)
- Ácido galacturónico: En unidades de porcentaje (%)
- Grado de esterificación: En unidades de porcentaje (%)

3.6.2. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS ENTRE LA PECTINA DE SANCAYO Y LA PECTINA COMERCIAL

Para el análisis estadístico de las comparaciones de características fisicoquímicas (pH, viscosidad, contenido de acetilo, humedad y peso molecular) entre la pectina de sancayo y la pectina comercial, se crea un Diseño Completamente al Azar (DCA) para dos tratamientos a un nivel de confianza del 95 % en el software estadístico Minitab 15 Español. Se introduce los datos para luego hacer las corridas. Al finalizar las corridas nos mostrará el ANOVA y en ella los tratamientos que afectan significativamente en las variables de respuesta. Se realiza una prueba de “t” de medias y la gráfica de medias para ver el comportamiento de cada tratamiento frente a las variables de respuesta.

Variables en estudio

- Pectina de sancayo obtenida a una temperatura de 90 °C por 30 minutos (tratamiento T₇ que obtuvo mayor rendimiento en el primer objetivo)
- Pectina cítrica comercial de la marca “SANTHY sabores y aromas”

Variables de respuesta

- pH: no posee unidades
- viscosidad: en unidades de centipoise (cp)
- contenido de acetilo: en unidades de porcentaje (%)
- humedad: en unidades de porcentaje (%)
- peso molecular: en unidades de gramos/mol (g/mol)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA

Los resultados del análisis fisicoquímico del sancayo se presentan en la tabla 06, estos resultados son avalados mediante la certificación que se presentan en el Anexo 02, Como se puede observar el contenido de humedad es de 90,72 % muy similar a los contenidos de humedad de diversas cactaceae reportados en la Tabla 01, El contenido de proteína (0,96 %) y gasa (0,12 %) es bajo a comparación de otras cactaceae, mas por el contrario el contenido de carbohidratos es elevado (70,5 %) esto debido a polisacáridos mucilaginosos ligados a azúcares (Gampel, 2002).el contenido elevado de cenizas (12,65 %) es característico de las cactaceae, en ella predomina el calcio y el potasio (Torres, 2010) y el contenido de fibra cruda (15,77 %) resulta ser elevada por la estructura misma de la planta (Juárez et al., 2012). El contenido de péctato de calcio fue de 2,96 % similar al mucilago de cacao (Orocollo, 2005) pero inferior a los cítricos, mientras la acidez expresada en ácido cítrico fue de 0,24 % y su pH fue de 5,76/15,6 °C. El diámetro total de 0,74 con un diámetro ecuatorial de 67,4 cm, la relación diámetro total es un indicador de la esfericidad, si el valor de la relación se aproxima a 1 esta será más esférica (Ochoa, 2013). El tamaño es un atributo físico usado para la clasificación y evaluar la calidad, las mediciones se realizan con micrómetros o medidores de longitud (Cubero et al., 2002). Para el peso se establece un intervalo de 350g a 400g de sancayo en peso bruto, y al realizar el lavado, corte de las espinas y parte de la raíz resultan con pesos de 150g a 200g, intervalos donde están comprendido los sancayos jóvenes que resultan tener mayor rendimiento en el proceso de extracción de pectina, esto se determinó en pruebas preliminares. La actividad de agua fue de 0,98 % a una temperatura de 24,37 °C., entonces la presión de vapor de agua del sancayo es mayor que la presión de vapor saturado y su humedad relativa es de 97,97 % (Singh y Heldman, 2001). Así mientras algunos alimentos resultan inestables a pesar de su bajo contenido en agua (ejemplo el aceite de cacahuete se altera cuando su contenido en agua supera el 0,6 %) otros con su contenido en agua elevado son muy estable (Fellows, 2000), el sancayo con este valor elevado de actividad de agua presenta una gran cantidad de agua disponible para la actividad microbiana, enzimática o bioquímica (Rodríguez et al., 2002).

Tabla 06: Análisis fisicoquímico del sancayo

COMPONENTES	CONTENIDO
Humedad (%)	90,72
Cenizas (%)	12,65
Proteína (%)	0,96
Grasa (%)	0,12
Fibra (%)	15,77
Carbohidratos (%)	70,05
Péctato De Calcio (%)	2,97
pH	5,76/15,6°C
Acidez Total (%)	1.92
Diámetro Ecuatorial (Cm)	67,4
Diámetro Polar (Cm)	81,18
Peso Bruto (Gr)	350-400
Peso Neto (Gr)	150-200
Actividad De Agua	0,98/24,37°C

4.2. DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO Y TEMPERATURA SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA EN LA OBTENCIÓN DE PECTINA

4.2.1. RENDIMIENTO

En el anexo 10 se presentan los resultados obtenidos del rendimiento y el anexo 04 se presentan los resultados del análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia del 5 %, en donde se observa que la temperatura y la interacción (temperatura y tiempo) afecta significativamente al rendimiento ($P \leq 0,05$), con un R^2 ajustado de 94,94 %, superior al 70 % lo que nos indica un ajuste adecuado del modelo (Ibañez, 2009).

Como los factores tiempo y temperatura son cuantitativas se usó un modelo de ajuste de regresión de superficie de respuesta, en donde se observa que la temperatura y la interacción (temperatura y tiempo) afecta significativamente al rendimiento con un R^2 ajustado de 91,99 %, en donde la falta de ajuste resulta no significativo, por consiguiente el modelo no requiere ajuste

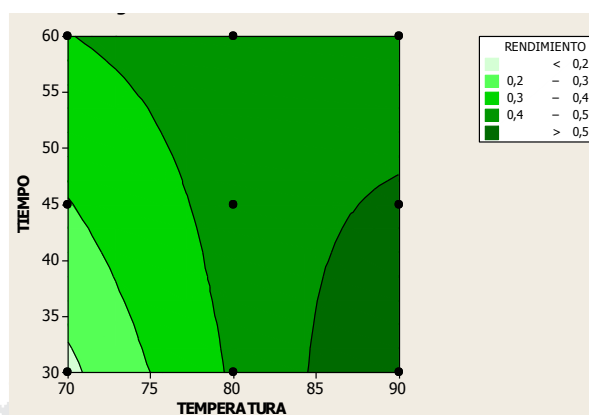


Figura 11: Gráfica de contornos para rendimiento.

En la Figura 11 se observa que el mayor rendimiento se encuentra entre los 85 °C a 90 °C en tiempos de 30-45 minutos y los más bajos rendimientos en 70 °C a 30 minutos. A mayores temperaturas el rendimiento fue mayor, tal como nos demuestra los diversos estudios de comparación de temperaturas de extracción de pectina, donde hasta cierto tiempo va liberando del tejido vegetal pectina soluble (ácido urónico) sin degradar su molécula, luego pasado este límite, la proporción de dichos ácidos decrece afectando al rendimiento (Catalan, 1964) originado por la ruptura del enlace entre el carboxilo y el metilo (Günauer, 2009). En estudios cercanos a la familia del sancayo como es la extracción de pectina de nopal donde llegado a 90 °C por 30 minutos el rendimiento decreció (Montenegro, 2015). Respecto al tiempo, a valores de 60 minutos se tiene los mayores rendimientos (0,4 % a 0,5 %) independientemente de la temperatura, entonces a mayores tiempos de extracción mayores rendimientos. También un incremento del rendimiento se atribuye al bajo valor del pH 2,2 de extracción, donde Vasquez et al. (2008) encontró que a pH 2,0 se obtiene una pectina de alto rendimiento pero de menor calidad en comparación con un pH 3,0 en cascara de plátano.

Al maximizar los factores temperatura y tiempo mediante la ecuación de regresión se obtuvo el valor máximo de rendimiento igual a 0,595 % con temperatura de 90 °C y tiempo de 30 minutos. El Anexo 11 hay varios estudios que obtuvieron valores máximos a temperaturas de 90 °C tal es el caso para cascarilla de cacao, pulpa del níspero de níspero, mesocarpio de la granadilla y nopal.

4.2.2. CONTENIDO DE METOXILO

En el Anexo 10 se presentan los resultados obtenidos del contenido de metoxilo y en el anexo 05 se presentan los resultados del análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia del 5 %, en donde se observa que la temperatura y la interacción (temperatura y

tiempo) afecta significativamente al contenido de metoxilo ($P \leq 0,05$), con un R^2 ajustado de 94,85 %, superior al 70 % lo que nos indica un ajuste adecuado del modelo (Ibañez, 2009).

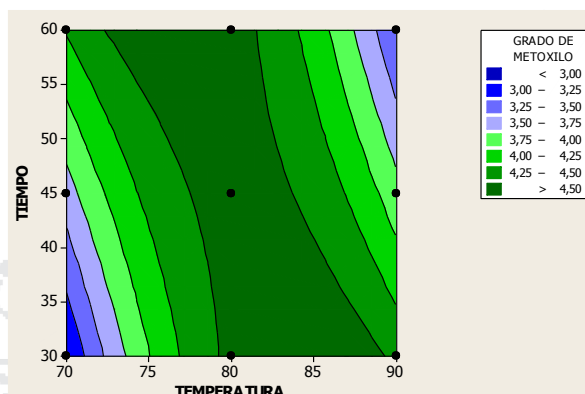


Figura 12: Gráfica de contornos para el contenido de metoxilo

En el modelo de ajuste de regresión de superficie de respuesta, se observa que la temperatura*temperatura y la interacción (temperatura y tiempo) afecta significativamente al grado de metoxilo, con un R^2 ajustado de 82,08 %, en donde la falta de ajuste resulta ser significativo (ver Tabla 32), por la cual es necesario realizar un ajuste al modelo extrayendo del análisis aquellos que resultaron ser no significativo si el programa nos lo permite. En el nuevo modelo ajustado, la falta de ajuste aún es significativo a pesar de haber hecho el ajuste, los factores tiempo y temperatura independientemente no afectan significativamente al grado de metoxilo, pero las interacciones de temperatura y tiempo sí afectan significativamente al grado de metoxilo.

