

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



**FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS
AMBIENTALES**

ESCUELA DE DESARROLLO INTEGRAL AGROPECUARIO

**“Obtención de pectina de Nopal (*Opuntia spp*), a diferentes tiempos y
temperaturas, utilizando ácido sulfúrico”.**

**Tesis de grado previa la obtención del título
de Ingeniero en Desarrollo Integral Agropecuario**

AUTOR: Emilio Gonzalo Montenegro Ruales

ASESORA: Dra. Jenny Yambay Msc.

TULCÁN - ECUADOR

AÑO: 2015

CERTIFICADO.

Certifico que el estudiante Emilio Gonzalo Montenegro Ruales con el número de cédula 040133187-1 ha elaborado bajo mi dirección la sustentación de grado titulada: Obtención de pectina de Nopal (*Opuntia spp*), a diferentes tiempos y temperaturas, utilizando ácido sulfúrico.

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el reglamento de Grado del Título a Obtener, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

Dra. Wilman Jenny Yambay V. Msc.
Tulcán, 04 de junio de 2015

AUTORÍA DE TRABAJO.

La presente tesis constituye requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en Desarrollo Integral Agropecuario de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales.

Yo, Emilio Gonzalo Montenegro Ruales con cédula de identidad número 040133187-1 declaro que la investigación es absolutamente original, autentica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

f.....
Emilio Gonzalo Montenegro Ruales

Tulcán, 04 de junio de 2015

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DE TESIS DE GRADO.

Yo Emilio Gonzalo Montenegro Ruales, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la resolución del Consejo de Investigación de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi de fecha 21 de junio del 2012 que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través o con el apoyo financiero, académico o institucional de la Universidad”.

Tulcán, 04 de junio de 2015.

Emilio Gonzalo Montenegro Ruales

AGRADECIMIENTO.

A Dios por haberme guiado en el camino de la responsabilidad, a mis profesores que con su ayuda y sus conocimientos me han hecho llegar donde estoy, a mi tutora, por brindarme sus conocimientos, tiempo y paciencia; a mis amigos, compañeros de momentos inolvidables.

A ellos gracias.

DEDICATORIA

Éste proyecto está dedicado a mi hijo, Israel y a mi esposa Jessica, compañeros inseparables, ellos representan la motivación, el esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio.

A mis padres, Eloy Montenegro y Aida Ruales, pilares fundamentales en mi vida, porque sin su ejemplo, su tenacidad y lucha insaciable, no hubiese podido conseguir todo lo que me he propuesto hasta ahora; a mi hermana Katty; a mis suegros Mauricio Soto y Narciza Vivas por su apoyo incondicional para culminar con éxito esta meta.

En fin a todas las personas que han aportado en esta tarea; a ellos este proyecto.

INDICE GENERAL

CERTIFICADO.	ii
AUTORÍA DE TRABAJO.	iii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DE TESIS DE GRADO.	iv
AGRADECIMIENTO.	v
DEDICATORIA.	vi
RESUMEN EJECUTIVO.	- 1 -
QUICHUA.	- 3 -
I. EL PROBLEMA.	- 5 -
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	- 5 -
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	- 5 -
1.3. DELIMITACIÓN.	- 5 -
1.4. JUSTIFICACIÓN.	- 6 -
1.5. OBJETIVOS.	- 7 -
1.5.1. Objetivo General.	- 7 -
1.5.2. Objetivos Específicos.	- 7 -
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.	- 8 -
2.2. FUNDAMENTACIÓN LEGAL.	- 8 -
2.3. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.	- 9 -
2.4. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA.	- 10 -
2.4.1. Nopal (<i>Opuntia spp</i>)	- 10 -
2.4.2. Pectina.	- 15 -
2.4.3. Ácido sulfúrico.	- 22 -
2.5. GLOSARIO.	- 25 -
2.6. HIPÓTESIS.	- 26 -

2.6.1. Hipótesis alternativa	- 26 -
2.6.2. Hipótesis nula.....	- 26 -
2.7. VARIABLES.....	- 26 -
2.7.1. Variables dependientes	- 26 -
2.7.2. Variables independientes:	- 26 -
III. METODOLOGÍA.....	- 27 -
3.1. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	- 27 -
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	- 27 -
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	- 27 -
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	- 28 -
3.5. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	- 29 -
3.5.1. Información bibliográfica.....	- 29 -
3.5.2. Información procedimental	- 29 -
3.5.3. Diseño experimental.....	- 30 -
3.5.4. Manejo específico del ensayo	- 33 -
3.6. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	- 40 -
3.6.1. Resultados del grado de esterificación.....	- 40 -
3.6.2. Resultados de los sólidos solubles.....	- 42 -
3.6.3. Resultados del rendimiento	- 44 -
3.6.5. Análisis físico-químicos y microbiológicos.....	- 47 -
3.6.6. Análisis microbiológico de la pectina obtenida en el mejor tratamiento y la Pectina cítrica RS150 comercial.....	- 47 -
3.6.7. Análisis físico-químico de la pectina obtenida en el mejor tratamiento y la Pectina cítrica RS150 comercial.....	- 48 -
3.6.8. Análisis económico del mejor tratamiento	- 49 -

3.6.9. Verificación de hipótesis.....	- 51 -
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 52 -
4.1. CONCLUSIONES.....	- 52 -
4.2. RECOMENDACIONES.....	- 53 -
V. BIBLIOGRAFÍA.	- 54 -
VI. ANEXOS	- 57 -

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica del nopal (<i>Opuntia spp</i>)	- 11 -
Tabla 2. Composición química de cladodios.....	- 12 -
Tabla 3. Operalización de variables.....	- 28 -
Tabla 4. Localización del experimento.....	- 29 -
Tabla 5. Factores de estudio	- 30 -
Tabla 6. Diseño con tratamientos	- 30 -
Tabla 7. Unidad experimental	- 31 -
Tabla 8. Análisis estadístico	- 31 -
Tabla 9. Valores obtenidos del grado de esterificación.....	- 40 -
Tabla 10. Análisis ADEVA del grado de esterificación.....	- 40 -
Tabla 11. Prueba de significación para tratamientos mediante Tukey 5%..	- 41 -
Tabla 12. Valores obtenidos de los sólidos solubles	- 42 -
Tabla 13. Análisis ADEVA de los sólidos solubles.....	- 42 -
Tabla 14. Prueba de significación para tratamientos mediante Tukey 5%..	- 42 -
Tabla 15. Valores obtenidos del rendimiento.....	- 44 -
Tabla 16. Análisis ADEVA del rendimiento	- 44 -
Tabla 17. Prueba de significación para tratamientos mediante Tukey 5%..	- 44 -
Tabla 18. Valores obtenidos del grado de metoxilo	- 45 -
Tabla 19. Análisis ADEVA para el grado de metoxílo	- 46 -

Tabla 20. Prueba de significación para tratamientos mediante Tukey 5%..	- 46 -
Tabla 21. Análisis del recuento de microorganismos realizado a la pectina de nopal (<i>Opuntia spp</i>) y Pectina cítrica RS150 comercial.....	- 48 -
Tabla 22. Análisis físico-químico realizado a la pectina de nopal (<i>Opuntia spp</i>) y Pectina cítrica RS150 comercial.	- 48 -
Tabla 23. Costos de producción	- 50 -
Tabla 24. Costos fijos de producción.....	- 50 -

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Nopal (Opuntia spp)	- 10 -
Gráfico 2. Estructura de la pectina.....	- 15 -
Gráfico 3. Pectinas con alto índice de metoxilo	- 16 -
Gráfico 4. Pectinas con bajo índice de metoxilo	- 17 -
Gráfico 5. Pectina amídicas de bajo metoxílo.....	- 17 -
Gráfico 6. Cadena de ácidos galacturónico	- 20 -
Gráfico 7. Ficha informativa de ácido sulfúrico	- 22 -
Gráfico 8. Datos estadísticos para el grado de esterificación	- 41 -
Gráfico 9. Datos estadísticos para sólidos totales	- 43 -
Gráfico 10. Datos estadísticos para el rendimiento	- 45 -
Gráfico 11.- Datos estadísticos para el grado de metoxílo	- 47 -
Gráfico 12. Análisis fisicoquímico de la pectina de nopal y la Pectina cítrica RS150 comercial.	- 49 -

Índice de Anexos

Anexo. 1 Nopal (<i>opuntia spp</i>)	- 57 -
Anexo. 2 Selección de Nopal.....	- 57 -
Anexo. 3 Lavado de Nopal	- 58 -
Anexo. 4 Cortado de Nopal	- 58 -
Anexo. 5 Preparación del Ácido Sulfúrico.....	- 59 -
Anexo. 6 Nopal picado.....	- 59 -
Anexo. 7 Triturado	- 60 -
Anexo. 8 Proceso de extracción	- 60 -
Anexo. 9 Tamizado.....	- 61 -
Anexo. 11 Lavado de pectina	- 61 -
Anexo. 11 Secado de la pectina	- 62 -
Anexo. 12 Molienda de pectina	- 62 -
Anexo. 13 Almacenamiento.....	- 63 -
Anexo. 14 Deshidratación de muestras con y sin clorofila.....	- 63 -
Anexo. 15 Toma de datos.....	- 64 -
Anexo. 16 Toma de muestras.....	- 64 -
Anexo. 17 Recuperación del alcohol utilizado	- 65 -
Anexo. 18 Prueba de esterificación	- 65 -
Anexo. 19 Muestra con clorofila	- 66 -

Anexo. 20 Muestras sin clorofila	- 66 -
Anexo. 21 Muestras de los diferentes tratamientos	- 67 -
Anexo. 22 Resultados del análisis pectina comercial	- 68 -
Anexo. 23 Resultados del análisis de pectina de nopal (<i>opuntia spp</i>).....	- 69 -
Anexo. 24 Tabla de conversión de medida de malla	- 70 -
Anexo. 25 Ficha técnica de la pectina cítrica comercial	- 71 -

RESUMEN EJECUTIVO.

El presente trabajo de investigación consistió en obtener pectina de Nopal (*Opuntia spp*), a diferentes tiempos y temperaturas, utilizando ácido sulfúrico como catalizador, y la posterior caracterización de la pectina obtenida en el mejor tratamiento. Para la evaluación de las variables en estudio se implementaron 6 tratamientos con tres repeticiones utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA), con un arreglo factorial A x B, en donde el factor A corresponde a la temperatura de hidrólisis y el factor B al tiempo de dicho proceso. Las variables analizadas fueron: grado de esterificación, grados Brix, rendimiento y grado de metoxilo. Para el análisis estadístico se utilizó la prueba de Tukey al 5%, para el Factor A y el Factor B. La extracción se la realizó mediante una hidrólisis con ácido sulfúrico a pH de $2 \pm 0,2$; a 80°C y 90°C durante (30, 45 y 60) minutos. El mejor tratamiento fue T4 (a_2b_1) (90°C, 30 minutos) con: grado de esterificación 86,9%; 2,47 °Bx; rendimiento de 1,31% y grado de metoxilo 13,02%; seguido por el tratamiento T5 (a_2b_2) (90°C, 45 minutos) con grado de esterificación 82,1%; 2,37 °Bx; rendimiento de 1,29% y grado de metoxilo 12,23%. Los resultados de los análisis realizados a la pectina obtenida en el mejor tratamiento T4 (a_2b_1) fueron: humedad: 13,27%; fibra total: 10,07%; cenizas: 10,16 %; pH: 4,12; recuento de coliformes totales: <10 UFC/g; recuento de E. coli:<10 UFC/g; parámetros comparables a los de la Pectina cítrica RS150 comercial (pectina cítrica marca Cargill): humedad: 10,17%; fibra total: 0,07%; cenizas: 1,36 %; pH: 3,14; recuento de coliformes totales: <10 ufc/g; recuento de E. coli:<10 UFC/g; la pectina obtenida en la presente investigación cumple con los parámetros establecidos en la Pectina cítrica RS150 comercial, se hace notoria la cantidad de fibra total de 10,07% vs 0,07% de la Pectina cítrica RS150 comercial, lo que la constituye como una fuente potencial de fibra.

