UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

TESIS

"EFECTO DE LA TEMPERATURA, TIEMPO Y pH EN EL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA EN CÁSCARA DE TUMBO SERRANO (*Passiflora tripartita* L.)"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

APROVECHAMIENTO Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS AGRICOLAS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

RAÚL LLIUYACC LAURENTE

ACOBAMBA - HUANCAVELICA

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
(Creado por la Ley N° 25265)
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En ciudad Universitaria "Común Era" en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Huancavelica a los 18 días del mes de Diciembre del año 2018, a horas 4:30 pm, se reunieron los miembros de jurado calificador, que están conformados de la siguiente manera:

Presidente : Mg. Alfonso RUÍZ RODRÍGUEZ

Accesitario : Ing. Virgilio VALDERRAMA PACHO

Vocal : Ing. Jimmy Pablo ECHEVARRÍA VICTORIO

Designados con resolución N° 332-2018-D-FCA-UNH, miembros de jurado calificador para optar el título profesional por la modalidad de trabajo de investigación, titulado **"EFECTO DE LA TEMPERATURA, TIEMPO Y pH EN EL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA EN CÁSCARA DE TUMBO SERRANO (*Passiflora tripartita* L.)"**; Cuyo autor es el graduado:

Bachiller : Raúl LLIUYACC LAURENTE
Asesor : M Sc. Roberto Carlos, CHUQUILIN GOICOCHEA
CO-ASESOR : Ing. Pedro Pablo ARTEAGA LLACZA

Afín de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación de la tesis, antes citado.
Finalizando la evaluación, se invitó al publico presente y al sustentante abandonar el recinto, y luego de una amplia deliberación por parte de los miembros del jurado calificador se llegó al siguiente resultado:

APROBADO [X] **POR** UNANIMIDAD
DESAPROBADO [ ]

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.

Mg. Alfonso RUÍZ RODRÍGUEZ
PRESIDENTE

Ing. Jimmy Pablo ECHEVARRÍA VICTORIO
VOCAL

Ing. Virgilio VALDERRAMA PACHO
ACCESITARIO

DEDICATORIA

A Dios, quien siempre está presente y brindándome fuerzas para continuar cumpliendo mis objetivos trazadas.

A mis padres, hermanos, amigos y seres queridos que siempre están brindándome consejos y apoyándome en vida personal y profesional.

M.Sc. Roberto Carlos CHUQUILÍN GOICOCHEA

Asesor

Ing. Pedro Pablo ARTEAGA LLACZA

Co - Asesor

RESUMEN

La pectina es extraída de diversas frutas cítricas, pero diversos estudios han encontrado una alternativa de los subproductos que ellos generan, como la cáscara; de esta forma propicia disminuir el impacto ambiental que originan los residuos agroindustriales. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la temperatura, tiempo y pH en la extracción y rendimiento de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.); la cual es una materia prima de alta disponibilidad en la provincia de Acobamba, región Huancavelica, pero a su vez está siendo subvalorada. En la investigación se utilizó un diseño compuesto central rotable, donde se evaluaron las variables de respuesta rendimiento y contenido de cenizas para la pectina obtenida a partir de la cáscara de tumbo serrano, los factores del diseño fueron pH (3; 4,5; 6,5; 8,5 y 10) durante 40, 44, 50, 56 y 60 minutos a 60, 64, 70, 76 y 80ºC. La calidad de la pectina extraída se evaluó midiendo el contenido cenizas. El resultado de la extracción a pH 10, 70ºC y 50 minutos presentó un mayor rendimiento (22,079%), pero con contenido de cenizas (12,304%). La pectina obtenida a pH 3, tiempo 50 minutos y temperatura 70°C fue la de mejor calidad según los valores del contenido de cenizas (23,772) pero con un rendimiento (7,356%). Las condiciones óptimas en cuanto a tiempo y temperatura para un equilibrio entre rendimiento y contenido de cenizas son 50 minutos a 60°C. El resultado indica que a mayor pH se obtuvo mayor rendimiento, a menor pH se obtuvo mayor contenido de cenizas.

Palabras claves: Pectina, cáscara, tumbo serrano.

SUMMARY

Pectin is extracted from various citrus fruits, but various studies have found an alternative to the byproducts they generate, such as the peel; in this way, it is appropriate to reduce the environmental impact caused by agroindustrial waste. The objective of this work was to evaluate the effect of temperature, time and pH on the extraction and yield of pectin from the rind of the mountain tumbo (Passiflora tripartita L.); which is a high availability raw material in the province of Acobamba, Huancavelica region, but at the same time it is being undervalued. In the research a rotable central composite design was used, where the response variables yield and ash content were evaluated for the pectin obtained from the mountain tumble shell, the design factors were pH (3; 4,5; 6 , 5, 8.5 and 10) for 40, 44, 50, 56 and 60 minutes at 60, 64, 70, 76 and 80 ° C. The quality of the extracted pectin was evaluated by measuring the ash content. The result of the extraction at pH 10, 70ºC and 50 minutes showed a higher yield (22.079%), but with an ash content (12.304%). The pectin obtained at pH 3, time 50 minutes and temperature 70 ° C was the best quality according to the values of the ash content (23,772) but with a yield (7,356%). The optimum conditions in terms of time and temperature for a balance between yield and ash content are 50 minutes at 60 ° C. The result indicates that the higher the pH, the higher the yield, the lower the pH, the higher the ash content.

Keywords: Pectin, peel, tumbo serrano.

ÍNDICE

	Página
Caratula	
Dedicatoria	
Hoja de Asesor	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Índice	vi
Introducción	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema	01
1.2. Formulación del problema	02
1.3. Objetivos	02
1.3.1. Objetivo General	02
1.3.2. Objetivos específicos	02
1.4. Justificación	02
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes	04
2.2. Bases teóricas	07
2.2.1. Tumbo serrano	07
A. Origen	07
B. Generalidades	07
C. Clasificación botánica	07
D. Cultivo	08
E. Valor nutritivo	08
F. Importancia y usos	09
2.2.2. Pectina	10
A. Definición	10
B. Fuentes de pectina	11

C. Clasificación de pectinas 12
D. Propiedades fisicoquímicas de las pectinas 14
E. Aplicaciones de la pectina 18
2.2.3. Extracción ácida de pectina 19
2.3. Hipótesis 19
2.4. Definición de términos 19
2.5. Definición operativa de variables e indicadores 20
2.5.1. Variables Independiente 20
2.5.2. Variables Dependiente 20
2.5.3. Operacionalización de variables 20
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
3.1. Tipo y Nivel de investigación 21
3.1.1. Tipo de investigación 21
3.1.2. Nivel de Investigación 21
3.2. Método de investigación 21
3.3. Diseño de investigación 21
3.3.1. Diseño estadístico 21
3.4. Población y muestra 23
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 23
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 23
3.6.1. Proceso de extracción de pectina a partir de cáscara de tumbo 23
3.6.2. Análisis realizados a los tratamientos 26
CAPÍTULO IV: RESULTADOS
4.1. Presentación de datos 28
4.1.1. Determinación de la influencia del tiempo, temperatura y pH sobre la variable de respuesta rendimiento en la obtención de pectina 28
4.1.2. Determinación de la influencia del tiempo, temperatura y pH sobre la variable de respuesta contenido de cenizas en la obtención de pectina 31
4.2. Análisis de datos 34
CONCLUSIONES 37
RECOMENDACIONES 38

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 39
Artículo Científico 43
ANEXOS 44

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
01	Composición química proximal de tumbo fresco	09
02	Rendimiento de pectina	11
03	Operacionalización de variables	20
04	Diseño compuesto central rotable	22
05	Corridas del experimento realizadas con el software Minitab 17	22
06	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	23
07	Valores de rendimiento	28
08	Valores de ceniza	31

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
01	Estructura de la pectina	11
02	Pectina de alto metoxilo	12
03	Pectina de bajo metoxilo	13
04	Pectina LM amidadas	13
05	Diagrama de flujo para la obtención de pectina de cáscara de tumbo serrano	24
06	Contornos de rendimiento vs temperatura y tiempo	29
07	Contornos de rendimiento vs pH y temperatura	30
08	Contornos de rendimiento vs pH y tiempo	30
09	Contornos de ceniza vs temperatura y tiempo	32
10	Contornos de ceniza vs pH y temperatura	33
11	Contornos de ceniza vs pH y tiempo	33

ÍNDICE DE ANEXOS

		Página
01	Fotografías durante la ejecución del proyecto de tesis "Efecto de la temperatura, tiempo y pH en el rendimiento de extracción de pectina en cáscara del tumbo serrano (*passiflora tripartita* l.)"	44
02	Fotografías durante la ejecución del proyecto de tesis "Efecto de la temperatura, tiempo y pH en el rendimiento de extracción de pectina en cáscara del tumbo serrano (*passiflora tripartita* l.)"	45
03	Fotografías durante la ejecución del proyecto de tesis "Efecto de la temperatura, tiempo y pH en el rendimiento de extracción de pectina en cáscara del tumbo serrano (*passiflora tripartita* l.)"	46

INTRODUCCIÓN

En esta última década los productos bionaturales están siendo valorados debido a sus diversos beneficios para la salud; uno de estos productos es la pectina, que es un polisacárido empleado como aditivo natural en diversas industrias de alimentos, como gelificante, espesante, estabilizante y emulsificante de otros productos.

En Perú, se emplea la pectina como agente gelificante en diferentes productos como: jaleas, mermeladas, helados, etc; esta pectina empleada es proveniente de la importación debido a la gran cantidad empleada; por tanto, es importante generar este producto, por su importancia de uso como insumo en diversos productos agroindustriales, sobre todo obtenerlos de residuos que disminuyan su costo de obtención.

En el consumo de frutas frescas, se generan residuos (cáscaras), estos aun contienen distintos compuestos con potencial de valor agregado y que pueden ser aprovechados en la obtención de diversos subproductos, como el caso de las pectinas, lo cual contribuiría a la generación de ingreso económicos y a la sostenibilidad ambiental.