En la Figura 12 se observa que el mayor valor de contenido de metoxilo (mayores a 4,5 %) se encuentra a temperaturas mayores a 75 °C y menores a 90 °C esto en función del tiempo, en estos intervalos es donde mayor grupos metil-éster podemos encontrar, estos grupos son muy importantes en la formación de geles (Suárez y Orozco, 2014). Los más bajos contenidos de metoxilo está a temperaturas menores a 80 °C y mayores a 85 °C en función al tiempo debido a que a mayores temperaturas y tiempos los grupos metil-éster tienden a degradarse y estos valores están directamente relacionados con el contenido de metoxilo y la calidad de la pectina, a mayores temperaturas y tiempos el rendimiento es mayor pero se reduce el contenido de metoxilos (León y Riveros, 2014), también se puede observar que a temperatura de 80 °C el tiempo es irrelevante para obtener un mayor valor de contenido de metoxilo. A medida que aumenta la temperatura y tiempo aumenta el contenido de metoxilo hasta cierto límite donde su valor decrece. Este comportamiento es típico en la extracción de pectina por el método ácido (Catalan, 1964).

En todos los casos se obtuvo valores muy por debajo de las especificaciones internacionales de la USP donde la mínima cantidad de metoxilo debe ser de 6,7 %, este valor

bajo obtenido de la pectina de sancayo puede ser justificado por la composición y conformación estructural propia del sancayo, o por el mismo proceso de extracción y purificación a la cual es sometida la pectina y también se atribuye a los cambios que puede sufrir durante el almacenamiento (García, 2009).

Al maximizar el contenido de metoxilo mediante el uso de la ecuación resultante de unidades descodificadas, se encuentra que a una temperatura de 84,34 °C y tiempo de 30 minutos tenemos un máximo grado de metoxilo de 4,71 %, con esto podemos definir que la pectina obtenida de sancayo es de bajo metoxilo.

4.2.3. ÁCIDO GALACTURÓNICO

En el Anexo 10 se presentan los resultados obtenidos del contenido de ácido galacturónico y en el anexo 06 se presentan los resultados del análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia del 5 %, en donde se observa que la temperatura y la interacción (temperatura y tiempo) afecta significativamente al contenido de ácido galacturónico ($P \leq 0,05$), con un R^2 ajustado de 91,25 %, superior al 70 % lo que nos indica un ajuste adecuado del modelo (Ibañez, 2009).

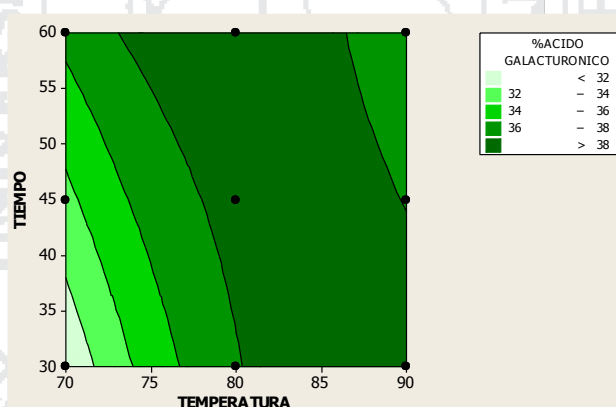


Figura 13: Gráfica de contorno para el ácido galacturónico.

En el modelo de ajuste de regresión de superficie de respuesta, se observa que la temperatura, temperatura*temperatura y la interacción (temperatura y tiempo) afecta significativamente al contenido de ácido galacturónico, con un R^2 ajustado de 81,11 %, en donde la falta de ajuste resulta ser significativo, por la cual es necesario realizar un ajuste al modelo extrayendo del análisis aquellos que resultaron ser no significativo si el programa nos lo permite. Luego de haber ajustado el modelo, la falta de ajuste aún es significativo.

En la Figura 13 se observa que a medida que aumenta la temperatura y el tiempo el contenido de ácido galacturónico también aumenta, esto debido a la mayor ruptura de los enlaces

presentes en la protopectina provocando la liberación de las cadenas galacturónicas (Vasquez et al., 2008). El mayor valor de ácido galacturónico se encuentra a temperaturas mayores a 75 °C en función del tiempo dando valores de ácido galacturónico mayores a 38 % donde ligeramente decrece su valor a temperaturas mayores a 85 °C y tiempos mayores a 45 minutos, esto debido a la exposición a temperaturas y tiempos elevados la riqueza de la pectina comienza a descender y la cadena de la pectina comienza a fragmentarse liberándose azúcares neutros como L-arabinosa, L-ramosa, D-galactosa y de algunas impurezas que luego son arrastradas en la extracción (León y Riveros, 2014).

Ya antes Barazarte (2006) comprobó que a condiciones de extracción de 85°C por 60 minutos en cascara de plátano a pH altos (pH 3,00) se obtenía mayor contenido de ácido galacturónico que usando pH de 2,00, tal vez esto afecto en nuestro estudio donde se trabajó a pH 2,20.

En todos los casos se obtuvo valores muy por debajo de las especificaciones internacionales de la FAO, UE y FDA donde establecen como mínimo 65 % de contenido de ácido galacturónico y la USP establece como mínimo 74 % (García, 2009), esto pudo estar atribuido a la misma composición química del sancayo (ver Anexo 02) en donde presenta contenidos elevados de cenizas (12,65 %), fibra (15,77 %) y carbohidratos (70,05 %), que al ser sometidas a la extracción acida fueron arrastradas junto con la pectina obtenida.

Al maximizar el contenido de ácido galacturónico mediante el uso de la ecuación resultante de unidades descodificadas, se encuentra que a una temperatura de 87,78 °C y tiempo de 30 minutos el ácido galacturónico toma el valor máximo de 39,65 %.

4.2.4. GRADO DE ESTERIFICACIÓN

En el Anexo 10 se presentan los resultados obtenidos del grado de esterificación y en el anexo 07 se presentan los resultados del análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia del 5 %, en donde se observa que la temperatura y la interacción (temperatura y tiempo) afecta significativamente al ácido galacturónico ($P \leq 0,05$), con un R^2 ajustado de 95,06 %, superior al 70 % lo que nos indica un ajuste adecuado del modelo (Ibañez, 2009).

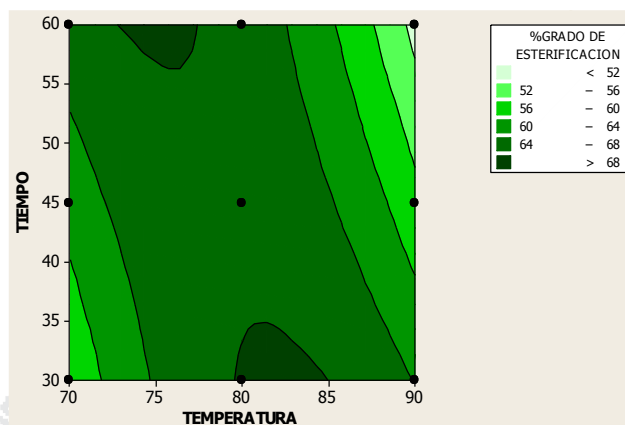


Figura 14: Gráfica de contornos para el grado de esterificación

En el modelo de ajuste de regresión de superficie de respuesta, se observa que la temperatura, temperatura*temperatura y la interacción (temperatura y tiempo) afecta significativamente al grado de esterificación, con un R^2 ajustado de 89,53 %, en donde la falta de ajuste resulta ser significativo, por la cual es necesario realizar un ajuste al modelo extrayendo del análisis aquellos que resultaron ser no significativo si el programa nos lo permite. Luego de haber ajustado el modelo, la falta de ajuste aún es significativo.

En la Figura 14, se observa que el mayor valor del grado de esterificación se encuentra entre los 80 °C-85 °C a tiempos menores a 35 minutos y 75 °C a tiempos mayores a 55 minutos dando valores de grado de esterificación mayores a 68 %, en esta región hay un porcentaje considerable de unidades carboxilos esterificados con alcohol metílico (Barazarte, 2006) en relación a los carboxilos totales (carboxilos metilados mas carboxilos libres), también debemos recordar que a mayores grados de esterificación aumenta su insolubilidad (Günauer, 2009) originado por el grupo éster que es menos hidrofílico que el grupo ácido (Muñoz, 2014). Y los de menor grado de esterificación (menores a 52 %) se encuentran a temperaturas altas como 90 °C y tiempo de 60 minutos, esto debido al efecto de la elevada exposición de la temperatura y tiempo que influyen negativamente en los resultados finales, puesto que la pectina se desnaturaliza y las características de gelificación, dadas por los valores de grado de esterificación, disminuyen (Durán y Honores, 2012).