ABSTRACT

The present research work was to obtain pectin Nopal (*Opuntia* spp), at different times and temperatures, using sulfuric acid, and further characterization of pectin obtained in the best treatment. For the evaluation of the study variables 6 treatments with three replicates using a Completely Randomized Design (CRD) with a factorial arrangement A x B, where the factor A corresponds to the temperature of hydrolysis and factor B were implemented while of that process. The variables analyzed were: degree of esterification, Brix, performance and degree of methoxy, for statistical analysis the Tukey test was used 5% for Factor A and Factor B. The extraction was performed by the hydrolysis sulfuric acid to pH $2 \pm 0,2$; at 80 and 90 for 30, 45 and 60 minutes. The best treatment was T4 (a2b1) (90, 30 minutes) with: 86,9% degree of esterification; °Bx 2,47; yield of 1,31% and 13,02% degree of methoxyl; followed by T5 (a2b2) (90C, 45 min) treatment with 82,1% degree of esterification; °Bx 2,37; yield of 1,29% and 12,23% degree of methoxyl. The results of the analyzes performed on the pectin obtained in the best treatment T4 (a2b1) were: moisture: 13,27%; total fiber: 10,07%; ash: 10,16%; pH: 4,12; count total coliform: <10 CFU / g, e. coli count: <10 CFU / g, comparable to those of commercial citrus pectin RS150 (Cargill brand citrus pectin) parameters: moisture: 10,17% total fiber: 0,07%; ash: 1,36%; pH: 3,14 total coliform count: <10 CFU / g; E. coli Count: <10 CFU / g. pectin obtained in the present research meets the quality parameters, it is apparent the total fiber 10,07% vs 0,07% RS150 commercial citrus pectin, which constitutes it as a potential source of fiber.

QUICHUA

Cunan llankai mascashca carkami pectina de nopalta taringapaj (*Opuntia spp*), shuc, shuc rupaicunapi churaspa, ácido sulfúricocunahuan, punda llugshishca pectinata ali rurashca tratamientohuan, shuc resultadocunata taringapaj rurarcami sucta tratamientota, quinsa viajeta repetishpa japishpa shuc, shuc diseñocunata (DCA) factorial arreglota rricushpa A x B, maipi factor A can mi hidrolisis temperaturapa y factor B can mi nistishca tiempo procesopa. Cai analisashca can mi, grado de esterificacion, grados brix, mirashca, grado de metoxilo, caita analizangapay pruebata rurarcamchi tukey pruebahuan cai 5%, cai factor A y factor B pa, caita llucchircanchi ocupashpa hidrolisista ácido sulfuricohuan a pH de $2 \pm 0,2$, a 80°C y 90°C, 30, 45 y 60 minutapi churashpa, tacuita yali ali tratamientoca cerca T4 (a_2b_1) (90°C, 30 minutos) cai: grado de esterificacionda 86,9%, 2,47 Bx, mirashka 1,31%, cai grado de metoxilo 13,02%, catichispa cai tratamientota T5 (a_2b_2) (90°C, 45 minutota) cai grado de esterificacionda 82,1%, 2,37Bx, mirarishpa cai 1,29% y grado de metoxilo 12,23%. Tucuita yali ali tarishka pectina mejor tratamientohuan T4 (a_2b_1) can, chirihuan : 13,27%, fibra totalca: 10,07%, uchufa :10,16 %, pH: 4,12, yarishun total coliformeta: <10 ufc/g, yarishpa cai E. coli: <10 ufc/g, chai pectinatsha sha cunata cítrica Rs 150 comercialta (pectina citricata shutichishka cargillta): chirihuan 10,17%, fibra totalta: 0,07%, uchufa: 1,36%, pH: 3,14, yarishpa coliformes totalta: <10 ufc/g, yarishpa E. coli: <10 ufc/g, cai pectina tarishca man mi ali calidadta rikushpa, ricurinmi cai fibra totalta 10,07% vs 0,07% pectina cítricapacta Rs 150 comercialta, cai ricuchinmi shinchi fibrata.

INTRODUCCIÓN

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3,5 a 5 m de altura, se desarrollan en ambientes secos, la variedad de nopal (*Opuntia spp*) que ha sido seleccionada presenta tallos aplanados a los que se los conoce como cladodios, son carnosos y de sabor agradable, de color por lo general verde, con espinas blancas pequeñas que realizan la función de defensa de la planta, y que debido a las características físico químicas que presentan son utilizadas en la extracción de pectina (Sáenz, 2006).

En México el nopal es utilizado en las fábricas para la elaboración de productos como: harinas, cápsulas de nopal en polvo con fines medicinales, espesantes, colorantes, etc. además es utilizado por los pobladores de ese país para la elaboración de salsas, mermeladas y encurtidos como acompañamiento de sus comidas (Sáenz, 2006). El Ecuador ha empezado a implementar este cultivo, en lugares semi desérticos, para la producción de tuna y cochinilla para satisfacer las demanda del mercado nacional, utilizando la tuna para la elaboración de pulpas y la cochinilla para elaborar el colorante rojo de carmín (Clerque Bolaños & Gudiño Acosta , 2010). En la provincia del Carchi, cantón Mira, comunidad Las Dos Acequias, sector el Cascajal, se ha implementado este cultivo debido a que las condiciones ambientales y edáficas del lugar se prestan para su desarrollo, en la presente investigación los cladodios de descarte serán utilizados como materia prima en la obtención de pectina, producto utilizado en la industria alimenticia para el mejoramiento de las características reológicas de mermeladas, jaleas, yogurt, entre otros, en el proceso para la obtención de pectina interfieren directamente las variables temperatura y tiempo, las cuales son determinantes en cuanto al grado de esterificación, grados Brix, rendimiento y grado de metoxilo que influyen en la calidad de la pectina obtenida igualando y/o mejorando a la Pectina cítrica RS150 comercial.

I. EL PROBLEMA.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el cantón Mira se encuentran cultivadas 63 hectáreas de nopal (*Opuntia spp*), del cual se obtiene dos productos como son la tuna y la cochinilla (Comercio, 2011).

Según la señora Hipatia Gudiño dueña de uno de los terrenos donde se cultiva la tuna indica que aproximadamente el 20% (cladodios) de la planta es descartada, lo que significa que aproximadamente 251.75 toneladas de cladodios son descartados anualmente debido a las labores culturales que se les realiza a las plantas productoras.

Los cladodios eliminados no son depositados en un lugar apropiado para su descomposición, sino que son colocados en la parte inferior de la planta y en los caminos del cultivo sin ningún propósito, causando obstaculización e incomodidad al momento de realizar la cosecha y labores culturales.

Descartando esta parte de la planta se está perdiendo una materia prima potencial, la cual se podría utilizar en la producción de pectina.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Se puede obtener pectina del Nopal (*Opuntia spp*) a diferentes tiempos y temperaturas utilizando ácido sulfúrico?

1.3. DELIMITACIÓN.

La presente investigación con el tema “Extracción de pectina del nopal (*Opuntia spp*), a diferentes tiempos y temperaturas utilizando ácido sulfúrico” se la llevó a cabo en:

- Provincia del Carchi.
- Cantón Tulcán.

- Parroquia Tulcán.
- Edificio de laboratorios de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
- Laboratorio 203 de análisis de alimentos y control de calidad.

1.4. JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación busca aprovechar los cladodios de descarte del nopal como materia prima, para la obtención de pectina, incrementando los beneficios en cuanto a la producción agrícola de tuna, la parte ambiental y factores económicos, los resultados de la presente investigación, permitirán conocer el proceso de elaboración de pectina, sus problemas y beneficios a los sectores productores de nopal y pectina, lo cual contribuye a ampliar la gama de uso del nopal permitiendo mejorar la calidad de vida de la población, con lo cual se aportará al cumplimiento a uno de los objetivos del plan nacional del buen vivir, objetivo 3 “ Mejorar la calidad de vida de las personas” (Nacional, 2013).

La pectina es una materia prima que se utiliza en las industrias alimenticias, siendo las de mayor demanda, las fábricas elaboradoras de mermeladas, pulpas, sopas y cremas instantáneas.

Por otro lado se ha comprobado que ayuda a controlar la diabetes, ya que evita que ingrese más azúcar de lo debido al torrente sanguíneo, gracias a que crea una pequeña capa gelatinosa dentro de los intestinos que funciona como barrera mecánica al exceso de azúcar (Flores, Luna , & Ramírez, 1995).

A nivel nacional no existe industria productora de pectina, (invdes, 2013) lo que obliga a la importación de dicho insumo, su costo promedio en el mercado nacional es de 25 USD el kilo (Químicos, 2014), los resultados obtenidos en la presente investigación podrían ser utilizados en el aprovechamiento de los cladodios de descarte, generando una fuente más de ingresos económicos, a las comunidades productoras de nopal.

1.5. OBJETIVOS.

1.5.1. Objetivo General.

Obtener pectina de Nopal (*Opuntia spp*), a diferentes tiempos y temperaturas, utilizando ácido sulfúrico.

1.5.2. Objetivos Específicos.

1. Establecer los parámetros para la obtención de pectina a partir del nopal (*Opuntia spp*).
2. Caracterizar el producto terminado que se obtuvo en el mejor tratamiento, mediante el análisis físico-químico y microbiológico.
3. Determinar la calidad de la pectina obtenida mediante la comparación de sus parámetros físico-químico y microbiológico con los de una Pectina cítrica RS150 comercial.
4. Establecer los costos de producción.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

Existen investigaciones realizadas con anterioridad en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en las cuales se estudió la “Extracción y caracterización reológicas de polisacáridos tipo pectina de la cáscara de tuna (*Opuntia spp*), en la cual se determina un rendimiento de 0.18% por cada gramo de materia seca, dejando sentada una base de que se puede extraer pectina de las cáscaras de las tunas de nopal (Antonio, 2007).

Otra de las investigaciones que aportó a la investigación fue elaborada por Mariella Alexandra Rivadeneira Ávila de la Escuela Superior Politécnica del Litoral de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción con el tema “Extracción de pectina líquida a partir de cáscaras de Maracuyá (*Passiflora edulis*) y su aplicación en el desarrollo de un producto de humedad intermedia” en la cual se puede evidenciar que se puede extraer pectina por el método ácido, con un pH de 3, utilizando ácido cítrico (Ávila, 2009).

Según (Quinatúa, 2013) de la Universidad Técnica Particular de Loja la cual lleva por tema “Extracción y caracterización de la pectina en tres especies del género *vasconcellea*, nativas del sur del Ecuador” concluye que el rendimiento más alto en pectina 13.11% expresado en base seca se obtuvo a pH de 1.2 y 60°C y que corresponde a la *Vasconcellea heilbornii* var. *Gualel*, misma que extraída a pH de 1.5 y 70°C tienen un GE (93.93%), AGT (55.61%). Las características químicas de esta pectina son comparables a las características de la pectina comercial.

2.2. FUNDAMENTACIÓN LEGAL.

Dando cumplimiento al reglamento de titulaciones de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi en cuanto a trabajos de investigación de tesis, graduación, titulación e incorporación, capítulo II del marco legal, Art. 2 que menciona la obligatoriedad de la tesis para la obtención del título profesional de tercer nivel,

y en referencia a los Arts. 80 literal e y 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior – LOES.