Las cáscaras de las frutas y verduras no siempre son aceptadas por los consumidores de estos alimentos; muchas veces cuando desean consumir algún alimento con cáscara pensamos en quitarla y desecharla, pero no siempre esta es la única solución o es la más saludable. Existen diversas frutas y verduras que podemos comer con cáscara y no lo hacemos o, aunque no las consumamos, las desechamos y desconocemos los beneficios que pueden aportar a la salud.

La cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripatita* L.) es un residuo industrial, en la actualidad en la región Huancavelica, se desperdicia sin realizar ningún procesamiento alguno, es importante buscar alternativas de procesamiento para brindarles un mejor uso a las cáscaras del tumbo serrano. Entonces, la importancia del presente trabajo es destacar los residuos generados en el consumo de las frutas frescas, como es del tumbo serrano, como una posible fuente de extracción de pectinas cumpliendo con características similares o superiores a la pectina comercial, observando su rendimiento.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En la actualidad el consumo de tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.), constituye por su contenido de propiedades como la vitamina C; este cultivo se viene desarrollando progresivamente sin importancia alguno, sin embargo los residuo de tumbo serrano no se da importancia ni se toma en cuenta su valor agregado en la provincia de Acobamba; es por ello el presente proyecto de tesis propone brindar el valor agregado, realizando el aprovechamiento de residuos (cáscara) de tumbo serrano en la extracción de pectina, que se realizara mediante el método hidrolisis acida teniendo en cuenta los variable que influye durante el proceso de extracción de pectina de cáscara de tumbo serrano.

De esta forma se investigó en el presente proyecto las variables como la temperatura, tiempo y pH, porque de estas variables depende el rendimiento en la extracción de pectina, del mismo modo se reflejará un método viable en el desarrollo de obtención de nuevos productos.

El uso de la pectina está enfocado principalmente a la industria de alimentos para la producción de mermeladas, dulces, bocadillos, postres, helados, entre otros. Este producto tiene un alto valor comercial a pesar de que a nivel industrial proviene de desechos o productos subvalorados como cáscaras de naranja, mango entre otras. En la región Huancavelica, el tumbo serrano es utilizado en la preparación de jugos, refrescos; desechando la cáscara, porque no tienen conocimiento de su valor de este residuo, teniendo en cuenta que los residuos pueden causar algún efecto adverso contra la salud humana.

Evidentemente se produciría grandes cantidades de este desecho, sin embargo, aún no se aprovechan como materia prima para la producción de pectina u otros productos subvalorados. Por ello es necesario realizar una investigación que determine el rendimiento de pectina a partir de la cáscara de tumbo serrano, incentivando su cultivo en la región Huancavelica.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la temperatura, tiempo y pH en la extracción y rendimiento de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.)?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar el efecto de la temperatura, tiempo y pH en la extracción y rendimiento de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.).

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la temperatura en el rendimiento de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.).
- Determinar el efecto del tiempo en el rendimiento de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.).
- Determinar el efecto del pH en el rendimiento de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.).
- Extracción de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.), (contenido de ceniza).

1.4. Justificación

En el presente proyecto de investigación la importancia es evaluar el efecto de las variables como son: tiempo, temperatura y pH en la extracción de pectina a partir de cáscara de tumbo, con el objetivo de optimizar el proceso, que por efecto maximice el rendimiento del proceso de cáscara de tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.).

En la actualidad la pectina es un insumo importante que intervienen en los procesos de preparación de mermeladas, néctares y entre otros productos alimenticias como gelificante. Sin embargo, en nuestro ámbito este proceso de extracción de pectina no se realiza es así que este proyecto de investigación propone la extracción de pectina a través de la metodología de hidrolisis ácida.

Los productores de Tumbo serrano generan los residuos (cáscaras) de tumbo serrano, que se convierten en un problema sanitario que propicia la proliferación de insectos, hongos, bacterias y olores por descomposición, pero que, a su vez, son usados como alimento para algunos animales por su alto contenido en fibras y

energía. Esta premisa otorga un área de investigación, en la cual se estudia otros usos para estos desechos que permitan aprovecharlos de manera óptima para obtener distintas sustancias químicas, entre ellas la pectina, útiles para la fabricación de distintos productos en la industria alimenticia. Por ende la alta demanda de pectina que se requiere para los diversos productos alimenticios en su aplicaciones, surge la necesidad de desarrollar un proceso experimental a escala de laboratorio, que de manera clara el procesamiento de pectina a partir de las cáscaras del tumbo serrano, para definir por caracterización del producto extraído, sí la pectina obtenida cumple con los parámetros estándar requeridos a nivel internacional y así posibilitar el desarrollo e implementación de industrias piloto o a gran escala para este procesamiento.

Este proyecto aportara nueva información en las investigaciones realizadas en el Programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Huancavelica. Información que servirá de plataforma para impulsar nuevos trabajos que enriquezcan el conocimiento en esta área del Programa. Teniendo en cuenta que la pectina es utilizada tanto en la industria química. La agroindustria se caracteriza por incluir valor agregado a las materias primas agrícolas, pecuarias e industriales a través de su transformación en productos terminados. La razón por la cual, el presente proyecto está encausado a efectuar un estudio sobre la extracción de pectina a partir de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.), motivando la producción y el uso de materia prima agropecuaria, además del desarrollo de la zona a través de la generación de puestos de trabajo directos e indirectos.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Púa *et al* [1], en su estudio sobre extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir de la cáscara de limón tahití (*Citrus x latifolia*) en dos estados de maduración, el propósito planteado fue extraer y caracterizar la pectina obtenida de la cáscara de limón Tahiti en dos estados de maduración. La extracción de la cáscara de limón Tahití verde y maduro se realizó mediante hidrólisis ácida con HCl a pH, temperaturas y tiempos diferentes. En el caso de la cáscara de limón Tahití verde, las condiciones ideales de extracción con relación al porcentaje de rendimiento fueron de 1,26%, pH 2,5; 45 minutos y 100°C. Para la cáscara de limón Tahití maduro, estas condiciones fueron de 0,90%, pH 2,0; 75 minutos y 90°C; concluyeron en que si es posible extraer pectina a partir de la cáscara de limón Tahití, además que no existen coincidencias en las condiciones de extracción para los dos estados, así que se deben manejar tratamientos diferentes en lo respectivo a condiciones de tiempo y temperatura; para el factor pH se debe considerar el manejo de valores en un rango bajo (1,5 – 3,5), ya que a estos rangos se obtiene pectina de alto metoxilo y por encima de estos valores no hay gelificación.

León y Riveros[2], en su tesis de pregrado extracción y caracterización química de las pectinas de las cáscaras de maracuyá amarillo (*Passiflora edulis, Var flavicarpa degener*), granadilla (*Passiflora ligularis Juss*) y tumbo serrano (*Passiflora mollísima* H.B.K. Bailey); Para la extracción química se fijó los siguientes parámetros: pH 2 y 3, temperatura de 80 y 95°C y tiempo de 60 y 90 minutos, los cuales se combinaron en un diseño factorial de 8 tratamientos para cada fruta y se analizó por triplicado, concluyeron en: el rendimiento óptimo de pectina obtenida de maracuyá amarillo fue de 21,18% y presentó un contenido en sus características químicas de 9,05 % Me, 80,81 % AG y 63,59 % GE; el rendimiento óptimo de pectina obtenida de la granadilla fue de 12,60% y presenta un contenido en sus características químicas de 8,08 % Me, 79,69 % AG y 57,57 % GE y el rendimiento óptimo de pectina obtenida del tumbo

serrano fue de 16,06% y presenta un contenido en sus características químicas de 9,10 % Me, 76,47 % AG y 67,58 % GE.

Nina[3], en su tesis análisis y determinación de la temperatura y tiempo en la extracción ácida de la pectina del sancayo (*Lobivia maximiliana*), realizado en la Universidad Nacional del Altiplano, concluyeron en: que empleando mayores temperaturas y menores tiempos en la extracción ácida de pectina de sancayo se obtienen 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; además que 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.

Chasquibol *et al*[4], en su investigación "Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana", determinaron el análisis de pectina en varias especies frutales de la biodiversidad peruana de origen costeño, andino y amazónico. La extracción y caracterización de las pectinas se realizó en los frutos del níspero de la sierra (*Nespilus germánica*) y de la granadilla (*Pasiflora ligularis*); concluyeron que las características fisicoquímicas y el análisis espectrotométrico infrarrojo confirmaron que las pectinas obtenidas destacaron por su alto contenido de ácido galacturónico (87,97% y 85,99%), alto grado de metoxilación (89,15% y 88,24%), alto grado de esterificación (86,24% y 88,79%), comprobado por espectrofotometría FT-IR, y alto peso molecular (10183,5 y 16366,96), respectivamente.

Cabarcas *et al* [5], desarrollaron su trabajo de investigación sobre extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño

general del proceso de producción. La extracción realizó mediante hidrólisis ácida con HCl en diferentes condiciones de pH (1,5 y 3,0) durante 60 minutos a 60 y 80ºC, llegaron a concluir en: que, a tiempos de extracción constantes, la disminución del pH y el aumento de la temperatura producen un incremento del rendimiento de la pectina extraída, ya que se incrementa la hidrólisis de los enlaces de la protopectina, que pasa a pectina soluble. El máximo porcentaje de pectina extraída corresponde a una muestra obtenida a 80ºC, pH 1,5 y tiempo de 60 minutos, lo que corrobora la tendencia descrita anteriormente y corresponde a una muestra extraída a la temperatura más alta y el pH más bajo de todas las condiciones ensayadas, así mismo el porcentaje de esterificación varía del 75% al 95 %, lo que califica a la pectina extraída como de alto metoxilo, pero esos valores no son correspondientes al valor real debido a la posibilidad de que otros grupos carboxilos puedan estar esterificados aumentando considerablemente el % de esterificación.