También la materia prima revela variabilidad en las pectinas, tal es el caso del aloe vera que es una cactaceae de la familia del sancayo donde Kumar y Kumary (2016) reportó valores bajos de 3 % a 9 % en los grados de esterificación, esto es un precedente de que la familia de las cactaceae poseen grados de esterificación bajos, aunque contradictoriamente Montenegro (2015) reportó valores elevados del grado de esterificación para el nopal (86,9 %).

Al maximiza el grado de esterificación mediante el uso de la ecuación resultante de unidades descodificadas, se encuentra que a una temperatura de 82,27 °C y tiempo de 30 minutos el grado de esterificación toma el valor máximo de 68,59 %. La pectina obtenida de sancayo en todos los casos tuvo más del 50 % de grado de esterificación por lo tanto se considera como una pectina de alto grado de esterificación (Suárez y Orozco, 2014).

4.3. EVALUACIONES Y COMPARACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS ENTRE LA PECTINA DE SANCAYO CON LA PECTINA CÍTRICA COMERCIAL.

La comparación de características fisicoquímicas (pH, viscosidad, contenido de acetilo, humedad y peso molecular) entre la pectina de sancayo que obtuvo un mayor rendimiento (90 °C/30 minutos), con la pectina cítrica comercial de la marca “SANTHY sabores y aromas”.

4.3.1. pH

En el anexo 12 se presentan los resultados para el pH a una temperatura de 18,3 °C y en la anexo 08 la comparación del pH entre la pectina de sancayo y pectina comercial, en donde se observa que no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0 %.

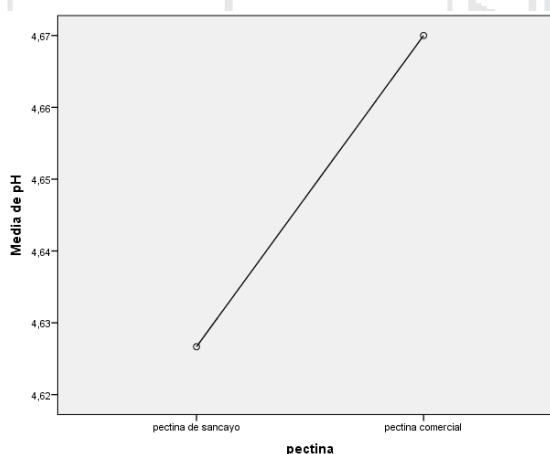


Figura 15: Comparación de medias entre pectina de sancayo y pectina comercial para el pH

En la figura 15 el pH hallado en ambas pectinas resulta ser mayor a los pH que nos presenta la bibliografía donde normalmente se tiene pH en soluciones al 1 % comprendido entre 2,7-3,0 (Smit y Wiles, 1977) y 2,8 a 3,4 (León y Riveros, 2014) y 4,02 (García, 2009). La presencia de grupos carboxilos libres da lugar a soluciones de pectina que exhiben un pH ácido. También el pH está en función del grado de esterificación, el pK de las pectinas es de unos 3,5

(León y Riveros, 2014) donde el pK es el pH ideal para que la sustancia este en equilibrio, en nuestro caso las pectinas comparadas se encuentran alejados del pK. Las medias de los pH fueron de 4,63 para la pectina de sancayo y para la pectina cítrica el pH es 4,67,

4.3.2. VISCOSIDAD

En el anexo 12 se presentan los resultados para la viscosidad y en el anexo 08 la comparación de la viscosidad entre la pectina de sancayo y pectina comercial, en donde se observa que hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos usando los dos husillos, con un nivel de confianza del 95,0 %.

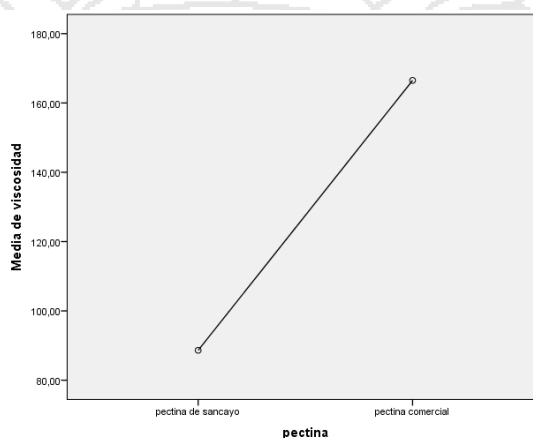


Figura 16: Comparación de medias entre pectina de sancayo y pectina comercial para la viscosidad.

En la figura 16 la viscosidad de la pectina de sancayo es menor a la pectina comercial, la viscosidad depende del grado de esterificación y el grado de esterificación de la pectina de sancayo resulto ser relativamente de alta. También Alfonso (2010) reportan valores de 219,7 cps en soluciones de pectinas al 1 % (p/v) que al ser comparadas con la pectina de sancayo resulta ser inferior, pero en comparación con otras fuentes de pectina obtenidas, la pectina de sancayo resulta ser mayor, con los resultados del husillo #02, tal es el caso para cascara de toronja (55 cps).

4.3.3. CONTENIDO DE ACETILO

En el anexo 12 se presentan los resultados para el contenido de acetilo y en el anexo 08 la comparación del contenido de acetilo entre la pectina de sancayo y pectina comercial, en donde se observa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95,0 %.

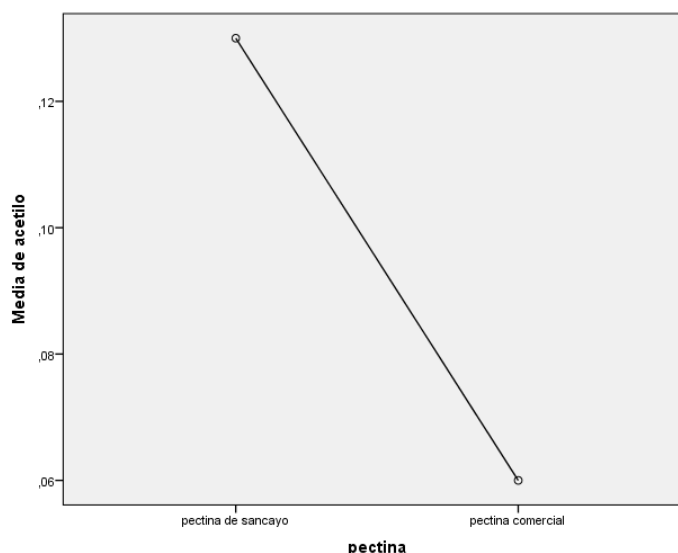


Figura 17: Comparación de medias entre pectina de sancayo y pectina comercial para el acetilo.

En la figura 17 la pectina de sancayo posee más cantidad de grupos acetilo en su estructura que la pectina comercial, según los reportes de la FAO establece que el contenido de acetilo debe ser menor al 1 % (Orocollo, 2005), también se estableció que debe ser menores a 3 % (Pagan, 1998) y hasta menores a 5 % (con excepción de la pectina de remolacha) (García, 2009). Para determinar el contenido de acetilo se saponifica con NaOH 1 N con el fin de liberar los grupos acetilos y transformarlos en ácido acético (Pagan, 1998).

4.3.4. HUMEDAD

En el anexo 12 se presentan los resultados para el contenido de humedad y en el anexo 08 la comparación de humedad entre pectina de sancayo y pectina comercial, en donde se observa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95,0 %.

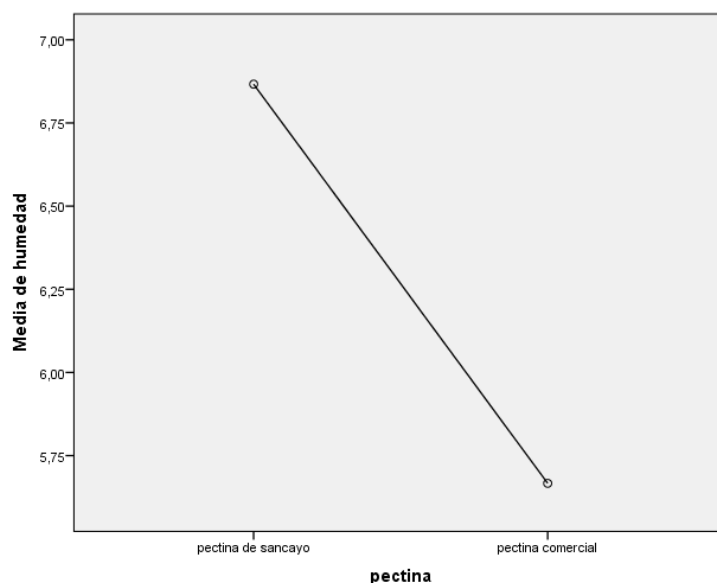


Figura 18: Comparación de medias entre pectina de sancayo y pectina comercial para la humedad.

En la figura 18, la pectina de sancayo tuvo mayor humedad que la pectina comercial, las normativas de la FAO, UE y FDA establece como límite máximo 12 % y según la USP su límite máximo es de 10 % (García, 2009), en la pectina de sancayo obtenida se tuvo una humedad que está dentro de los márgenes. También es conocida la higroscopicidad de la pectina por ello se recomienda almacenarlo en recipientes herméticos protegidos de la humedad.