En la Constitución de la República del Ecuador, en el Capítulo segundo de los Derechos del buen vivir, sección primera, agua y alimentación Art. 13.- Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales.

En la norma NTE INEN 2074 segunda revisión, con el título: Aditivos alimentarios permitidos para consumo humano. Listas positivas. Requisitos. Aprueba el uso de la pectina como un aditivo en diferentes alimentos de consumo diario como: mermeladas, jugos, gomas dulces. La toma en cuenta como emulsionante, agente gelificante, estabilizador.

2.3. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.

El Ecuador no cuenta con industrias productoras de pectina, según el Banco central del Ecuador en el año 2013 se importó 58.59 toneladas de pectina, lo que va del año desde enero del 2014 hasta mayo del 2014 se ha importado 23.04 toneladas de pectina.

El nopal por sus características físicas y químicas puede ser la materia prima óptima, para la obtención de pectina de buena calidad, siendo así que la tecnología obtenida en la presente investigación, podría ayudar a satisfacer la demanda local, regional y nacional, además podría mejorar la situación económica de los productores de nopal.

2.4. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA.

2.4.1. Nopal (*Opuntia spp*)

El interés del ser humano por el nopal, data desde hace miles de años atrás. Su historia se origina en las antiguas culturas mesoamericanas, como es, la cultura Azteca. Mediante evidencia arqueológica se afirmó que los indígenas que vivían en las zonas semiáridas de Mesoamérica, fueron las que empezaron a cultivar el nopal (Pimienta, 1990).

Gráfico 1. Nopal (*Opuntia spp*)



Tomada por: (Montenegro E., 2014)

2.4.1.1. Clasificación taxonómica

Tabla 1. Clasificación taxonómica del nopal (*Opuntia spp*)

Clasificación taxonómica	
Reino:	Vegetal
Subreino:	Embryophyta
División:	Angioserma
Clase:	Dicotiledoneae
Subclase:	Dialipetalas
Orden:	Opuntiales
Familia:	Cactaceae
Tribu:	Opuntiae
Subfamilia:	Opuntioideae
Género :	Opuntia
Subgénero:	Platyopuntia
Especie:	varios nombres

Fuente: Briton y Rose (1963).en Bravo-Hollis (1978)

Esta variedad de nopal (*Opuntia spp*) presenta tallos aplastados a los que se los conoce como cladodios, frutos carnosos y de sabor agradable, de color por lo general verde, con espinas blancas pequeñas que realizan la función de defensa de la planta.

Los cladodios tiernos cuando estos alcanzan el tamaño de 10 a 15 cm son utilizados en la agro industria para la producción de nopalitas, mientras que los cladodios que presentan una madures de 2 a 3 años son utilizados para la elaboración de harinas, producción de mucilago, pastillas de nopal, etc.

Tabla 2. Composición química de cladodios

EDAD (AÑOS)	DESCRIPCIÓN	PROTEÍNA	GRASA	CENIZAS	FIBRA CRUDA
0.5	Renuevos o Nopalitos	9.4	1.00	21.0	8.0
1	Pencas	5.4	1.29	18.2	12.0
2	Pencas	4.2	1.40	13.2	14.5
3	Pencas	3.7	1.33	14.2	17.0
4	Tallos suberificados	2.5	1.67	14.4	17.5

Fuente: López *et al.* (1977) citado por Pimienta (1990) (Sáenz, 2006)

2.4.1.2. Características

El nopal es una planta arbustiva erecta, que puede llegar a alcanzar un tamaño de 5 metros de altura.

El sistema radical del nopal es muy ramificado, presenta una gran cantidad de raíces finas absorbentes, el tamaño de las raíces, está relacionado a las condiciones hídricas y las labores culturales (Sáenz, 2006).

Los cladodios son tallos jugosos, carnosos y articulados, tienen la forma ovoide a manera de una raqueta, puede llegar a alcanzar una longitud de 60 a 70 cm dependiendo de las características nutricionales del suelo (Sudzuki, F, Muñoz, C y Berger, H., 1993).

El periodo de crecimiento del cladodio es de 90 días, en los cuales, se desarrollan las yemas o areolas en ambas caras, estas areolas tienen la capacidad de generar nuevos cladodios, raíces aéreas y flores (Sudzuki, F, Muñoz, C y Berger, H., 1993).

Las areolas presentan en su cavidad espinas, que generalmente son de dos tipos: algunas pequeñas, agrupadas en gran número (gloquidios) en México comúnmente se llaman aguates y las grandes que son, según algunos botánicos, hojas modificadas (Granados, 1996).

Las flores del nopal son sésiles y hermafroditas, estas se desarrollan en la partes superior de los cladodios, se presentan diferentes colores como amarillas, blancas entre otros colores, la floración se realiza una vez al año pero si se le da las condiciones ambientales aptas como humedad y temperatura, esta puede desarrollar una segunda floración en el mismo año.

En las labores culturales se incluye las diferentes podas, que se le deber realizar al nopal, para un buen desarrollo de la planta, entre las más principales son:

a) La poda de formación.

Mediante esta técnica se elimina los cladodios que están juntos, los que se encuentran mal orientados y los que están dirigidos hacia la parte de abajo, impidiendo el crecimiento apropiado de la planta.

b) Poda de sanidad.

Se trata de eliminar los cladodios que se encuentran en mal estado, debido a malformaciones o que han sido afectadas por plagas y enfermedades.

c) Poda de rejuvenecimiento.

Se puede realizar la poda de los cladodios, cuando estos ya hayan cumplido su tiempo de producción que es de 10 a 15 años, o también puede ser sustituida la planta vieja por una nueva.

d) Poda de estimulación de renuevos.

Esta se realiza dejando criar los brotes que salen en los cladodios, en tiempo de cosecha se corta los nopalitos dejando solo los cladodios que pueden generar más brotes, estos empiezan a germinar a los 20 días una cantidad de 8 15 nopalitos.

2.4.1.3. Beneficios de belleza y limpieza

Hoy en día, se está utilizando el nopal en la línea de la cosmetología como principio humectante, debido a que este presenta propiedades mucilaginosas. Se lo utiliza para la elaboración de jabones, enjuagues, cremas humectantes, cremas limpiadoras y shampoo (Ramos, 2004).

2.4.1.4. Propiedades Alimenticias y Nutricionales.

Los nopalitas son consumidos por las personas que necesitan una dieta que aporte una gran cantidad de nutrientes, agua y de la misma manera aporta una buena cantidad de fibra dietética casi igual al de algunas frutas y hortalizas como la espinaca, rábano, alcachofa, acelga, brócoli, berenjena (Sáenz, 2006).

Las personas con problemas renales consumen el nopal debido a que este presenta una bajo contenido de sodio y una gran cantidad de nutrientes (Sepúlveda, E. y Sáenz, 1990).

2.4.1.5. Propiedades Medicinales

El nopal por sus características nutricionales, presenta una gran cantidad de vitaminas, minerales, proteínas, 17 aminoácidos esenciales y no esenciales (Alimentación-sana.org, 2013).

Al nopal se le atribuye varias propiedades medicinales, de las cuales se menciona las más trascendentales.

2.4.1.5.1. Obesidad.

Al contener gran cantidad de fibras insolubles, este causa una sensación de saciedad a la persona que está consumiendo el nopal, mejorandole la digestión (Alimentación-sana.org, 2013).

2.4.1.5.2. Diabetes e Hiperglucemia.

El nopal ayuda a reducir el índice glucémico, formando una capa en el intestino, impidiendo la absorción de azúcar de cualquier alimento con el que se consuma (Jace, 2013).

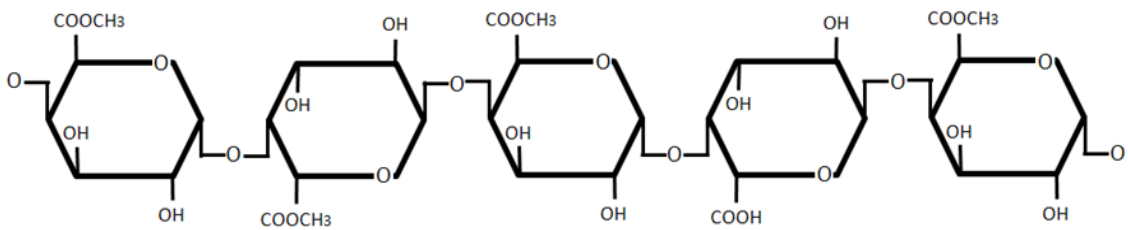
2.4.1.5.3. Colesterol.

El nopal tiene la característica de impedir que se adhiera el colesterol a las venas y arterias. Los aminoácidos, la fibra y la niacina contenida en el nopal, hacen que el exceso de azúcar presente en los alimentos sea transformado en grasa (Alimentación-sana.org, 2013).

2.4.2. Pectina

Las pectinas están formadas por un extenso grupo de heteropolisacáridos y que esta constituidos por ácidos D galacturónico unidos por enlaces glucosídicos. Estas pectinas se encuentran los frutos inmaduros y en tejidos suaves (Dergal, 2006).

Gráfico 2. Estructura de la pectina



Fuente: (Dergal, 2006)

En 1972 la Sociedad Química Americana, estableció la nomenclatura para nombrar a este tipo de sustancias, en la cual se determinó el concepto “pectina” a los ácidos pépticos capaces de formar un gel estándar, cuando sean mezclados en proporciones similares de fruta, azúcar, agua, o ácidos (Ferreira 1990).

Las pectinas que se encuentran presentes en la naturaleza son heteropolisacáridos, pertenecientes al segundo grupo de polisacáridos, están ubicados en las paredes de celulares de tejidos jóvenes de las frutas y vegetales, con la característica de regular la capacidad del equilibrio del agua.

Las pectinas están formadas por ácido poligalacturónico y que está parcialmente esterificado con metanol (Herbstreith 2001).

2.4.2.1. Clasificación de las Pectinas

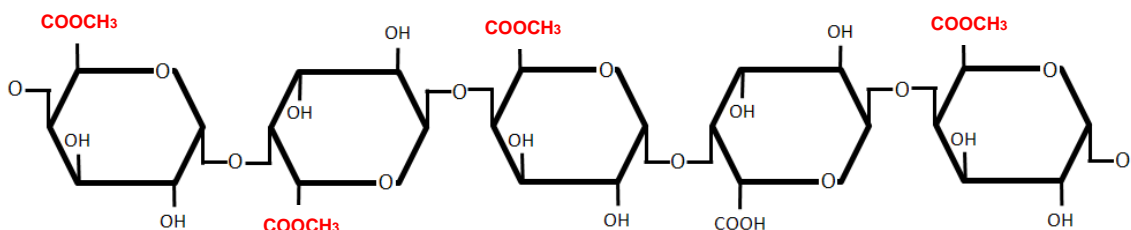
Las sustancias que presentan características son polímeros pertenecientes al ácido galacturónico, se diferencian entre ellas por los grupos metilo que están esterificando los grupos carboxilos (Ferreira 1990).

Según Herbstreith (2001) menciona que las pectinas se dividen en tres grupos según sus propiedades de gelificación, y que se encuentran asociadas con el grado de esterificación metílica.

2.4.2.1.1. Pectinas de alto metoxilo

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 (N. Cubero, 2002).