Zegada[6], en su investigación extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO), realizo un estudio de comparación, a nivel laboratorio, empleando dos métodos de extracción de pectina a partir de residuos de cáscara de naranja: el método por hidrólisis ácida convencional y el método de extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO). Concluyendo en: que dentro del rango de pH 2,17 a 2,56, estableció como valor óptimo 2,17; por obtenerse con este valor un mayor rendimiento y un mayor porcentaje de ácido galacturónico; para la extracción microondas, periodos entre 7 y 15 minutos no tuvieron efectos significativos sobre el rendimiento y la calidad del producto, finalmente en cuanto a la operación de precipitación, es viable la reducción del porcentaje de solvente a un 50 % de la solución a precipitar, sin afectar el rendimiento del producto. Valores menores corren el riesgo de no permitir la precipitación, como aconteció para un valor de 40% de solvente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tumbo serrano

A. Origen

Es una especie nativa de los valles interandinos de América desde México hasta Bolivia, planta domesticada desde la época prehispánica en la zona andina. Es pariente muy cercana de la granadilla (*Passiflora ligularis*) tiene una amplia distribución desde México hasta Bolivia. Recibe diferentes nombres como curuba en Colombia; tacso en Ecuador, tumbo en Bolivia y Perú. Sin frutos con ovoides algo alargados, de cáscara gruesa y la pulpa aromática, de color amarillo, dulce y ácido a la vez[7].

B. Generalidades

Es un fruto estacional de la sierra peruana que crece entre los 2000 a 3500 m.s.n.m. y que no ha sido industrializado en el país. Se consume en forma directa y ocasionalmente como mermelada casera, como fruto tiene escaso valor económico en los mercados pese a su alto contenido de vitamina C.[8]

El tumbo serrano existe en Ecuador, Colombia, México, EE.UU. y estuvo poco difundido en nuestro país[8].

C. Clasificación botánica

Desde el punto de vista botánico[8], es como sigue:

- División : Fanerógamas
- Sub división : Angiospermas
- Clase : Dicotiledóneas
- Sub clase : Arquiclamídeas
- Orden : Parietales
- Suborden : Flacaurtriae
- Familia : Passifloraceas
- Género : Passiflora
- Especie : *Passiflora Tripartida* var. Mollisima

D. Cultivo:

Mallaupoma[8], menciona que el tumbo serrano prefiere los suelos sueltos, de textura franco - arenosa, ligeramente alcalinos, con niveles medios o altos de humedad, requieren de ambientes abrigados, no soportan heladas, encontrándoles en zonas con temperaturas medias anuales de 8 - 23 °C.

i. **Clima:** El tumbo se adapta al clima monzónico, con temporadas alternantes húmedas y secas. Este cultivo prospera desde los 1000 hasta los 3500 m.s.n.m., con mayor éxito en valles interandinos[9].

ii. **Temperatura:** Tolera temperatura bajo cero una vez cumplido su primer año, requiriendo protección del viento en latitudes o altitudes elevadas. La temperatura baja y los cambios de humedad en altitudes elevadas, permite el desarrollo de esta especie[9].

iii. **Lluvia:** Proporciona mayormente humedad que la planta necesita. En la época de ausencia de lluvias las plantas sufren por la falta de agua, originándose la caída y secado de las hojas. Es necesario riegos sup!ementarios[9].

iv. **Suelo**: Se adapta a diferentes tipos de suelo como en valles y quebradas de la sierra. La productividad y la calidad de la fruta depende de las características del suelo[9].

v. **Propagación:** Por semilla y esquejes maduros (ramas) dependiendo de los fines del cultivo, ya sea comercial o casero[9].

E. Valor nutritivo*)*

Se presenta el valor nutritivo en g/100g de tumbo fresco.

Tabla 1. Composición química proximal de tumbo fresco

Concepto	Contenido (%)
Humedad	92,00
Proteína	0,90
Grasa	0,10
Fibra	0,30
Carbohidratos	6,70

Fuente: Ayala[10]

F. Importancia y usos

El tumbo serrano, es un fruto de los valles interandinos, ideal para el verano por ser hidratante, bajo en calorías pero rico en minerales y vitaminas, así como por sus propiedades terapéuticas contra cálculos renales, malestares urinarios y dolores estomacales, entre otros usos medicinales[11].

Posee un alto contenido de vitaminas C (ácido ascórbico), A y B, Tiamina, riboflavina, niacina, asimismo calcio fosforo hierro y fibra. En menor cantidad carbohidratos, se debe tener en cuenta que la vitamina C es un poderoso agente antioxidante que incrementa la absorción del hierro a nivel gástrico, por lo cual debe consumirse juntos para evitar y tratar la anemia[11].

Sintetiza el colágeno para el mantenimiento de cartílagos, ligamentos, huesos, tendones, dientes y vasos sanguíneos. Estimula el sistema inmunológico; es antialérgico y útil en la prevención y tratamiento del resfrío y la gripe[11].

Se le atribuyen propiedades medicinales para el tratamiento de colesterol alto; la raíz se utiliza para eliminar los gusanos intestinales. En su composición se ha descubierto la serotonina, un potente neurotransmisor, necesario para el buen estado del sistema nervioso y cuya deficiencia es responsable de patologías como la depresión, ciertos tipos de obesidad,

comportamientos obsesivos, insomnio y migrañas. Es la planta que contiene la cantidad más elevada de niacina[11].

Es recomendable para mantener la belleza de la piel, eliminando arrugas y manchas del rostro y ayudando a recuperar la elasticidad; contiene provitamina A o beta caroteno que se transforma en vitamina A en nuestro organismo, esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico[11].

2.2.2. Pectina

A. Definición

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 azucares 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 azucares del producto[12].

B. Fuentes de pectina

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→4), su estructura es como se muestra en la figura 1. 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[13].

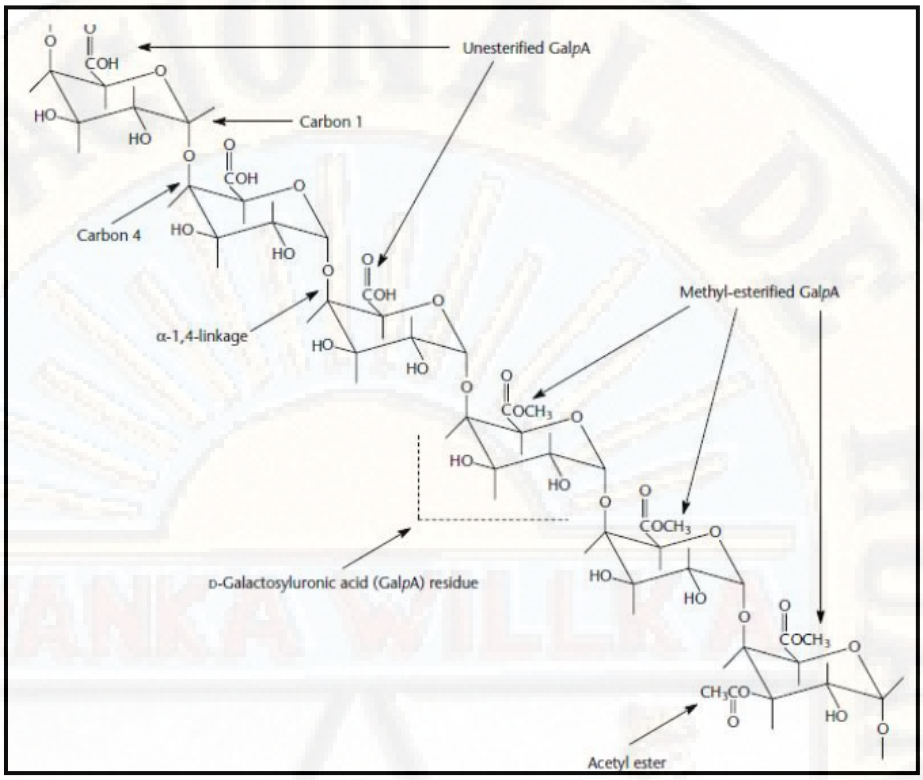


Figura 1: Estructura de la pectina

Fuente: O'Neill *et al*[14]

Las pectinas se obtienen de materiales vegetales que tienen un alto contenido de éstas, tales como manzanas, frutas cítricas, piña, guayaba dulce, tomate de árbol, maracuyá y remolacha. Los subproductos de la industria de zumos de frutas, bagazo de manzanas y albedos de cítricos (limón, limón verde, naranja, toronja), constituyen básicamente las fuentes industriales de pectinas. La Tabla 2 muestra el rendimiento promedio de pectina obtenida a partir de éstas[15].

Tabla 2. Rendimiento de pectina

Fruto	% Pectina
Cítricos	20 – 35 %
Manzana	10 – 15 %
Girasol	15 – 25 %
Remolacha	10 – 20 %
Maracuyá	15 – 20 %

Fuente: Rojas *et al*[15]

C. Clasificación de pectinas

C.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 cáscara de los cítricos especial mente en la naranja valencia. Cuando más esterificada este la pectina, más fácilmente se solubilizará 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[12]. 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[2], su estructura se muestra en la Figura 2.

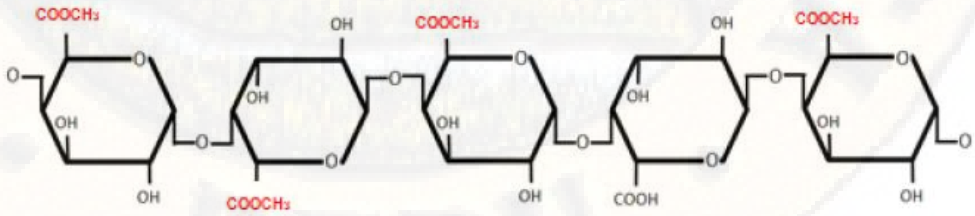


Figura 2: Pectina de alto metoxilo

Fuente: Badui[16]

C.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 solidos 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 frio 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[12], su estructura se muestra en la Figura 3.

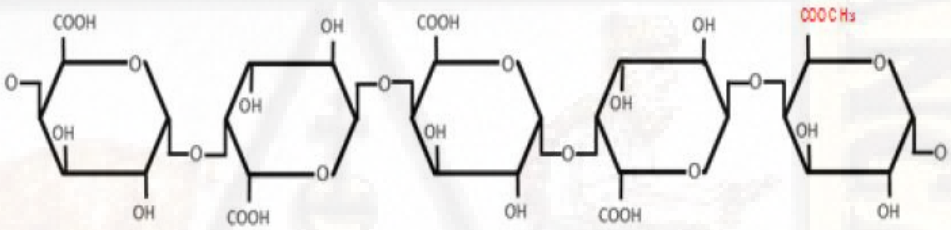


Figura 3: Pectina de bajo metoxilo

Fuente: Badui[16]

C.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 esta entre 30 %-65 % de solidos solubles y valores de pH entre 3 - 4,5, forman geles termorreversibles[12], su estructura se muestra en la Figura 4.