4.3.5. PESO MOLECULAR

En el anexo 12 se presentan los resultados para el peso molecular y en el anexo 08 la comparación de peso molecular entre la pectina de sancayo y pectina comercial, en donde se observa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95,0 %.

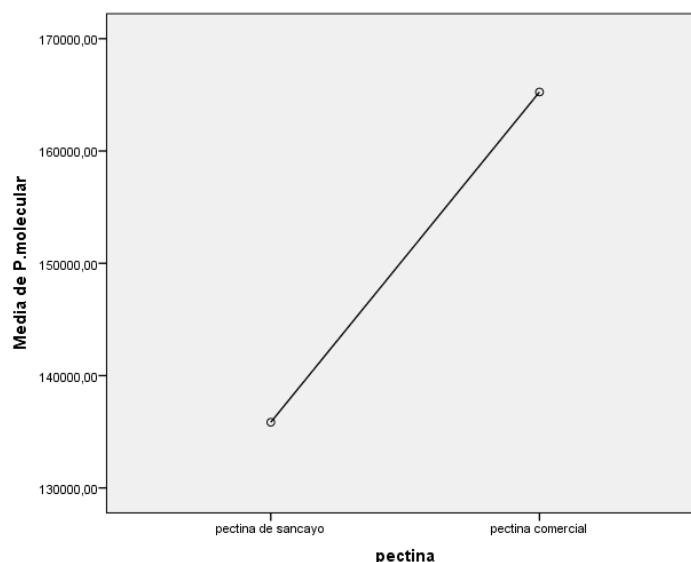


Figura 19: Comparación de medias entre pectina de sancayo y pectina comercial para el peso molecular.

En la figura 19, la pectina de sancayo tiene valores de peso molecular inferiores al de la pectina comercial, se puede decir que la pectina de sancayo posee longitudes de cadenas más cortas que la comercial. Para ambas muestras, los valores de peso molecular se encuentran dentro de los intervalos establecidos para pectinas 20000 a 300000 g/mol (Pagan, 1998) y 100000 a 200000 g/mol (García, 2009).

4.3.6. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

En el anexo 09 se presenta el informe del análisis microbiológico de mohos, *Escherichia Coli*, *Bacillus Cereus* y *Salmonella sp* efectuado a la pectina de sancayo resultando dentro de los parámetros establecidos para harinas y sémolas por la norma sanitaria peruanas (DIGESA, 2008) y los límites establecidos en la Tabla 03. Estos análisis se efectuaron con la finalidad de conocer el grado de contaminación microbiana que posee la pectina obtenida.

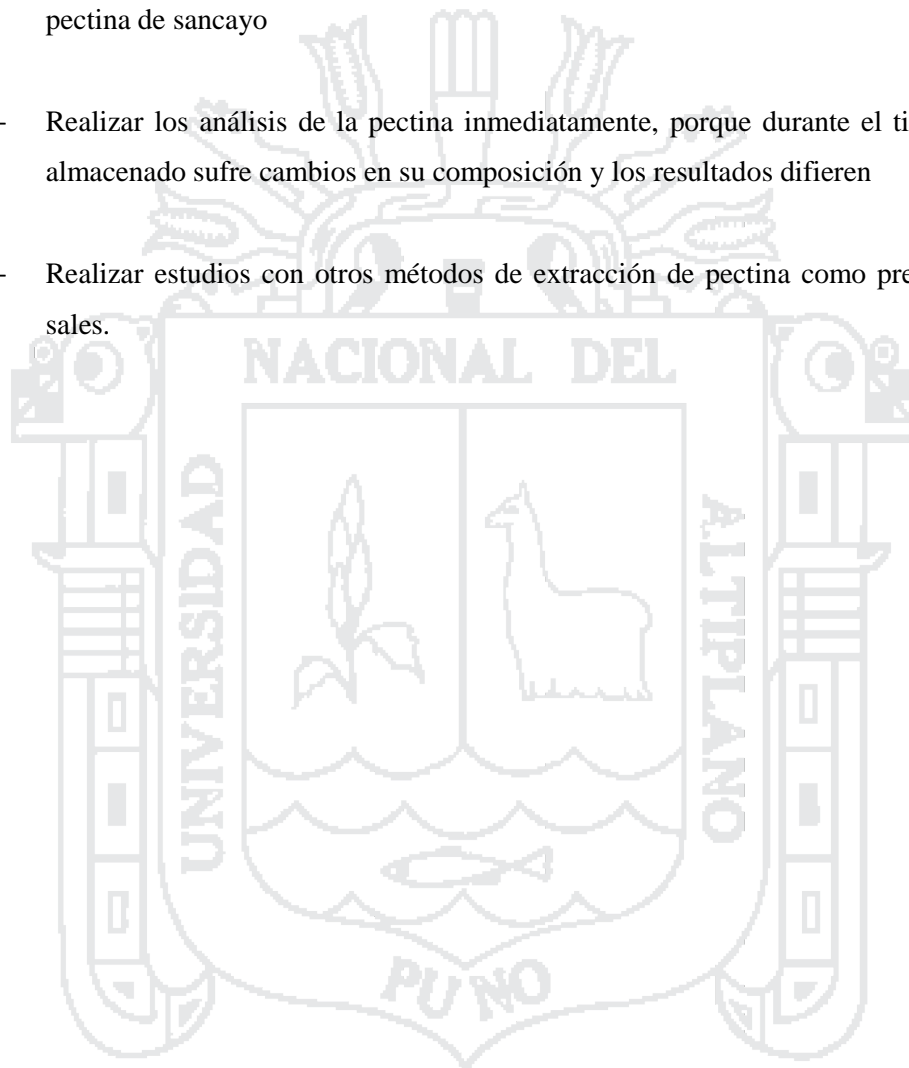
V. CONCLUSIONES

- Al emplear mayores temperaturas y menores tiempos en la extracción ácida de pectina de sancayo se obtuvieron mejores resultados. El rendimiento tuvo su valor máximo de 0,59 % a temperatura de 90°C por 30 minutos; el grado de metoxilo tuvo su valor máximo de 4,71% a temperatura de 84,34°C por 30 minutos: el contenido de ácido galacturónico tuvo su valor máximo de 39,65 % a temperatura de 87,78°C por 30 minutos: el grado de esterificación tuvo su valor máximo de 68,59 % a temperatura de 82,27°C por 30 minutos.
- Los valores de viscosidad y peso molecular de la pectina comercial fueron mayores a la pectina de sancayo, mientras la humedad y contenido de acetilo de la pectina de sancayo fue mayor y el pH fueron estadísticamente iguales para ambas pectinas.



VI. RECOMENDACIONES

- Ampliar el intervalo del factor tiempo hasta encontrar un significancia en los procesos de extracción
- Realizar un análisis estructural y si es posible a niveles moleculares del sancayo y de la pectina de sancayo
- Realizar los análisis de la pectina inmediatamente, porque durante el tiempo que este almacenado sufre cambios en su composición y los resultados difieren
- Realizar estudios con otros métodos de extracción de pectina como precipitación con sales.



VII. REFERENCIAS

- A.O.A.C. (1990). *Oficial methods of analysis*. United States of America.
- Alanoca, O. (2009). *Identificación y evaluación ecológica de sancayos (genere lobivia) en el distrito de Pomata-Chucuito*. (Tesis para optar el grado de ingeniero agronomo), Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Alfonso, E. (2010). *Estudio del comportamiento reológico de las pectinas con diferente grado galacturónico obtenida a partir de citrus paradisi (gay fruit)*. (Tesis para optar al grado de licenciatura en química y farmacia), Universidad de el Salvador, El Salvador-Centro América.
- Aucallanchi, F. (2009). *Guía de ciencias con aplicaciones* (Vol. 2). Peru: Racso editores.
- Azcón, J., y Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (Vol. 2). China: Mcgaw-hill-interamericana de España.
- Azucena, M., y Padrón, C. (2011). Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de las cactáceas en la elaboración de alimentos: Componentes funcionales y propiedades antioxidantes. *Revista Venezolana de ciencia y tecnología de alimentos*.
- Barazarte, H. (2006). *Uso potencial de la cáscara de cacao (theobroma cacao l.) como fuente de pectina*. (Tesis para optar al grado de magíster en ciencia de los alimentos), Universidad Simon Bolivar.
- Bui, D., Thi, D., Minh, P., Thi, D., Hong, L., Dang, P., y Duy, P. (2014). Optimizing the pectin extraction process from amberalla peel by the combined oxalic acid and microwave and comparison of characteristics with the pectins obtain to traditional extraction method. *Food Science and Technology*.
- Cabarcas, E., Guerra, A., y Henao, C. (2012). *Extracción y caracterización de pectina apartir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción*. (trabajo de grado para obtener el título profesional de Ingeniero Químico), Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias.
- Castillon, I., Diasanta, B., y Dizon, E. (2014). Extraction and characterization of pectin from Saba banana [Musa 'saba' (Musa acuminata x Musa balbisiana)] peel wastes: A preliminary study. *International Food Research*.
- Catalan, M. (1964). Extracción de sustancias pecticas de la remolacha. factores que intervienen en la calidad del producto obtenido. *Estacion experimental de aula del Zaragoza*.