Gráfico 3. Pectinas de alto metoxilo

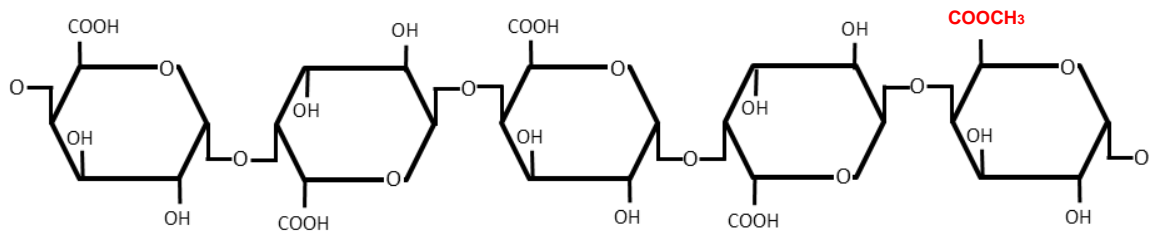


Fuente: (Dergal, 2006)

2.4.2.1.2. Pectinas de bajo metoxilo.

Estas pectinas de bajo metoxilo gelifican en un pH que se establece en 1 - 3 medio ácido y 6 - 7 en medio básico, la cantidad de sólidos solubles deben contener iones calcio para que la pectina forme geles (Gaviria 2005).

Gráfico 4. Pectinas de bajo metoxilo

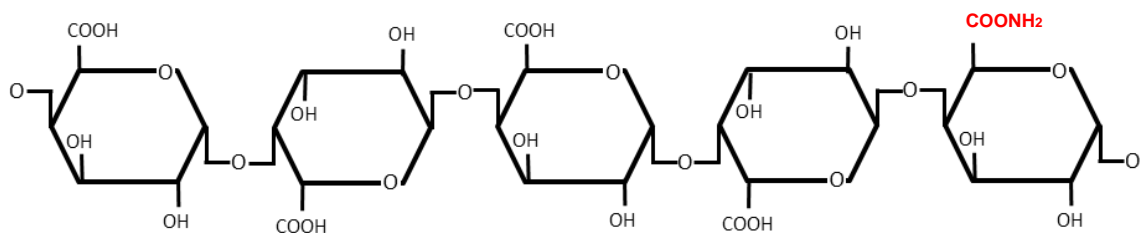


Fuente: (Dergal, 2006)

2.4.2.1.3. Pectinas amídicas de bajo metoxilo.

Son pectinas obtenidas a partir de otras pectina de alto metoxilo mediante una des esterificación alcalina mediante la utilización de amoniaco, el grado de amidación y el grado de metoxilo fijan el poder gelificante de la pectina (N. Cubero, 2002).

Gráfico 5. Pectina amídicas de bajo metoxílo



Fuente: (Dergal, 2006)

2.4.2.1.4. Métodos de Extracción de Pectinas

Existen varios métodos patentados que sirven para la obtención de pectina, entre los más utilizados se menciona a continuación.

- a) Aplicación de presión y calentamiento por microondas (Fishman, 2000). Se obtiene pectinas de alto peso molecular y buena viscosidad.
- b) Conversión de materia prima en una sal cálcica de la pectina en un medio líquido, luego se la seca, se obtiene un pectinato (Glahn, 2001).
- c) Hidrólisis ácida, consiste en adicionar ácido y radicales OH al tejido vegetal para obtener pectinas con alto grado de metoxilo (Ehrlich, 1997).
- d) Intercambio iónico, se hacer reaccionar en suspensión acuosa, fibra comestible con una solución alcalino férrico se separa la suspensión resultante, quedando una pasta sólida y rica en pectina (Graves, 1994).

2.4.2.2. Características Físico-químicas

2.4.2.2.1. 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 (Multon, 1988).

2.4.2.2.2. Gelificación

Los geles están formados por moléculas poliméricas, que forman una red de gran tamaño que esta interconectada entre sí, en un líquido (Flory, 1953).

Las propiedades de la pectina resulta de las interacciones entre soluto y solvente, La influencia del agua como solvente, la naturaleza y magnitud de las fuerzas intermoleculares que mantienen la integridad del gel permiten tener una gran capacidad de retención de agua esterificada (Multon, 1988).

2.4.2.2.3. pH

La alta alcalinidad-baja acidez acompaña a un pH alto, mientras que a una baja alcalinidad, alta acidez lo hace con un pH bajo (Multon, 1988).

2.4.2.2.4. Acidez Titulable

Para medir la acidez de la solución de la pectina con el hidróxido de sodio, se lo debe realizar con las condiciones y medidas exactas, para evitar la saponificación de los grupos éster presentes en la pectina, afectando los valor de lectura de la acidez titulable por un valor más alto (Multon, 1988).

2.4.2.2.5. Solubilidad

Las partes de agua en que la pectina debe de ser soluble se establece en 20, para formar una solución coloidal, insoluble en alcohol y con fácil fluides (Taípe, 2011).

La solubilidad aumenta proporcionalmente al grado de esterificación y cuando decrece el peso molecular (Badui, 1999).

2.4.2.2.6. Reología

Las velocidades de deformación de la pectina son similares a las de otras sustancias parecidas como el C.M.C, y tienen el mismo comportamiento en su fluidez y viscosidad aparente (Badui 1999).

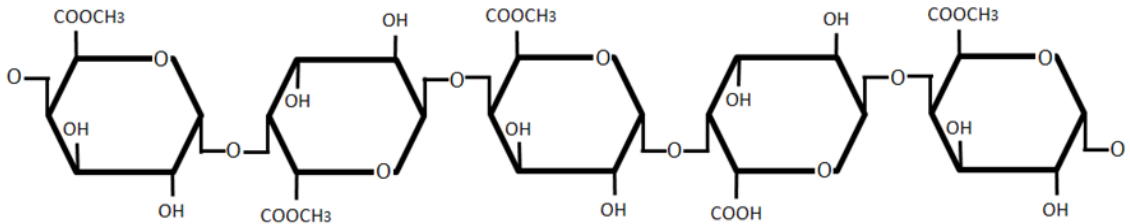
La pectina en gel presenta las propiedades de los líquidos viscosos y las propiedades de los sólidos elásticos, es por eso que las propiedades reológicas se expresan en términos elásticos o fuerzas newtonianas. (Badui 1999).

2.4.2.2.7. Estructura Química

La pectina pertenece a la familia de los polisacáridos, y su función principal es de mantenerlos unidos a los tejidos vegetales, la pectina se encuentra en mayor parte en los cítricos, específicamente en el mesocarpio.

Está formado por un éster metilado en la cadena del ácido poligalacturónico que está conformada de 300 a 1000 unidades del ácido galacturónico, y que se encuentran unidos por enlace α 1-4 , en el gráfico 6 podemos apreciar su estructura.

Gráfico 6. Cadena de ácido galacturónico



Fuente: (Dergal, 2006)

El galactano y arabinogalactano son generalmente componentes minoritarios, aunque en algunos casos, por ejemplo en cotiledones de judía pueden ser abundantes. El primero, está formado por una cadena lineal de galactosas unidas por enlaces β (1-4). El segundo, consta de una cadena principal de galactosa β (1-4) con cortas cadenas laterales de arabinosa α (1-5) unidas al carbono 3 de la galactosa (Badui 1999).

2.4.2.2.8. Grado de esterificación

El grado de esterificación está ligado al grupo carboxilo de las cadenas de pectina de los residuos de ácido urónico con etanol etílico (Van Buren 1991).

La firmeza de los tejidos vegetales y la cohesión, está relacionado con el grado de metilación. Si se reduce el grado de metilación aumenta la cohesión en los tejidos que han sido calentados (Multon 1988).

2.4.2.2.9. Características Sensoriales

La pectina en polvo de buena calidad presenta características como: el color que es blanco amarillento y olor neutro, la característica de la pectina líquida se presenta con una textura viscosa o mucilaginosa (Badui, 1999).

2.4.2.2.10. Características Fisiológicas

La característica principal de la pectina es la retención de agua, además, hace que tránsito intestinal sea más lento en el caso de presentar diarrea, los efectos

benéficos de la pectina en pacientes que presentan diabetes, son muy favorables para las personas que dependen de la insulina, debido a que la captación de glucosa por el aparato digestivo se hace más lenta, y por ende no suben los niveles de azúcar en la sangre, el único efecto indeseable de la pectina, es que impiden la absorción de metales que son necesarios para que el organismo tenga un buen funcionamiento (Badui, 1999).

2.4.2.3. Aplicaciones en la Industria alimentaria

a) Jaleas

La pectina de alto metoxilo son utilizadas para la elaboración de jaleas o mermeladas que tengan un contenido mayor al 60% de solidos solubles. Se debe de seleccionar una pectina que se adapte a una menor cantidad de solidos solubles y a la solubilidad del calcio (Multon, 1988).

b) Industria Láctea

En la industria láctea se utiliza la pectina de alto metoxilo para la estabilización de bebidas lácteas acidificadas, productos basados en trigo y soya, para evitar que las proteínas se precipiten (sinéresis) (Multon 1988).

c) Bebidas y Gelatinas

Las pectinas amidadas de bajo metoxilo sirven para la elaboración de jugos elaborados con pulpa de fruta, la cual le brinda la textura al jugo, y gomas de sabores con la consistencia elástica (Multon, 1988).

2.4.2.4. Aplicaciones en la Industria Farmacéutica

La pectina es utilizada por la industria farmacéutica por sus características terapéuticas e hidrocoloidales, además presenta efectos de sinergia ya que puede reaccionar con otros ingredientes activos, la adición de pectina en los alimentos de las personas diabéticas hace que la curva de glucosa disminuya al igual que la insulina (Askel, 1987).

2.4.3.Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un líquido corrosivo, su peso molecular supera al del agua, y su color es neutro, su fórmula molecular está compuesto de dos moléculas de hidrogeno una molécula de azufre y dos moléculas de oxígeno, su utilización mayoritariamente es en las industrias alimenticias, petroleras, pesqueras entre otras.

Gráfico 7. Ficha informativa de ácido sulfúrico

ACIDO SULFURICO 96% PA-ISO		
H ₂ SO ₄		
M.:98.08 CAS:7664-93-9 EINECS: 231-639-5 NC:2807 00 10 UN:1830		
IMDG:8/II IATA: 8/II PAX: 8.09 CAO:813		
PELIGROSIDAD:		
R:35 S: 26-30-45 CE:016-020-00-8		
1l-1.84Kg 1Kg-0.54l		
ESPECIFICACIONES:		
Riqueza minima (acidim).....95.0%		
LIMITE MAXIMO DE IMPUREZAS		
Color APHA.....10%		
Residuo de calcinación.....0.0005%		
Resistencia al KMnO ₄ (en SO ₃).....0.0002%		
Aptitud para determinación de DQO según		
UNE 77-004-89.....s/e		
Cloruro (Cl).....0.00002%		
Fosfato (PO ₄).....0.00005%		
Nitrato (NO ₃).....0.00002%		
Amonio (NH ₄).....0.00002%		
Metales pesados (en Pb).....0.00001%		
Ag.....0.000002%	Cr.....0.000005%	Na.....0.00005%
Al.....0.000005%	Cu.....0.000001%	Ni.....0.00002%
As.....0.000001%	Fe.....0.00001%	Pb.....0.00002%
Be.....0.000002%	Fe.....0.00001%	Sr.....0.00002%
Ca.....0.00002%	Li.....0.000002%	Zn.....0.00005%
Cd.....0.000002%	Mg.....0.000005%	
Co.....0.000002%	Mn.....0.000001%	

Fuente: (Panreac, 2013)

2.4.3.1. Propiedades físicas y químicas

2.4.3.1.1. Datos Físicos:

Este ácido a una temperatura de 15,5°C, se lo puede encuentra en su concentración máxima de 98,5%, el punto de ebullición de ácido se encuentra establecida en 338°C y su densidad a una temperatura de 20°C es de 1,84 g/cm³.