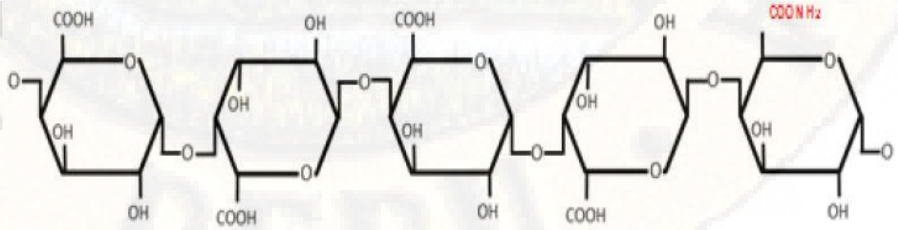


Figura 4: Pectina LM amidadas

Fuente: Badui[16]

D. 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:

D.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[17]. 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[18].

Al aumentar la temperatura y tiempo de extracción se aumenta el rendimiento, pero se reduce el porcentaje de metoxilos, debido al aumento del hidrólisis de los ésteres en los grupos carboxilos metoxilados, y que está relacionado directamente con la calidad de la pectina[2]. A temperaturas altas más de 50ºC 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[19].

D.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[2].

Los contenidos más altos de AG para cáscara de cacao se observaron a 90ºC, donde alcanza un mayor rompimiento de los enlaces presentes en la estructura de la protopectina, provocado por el gran suministro de energía[20], a tiempos de 60 minutos a 85ºC. pH 2,0 se obtiene el mejor rendimiento en la cáscara de plátano, pero a pH 3,0 debido a la presencia de que se hidrolizan junto con la pectina extraída[21].

D.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[20]. 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[2], expresados como mili equivalente por gamo, puede llamarse grado de esterificación[22]. 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 logar solubilizar la molécula en medio acuoso[23]. Cuando esta mayormente esterificado la pectina los grupos ácidos no están disponibles para formar enlaces cruzados con iones divalentes[18]. El grado de esterificación varía según de la fuente obtenida (aloe vera 3 % a 9 %)[24].

D.4. pH

Smit y Wiles[25], menciona que 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. La tendencia a la formación del gel se incrementa con la reducción del pH[12]. 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 $3,25x10^{-4}$ a 19 °C. 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 logar gelificar[2]. Duran y Honores[26], determinaron 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.

D.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 [18].

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[27].

D.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[28], y en caracteristicas tipicas de pectinas comerciales debe ser menores al 5 % (excepto por la pectina de remolacha)[19]. Las pectinas de alto contenido de estos grupos tienen una baja capacidad de gelificación y por lo general debe ser menor al 3 %. La determinacion 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[27]. En pectina de granadilla el contenido de acetil es 0,3 % a 0,5 % y en limón (0,26 %)[29], en toronja es de 0,456 % a 1,634 % y en pulpa de mango 0,215 % a 0,314 %, Ferreira[30]; en epidermis de calabazas el contenido del acetil fue 0,018 % y 0,015 %, Ibrahuim[31]; 0,27 % en mucilago de café typica 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[28].

D.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[23].

D.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[27]; también se ha establecido que los pesos moleculares de pectina están comprendidas en el rango de 100000 a 200000 g/mol; García[19].

E. Aplicaciones de la Pectina

- La pectina de alto metoxilo preserva a los productos lácteos de la agregación de caseína cuando se calienta a valores de pH inferiores a 4,3. Este efecto se usa para estabilizar los yogurts líquidos y tratados con UHT y también para mezclas de leche y zumos de fruta. También estabiliza bebidas lácteas acidificadas con soja y productos basados en el trigo, donde evita la precipitación de proteínas.[32]
- Las bebidas de bajas calorías son muy claras (de textura) y tienen la falta característica de sensibilidad a la boca que proporciona el azúcar en los refrescos convencionales. Puede usarse pectina para mejorar la textura de tales productos y, así, reemplazar a la pulpa del fruto en tales productos.[32]
- En los sorbetes, helados y polos, la pectina puede usarse para controlar el tamaño del cristal. En los polos retiene los aromas y colores, que normalmente tienden a salir de la estructura del hielo.[32]
- La gelatina ha sido la base tradicional para los postres de jaleas. Se formulan con pectinas amidadas de bajo metoxilo que proporciona la textura y el punto de congelación adecuados.[32]
- La acción antidiarréica es la propiedad más universalmente conocida, incluso antes de descubrirse la molécula de pectina. Este efecto se acompaña frecuentemente de una acción antivomitiva, permitiendo a los niños de corta edad asimilar y tolerar mejor los alimentos, en particular leches y productos lácteos, y es, sin duda, consecuencia del papel de protector y regulador del sistema gastrointestinal.[33]
- Las pectinas de alto metoxilo asociadas a otros principios activos, tienen una gran utilización en los tratamientos de gastritis y úlceras, ya que al ser ingerida cubre las paredes estomacales de una especie de película más o menos gelificada, y la protege de hipersecreciones gástricas y biliares. Su acción en la pared intestinal es análoga; además, se añade una acción desintoxicante, debido al poder adsorbente de la macromolécula péctica, que permite la inhibición de toxinas[34].

2.2.3. 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[23]. 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[21]. 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[26].

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[35]. La acción del ácido será mayor cuando más tiempo actué, ya que durante cierto tiempo va liberando del tejido vegetal pectina soluble (ácido urónico) sin degradar su molécula, hasta cierto límite luego, pasado este, la proporción de dichos ácidos decrece[36].

2.3. Hipótesis

H_a : La temperatura, tiempo y pH afectan significativamente en el proceso de extracción y rendimiento de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.).

H_0 : La temperatura, tiempo y pH no afectan significativamente en el proceso de extracción y rendimiento de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.).

2.4. Definición de términos

- **Pectina:** Son polisacáridos que se componen principalmente de unidades de ácido galacturónico unidas por enlaces glicosídicos α 1-4. Son sustancias blancas amorfas que forman en agua una solución viscosa; combinadas en proporciones

adecuadas con azúcar y ácidos, forman una sustancia gelatinosa utilizada como espesante[38].

- **Cáscara:** Es un residuo industrial, actualmente, se está subutilizando en la agroindustria[39].
- **pH:** Es una unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución, mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada[40].
- **Hidrólisis ácida:** Es un proceso en el que un ácido prótico se utiliza para catalizar la escisión de un enlace químico a través de una reacción de sustitución nucleófila, con la adición de agua. De este proceso, se obtiene una fracción líquida, rica en azucares fermentables y una fracción sólida compuesta principalmente de celulosa y lignina[41].

2.5. Definición Operativa de Variables e indicadores

2.5.1. Variables Independientes

- Temperatura
- Tiempo
- pH

2.5.2. Variables Dependientes

- Rendimiento de pectina extraída del tumbo.
- Cenizas de pectina extraída del tumbo

2.5.3. Operacionalización de Variables e indicadores

Tabla 3. Operacionalización de variables

Variables	Tipo de variable según categoría	Tipo de variable según naturaleza	Indicadores
Temperatura	Independiente	Cuantitativa	°C
Tiempo	Independiente	Cuantitativa	Minutos
pH	Independiente	Cuantitativa	H^+
Rendimiento	Dependiente	Cuantitativa	%
Cenizas	Dependiente	Cuantitativa	%

CAPITULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón, que se utilizaron conocimientos procedimentales de extracción de pectina, a fin de aplicar y utilizar en la obtención de pectina a partir de cáscara de tumbo serrano.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación del trabajo se encuentra dentro del nivel experimental; porque se manipulo las variables temperatura, tiempo y pH para observar el efecto sobre el rendimiento de pectina a partir de la cáscara del tumbo serrano.

3.2. Método de investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se recurrió al Método Hipotético-Deductivo, el cual parte de una hipótesis inferida de principios o leyes o sugerida por los datos empíricos, y aplica las reglas de la deducción, para ello se observó el efecto de las variables temperatura, tiempo y pH en el rendimiento de pectina obtenida de la cáscara de tumbo serrano; contrastando la hipótesis planteada.

3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación fue el experimental.

3.3.1. Diseño estadístico:

El diseño estadístico adecuado del experimento fue un Diseño Compuesto Central Rotable, coadyuvo a optimizar el contenido de pectina existente en la muestra, del siguiente tipo DCCR 2n + 2*n + pc, la codificación es la siguiente:

Tabla 4. Diseño Compuesto Central Rotable

Factores	-1,682	-1	0	1	1,682
Temperatura	60	64	70	76	80
Tiempo	40	44	50	56	60
pH	3	4,5	6,5	8,5	10

Tabla 5. Corridas del experimento realizadas con el software Minitab 17

Orden de corrida	Temperatura	Tiempo	pH	Rendimiento	Contenido de Cenizas
1	64,00	56,00	850	Y_1	X_1
2	64,00	44,00	4,.50	Y_2	X_2
3	70,00	50,00	6,50	Y_3	X_3
4	76,00	56,00	4,50	Y_4	X_4
5	76,00	44,00	8,50	Y_5	X_5
6	70,00	50,00	6,50	Y_6	X_6
7	70,00	50,00	6,50	Y_7	X_7
8	70,00	50,00	3,0	Y_8	X_8
9	70,00	60,00	6,50	Y_9	X_9
10	60,00	50,00	6,50	Y_{10}	X_{10}
11	70,00	50,00	6,50	Y_{11}	X_{11}
12	70,00	40,00	6,50	Y_{12}	X_{12}
13	80,00	50,00	6,50	Y_{13}	X_{13}
14	70,00	50,00	10,0	Y_{14}	X_{14}
15	64,00	56,00	4,50	Y_{15}	X_{15}
16	64,00	44,00	8,50	Y_{16}	X_{16}
17	70,00	50,00	6,50	Y_{17}	X_{17}
18	76,00	56,00	8,50	Y_{18}	X_{18}
19	70,00	50,00	6,50	Y_{19}	X_{19}
20	76,00	44,00	4,50	Y_{20}	X_{20}

3.4. Población y muestra

A. Población: La población en el presente estudio fue 20 kilos de tumbo serrano, proveniente del distrito de Acobamba, provincia de Acobamba, región Huancavelica.