- Claverías, R. (1998). *Conocimientos de los campesinos andinos sobre los predictores climáticos: elementos para su verificación*. Puno: Centro de Investigación, Educación y Desarrollo (CIED-PERU56).
- Cubero, N., Monferrer, A., y Villalta, J. (2002). *Aditivos alimentarios*. Madrid-España: Mundi-Prensa.
- Cutipa, C. (Producer). (2009, 05). Sankayo. Retrieved from <http://sankayo.blogspot.pe/2009/05/sankayo-echinopsis-maximiliana.html>
- Chasquibol, N., Arroyo, E., y Morales, J. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Universidad de Lima*, 26, 175-199,
- Chevalier, C. (2016). *Evaluación del efecto de tipo de ácido en el grado de metoxilación y pureza de pectina a partir de maracuyá (passiflora edulis)*. (Tesis para optar el título de ingeniero agroindustrial), Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.
- Devia, J. (2003). Proceso para producir pectinas cítricas. *Revista universitaria EAFIT*, 129,
- Durán, V., y Honores, M. (2012). *Obtención y caracterización de pectina en polvo a partir de cáscara de maracuyá (passiflora edulis)*. (Tesis de grado previo la obtención del título de ingenieras de alimentos), Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil-Ecuador.
- Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano, NTS N° 071 - MINSA/DIGESA-V.01 C.F.R. (2008).
- Evangelista, W., y Rivas, J. (2015). *Efecto de los edulcorantes (sucralosa y stevia) sobre las características sensoriales de una bebida a base de san ky (corryocactus brevistylus)*. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero de alimentos), Universidad Nacional Del Callao, Callao-Lima.
- Fellows, P. (2000). *Tecnología del procesado de los alimentos: principios y práctica* (Vol. 2). España: Editorial Acribia.
- Ferreira. (2001). Aislamiento y caracterización de las pectinas de algunas variedades de frutos cítricos colombianos. *Revista colombiana de ciencias químico - farmacéuticas*.
- Gampel, R. (2002). Propiedades y utilidad del aloe vera en afecciones de la piel, boca, intestinos e inflamaciones., 117,

- García, J. (2009). *Evaluación del rendimiento de extracción de pectina en aguas mieles del beneficiado de café procedentes de desmucilaginado mecánico*. (Tesis para optar al título de ingeniera química), Universidad De El Salvador, San Salvador.
- Günauer, C. (2009). *Influencia del secado sobre la captación de agua de pectina extraída a partir del citrus aurantifolia swingle*. (Tesis de grado previo a la obtención del título de ingeniera de alimentos), Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil – Ecuador.
- Ibañez, V. (2009). *Análisis y diseño de experimentos*. Puno-Peru: Universidad Nacional del Altiplano.
- Ibrahuim, A. (2008). *Isolation and characterization of pectic substances from pumpkin (cucurbita spp) peels*. (A Thesis Submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Food Science and Technology), University of Khartoum.
- ICMSF. (1999). *Microorganismos de los alimentos: métodos de muestreo para análisis microbiológico* (Vol.02).
- Juárez, A., Livera, M., Sosa, E., Goytia, M., González, V., y Bárcena, R. (2012). Composición química de tallos inmaduros de acanthocereus spp. e hylocereus undatus (haw.) britton y rose. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 32,
- Kumar, V., y Kumary, M. (2016). *Handbook of sustainable polimers:estructure and chemistry*. New York: Pan Stanford.
- León, D., y Riveros, J. (2014). *Extracción y caracterización química de las pectinas de las cáscaras del maracuyá amarillo (passiflora edulis, var flavicarpa degener), granadilla (passiflora ligularis juss) y tumbo serrano (passiflora mollísima h.b.k. bailey)*. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico), Universidad Nacional Del Callao, Callao-Peru.
- Leyva, O., Rodríguez, L., Mastrapa, E., Fernández, A., Carmenate, W., y González, P. (2006). El cactus enano de holguín (escobaria cubensis).
- Lopez, S., Arias, G., y Lozano, N. (2000). Determinación de metabolitos y extracción de pectina del albedo de citrus medica L.(sidra). *Ciencia e investigación*, III(02).
- Macartain, P. (2008). Pectin basics. *Ciber colloids*.
- Montenegro, E. (2015). *Optención de pectina de nopal (opuntia spp), a diferentes tiempos y temperaturas, utilizando ácido sulfurico*. (Tesis de grado previa la obtención del título de ingeniero en desarrollo integral agropecuario), Universidad Politecnica Estatal del Carchi, Tulcan- Ecuador.

- Muñoz. (2011). *Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (solanum sessiliflorum), en diferentes grados de madurez; a nivel de planta piloto.* (Tesis de maestría), Universidad Nacional De Colombia, Bogota-Colombia.
- Muñoz. (2014). *Extracción de pectina del exocarpo y endocarpo de la pitahaya (hylocereus triangularis) para uso agroindustrial.* (Tesis de grado previo a la obtención del título de ingeniero agroindustrial), Universidad Técnica Estatal De Quevedo, Quevedo - Los Ríos - Ecuador.
- Navarro, G., y Navarro, S. (1985). *Sustancias pecticas:química y aplicaciones.* Madrid-España: Universidad de Murcia.
- Normas mexicanas. (1980). *NMX-F-347-S-1980: frutas y derivados. determinación de pectina. fruits and derivatives. determination of pectine.*: Dirección general de normas.
- Nina, W. (2017). *Análisis y determinación de la temperatura y tiempo en la extracción ácida de la pectina del sancayo (lobivia maximiliana).* (Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial), Universidad Nacional Del Altiplano, Puno-Perú.
- Ochoa, M. (2013). *Extraccion de pectina en dos estados de maduracion de achotillo (nephelum lappceum) para la elaboracion de mermeladas.* (Tesis previo a la obtencion del titulo de ingeniero en alimento), Universidad Tecnica Estatal De Quevedo, Quevedo – Ecuador.
- Orocollo, O. (2005). *Obtencion de pectina a partir del mucilago de cafe typica(coffea arabica linnaeus).* (Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial), Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Peru.
- Owens, Mccready, Shepherd, y Shults. (1952). *Methods used western regional restarcb laboratory for extraction and analysis of pectic materials.* California: Regional Rescarch Laboratory.
- Padrón, C., Moreno, M., y Medina, C. (2008). Composición química, análisis estructural y factores antinutricionales de filocladios de epiphyllum phyllanthus (l.) haw. var. hookeri (link y otto) kimn. (cactaceae). *Interciencia*, vol.33,
- Pagan, J. (1998). *Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón.* (Tesis doctoral en tecnología de alimentos), Universidad de Lleida.
- Peralta, F., Maldonado, E., y Centeno, M. (2005). *Manual de practicas de los laboratorios de los alimentos:* Universidad Juárez.

- Rodriguez, F., Aguado, J., Calles, J., Cañizares, P., Lopez, A., y Serrano, D. (2002). Ingeniería de la industria alimentaria. *Editorial Sintesis*, 3, 165,
- Rodríguez, G., Ferreira, S., y Peraltan, A. (1995). Obtención y caracterización de pectina a partir de desechos industriales del mango (cascara). *Revista colombiana de ciencias químico - farmaceuticas*, 24,
- Silva, D. (2007). *Documentación y estandarización de la técnica para la determinación de fibra en productos alimenticios para el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira*. (Tesis para optar al título de tecnólogo químico), Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Singh, P., y Heldman, D. (2001). *Introducción a la ingeniería de los alimentos* (Vol. 2). España: Editorial Acribia.
- Smit, C., y Wiles, R. (1977). Commercially important pectin substances. *The avi publishing company*.
- Suárez, D., y Orozco, D. (2014). *Obtención y caracterización de pectina a partir de la cascavilla de cacao del theobroma cacao L., subproducto de una industria chocolatera nacional*. (Tesis para optar al título de químico industrial), Universidad Tecnológica de Pereira., Pereira.
- Torres, A. (2010). Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (experiencias de Brasil). *Revista salud pública y nutrición*, 5.
- UNAM. (2007). *Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos*: UNAM.
- Hoffmann. (2000). Guía de consultas botánica II: Cactaceae. *Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agimensura (UNNE)*.
- Untiveros, G. (2003). Obtención y caracterización de pectina de alto y bajo metoxilo de la manzana variedad pachacamac. *Sociedad química del Perú*, vol.03,
- Vasquez, R., Ruesga, L., D'addosio, R., Páez, G., y Marín, M. (2008). Extracción de pectina a partir de la cáscara de plátano (Musa AAB, subgrupo plátano) clon Hartón. *Universidad del Zulia*.
- Yanarico, M. (2016). *Efecto de la adición de la pectina obtenida de la penca de la tuna (opuntia ficus-indica) en la calidad sensorial y propiedades texturales del pan francés*. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial), Universidad Nacional del Altiplano Puno-Peru.