Este ácido es soluble en agua, y reacciona de manera brusca generando calor al mezclarse con ella.

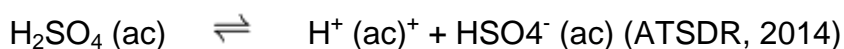
2.4.3.1.2. Reactividad

Condiciones de reactividad: Este ácido se descompone en trióxido de Azufre y agua cuando ha alcanzado una temperatura de 340 °C.

Incompatibilidad: El ácido sulfúrico es incompatible con metales en polvo, cloratos, fulminatos, fósforo, sodio, ácido nítrico, acetona, nitratos, acetatos, picratos, materias soluciones alcalinas, carburos, orgánicas (QMax México S.A. de CV, 2011).

2.4.3.2. Propiedades químicas.

Es un ácido diprótico, ya que cada unidad de ácido puede ceder dos protones al medio:



El Ácido Sulfúrico en disolución acusa puede disociarse en iones de hidrogeno (H^+) e iones sulfato (SO_4^{2-}), además puede cristalizar varios hidratos, por ser un ácido fuerte.



El ácido sulfúrico en concentraciones diluidas presenta características como: sabor amargo, neutraliza los álcalis, pueden conducir la electricidad y pueden corroer los metales activos.

De este ácido se puede obtener las sales àcidas que contienen el grupo hidrógeno sulfato HSO_4^- , y sales que contienen el grupo sulfato SO_4^- (ecured, 2013).

2.4.3.3. Principales usos

El ácido sulfúrico es una de las materias primas fundamentales en la industria, tiene un alto consumo y su aplicabilidad es numerosa, debido a su facilidad de reaccionar con otras sustancias o materias, además elimina materiales no deseados como el agua, oxígeno, metales y otras sustancias no deseadas.

El ácido sulfúrico es usado mayoritariamente en industria de fertilizantes, a nivel industrial es usado principalmente en la industria de fertilizante, en la industria alimentaria preservando jugos frutales y vegetales, vinos y mostos sulfitados, industria pesquera aplicación como preservante y bactericida industrias importantes son refinación de petróleo, producción de pigmentos, tratamiento del acero, extracción de metales no ferrosos, manufactura de explosivos, detergentes, plásticos y fibras (Quiminet.com, 2006).

2.4.3.4. Riesgos a la salud

Efectos por exposición aguda: Exposición prolongada a soluciones diluidas o neblinas puede resultar en irritación a los ojos (conjuntivitis) y producir dermatitis en la piel.

a) Ingestión. Corrosivo, quemaduras severas de boca y garganta, perforación del estómago y esófago, En casos severos colapso y la muerte. Durante la ingestión o el vómito se pueden bronco aspirar pequeñas cantidades de ácido que afecta los pulmones y ocasiona la muerte.

b) Inhalación: Altas concentraciones del vapor pueden producir ulceración de nariz y garganta, edema pulmonar, espasmos y hasta la muerte.

c) Contacto con los ojos: Soluciones muy concentradas producen lesiones irreversibles, opacidad total de la córnea y perforación del globo ocular. Puede provocar ceguera.

d) Contacto con la piel: Los daños dependen de la concentración de la solución de ácido sulfúrico y la duración de la exposición (QMax México S.A. de CV, 2011).

2.4.3.5. Peligro para el medio ambiente

El ácido sulfúrico es dañino para la vida acuática en concentraciones muy bajas. Cualquier concentración mayor de 1200 mg/m³ se considera letal para peces (QMax México S.A. de CV, 2011).

2.4.3.6. Inflamabilidad

El ácido sulfúrico es inflamable en su concentración alta puede causar combustión al contacto con líquidos y sólidos. En contacto con metales genera hidrógeno, gas altamente inflamable (Quiminet.com, 2006).

2.4.3.7. Almacenamiento y manipulación

- Evitar el contacto del ácido con el agua.
- Almacenar separado de carburos, cloratos, fulminatos, nitratos, picratos, metales en polvo, materiales oxidantes y combustibles.
- Almacenar en envases de vidrio o polietileno.

2.5. GLOSARIO.

Nopal. Es una especie de las Opuntias, esta planta de más o menos tres metros de alto, de tallos planos, formados a su vez de pequeñas paletas ovaladas, cubiertas de espinas y pequeños pelos removibles que facilitan el consumo humano.

Cladodio. Tallo modificado, aplanado, que tiene la apariencia de una hoja y que la reemplaza en sus funciones, porque las hojas existentes son muy pequeñas o rudimentarias para poder cumplir con sus tareas.

Tuna. La tuna, un fruto jugoso y dulce de una variedad de cactus, florece en los suelos semidesérticos.

Pectina. Las pectinas son un tipo de heteropolisacáridos. Una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados. Constituyen el 30 % del peso

seco de la pared celular primaria de células vegetales, los cuales son capaces de formar geles con azúcar y ácido bajo condiciones favorables.

Protopectina. Sustancias insolubles en agua, las cuales se encuentran en las plantas y, bajo hidrólisis restringida, producen ácidos.

Metoxilo. Es un grupo funcional o radical consistente en un grupo metilo unido a un oxígeno.

Grado de esterificación. Un factor importante que caracteriza las cadenas de pectina es el grado de esterificación (GE) de los grupos carboxilos de los residuos de ácido urónico con alcohol metílico.

2.6. HIPÓTESIS

2.6.1. Hipótesis alternativa

Las diferentes temperaturas y tiempos influyen en la obtención de pectina del nopal (*Opuntia spp*) con ácido sulfúrico.

2.6.2. Hipótesis nula

Las diferentes temperaturas y tiempos no influyen en la obtención de pectina del nopal (*Opuntia spp*) con ácido sulfúrico.

2.7. VARIABLES.

2.7.1. Variables dependientes: Grado de esterificación, grados Brix, rendimiento y grado de metoxilo.

2.7.2. Variables independientes: Temperatura y tiempo.

III. METODOLOGÍA.

3.1. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación es cualitativa porque se determinan los parámetros sensoriales tanto en materia prima, producto en proceso y producto terminado.

Es cuantitativa ya que permite la recolección de datos numéricos en cuanto a tiempo y temperatura, grado de esterificación, grados Brix, rendimiento y grado de metoxilo.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

De laboratorio porque se desarrolló en un ambiente controlado y con parámetros establecidos y de campo ya que nos ayudará a diagnosticar necesidades y problemas a efectos de aplicar los conocimientos con fines prácticos.

Es bibliográfica debido a que se hará comparaciones con la información sobre procesos ya realizados con la misma materia prima nopal (*Opuntia spp*) en cuanto a la calidad, rendimiento entre otros parámetros.

Es experimental por que está constituida por un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para obtener información y datos.

Es aplicada ya los resultados obtenidos ayudarán a resolver los problemas del contexto.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.

Población. La presente investigación se la realizó con 18 unidades experimentales (6 tratamientos y 3 repeticiones).

Muestra. Está constituida por 1500 g de cladodios de nopal utilizados para el desarrollo de cada unidad experimental.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Tabla 3. Operalización de variables

Hipótesis	VARIABLES	Descripción de variables	Índices	Indicadores	Ítems	Técnica	Informante
Las diferentes temperaturas y tiempos influyen en la obtención de pectina del nopal (<i>Opuntia spp</i>) con ácido sulfúrico.	Dependientes	Rendimiento	%	Gramos de pectina obtenidos	18	Gravimétrica	Investigador
		Grado de esterificación	%	Volumen de Hidróxido de sodio 0.1N consumidos en las titulaciones	18	Volumétrica	Investigador
		Grado de metoxilo	%	Volumen B de Hidróxido de sodio 0.1N consumidos en la titulación	18	Volumétrica	Investigador
		Sólidos solubles	°Brix	Sólidos solubles presentes	18	Refractometría	Investigador
	Independientes	Tiempo	30, 45, 60	Minutos de hidrólisis	3	Cronométrica	Investigador
		Temperatura	80 y 90	Grados centígrados	2	Termométrica	Investigador

Elaborado por: (Emilio Montenegro 2014)

3.5. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

3.5.1. Información bibliográfica.

Para la elaboración de esta investigación se recopiló información de libros relacionados con análisis de alimentos, química analítica, procesos industriales, entre otros e información que se encuentran en otras investigaciones referentes al tema.

3.5.2. Información procedimental

Para el desarrollo de esta investigación se considera la localización del experimento, factores en estudio, análisis estadístico, tratamientos.

3.5.2.1. Localización del experimento

La investigación se llevó a cabo en el edificio de laboratorios de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, en el laboratorio de análisis de alimentos.

Tabla 4. Localización del experimento

Provincia	Carchi
Cantón	Tulcán
Parroquia	Tulcán
Altitud	2902 msnm
Clima	9.62°C
Latitud	0° 48' 51,11"
Longitud	-77°43'16,58"

FUENTE: "Departamento de Meteorología de la Dirección General de la Aviación Civil DAC (2014)"

3.5.2.2. Factores de estudio

En la investigación "Obtención de pectina de Nopal (*Opuntia spp*), a diferentes tiempos y temperaturas, utilizando ácido sulfúrico" se tomó como factor de estudio los tiempos y temperaturas de hidrólisis en la obtención de pectina.

Tabla 5. Factores de estudio

Temperatura de Hidrólisis
a ₁ . Temperatura 80°C
a ₂ . Temperatura 90°C
Tiempo de Hidrólisis
b ₁ : Tiempo 30 minutos
b ₂ : Tiempo 45 minutos
b ₃ : Tiempo 60 minutos

Elaborado por: (Emilio Montenegro, 2014)

3.5.2.3. Tratamientos

Hace referencia a las temperaturas y tiempos de hidrólisis a los cuales se somete la materia prima (cladodio).

Tabla 6. Diseño con tratamientos

Tratamientos	Factor A	Factor B	Combinaciones
T1 (a₁b₁)	80°C	30 minutos	80°C / 30 minutos
T2 (a₁b₂)	80°C	45 minutos	80°C / 45 minutos
T3 (a₁b₃)	80°C	60 minutos	80°C / 60 minutos
T4 (a₂b₁)	90°C	30 minutos	90°C / 30 minutos
T5 (a₂b₂)	90°C	45 minutos	90°C / 45 minutos
T6 (a₂b₃)	90°C	60 minutos	90°C / 60 minutos

Elaborado por: (Emilio Montenegro, 2014)

3.5.3. Diseño experimental.

3.5.3.1. Tipo de diseño experimental

Para realizar esta investigación se consideró un diseño completamente al azar (D.C.A.) con un arreglo factorial (axb) donde (a) es la temperatura que será aplicada al tratamiento y (b) el tiempo de hidrólisis.

3.5.3.2 Características del ensayo

Tabla 7. Unidad experimental

Tratamientos	
Número de tratamientos	6
Numero de repeticiones:	3
Número de unidades experimentales	18

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

a) Esquema del análisis estadístico

Tabla 8. Análisis estadístico

Fuentes de variación	Grados de libertad
Totales	17
Tratamientos	5
Temperatura	1
Tiempo	2
Interacción	2
Error experimental	12

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

b) Análisis funcional

Para la obtención de resultados de la investigación se evaluó el coeficiente de variación (CV), para el análisis de la significación estadística se utilizó la prueba de Tukey al 5%, para esto se utilizó el software Infostat para la tabulación de la información.

3.5.3.3. Variables a evaluarse

a) Rendimiento (R).

Para la determinación del rendimiento se pesó la cantidad de pectina obtenida después de la molienda en una balanza analítica marca CITIZEN CX301 (cap.350g d=0.001g) y la cantidad de nopal utilizado para la extracción, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación.