B. Muestra: La muestra estuvo constituida por 7 kilos de cáscara de tumbo serrano.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el presente trabajo de investigación se utilizó lo siguiente

Tabla 6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Instrumento	Recolección de datos
Medida de la temperatura	Termómetro	Temperatura del proceso
Medida del tiempo	Cronometró	Tiempo del proceso
Medida del pH	Potenciómetro	pH del proceso
Determinación del rendimiento de pectina	Balance de materia	Porcentaje de pectina

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El trabajo de investigación se realizó en dos etapas, primero se realizó la determinación de la influencia de temperatura, tiempo y pH en el rendimiento, en la obtención de pectina, en la segunda etapa se realizó el análisis de datos a través de la metodología superficie respuesta usando el software Minitab versión 17, y los resultados se interpretaron mediante gráficos y tablas.

3.6.1. Proceso de extracción de pectina a partir de cáscara de tumbo serrano:

A continuación, se muestra en la Figura 5, el diagrama de flujo del proceso de extracción de obtención de pectina de cáscara de tumbo serrano:

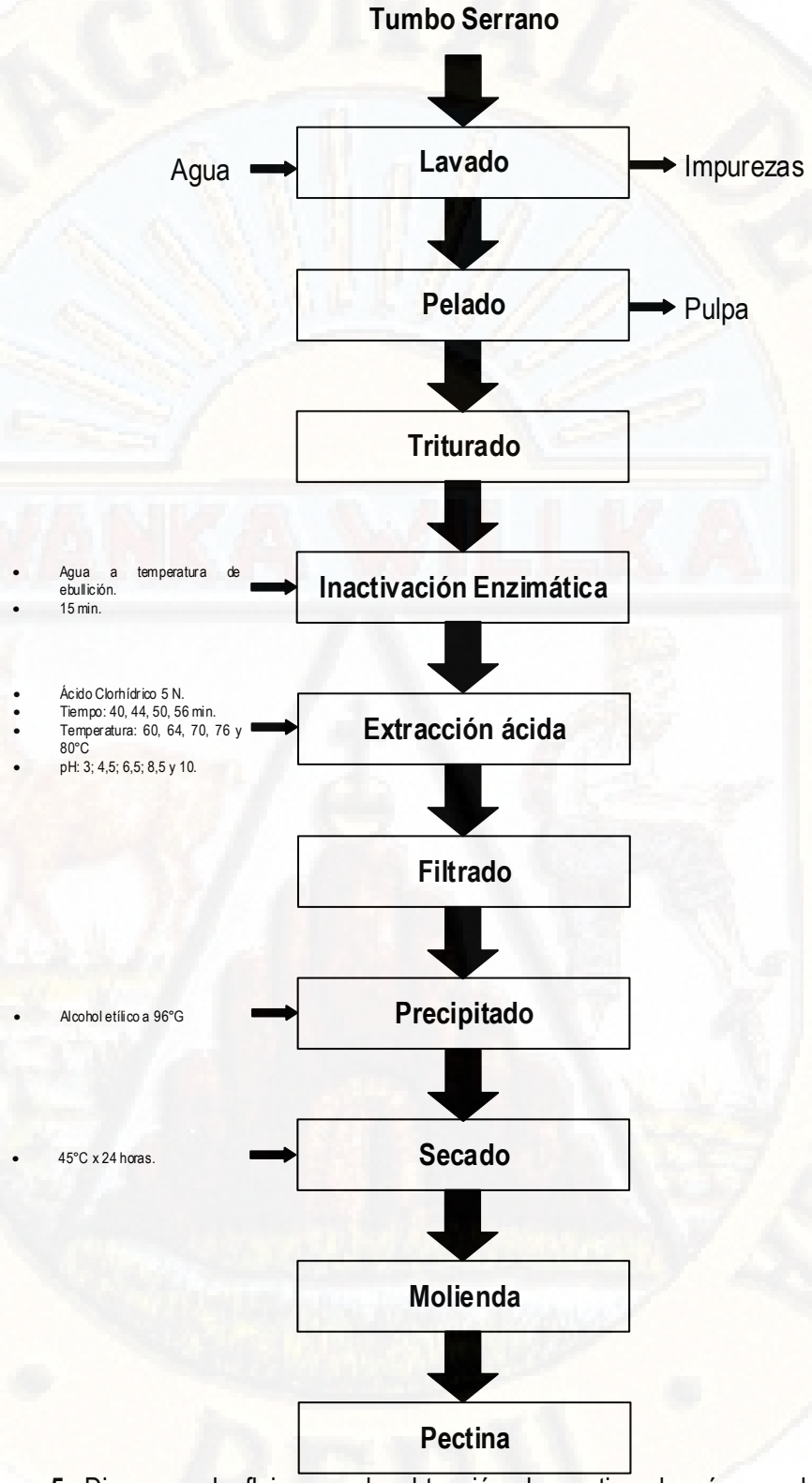


Figura 5. Diagrama de flujo para la obtención de pectina de cáscara de tumbo serrano

Descripción de extracción de pectina a partir de cáscara de tumbo serrano:

- **Materia prima:** Las cáscaras de tumbo serrano fueron seleccionadas de forma manual para verificar la presencia de agentes contaminantes, hongos, y cualquier otro elemento que pudiese afectar el proceso. Se homogenizaron cascaras con que presentaban con alto grado de maduración y los pentones (verde).
- **Lavado de la cascara:** Una vez seleccionadas las cáscaras a utilizar, se procedió a lavarlas para retirar impurezas y residuos de pulpa hasta un porcentaje de sólidos solubles de 0 grados Brix en el agua de lavado.
- **Pelado:** Luego se procedió a pelar las frutas, en forma manual, para obtener las cáscaras del tumbo serrano.
- **Triturado:** Las cáscaras se cortaron en pequeños pedazos para aumentar la superficie de contacto de la muestra.
- **Inactivación enzimática:** En el material triturado se agregó un litro de agua hirviendo por 15 minutos para inactivar las enzimas que degradan la pectina. Periódicamente se retiraron muestras a fin de realizar las medidas fisicoquímicas correspondientes, y con ello evaluar la inactivación de la pectinaesterasa. La muestra retirada se sometió inmediatamente a un enfriamiento rápido en agua a 5 ºC, a fin de detener la inactivación térmica.
- **Extracción ácida:** Se procedió a la extracción ácida de la cáscara de tumbo serrano usando combinaciones entre los parámetros: tiempo (40, 44, 50 y 56 minutos), temperatura (60, 64, 70, 76 y 80 °C) y pH (3; 4,5; 6,5; 8,5 y 10) según el diseño experimental.
- **Precipitado:** Se añadió alcohol etílico al 96% a la solución concentrada, formando un gel precipitado, se filtró el gel mecánicamente y se purificó la pectina repitiendo el proceso mencionado 4 veces.
- **Secado:** La pectina obtenida y purificada se sometió a secado a 45° C en estufa de desecación hasta obtener un peso constante, posteriormente se sometió a trituración para guardarlo en una zona libre de humedad.
- **Molienda:** Con un mortero y cápsula de porcelana se tritura la pectina seca, se usó papel celofán para evitar pérdidas en la molienda hacia el exterior.

- **Pectina:** La pectina obtenida se trasladó a envases de vidrio hermético protegidos de la humedad, temperatura y alejada de la luz solar.

3.6.2. Análisis realizados a los tratamientos:

Los análisis que se realizaron de manera cuantitativa en el desarrollo del presente trabajo se describen a continuación:

A. pH

El pH se determinó usando una solución al 1 % (p/v) de pectina en agua destilada. Para lo cual se usó el equipo potenciómetro.

B. Rendimiento

Se determinó mediante los pesos de la materia prima usada, en este caso cáscara de tumbo serrano, y la pectina obtenida al final del proceso. Se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\%\ Rendimiento = (W2\ /W1)\ x\ 100$$

Donde:

W1= masa de la cáscara de tumbo serrano

W2=masa de la pectina obtenida

C. Determinación del contenido de cenizas

El procedimiento fue:

- Se pesó una cantidad exactamente conocida cercana a 1 gr de pectina, luego se procedió a colocarlo en un crisol de porcelana previamente preparado. Luego se calentó suavemente con mechero y en cabina hasta fin de desprendimiento de humos.
- Posteriormente se colocó el crisol en la mufla a 600ºC durante 4 horas.
- Luego se retiró el crisol de la mufla, dejando enfriar ligeramente y luego colocarlo en un desecador con cloruro de calcio como agente para controlar la humedad, completándose el enfriamiento y luego se pesó.
- El contenido de cenizas totales se expresó en términos de p/p en base húmeda, es decir, gramos de cenizas totales en 100 gramos de pectina.

= A * B/C * D

Donde:

A= Cenizas de base seca

B= Peso de ceniza

C = Peso de muestra

D = Muestra

CAPITULO IV
RESULTADOS

4.1. Presentación de datos

Después de haber realizado la ejecución del proyecto de tesis, se obtuvieron los siguientes resultados que se detallan a continuación:

4.1.1. Determinación de la influencia del tiempo, temperatura y pH sobre la variable de respuesta rendimiento en la obtención de pectina

La pectina se extrajo a temperaturas entre 60 °C, 64 °C, 70 °C, 76 °C y 80 º C; tiempos de 40, 44, 50, 56 y 60 minutos; y pH de 3; 4,5; 6,5; 8,5 y 10. En total se realizaron 20 experimentos. Los valores de rendimiento de las muestras se exponen en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores de rendimiento

Temperatura	Tiempo	pH	Rendimiento
60	50	6,5	5,779
64	44	4,5	3,71
64	56	4,5	1,228
64	44	8,5	14,141
64	56	8,5	8,938
70	40	6,5	5,089
70	50	6,5	3,817
70	50	6,5	5,667
70	50	6,5	5,667
70	50	6,5	5,667
70	50	6,5	3,818
70	50	6,5	5,67
70	60	6,5	5,71
70	50	10	22,079
70	50	3	7,356
76	44	8,5	15,353
76	56	8,5	12,99
76	56	4,5	4,151
76	44	4,5	3,69
80	50	6,5	5,042

En el Anexo 1 se presentan los resultados del análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia del 5%, en donde se observa que la temperatura, tiempo, la interacción (temperatura y tiempo), la interacción

(temperatura y pH) y la interacción (tiempo y pH) no afectan significativamente al rendimiento (P = 0,05), pero si afecta la variable pH; con un R^2 ajustado de 93,03%.