ANEXOS

Anexo 01: Fotos de la investigación

Extracción



Filtrado



Precipitación



Secado



Anexo 02: Informe de análisis de alimentos para el sancayo



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Av. Floral 1153, C.U. Telf. (051) 366080 IP. 20102 Casilla 291 e-mail: fca-una@eudoramail.com



LABORATORIO DE EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS Nro. 019-2016-LENA-IPEA-FCA

SOLICITANTE : William Gladimir Nina Paucar
 TITULO DE TEISIS : DETERMINAR LOS PARAMETROS DE TIEMPO Y TEMPERATURA EN LA EXTRACCION DE LA PECTINA DE SANCAYO (*Lobivia maximiliana*)
 PRODUCTO : Sancayo
 ENSAYO SOLICITADO : FISICO QUIMICO
 FECHA DE RECEPCION : 02-09-2016
 FECHA DE ENSAYO : 02-09-2016
 FECHA DE EMISION : 15-09-2016

RESULTADOS:

De acuerdo al Informe de los Análisis de Laboratorio que obra en los archivos los resultados son:

RESULTADOS FISICO QUIMICOS

Núm. Análisis	Muestra	% Humedad	% Ceniza	% Proteína	% Grasa	% Fibra	% Carbohidrato
01	Sancayo	90,72	12,65	0,96	0,12	15,77	70,05

METODOS UTILIZADOS EN LABORATORIO:

- FISICO QUIMICO : AOAC. 1994

CONCLUSIÓN : Los resultados Físico Químicos están conformes.

Puno, C. U. 15 de Setiembre del 2016.



Ing^o OSWALDO ARPAS ALCA
 Control de Calidad de Alimentos
 LABORATORIO
 C.I.P. 160625



Luis Alberto Jiménez Monroy
 M.Sc. AGROINDUSTRIAL
 CIP 19812
 JEFE DE LABORATORIO

Anexo 03: Análisis físico de la materia prima

Tabla 07: Características físicas del Sancayo.

	DATOS	CÁLCULO	IMAGEN
Relación diámetro total	Dpolar=86,57;78,12;79,42;81,1 9;83,24 Promedio Dp=81,71 cm Decuatorial=67,05;67,75 Promedio De=67,4 cm	Relación diámetro tota $= \frac{67,4 \text{ cm}}{81,18 \text{ cm}} = 0,83$	
Peso	En un rango comprendido entre 350g a 400 g (intervalo de pesos de Sancayo jóvenes)		
Actividad de agua	Mediante el uso del equipo determinador de actividad e agua marca AGUA LAB dew point wáter activity meter 4te	Aw=0,9797 T= 24,37 °C	

Anexo 04: Tablas y Figuras del rendimiento

Tabla 08: Análisis de varianza de rendimiento

FUENTE	GL	SC	SC	MC	F	P
Regresión	5	0,227843	0,227843	0,045569	40,06	0,000
Lineal	2	0,147227	0,147227	0,073614	64,72	0,000
Cuadrado	2	0,002800	0,002800	0,001400	1,23	0,326
Interacción	1	0,077815	0,077815	0,077815	68,41	0,000
Error residual	12	0,013650	0,013650	0,001137		
Falta de ajuste	3	0,007183	0,007183	0,002394	3,33	0,070
Error puro	9	0,006467	0,006467	0,000719		
Total	17	0,241492				

Tabla 09: Coeficientes de regresión estimados del rendimiento en unidades codificadas

TÉRMINO	COEF	SE COEF	T	P
Constante	0,430778	0,017775	24,234	0,000
Temperatura	0,110167	0,009736	11,315	0,000
Tiempo	0,011500	0,009736	1,181	0,260
Temperatura*temperatura	-0,025167	0,016863	-1,492	0,161
Tiempo*tiempo	-0,008167	0,016863	-0,484	0,637
Temperatura*tiempo	-0,098625	0,011924	-8,271	0,000

R-cuad.(ajustado) = 91,99 %

Tabla 10: Coeficientes de regresión estimados de rendimiento utilizando datos en unidades sin codificar

TÉRMINO	COEF	ECUACIÓN
Constante	-4,53622	$\text{Rendimiento} = -4,53622 + 0,0808708 * \text{temperatura} + 0,0566333 * \text{tiempo} - 2,51667e-04 * \text{temperatura}^2 - 3,62963e-05 * \text{tiempo}^2 - 6,57500e-04 * \text{temperatura} * \text{tiempo}$
Temperatura	0,0808708	
Tiempo	0,0566333	
Temperatura*temperatura	-2,51667e-04	
Tiempo*tiempo	-3,62963e-05	
Temperatura*tiempo	-6,57500e-04	

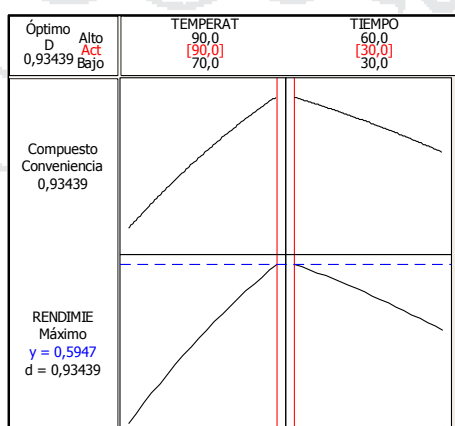


Figura 20: Gráfica de maximización de respuesta para rendimiento

Anexo 05: Tablas y Figuras del grado de metoxilo

Tabla 11: Coeficientes de regresión estimados de grado de metoxilo en unidades codificadas.

TÉRMINO	COEF	SE COEF	T	P
Constante	4,53771	0,14154	32,060	0,000
Temperatura	0,10499	0,07752	1,354	0,201
Tiempo	0,02213	0,07752	0,285	0,780
Temperatura*temperatura	-0,83710	0,13427	-6,234	0,000
Tiempo*tiempo	0,06119	0,13427	0,456	0,657
Temperatura*tiempo	-0,61450	0,09495	-6,472	0,000

R-cuad.(ajustado) = 82,08 %

Tabla 12: Análisis de varianza de grado de metoxilo

FUENTE	GL	SC	SC	MC	F	P
Regresión	5	5,9770	5,9770	1,19541	16,58	0,000
Lineal	2	0,1382	0,1382	0,06908	0,96	0,411
Cuadrado	2	2,8180	2,8180	1,40898	19,54	0,000
Interacción	1	3,0209	3,0209	3,02092	41,89	0,000
Error residual	12	0,8654	0,8654	0,07212		
Falta de ajuste	3	0,6789	0,6789	0,22630	10,92	0,002
Error puro	9	0,1865	0,1865	0,02072		
Total	17	6,8425				

Tabla 13: Coeficientes de regresión estimados de grado de metoxilo (ajustado) en unidades codificadas

TÉRMINO	COEF	SE COEF	T	P
Constante	4,57851	0,10624	43,095	0,000
Temperatura	0,10499	0,07512	1,398	0,186
Tiempo	0,02213	0,07512	0,295	0,773
Temperatura*temperatura	-0,83710	0,13012	-6,433	0,000
Temperatura*tiempo	-0,61450	0,09201	-6,679	0,000

R-cuad.(ajustado) = 83,17 %

Tabla 14: Análisis de varianza de grado de metoxilo (ajustado)

FUENTE	GL	SC	SC	MC	F	P
Regresión	4	5,9621	5,9621	1,49051	22,01	0,000
Lineal	2	0,1382	0,1382	0,06908	1,02	0,388
Cuadrado	1	2,8030	2,8030	2,80297	41,39	0,000
Interacción	1	3,0209	3,0209	3,02092	44,61	0,000
Error residual	13	0,8804	0,8804	0,06772		
Falta de ajuste	4	0,6939	0,6939	0,17347	8,37	0,004
Error puro	9	0,1865	0,1865	0,02072		
Total	17	6,8425				

Tabla 15: Coeficientes de regresión estimados de grado de metoxilo utilizando datos en unidades sin codificar

TÉRMINO	COEF	ECUACIÓN
Constante	-64,6506	$\% \text{ grado de metoxilo} = -64,6506 + 1,53422 * T + 0,329211 * t - 0,00837104 * T^2 - 0,00409669 * T * t$
Temperatura	1,53422	
Tiempo	0,329211	
Temperatura*temperatura	-0,00837104	
Temperatura*tiempo	-0,00409669	

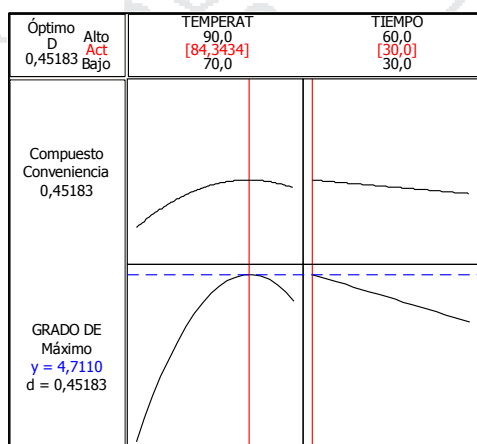


Figura 21: Gráfica de maximización de respuesta para el grado de metoxilo

Anexo 06: Tablas y Figuras del ácido galacturónico

Tabla 16: Coeficientes de regresión estimados del ácido galacturónico en unidades codificadas.

TÉRMINO	COEF	SE COEF	T	P
Constante	38,3364	0,7175	53,433	0,000
Temperatura	2,2208	0,3930	5,651	0,000
Tiempo	0,7241	0,3930	1,843	0,090
Temperatura*temperatura	-2,9128	0,6807	-4,279	0,001
Tiempo*tiempo	0,3570	0,6807	0,525	0,609
Temperatura*tiempo	-2,3605	0,4813	-4,905	0,000

R-cuad.(ajustado) = 81,11 %

Tabla 17: Análisis de varianza del ácido galacturónico

FUENTE	GL	SC	SC	MC	F	P
Regresión	5	144,498	144,498	28,8996	15,59	0,000
Lineal	2	65,474	65,474	32,7372	17,67	0,000
Cuadrado	2	34,446	34,446	17,2232	9,29	0,004
Interacción	1	44,577	44,577	44,5770	24,05	0,000
Error residual	12	22,238	22,238	1,8531		
Falta de ajuste	3	14,512	14,512	4,8373	5,64	0,019
Error puro	9	7,726	7,726	0,8584		
Total	17	166,736				

Tabla 18: Coeficientes de regresión estimados del ácido galacturónico (ajustado) en unidades codificadas.