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{w_2}{w_1} \times 100$$

Dónde:

W1 = Peso nopal cortado.

W2 = peso de la pectina obtenida.

b) Grado de esterificación. (GE)

Se calculó basándose en el método de valoración de Schultz, (1965). Para ello se procedió de la siguiente manera:

- Disolver 1 g de pectina deshidratada y aforar con agua destilada libre de CO₂ en un balón aforado hasta 100 mL para obtener una solución de pectina al 1 %.
- Tomar una alícuota de 10,0 mL de la disolución anterior.
- Valorar con NaOH 0,1 N usando 3 gotas de fenolftaleína como indicador (valoración A).
- Añadir 20,0 mL de NaOH 0,5 N a la solución anterior.
- Reposar por 30 min, con el fin de deesterificar la pectina.
- Añadir 20,0 mL de H₂SO₄ 0,5 N para neutralizar el NaOH.
- Finalmente titular con NaOH 0,1 N hasta viraje de la fenolftaleína (valoración B).
- Calcular el grado de esterificación con la siguiente ecuación:

$$GE = \frac{B}{A + B} \times 100$$

Dónde:

GE = grado de esterificación

A = volumen de NaOH 0.1N gastado en valoración A.

B = Volumen de NaOH 0.1N gastado en valoración B.

c) Grado de metoxilo

Se basó en las determinaciones de la Valoración B del grado de esterificación (Ferreira, 1976), y se calculó por medio de la fórmula:

$$\% \text{ DE METOXILO} = \frac{\text{meq del hidroxido valoración B} \times \text{P.M. del metoxilo}}{\text{mg de la muestra}} \times 100$$

Donde 31 es el peso molecular del metoxilo (CH_3O^-).

d) Sólidos solubles

Al mucilago que se obtuvo en el proceso de obtención de la pectina se le realizó la medición de los sólidos solubles con un refractómetro marca BOECO modelo BOE 30104, para lo cual se coloca 0,5 mL de la muestra en el óptico del refractómetro y se procede realizar la lectura.

3.5.4. Manejo específico del ensayo

3.5.4.1. Materiales y Equipos

a) Materiales

- Buretas
- Mortero
- Embudos
- Pinzas doble nuez
- Pinzas para buretas
- Soporte universal
- Tubos de ensayo
- Embudos de separación
- Espátula
- Papel filtro
- Jarras 1 L
- Guantes industriales

- Mesas
- Envases para muestras
- Cuchillos
- Ollas
- Filtro o colador
- Envases de polietileno
- Pipetas graduadas de 1 y 10 mL
- Pipetas volumétricas de 11 mL
- Piceta
- Varilla de agitación
- Vidrio reloj
- Cristalizadores
- Vasos para precipitados
- Mechero
- Papel aluminio
- Mortero

b) Equipos de Oficina

- Computadora
- Flash Memory
- Calculadora
- Cámara fotográfica

c) Equipos

- Balanza analítica CITIZEN CX301 (Cap.350g d=0.001g)
- Licuadora marca WEG
- Homogenizador agitador hélice completo marca BOECO mod. OSP-20
- Potenciómetro digital de mesa marca BROOKFIELD mod. BROOK-LVT
- Cocina industrial
- Cámara de deshidratación de flujo forzado
- Termómetro digital marca HANNA mod. HI98509
- Cronómetro marca CASIO

- Destilador de agua marca BOECO mod. BOE-8703501-WS3500
- Estufa marca ECOCELL mod. EC55

d) Reactivos

- Ácido Sulfúrico grado reactivo
- Ácido sulfúrico (0,1 y 0,5) N estandarizado
- Etanol al 93%
- Hidróxido de sodio (0,1 y 0,5) N estandarizado
- Agua destilada

e) Insumos

- Nopal
- Pectina cítrica RS150 comercial

3.5.6.2. Procedimiento

Por la naturaleza de la materia prima y el proceso de obtención de la pectina, conviene usar todo el equipo de protección personal como guantes, gafas, mascarilla, para evitar accidentes.

Obtención de la materia prima. La materia prima utilizada fueron los cladodios de nopal (*Opuntia spp*) recolectados en el Cantón Mira la comunidad Dos Acequias, sector El Cascajal.

Transporte. Los cladodios fueron trasladados en gavetas plásticas para evitar daños en los mismos.

Selección. Se escogió los cladodios con las mejores características físicas y estado de madurez (2 años).

Lavado. Los cladodios se lavaron con agua y se utilizó un cepillo para retirar las impurezas y las espinas que presentaba.

Desinfección. Se sumergieron los cladodios en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) a una concentración de 200 ppm durante 3 minutos con el fin de eliminar microorganismos que puedan afectar la calidad de pectina.

Picado. Se tomó los cladodios y con ayuda de un cuchillo se cortó hasta dejarlo a un tamaño de 1 cm² para facilitar su trituración.

Pesado 1. Se pesó los cladodios cortados en un recipiente limpio libre de impurezas.

Triturado. Se colocó los cladodios picados en la licuadora industrial, donde se procedió a triturar hasta disminuir considerablemente las partículas de nopal, este proceso se lo realizó con el fin de facilitar la extracción de la pectina.

Hidrólisis. Se colocó los cladodios triturados en un recipiente junto con el agua, se adicionó ácido sulfúrico 0,5 N (250mL) hasta alcanzar un pH de 2±0.2 cubriendo completamente al nopal triturado, se mantuvo este pH durante la hidrólisis, se somete a calentamiento hasta alcanzar la temperatura deseada (80 y 90) °C y se deja por (30, 45 y 60) minutos respectivamente según el tratamiento.

Tamizado 1. Una vez terminado el proceso de hidrólisis se pasó la mezcla por una malla número 30 (0,59 mm de diámetro) para separar fase sólida de la fase líquida, se la volvió a tamizar por una malla número 50 (0,29mm de diámetro) para separar residuos más pequeños que se encuentren presentes en la fase líquida, la fase sólida es descartada.

Precipitación. Para precipitar la pectina de la fase líquida se adicionó alcohol etílico de 93° (en una relación de 500mL de alcohol por litro de solución hidrolizada) al adicionar el etanol se agita a 800 rpm en el homogenizador por un lapso de 5 segundos, se dejó reposar por 30 minutos, se procedió a la separación física de la pectina con ayuda de una espátula.

Lavado. Con alcohol etílico de 70° se realizó el lavado de la pectina para la eliminación de restos de ácido e impurezas que puedan existir.

Secado. Se colocó la pectina en la estufa a una temperatura de 40°C por un lapso de 16 horas, se retira de la estufa y se coloca en el desecador hasta que se enfríe.

Molienda. Una vez fría la pectina se pesó, se pasa a un mortero y se pulveriza de una manera rápida ya que la pectina tiene la propiedad de ser higroscópica ya que tiende a absorber humedad del ambiente.

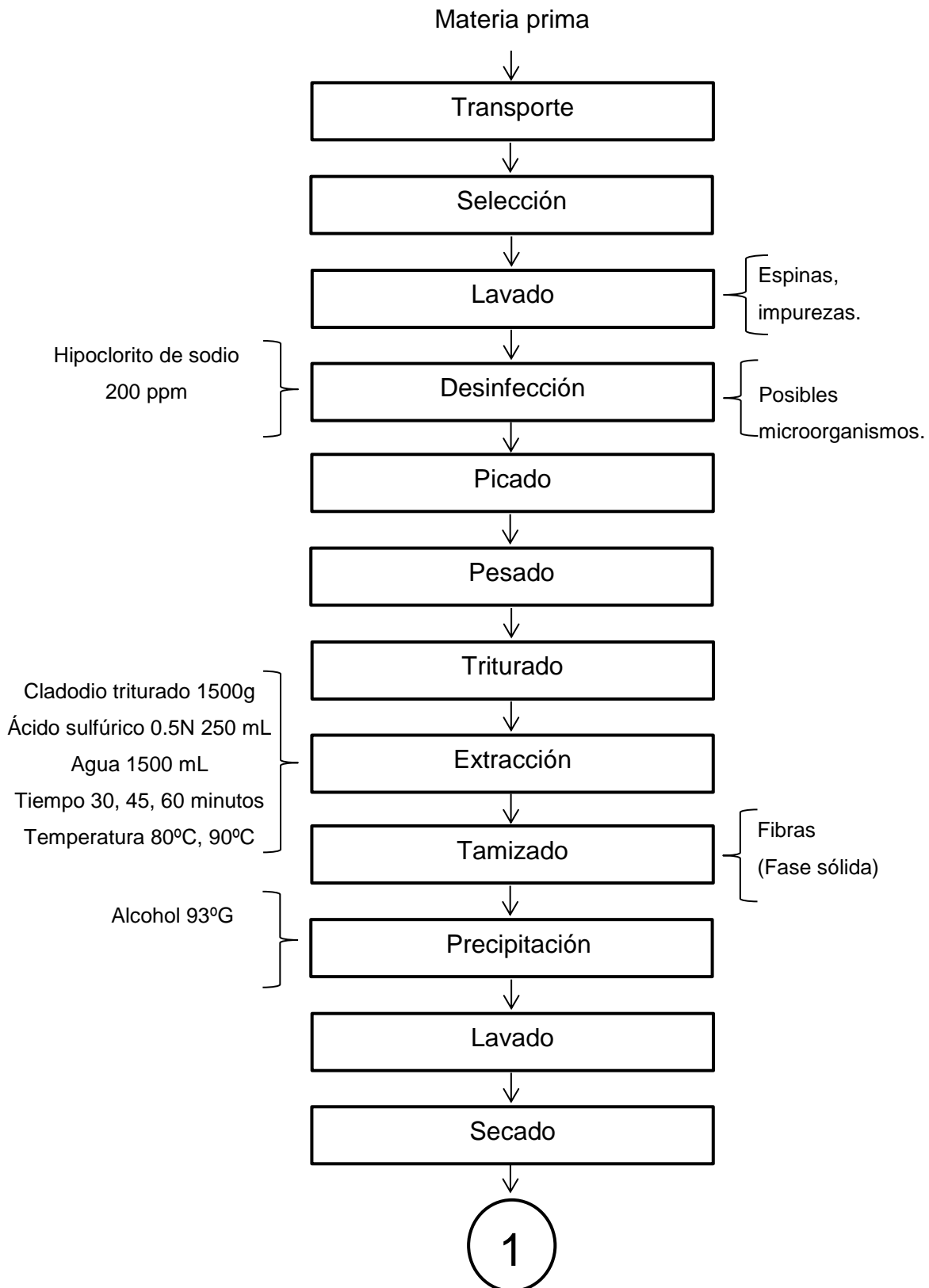
Tamizado 2. Se pasó la pectina triturada por una malla número 80 para homogenizar el tamaño de la partícula.

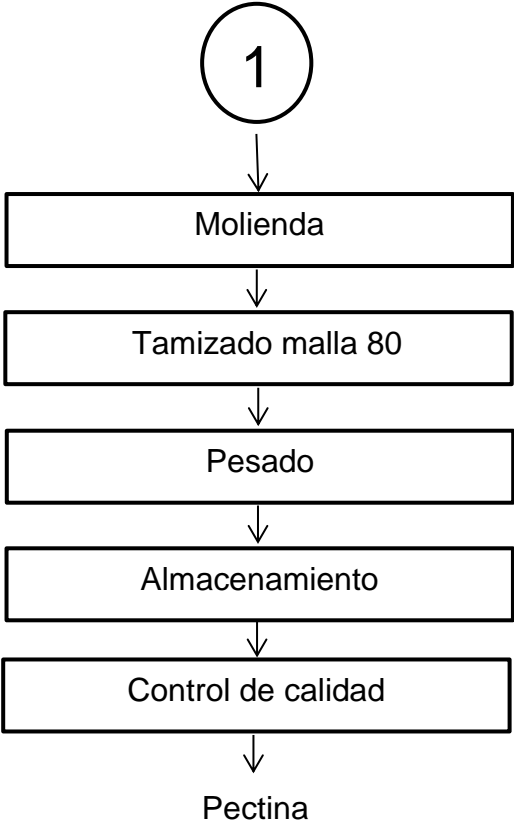
Pesado 2. Se pesó la pectina extraída en una balanza analítica para su posterior almacenamiento.