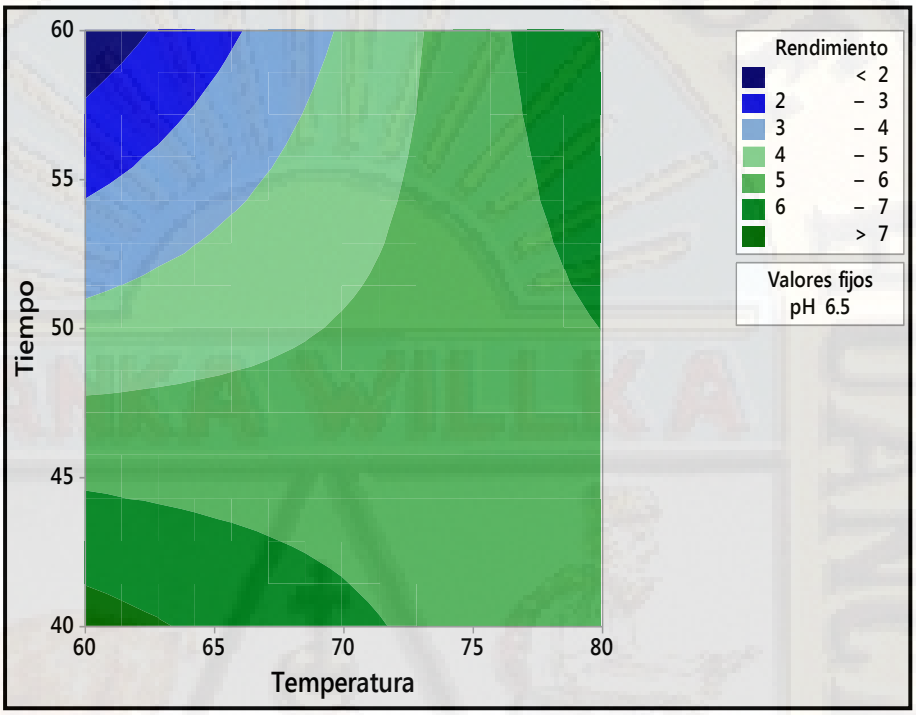


Figura 6: Contornos de rendimiento vs temperatura y tiempo

En la Figura 6 se observa que el mayor rendimiento se encuentra entre los 60 °C a 63 °C en tiempos de 40 minutos; con valor fijo de pH a 6,5 y los más bajos rendimientos en 60 °C a 60 minutos. A menor temperatura y a menor tiempo el rendimiento fue mayor, tal como nos demuestra los diversos estudios de comparación de temperaturas de extracción de pectina.

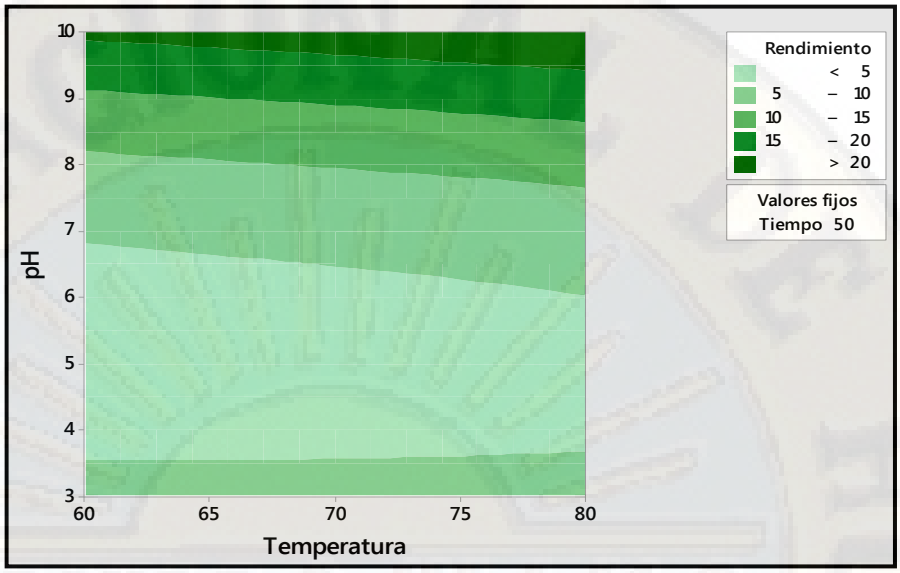


Figura 7: Contornos de rendimiento vs pH y temperatura

En la Figura 7 se observa que el mayor rendimiento se encuentra entre los 80 °C en pH 10; con valor fijo de tiempo 50 minutos y los más bajos rendimientos en 60 °C a 70 °C, con pH 3. A mayor temperatura y a mayor pH el rendimiento fue mayor.

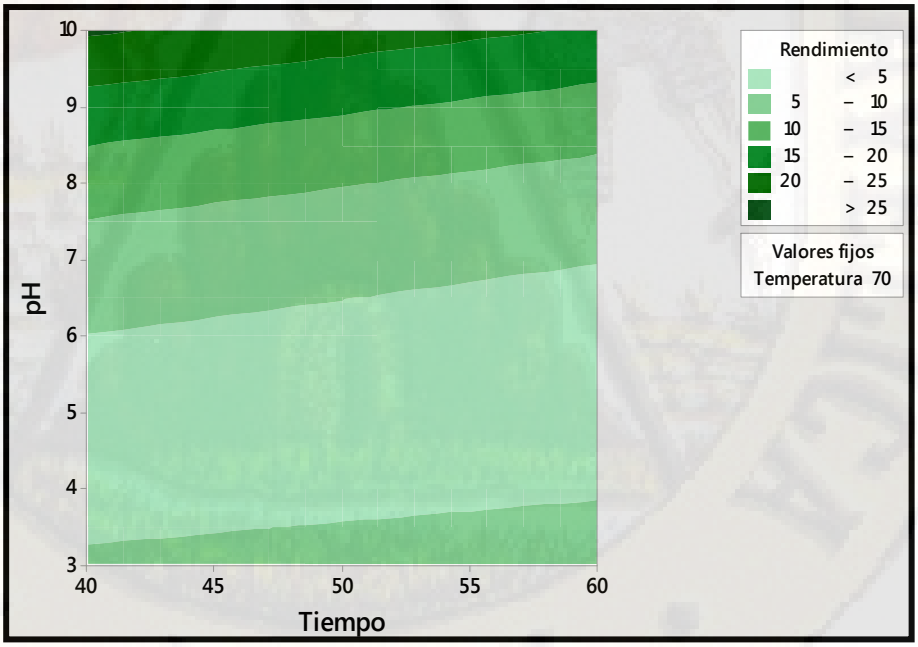


Figura 8: Contornos de rendimiento vs pH y tiempo

En la Figura 8 se observa que el mayor rendimiento se encuentra entre los 40 minutos en pH 10; con valor fijo de temperatura a 70°C y los más bajos

rendimientos en 60 minutos con pH 3. A menor tiempo y a mayor pH el rendimiento fue mayor.

4.1.2. Determinación de la influencia del tiempo, temperatura y pH sobre la variable de respuesta ceniza en la obtención de pectina

La pectina se extrajo a temperaturas entre 60 °C, 64 °C, 70 °C, 76 °C y 80 ºC; tiempos de 40, 44, 50, 56 y 60 minutos; y pH de 3; 4,5; 6,5; 8,5 y 10. En total se realizaron 20 experimentos. Los valores de ceniza de las muestras se exponen en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de ceniza

Temperatura	Tiempo	pH	Ceniza
60	50	6,5	8,51
64	44	4,5	13,418
64	56	4,5	5,755
64	44	8,5	10,182
64	56	8,5	17,92
70	40	6,5	7,492
70	50	6,5	10,74
70	50	6,5	12,964
70	50	6,5	12,808
70	50	6,5	8,51
70	50	6,5	6,303
70	50	6,5	8,634
70	60	6,5	9,511
70	50	10	12,304
70	50	3	23,772
76	44	8,5	16,233
76	56	8,5	17,701
76	56	4,5	9,790
76	44	4,5	13,784
80	50	6,5	8,907

En el Anexo 2 se presentan los resultados del análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia del 5%, en donde se observa que la temperatura, tiempo, pH, la interacción (temperatura y tiempo), la interacción (temperatura y pH) y la interacción (tiempo y pH) no afectan significativamente al contenido de cenizas (P = 0,05).

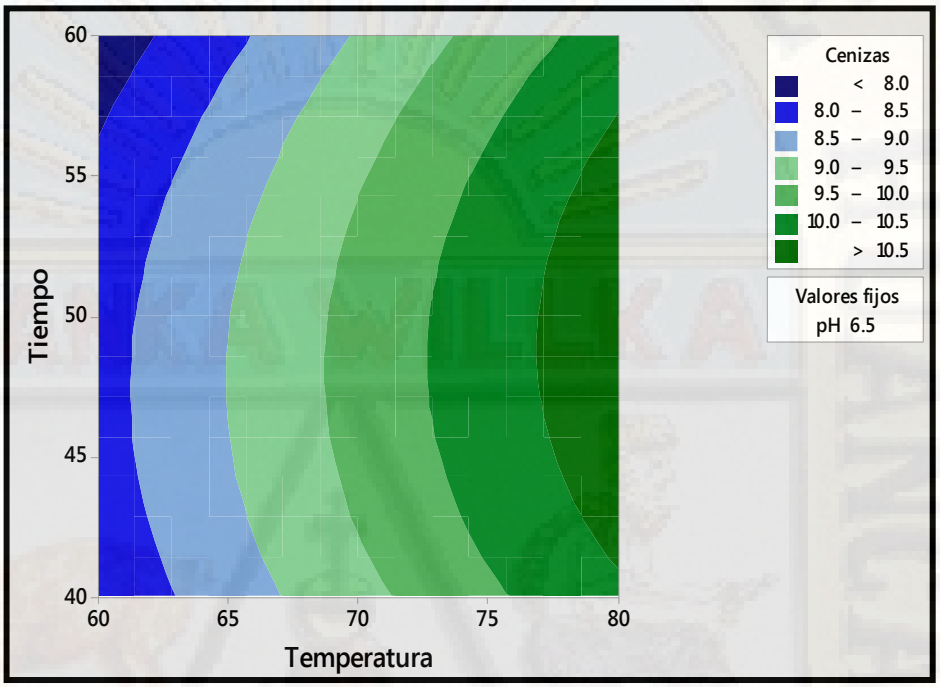


Figura 9: Contornos de cenizas vs temperatura y tiempo

En la Figura 9 se observa que el mayor contenido de cenizas se encuentra entre los 77 °C a 80 °C en tiempos de 50 minutos; con valor fijo de pH a 6,5 y los más bajos contenidos de ceniza en 60 °C a 60 minutos. A mayor temperatura el contenido de cenizas fue mayor.