TÉRMINO	COEF	SE COEF	T	P
Constante	38,5744	0,5400	71,430	0,000
Temperatura	2,2208	0,3819	5,816	0,000
Tiempo	0,7241	0,3819	1,896	0,080
Temperatura*temperatura	-2,9128	0,6614	-4,404	0,001
Temperatura*tiempo	-2,3605	0,4677	-5,047	0,000

R-cuad.(ajustado) = 82,16 %

Tabla 19: Análisis de varianza del ácido galacturónico (ajustado)

FUENTE	GL	SC	SC	MC	F	P
Regresión	4	143,988	143,988	35,9970	20,57	0,000
Lineal	2	65,474	65,474	32,7372	18,71	0,000
Cuadrado	1	33,937	33,937	33,9366	19,39	0,001
Interacción	1	44,577	44,577	44,5770	25,48	0,000
Error residual	13	22,748	22,748	1,7498		
Falta de ajuste	4	15,022	15,022	3,7554	4,37	0,031
Error puro	9	7,726	7,726	0,8584		
Total	17	166,736				

Tabla 20: Coeficientes de regresión estimados del ácido galacturónico utilizando datos en unidades sin codificar

TÉRMINO	COEF	ECUACIÓN
Constante	-224,433	$\% \text{ AG} = -224,433 + 5,59065 * T + 1,30723 * t - 0,0291275 * T^2 - 0,0157369 * T * t$
Temperatura	5,59065	
Tiempo	1,30723	
Temperatura*temperatura	-0,0291275	
Temperatura*tiempo	-0,0157369	

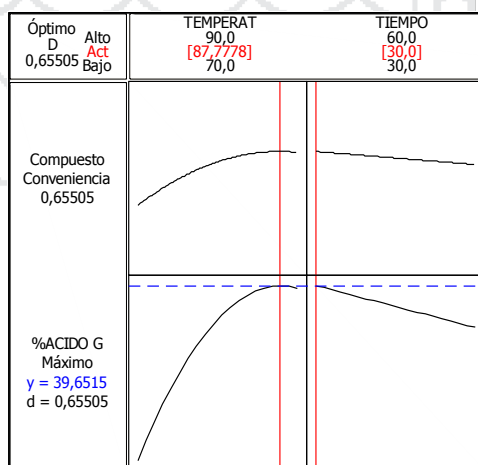


Figura 22: Gráfica de maximización de respuesta para el ácido galacturónico

Anexo 07: Tablas y Figuras del grado de esterificación

Tabla 21: Coeficientes de regresión estimados del grado de esterificación en unidades codificadas.

TÉRMINO	COEF	SE COEF	T	P
Constante	67,2710	1,0272	65,487	0,000
Temperatura	-2,1144	0,5626	-3,758	0,003
Tiempo	-0,8392	0,5626	-1,491	0,162
Temperatura*temperatura	-7,9139	0,9745	-8,121	0,000
Tiempo*tiempo	0,1119	0,9745	0,115	0,910
Temperatura*tiempo	-5,6843	0,6891	-8,249	0,000

R-cuad.(ajustado) = 89,53 %

Tabla 22: Análisis de varianza del grado de esterificación de la regresión de función de respuesta

FUENTE	GL	SC	SC	MC	F	P
Regresión	5	571,16	571,16	114,231	30,07	0,000
Lineal	2	62,10	62,10	31,049	8,17	0,006
Cuadrado	2	250,57	250,57	125,283	32,98	0,000
Interacción	1	258,49	258,49	258,491	68,04	0,000
Error residual	12	45,59	45,59	3,799		
Falta de ajuste	3	29,47	29,47	9,823	5,49	0,020
Error puro	9	16,12	16,12	1,791		
Total	17	616,74				

Tabla 23: Coeficientes de regresión estimados del grado de esterificación (ajustado) en unidades codificadas.

TÉRMINO	COEF	SE COEF	T	P
Constante	67,3456	0,7649	88,044	0,000
Temperatura	-2,1144	0,5409	-3,909	0,002
Tiempo	-0,8392	0,5409	-1,552	0,145
Temperatura*temperatura	-7,9139	0,9368	-8,448	0,000
Temperatura*tiempo	-5,6843	0,6624	-8,581	0,000

R-cuad.(ajustado) = 90,32 %

Tabla 24: Análisis de varianza del grado de esterificación (ajustado)

FUENTE	GL	SC	SC	MC	F	P
Regresión	4	571,11	571,11	142,777	40,67	0,000
Lineal	2	62,10	62,10	31,049	8,84	0,004
Cuadrado	1	250,52	250,52	250,517	71,36	0,000
Interacción	1	258,49	258,49	258,491	73,63	0,000
Error residual	13	45,64	45,64	3,510		
Falta de ajuste	4	29,52	29,52	7,380	4,12	0,036
Error puro	9	16,12	16,12	1,791		
Total	17	616,74				

Tabla 25: Coeficientes de regresión estimados de grado de esterificación utilizando datos en unidades sin codificar

TÉRMINO	COEF	ECUACIÓN
Constante	-556,132	$\% GE = -556,132 + 14,1560 * T + 2,97569 * t - 0,0791386 * T^2 - 0,0378954 * T * t$
Temperatura	14,1560	
Tiempo	2,97569	
Temperatura*temperatura	-0,0791386	
Temperatura*tiempo	-0,0378954	

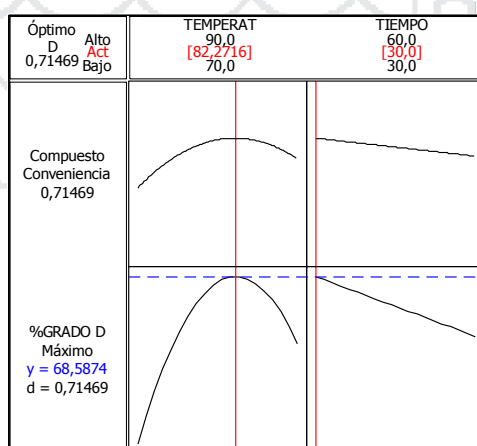


Figura 23: Gráfica de maximización de respuesta para el grado de esterificación

Anexo 08: Resultados de las comparaciones de características fisicoquímicas entre la pectina de sancayo con la comercial

Para el pH:

Tabla 26: ANOVA para el pH

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,003	1	,003	,233	,654
Intra-grupos	,048	4	,012		
Total	,051	5			

Tabla 27: Prueba Duncan con $\alpha=0.05$

pectina	Media	N	Duncan (P \leq 0,05)
pectina de sancayo	4,6267	3	a
pectina comercial	4,6700	3	a

Para la viscosidad:

Tabla 28: ANOVA para viscosidad

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	18197,441	1	18197,441	174,368	,000
Intra-grupos	1043,622	10	104,362		
Total	19241,062	11			

Tabla 29: Prueba Duncan con $\alpha=0.05$

pectina	Media	N	Duncan (P \leq 0,05)
pectina de sancayo	6	88,6333	a
pectina comercial	6	166,5167	b

Para el contenido de acetil:

Tabla 30: ANOVA para contenido de acetil

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,007	1	,007	12,250	,025
Intra-grupos	,002	4	,001		
Total	,010	5			

Tabla 31: Prueba Duncan con $\alpha=0.05$

pectina	Media	N	Duncan (P \leq 0,05)
pectina de sancayo	3	,1300	a
pectina comercial	3	,0600	b

Para la humedad:

Tabla 32: ANOVA para la humedad

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2,160	1	2,160	23,143	,009
Intra-grupos	,373	4	,093		
Total	2,533	5			

Tabla 33: Prueba Duncan con $\alpha=0.05$

pectina	Media	N	Duncan (P \leq 0,05)
pectina de sancayo	3	6,8667	a
pectina comercial	3	5,6667	b