Almacenamiento. Se colocó la pectina pulverizada en tubos de ensayo de vidrio sellados, para evitar que absorba humedad.

Control de calidad. Con la pectina obtenida en los diferentes tratamientos se procede a realizar los análisis de: grado de metoxilo, grado de esterificación, grados brix y en base a los resultados obtenidos se establece el mejor tratamiento.

3.5.6.3. Flujo de proceso





3.6. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Una vez realizada la parte experimental de la investigación “Obtención de pectina de Nopal (*Opuntia spp*), a diferentes tiempos y temperaturas, utilizando ácido sulfúrico”, se continuó con el procesamiento, análisis e interpretación de resultados, los cuales se detallan a continuación.

3.6.1. Resultados del grado de esterificación

Tabla 9. Valores obtenidos del grado de esterificación

TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Σr	\bar{X}
T1	81,18	83,49	80,81	245	81,5
T2	82,68	84,32	81,14	236	78,7
T3	81,18	82,72	80,44	243	81,1
T4	86,45	84,32	87,27	261	86,9
T5	82,37	78,68	78,62	246	82,1
T6	80,19	82,72	78,68	238	79,3

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Tabla 10. Análisis ADEVA del grado de esterificación

F.V.	SC	gl	CM	F	F TAB 5%	F TAB 1%
Temperatura	0.10	1	0.10	0.04 ns	4.75	9.33
Tiempo	31.10	2	15.55	5.46 *	3.89	6.93
Temperatura*Tiempo	39.41	2	19.70	6.92 *	3.89	6.93
Error	34.18	12	2.85			
Total	104.79	17				

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

De acuerdo al análisis ADEVA realizado con la prueba de Tukey al 5%, con respecto al grado de esterificación existe diferencia significativa en cuanto a la variable tiempo e interacción tiempo - temperatura.

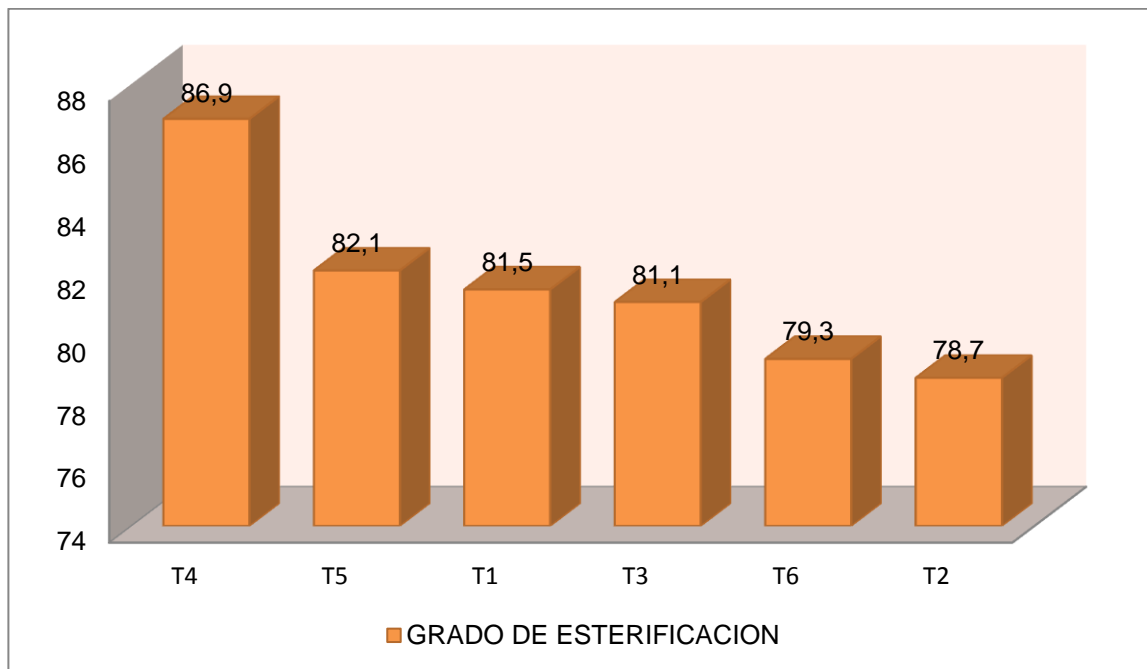
Tabla 11. Prueba de significación para tratamientos mediante Tukey 5%

TRATAMIENTO	MEDIDA	RANGO
T4	86,9	A
T5	82,1	A B
T1	81,5	A B
T3	81,1	A B
T6	79,3	B
T2	78,7	B

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Al realizar la prueba de Tukey 5% en los tratamientos se establece rangos de significación A y B, correspondiendo al rango "A" tenemos al tratamiento T4, y en el rango AB se encuentran T5, T1, T3, los cuales son estadísticamente iguales.

Gráfico 8. Datos estadísticos para el grado de esterificación



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

En lo referente al grado de esterificación el mejor tratamiento es T4 (90°C, 30 minutos) con un porcentaje de 86.9%, en comparación con T2 (80°C, 45 minutos) con un porcentaje de 78.7%, siendo este último uno de los valores más bajos.

3.6.2. Resultados de los sólidos solubles

Tabla 12. Valores obtenidos de los sólidos solubles

TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Σ	\bar{X}
T1	2,1	2,0	1,9	6,00	2,00
T2	2,1	2,0	2,0	6,10	2,03
T3	2,2	2,0	2,1	6,30	2,10
T4	2,4	2,5	2,5	7,40	2,47
T5	2,3	2,5	2,3	7,10	2,37
T6	2,3	2,3	2,3	6,90	2,30

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Tabla 13. Análisis ADEVA de los sólidos solubles

F.V.	SC	gl	CM	F	F TAB 5%	F TAB 1%
Temperatura	0.50	1	0.50	75.00 **	4.75	9.33
Tiempo	0.0044	2	0.0022	0.33 NS	3.89	6.93
Temperatura*Tiempo	0.05	2	0.03	4.00 *	3.89	6.93
Error	0.08	12	0.01			
Total	0.64	17				

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

De acuerdo al análisis ADEVA realizado con la prueba de Tukey al 5%, existe una alta significancia en cuanto a la variable temperatura.

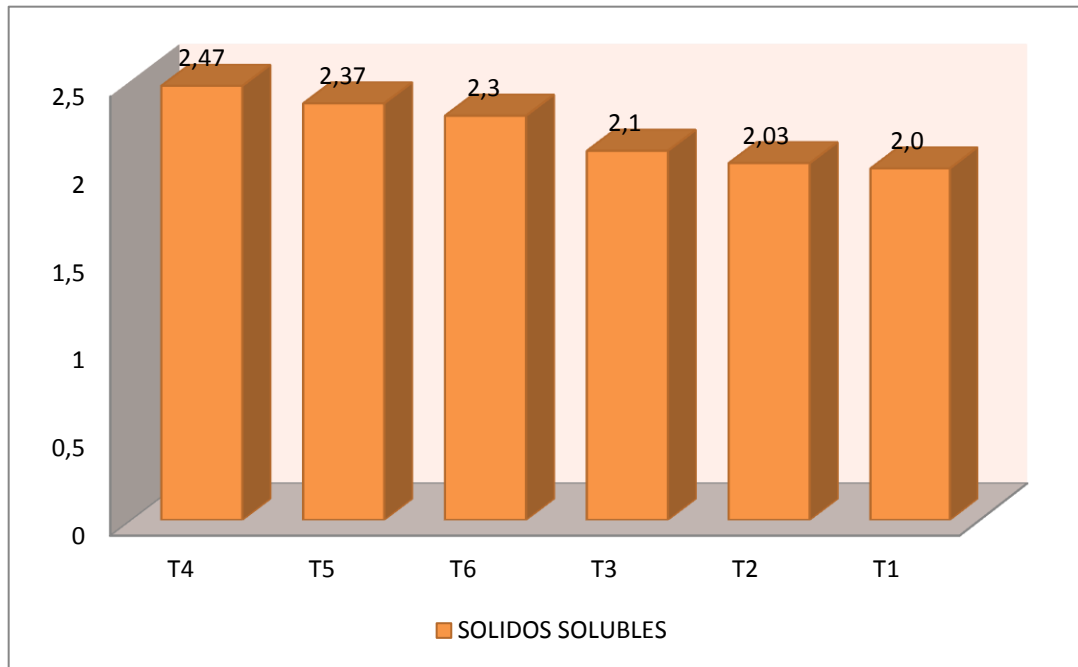
Tabla 14. Prueba de significación para tratamientos mediante Tukey 5%

TRATAMIENTO	MEDIDA	RANGO		
T4	2,47	A		
T5	2,37	A		
T6	2,30	A	B	
T3	2,10		B	C
T2	2,03			C
T1	2,00			C

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Al realizar la prueba de Tukey 5% en los tratamientos se establece rangos de significación A, B, y C, correspondiendo al rango "A" tenemos al tratamiento T4 y el tratamiento T5, los cuales estadísticamente son iguales.

Gráfico 9. Datos estadísticos para sólidos totales



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

En cuanto a los sólidos solubles el mejor tratamiento es T4 (90°C, 30 minutos) con un porcentaje de 2.47%, en comparación con T1 (80°C, 30 minutos) con un porcentaje de 2.0%.

3.6.3. Resultados del rendimiento

Tabla 15. Valores obtenidos del rendimiento

TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Σ	\bar{X}
T1	0,54	0,57	0,56	1,67	0,56
T2	0,83	0,83	0,84	2,50	0,83
T3	0,93	0,92	0,94	2,79	0,93
T4	1,27	1,33	1,33	3,93	1,31
T5	1,30	1,27	1,29	3,86	1,29
T6	1,15	1,17	1,19	3,51	1,17

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Tabla 16. Análisis ADEVA del rendimiento

F.V.	SC	gl	CM	F	F TAB 5%	F TAB 1%
Temperatura	1.05	1	1.05	2853.88 **	4.75	9.33
Tiempo	0.06	2	0.03	81.15 **	3.89	6.93
Temperatura*Tiempo	0.20	2	0.10	272.06 **	3.89	6.93
Error	0.0047	12	0.0037			
Total	10.31	17				

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Para el rendimiento de acuerdo al análisis ADEVA realizado con la prueba de Tukey al 5%, nos indica que existe diferencia altamente significativa en las variables tiempo, temperatura y sus interacciones.