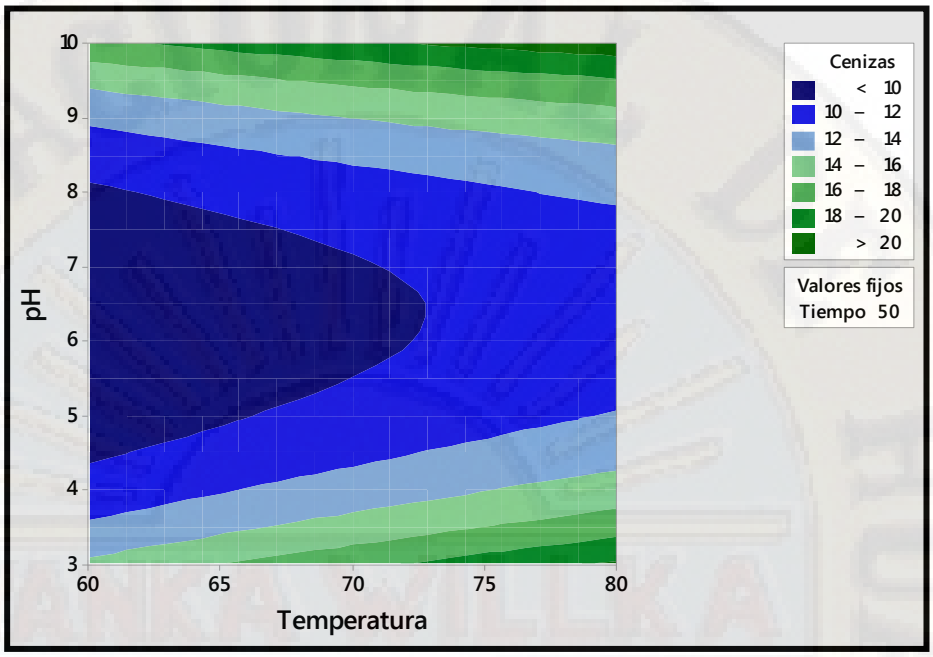


Figura 10: Contornos de cenizas vs pH y temperatura

En la Figura 10 se observa que el mayor contenido de cenizas se encuentra entre los 80 °C en pH de 10; con valor fijo de tiempo 50 minutos y los más bajos rendimientos en 60 °C a 73 °C, con pH de 4,5 a 8. A mayor temperatura y a mayor pH el contenido de cenizas fue mayor.

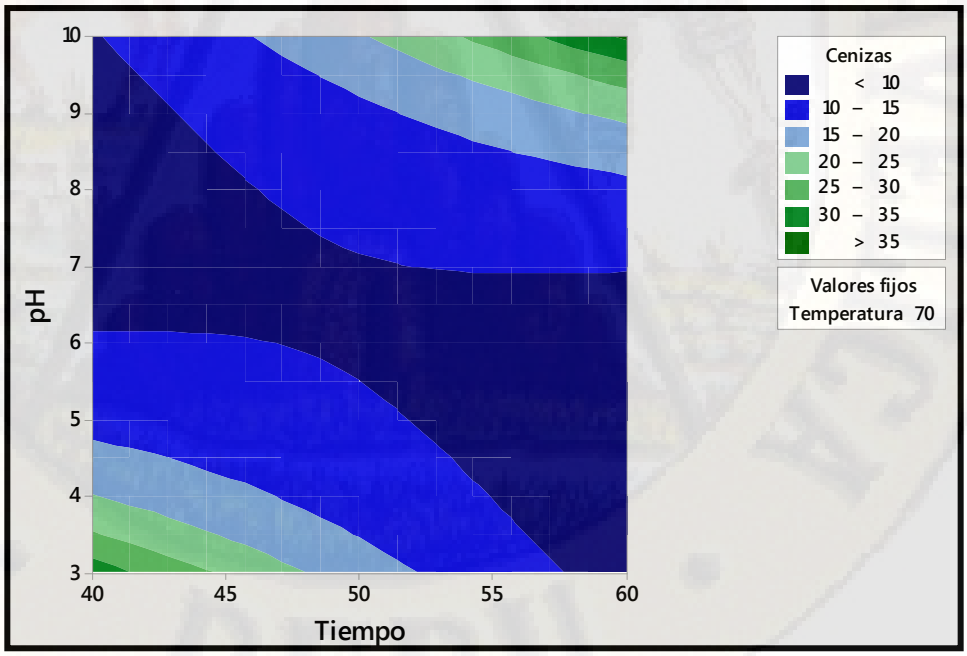


Figura 11: Contornos de cenizas vs pH y tiempo

En la Figura 11 se observa que el mayor contenido de cenizas se encuentra entre los 60 minutos en pH 10; con valor fijo de temperatura a 70 °C y los más bajos rendimientos en 60 minutos con pH 3 a 7. A mayor tiempo y a mayor pH el contenido de cenizas fue mayor.

4.2. Análisis de datos

4.2.1. Determinación de la influencia del tiempo, temperatura y pH sobre la variable de respuesta rendimiento en la obtención de pectina

En los resultados obtenidos según la Tabla 7, se observa que el tratamiento con los parámetros: temperatura 70 °C, 50 minutos y pH 10, obtuvo el puntaje más alto en cuanto a rendimiento se refiere 22,079%; y el tratamiento con los parámetros: 64 °C, 56 minutos a pH 4,5, obtuvo el puntaje más bajo en rendimiento 1,228%. León y Riveros[2] encontraron un rendimiento óptimo de pectina de cáscara de tumbo serrano 16,06% menor a lo reportado en la investigación realizada, a una temperatura de 95 °C, tiempo 90 minutos y pH 2; pero se contrasta que a mayor temperatura se obtiene mayores rendimientos de pectina. En la investigación desarrollado por Púa *et al*[1], sobre la extracción de pectina de la cáscara de limón Tahití verde, las condiciones ideales de extracción con relación al porcentaje de rendimiento fueron de 1,26%, pH 2,5, 45 minutos y 100 °C; para la cáscara de limón Tahití maduro, estas condiciones fueron de 0,90%, pH 2,0, 75 minutos y 90 °C; esto indica que la cáscara de tumbo serrano posee mayor rendimiento de pectina que otras cáscaras de fruta como el limón y granadilla.

Según el ANVA (Anexo 1) con un nivel de significancia al 5%, se observa que la temperatura, tiempo, la interacción (temperatura y tiempo), la interacción (temperatura y pH) y la interacción (tiempo y pH) no afectan significativamente al rendimiento (P = 0,05), pero si afecta la variable pH en el rendimiento de pectina; con un R^2 ajustado de 93,03%, lo cual indica que en un 93,03% de la variación del rendimiento está explicado por la variación del pH; Nina[3] en su investigación sobre análisis y determinación de la temperatura y tiempo en la extracción ácida de la pectina del sancayo (*Lobivia maximiliana)* reporto un R^2 ajustado de 94,94 %, superior al 70 % lo que indica un ajuste adecuado del

modelo, según Ibañez[37], por tanto la investigación desarrollada ha tenido un ajuste adecuado del modelo debido que también fue mayor a 70%.

En estudios cercanos sobre extracción de pectina a partir de cáscaras de fruta como naranja, realizado por Zegada[6] determinó el tiempo óptimo de extracción de pectina a 7 min. a un pH 2,17; es decir a menor pH mayor rendimiento; lo cual contradice a la investigación desarrollada, porque se encontró que a mayor pH mayor rendimiento.

Respecto al tiempo y temperatura, a valores de 50 minutos y 70 °C se tiene rendimientos constantes (5,667), el rendimiento se atribuye al valor del pH 6,5 de extracción; Cabarcas[5] en su estudio realizado determinó que a tiempos de extracción constantes, la disminución del pH y el aumento de temperatura producen un incremento del rendimiento de la pectina extraída.

4.2.2. Determinación de la influencia del tiempo, temperatura y pH sobre la variable de respuesta ceniza en la obtención de pectina

En los resultados obtenidos según la Tabla 8, se observa que el tratamiento con los parámetros: temperatura 70 °C, 50 minutos y pH 3, obtuvo el puntaje más alto en cuanto al contenido de cenizas se refiere 23,772%; y el tratamiento con los parámetros: 64 °C, 56 minutos a pH 4,5, obtuvo el puntaje más bajo en contenido de cenizas 5,755%. León y Riveros[2] reportaron 1,09% de cenizas en las muestras de pectina a partir de cáscara de tumbo serrano; siendo menores a los valores encontrados en la investigación.

Según el ANVA (Anexo 2) con un nivel de significancia al 5%, se observa que la temperatura, tiempo y pH, la interacción (temperatura y tiempo), la interacción (temperatura y pH) y la interacción (tiempo y pH) no afectan significativamente al rendimiento ($P = 0,05$); con un R^2 ajustado de 8,52%; Púa[1] en su estudio sobre extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir de la cáscara de limón tahití (*Citrus x latifolia*) en dos estados de maduración; reportando el contenido de cenizas para la pectina de la cáscara de limón Tahití maduro 3,2% y 5,4% para la pectina obtenida en cáscaras de limón Tahití maduro, también los contenidos de cenizas son menores a lo reportado en la investigación.