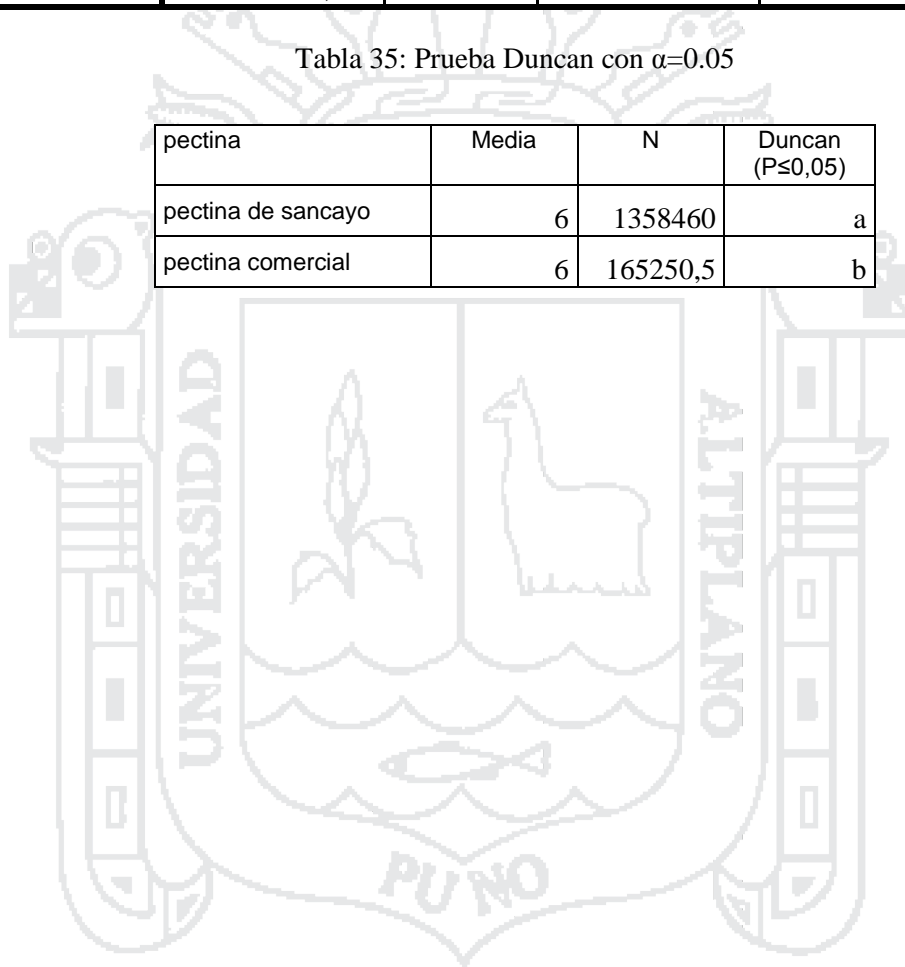
Para el peso molecular:

Tabla 34: ANOVA para el peso molecular

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2593873860,750	1	2593873860,750	143,868	,000
Intra-grupos	180295525,500	10	18029552,550		
Total	2774169386,250	11			

Tabla 35: Prueba Duncan con $\alpha=0.05$

pectina	Media	N	Duncan (P≤0,05)
pectina de sancayo	6	1358460	a
pectina comercial	6	165250,5	b



Anexo 09: Análisis microbiológico de la pectina de sancayo

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial
 Laboratorio de Microbiología

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICO Nº 001/17

- I. **Datos de solicitante**
 Nombre : William Glademar Nina Paucar
 Dirección :
- II. **Datos del servicio**
 Nº de Solicitud del Servicio : 001
 Fecha de ingreso : 17 de Octubre de 2016
 Servicio solicitado : Análisis microbiológico
- III. **Nombre del producto** : Pectina de Sancayo
- IV. **Datos de la muestra**
 Presentación : bolsa de 5 gr
 Tipo de sistema : N/P
 Fecha de producción : N/P
 Fecha de vencimiento : N/P
 Tamaño de lote : N/P
- V. **Aspectos técnicos del muestreo**
 Muestreo por : El solicitante
 Condición de muestreo : Muestra solida
 Detalle de la muestra : Característico
 Nº de unidades de la muestra : 01 muestra
 Código de la muestra : M1
 Para ensayo en Laboratorio : 001/17
 Identificación de la muestra : Sin muestra dirimente.
- VI. **Fecha de ensayo** : 18 de Octubre de 2016
- VII. **Resultados**

DETALLE DE LA MUESTRA

CODIGO	PRODUCTO
M1	Pectina de Sancayo

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

REQUISITOS	VALOR OBTENIDO
	M1
<i>Salmonella sp</i> (ufc/g)	NEGATIVO
<i>Bacillus Cereus</i> (ufc/g)	NEGATIVO
<i>Escherichia coli</i> (NMP)	NEGATIVO
Mohos (ufc/g)	NEGATIVO



[Signature]
 Dr. Alejandro Coloma Paxi
 Jefe de Laboratorio de Microbiología

Anexo 10: Resultados de los tratamientos

Tabla 36: Tratamientos con sus respectivos niveles y las variables de respuesta

TRATAMIENTO	Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	Rendimiento (%)	Metoxilo (%)	Ácido galacturónico (%)	Grado de esterificación (%)
T1 (a1b1)	70	30	0,121	3,1	30,89	56,91
T2 (a1b2)	70	45	0,334	3,51	32,33	61,64
T3 (a1b3)	70	60	0,373	4,02	35,54	64,15
T4 (a2b1)	80	30	0,384	4,15	36,31	64,86
T5 (a2b2)	80	45	0,434	4,46	38,07	66,54
T6 (a2b3)	80	60	0,444	4,82	41,22	66,4
T7 (a3b1)	90	30	0,611	4,59	39,9	65,34
T8 (a3b2)	90	45	0,467	3,57	36,24	55,93
T9 (a3b3)	90	60	0,426	3,13	35,56	49,93
T1 (a1b1)	70	30	0,224	3,16	30,88	58,03
T2 (a1b2)	70	45	0,311	3,88	35,27	62,42
T3 (a1b3)	70	60	0,377	4,16	35,74	66,14
T4 (a2b1)	80	30	0,398	4,34	36,72	67,04
T5 (a2b2)	80	45	0,437	4,71	38,75	69,01
T6 (a2b3)	80	60	0,455	4,99	40,38	70,22
T7 (a3b1)	90	30	0,628	4,78	41,47	65,49
T8 (a3b2)	90	45	0,501	3,75	37,71	56,44
T9 (a3b3)	90	60	0,429	3,26	36,43	50,77

Anexo 11: Resumen de algunas características químicas de pectinas extraídas.

Tabla 37: Resumen de algunos estudios de extracción de pectina

Materia prima	Condiciones de extracción	Rendimiento (%)	Peso equivalente (g/eq-g)	Contenido de metoxilo (%)	Grado de esterificación (%)	Acidez libre (meq/g)	Ácido galacturónico (%)	Cenizas (%)	Peso molecular (g/mol)	Fuente
	70 °C/95min	8,8**	2335		71,8		36,63		66851	(Suárez y Orozco, 2014)
Pulpa del níspero	90 °C/75min	23,85**		14,55	86,24		87,93	3,47	10183,5	(Chasquibol et al., 2008)
Mesocarpio de la granadilla		21,60**		14,40	88,79		85,99	4,95	16366,96	(Chasquibol et al., 2008)
Sidra		5,22 **	108686,65	8,55	69,94		76,50			(Lopez et al., 2000)
Pectina comercial			976	5,88	64,8	1,025	52,2	1,39		(Ferreira, 2001)
Cítricos colombianos	90 °C/ 60min		528-3637	4,5-10,6	57,2-85,5	0,372-1,896	42-75	0,59-5,65		(Ferreira, 2001)
Maracuyá amarillo	95 °C/pH 2/90 min	21,18**	602,88 - 1155,38	9,05 a 11,10	61,15 - 77,60		76,63 - 84,34	1,02 ± 0,02		(León y Riveros, 2014)
Granadilla		12,60**	607,52 - 1314,51	7,82 a 8,73	56,51 - 70,85		69,99 - 78,53	1,68 ± 0,03		(León y Riveros, 2014)
Nopal	90°C, 30 minutos	1,31 *		13,02	86,90					(Montenegro, 2015)
Mucilago de cacao típica	pH 2,5, 80 °C/60min	48,52**	466,62	7,51	60,38		78,68			(Orocollo, 2005)
Tumbo		16,06**	738,81 - 1409,35	9,10	67,58 - 80,55		67,98 - 77,69	1,09 ± 0,05		(León y Riveros, 2014)
Pectina comercial			1578,70 ± 10,76	8,15 ± 0,06	77,42 ± 0,65		59,74 ± 0,87	1,79 ± 0,01		(León y Riveros, 2014)
Mango		0,33-1,40*	3,731,22- 7724,72	3,38-6,31	84,2-93,5	0,12-0,27	45,82-63,82	2,05-6,13		(Vasquez et al., 2008)

*en base húmeda

**en base seca

Anexo 12: Resultado de las comparaciones entre la pectina de sancayo y la pectina comercial

Tabla 38: Resultados de las comparaciones entre la pectina de sancayo y la pectina comercial

repeticiones	pH a 18,3°C		Viscosidad (cps) a 15°C con husillo #02 a 60 RPM		Contenido de acetilo (%)		Contenido de humedad (%)		Peso molecular (gr/mol) determinado por viscosidad con husillo #01	
	Pectina de sancayo	Pectina comercial	Pectina de sancayo	Pectina comercial	Pectina de sancayo	Pectina comercial	Pectina de sancayo	Pectina comercial	Pectina de sancayo	Pectina comercial
1	4,67	4,64	81,00	169,60	0,11	0,06	7,00	5,80	86625,84	108594,97
2	4,50	4,58	81,20	163,30	0,17	0,06	6,40	5,60	98986,02	115617,60
3	4,71	4,79	97,00	157,80	0,11	0,06	7,20	5,60	88139,47	117008,51
4	-	-	78,20	176,10	-	-	-	-	82202,04	119403,05
5	-	-	106,60	177,10	-	-	-	-	83276,36	111673,90
6	-	-	87,80	155,20	-	-	-	-	82819,29	105023,77