A menor pH (3), con valor fijo de temperatura a 70°C y 50 minutos, se obtiene mayor contenido de cenizas.

CONCLUSIONES

- La variable temperatura no tiene efecto significativo en el rendimiento y contenido de cenizas de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.).

- La variable tiempo no tiene efecto significativo en el rendimiento y contenido de cenizas de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.).

- La variable pH tiene efecto significativo en el rendimiento, pero no en el contenido de cenizas de pectina de la cáscara del tumbo serrano (*Passiflora tripartita* L.).

- El tratamiento que reportó el mayor rendimiento (22,079) para la obtención de pectina fueron a las condiciones de pH 10, temperatura 70°C y tiempo 50 minutos, y para el mayor contenido de cenizas (23,772) fueron a las mismas condiciones de temperatura y tiempo, pero a un pH 3.

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo se recomienda:

- Los análisis de la pectina deben realizarse en forma inmediata, porque durante el tiempo de almacenado sufre cambios en su composición y los resultados pueden diferir.
- Utilizar otros métodos de extracción de pectina para poder evaluar que método es más eficaz en la extracción de pectinas.
- Evaluar el poder gelificante de la pectina obtenida, para su posterior aplicación en la industria alimentaria.
- Cuando se realiza la extracción de pectina por hidrólisis ácida se debe emplear un rotavapor al vacío, porque de esta manera se ahorraría costos en la adquisición del alcohol para la precipitación de la pectina.
- Minimizar el impacto ambiental debido a la generación de residuos líquidos como el alcohol procedente de la precipitación de la pectina, para lo cual se debe emplear el método de destilación para reutilizar el alcohol purificado obtenido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

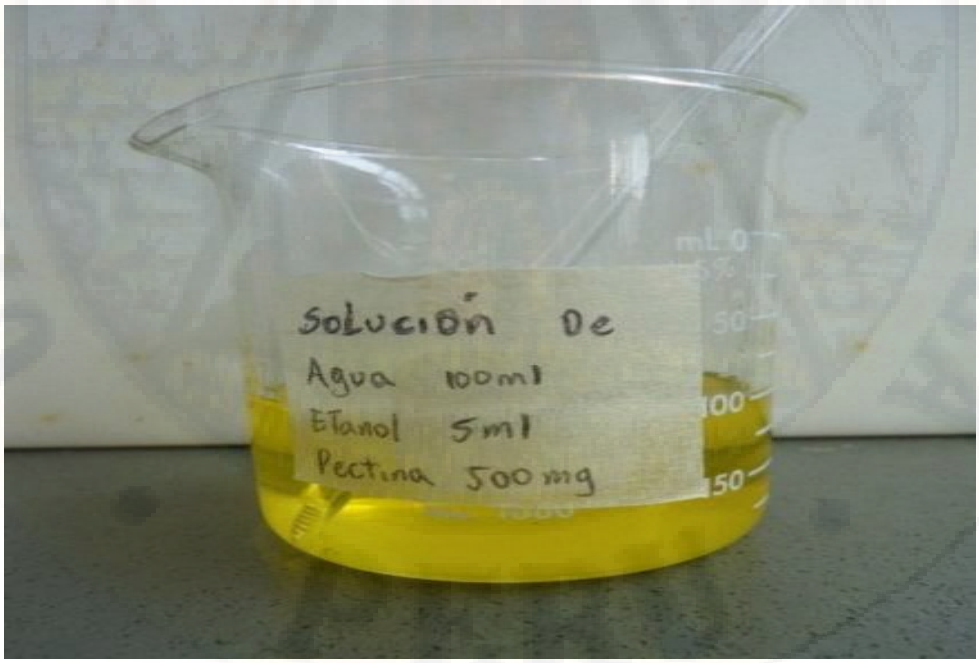
1. Púa A, Barreto G, Vallejo D y Ariza C. “Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir de la cáscara de limón tahití (*Citrus x latifolia*) en dos estados de maduración”. Revista Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria. 2015; 13(2): 180 – 194.
2. León D y Riveros J. "Extracción y caracterización química de las pectinas de las cáscaras de maracuyá amarillo (*Passiflora edulis,* Var Flavicarpa degener), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y tumbo serrano (*Passiflora mollísima* H.B.K. Bailey)". Callao, Perú: Universidad Nacional del Callao. 2014.
3. Nina W. “Análisis y determinación de la temperatura y tiempo en la extracción ácida de la pectina del sancayo (*Lobivia maximiliana*)”. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano. 2017.
4. Chasquibol N, Arroyo E y Morales J. Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. Revista Ingeniería Industrial. 2008; (26): 175-199.
5. Cabarcas E, Guerra A y Henao C. Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción. Cartagena de Indias, Colombia: Universidad de Cartagena. 2012.
6. Zegada V. Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO). Centro de Investigaciones de Procesos Industriales (CIPI). 2014.
7. Moreno – Alvarez M, Medina A, Anton D y García D. Uso de la pulpa de tuna en la elaboración de bebidas cítricas pigmentadas. Revista Inerciencias. 2003. 28 (9): 539-543.
8. Mallaupoma H. “Elaboración de mermelada a partir de tumbo serrano *(Passiflora tripartita var. mollísima (Kunth) HolNiels* & *P. Jorg.)”.* Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 2010.

9. INIA. Cultivo del Tumbo. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Universidad Nacional Agraria. 1995.
10. Ayala B. Programa de Investigación y Proyección Social del fruto. UNALM Lima, Perú. 2000.
11. Duran M y Moreno A. Evaluación de algunas mezclas de solvente en la extracción de carotenoides de tamarillo (*Cyphomandra betaceae* Sendt). Venezuela. 2000.
12. Cubero N, Monferrer A y Villalta J. Aditivos alimentarios. Madrid-España: Mundi-Prensa. 2002.
13. Azcón J y Talón M. Fundamentos de fisiología vegetal. China: Mcgaw-hill-interamericana de España. 2008.
14. O'Neil M, Albersheim P y Darvill A. "The pectic polysaccharides of primary cell walls", en Dey, D. M. (ed.). Methods in Plant Biochemistry. Londres: Academic Press, 1990.
15. Rojas J, Perea A y Stashenko E. Obtención de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos; Revista de la Facultad de Química Farmacéutica. 2008. 6(1): 110-115.
16. Badui S. Química de los alimentos. 4a ed. México: Pearson Educación; 2006.
17. Chevalier C. "Evaluación del efecto de tipo de ácido en el grado de metoxilacion y pureza de pectina a partir de maracuyá (*Passiflora edulis*)". Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano. 2016.
18. Suárez D y Orozco D. "Obtención y caracterización de pectina a partir de la cascarilla de cacao del *Theobroma cacao* L., subproducto de una industria chocolatera nacional". Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 2014.
19. García J. "Evaluación del rendimiento de extracción de pectina en aguas mieles del beneficiado de café procedentes de desmucilaginado mecánico". San Salvador: Universidad de El Salvador. 2009.
20. Barazarte H. Uso potencial de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) como fuente de pectina. Universidad Simon Bolivar. 2006.
21. Vasquez R, Ruesga L, D'addosio R, Páez G y Marín M. Extracción de pectina a partir de la cáscara de plátano (*Musa AAB*, subgrupo plátano) clon Hartón. Universidad del Zulia. 2008.

22. Muñoz D. 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. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional De Colombia, 2011.
23. Günauer C. Influencia del secado sobre la captación de agua de pectina extraída a partir del citrus *Aurantifolia* swingle. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica Del Litoral. 2009.
24. Kumar V y Kumary M. Handbook of sustainable polimers:estructure and chemistry. New York: Pan Stanford. 2016.
25. Smit C y Wiles R. Comercially importand pectin substances. The avi publishing company. 1977.
26. Durán V y Honores M. Obtención y caracterización de pectina en polvo a partir de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*). Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil- Ecuador. 2012.
27. Pagan J. Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. Lleida: Universidad de Lleida. 1998.
28. Orocollo O. Obtención de pectina a partir del mucilago de cafe typica (*Coffea arabica linnaeus*). Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano. 2005.
29. Bui D, Thi D, Minh P, Hong L, Dang P y Duy P. Optimizing the pectin extraction process from amberalla peel by the combined oxlalic acid and microwave and comparison of characteristics with the pectins obtain to traditional extraction method. Food Science and Technology. 2014.
30. Ferreira J. Aislamiento y caracterización de las pectinas de algunas variedades de frutos cítricos colombianos. 2001.
31. Ibrahuim A. Isolation and characterization of pectic substances from pumpkin (*Cucurbita spp*) peels. University of Khartoum. 2008.
32. Jordi P. “Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón”; Universidad de Lleida; 1996.
33. Pilnik W y Rombouts F. "Pectic Enzymes" en Polysaccharides in Foods. Butlerwarths. 1979.
34. Navarro G y Navarro S. "Sustancias pécticas: química y aplicaciones". Universidad de Múrcia. 1985.

35. Montenegro E. Obtención de pectina de nopal (*Opuntia spp*), a diferentes tiempos y temperaturas, utilizando ácido sulfúrico. Tulcan, Ecuador: Universidad Politécnica Estatal del Carchi. 2015.
36. Catalan M. Extracción de sustancias pecticas de la remolacha. factores que intervienen en la calidad del producto obtenido. Estación experimental de aula del Zaragoza. 1964.
37. Ibañez V. Análisis y diseño de experimentos. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano. 2009.
38. Fennema O. Química de los alimentos. Acribia, Zaragoza, España. 1993.
39. Escobedo G. Valorización de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* F. *flavicarpa deg.*) como sub producto para obtener pectina usando como agente hidrolizante ácido cítrico. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. 2013.
40. Giudice J y Galagovsky L. Modelar la naturaleza discontinua de la materia: una propuesta para la Escuela Media. Revista Electronica de Enseñanza de las Ciencias. Vol. 7. N° 3. Pp.632. 2008.
41. Morales-de la Rosa S, Campos-Martin J y Fierro J. Optimization of the process of chemical hydrolysis of cellulose to glucose, Cellulose. 2014.

Anexos


Solución De
Agua 100ml
Etanol 5ml
Pectina 500mg

1000 ml
600
400
200