Tabla 17. Prueba de significación para tratamientos mediante Tukey 5%

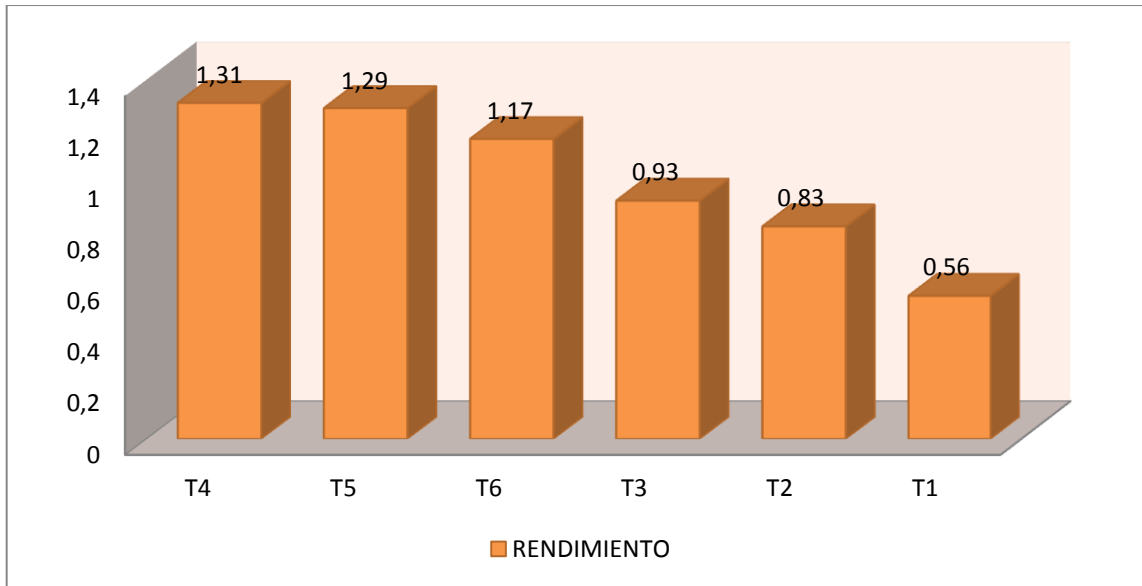
TRATAMIENTO	MEDIDA	RANGO			
T4	1,31	A			
T5	1,29	A			
T6	1,17	B			
T3	0,93		C		
T2	0,83			D	
T1	0,56				E

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Al realizar la prueba de Tukey 5% en los tratamientos se observa rangos de significación A, B, C, D y E, correspondiendo al rango "A" tenemos los

tratamientos T4 y T5, lo cual indica que dichos tratamientos no son estadísticamente diferentes.

Gráfico 10. Datos estadísticos para el rendimiento



Elaborado por: Emilio Montenegro

En cuanto al rendimiento, el mejor tratamiento es T4 (90°C, 30 minutos) con un porcentaje de 1.31%, seguido de T5 (90°C, 45 minutos), en comparación con T1 (80°C, 30 minutos) que presenta un porcentaje del 0.56%, siendo este uno de los valores más bajos.

3.6.4. Resultados del Grado de Metoxilo.

Tabla 18. Valores obtenidos del grado de metoxilo

TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Σ	\bar{X}
T1	8.99	9.3	9.3	27.59	9.20
T2	9.33	9.46	8.84	27.63	9.21
T3	10.23	10.23	10.84	31.30	10.43
T4	13.02	13.18	12.87	39.07	13.02
T5	12.04	12.09	12.56	36.69	12.23
T6	10.85	10.85	10.54	32.24	10.75

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Tabla 19. Análisis ADEVA para el grado de metoxilo

F.V.	SC	GL	CM	F	F TAB 5%	F TAB 1%
Temperatura	25.63	1	25.63	383.21 **	4.75	9.33
Tiempo	0.88	2	0.44	6.57 *	3.89	6.93
Temperatura*Tiempo	10.16	2	5.08	75.95 **	3.89	6.93
Error	0.80	12	0.07			
Total	37.47	17				

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

De acuerdo al análisis ADEVA realizado con la prueba de Tukey al 5% para el grado de metoxilo, existe diferencia significativa en cuanto a la variable temperatura e interacción tiempo – temperatura.

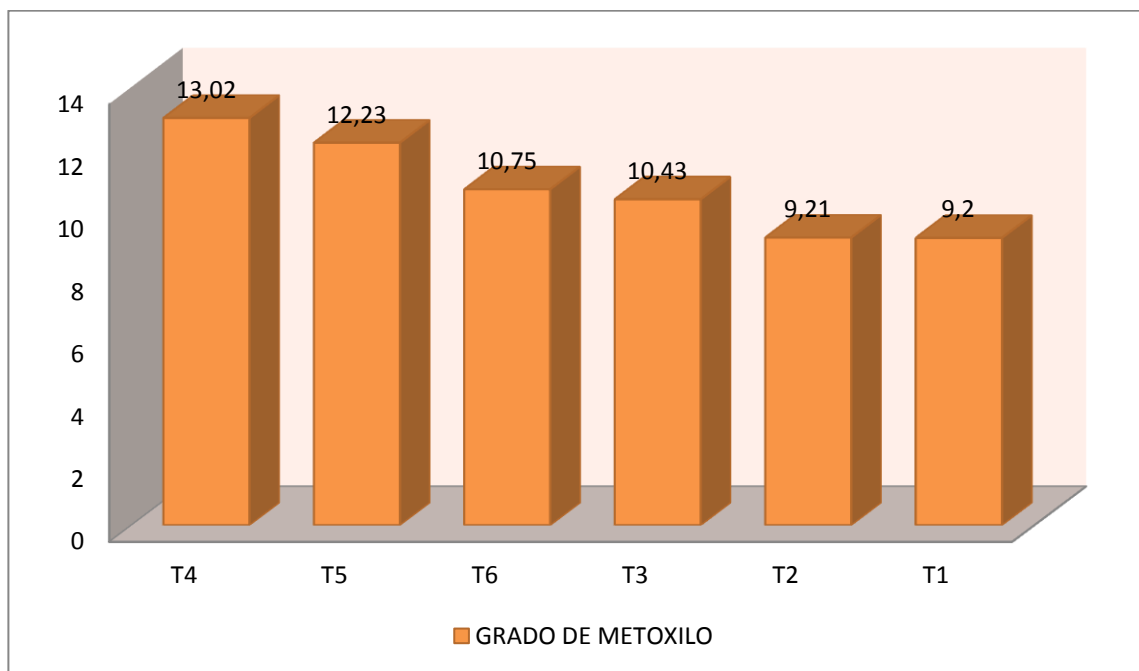
Tabla 20. Prueba de significación para tratamientos mediante Tukey 5%

TRATAMIENTOS	MEDIDA	RANGOS		
T4	13,02	A		
T5	12,23		B	
T6	10,75			C
T3	10,43			C
T2	9,21			D
T1	9,20			D

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Al realizar la prueba de Tukey 5% en los tratamientos se establece rangos de significación A,B, C y D, correspondiendo al rango “A” tenemos al tratamiento T4.

Gráfico 11.- Datos estadísticos para el grado de metoxilo



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

En lo referente al grado de metoxilo el mejor tratamiento es T4 (90°C, 30 minutos) con un porcentaje de 13.02%, en comparación con T1 (80°C, 30 minutos) que presenta el menor porcentaje de 9.2%.

3.6.5. Análisis físico-químicos y microbiológicos.

Una vez establecido el mejor tratamiento T4 (90°C, 30 minutos) se procedió a realizar los análisis físico-químicos y microbiológicos.

3.6.6. Análisis microbiológico de la pectina obtenida en el mejor tratamiento y la Pectina cítrica RS150 comercial.

Los análisis microbiológicos realizados a la pectina de nopal (*Opuntia spp*) y a la Pectina cítrica RS150 comercial arrojaron los siguientes datos:

Tabla 21. Análisis del recuento de microorganismos realizado a la pectina de nopal (*Opuntia spp*) y Pectina cítrica RS150 comercial.

Parámetro analizado	Unidad	Pectina de nopal	Pectina cítrica RS150 comercial
Recuento de coliformes totales	UFC/g	<10	<10
Recuento de E. coli	UFC/g	<10	<10

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

El recuento microbiológico de las pectinas analizadas, muestra que las dos pectinas son aptas para utilizarlo en la elaboración de productos alimenticios según la norma NTE INEN 1521:2005 Postre de gelatina requisitos.

3.6.7. Análisis físico-químico de la pectina obtenida en el mejor tratamiento y la Pectina cítrica RS150 comercial.

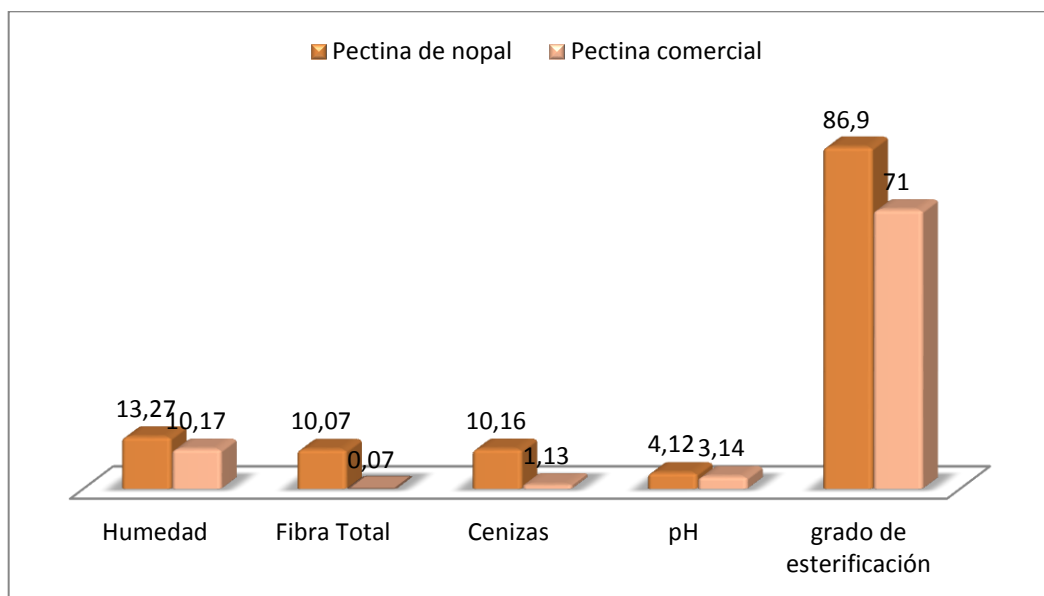
Los análisis realizados a la pectina de nopal (*Opuntia spp*) y a la Pectina cítrica RS150 comercial arrojaron los siguientes datos.

Tabla 22. Análisis físico-químico realizado a la pectina de nopal (*Opuntia spp*) y Pectina cítrica RS150 comercial.

Parámetro analizado	Unidad	Pectina de nopal	Pectina cítrica RS150 comercial
Humedad	g/100 g	13,27	10,17
Fibra total	g/100 g	10,07	0,07
Cenizas	g/100 g	10,16	1,13
Grado de esterificación	%	86.9	71
pH	-----	4,12	3,14

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Gráfico 12. Análisis fisicoquímico de la pectina de nopal y la Pectina cítrica RS150 comercial.



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

En los análisis realizados a la pectina de nopal (*Opuntia spp*) y la Pectina cítrica RS150 comercial se establecen diferencias significativas en cuanto al contenido de fibra total 10.07% en la pectina del nopal vs 0.07% en la Pectina cítrica RS150 comercial, el contenido de cenizas de 10.16% en la pectina del nopal vs 1.13% en la Pectina cítrica RS150 comercial, el grado de esterificación 86.9% en la pectina del nopal vs 71% en la Pectina cítrica RS150 comercial.

3.6.8. Análisis económico del mejor tratamiento

Establecido el mejor tratamiento se procedió a determinar los costos de producción.

3.6.8.1. Costos de producción

Es el valor que representa la elaboración de un producto, para su cálculo se consideran los costos fijos, los costos variables y las unidades producidas.

Costos variables.- Son aquellos valores que se cancelan por materia prima, insumos, etc. que van de acuerdo al volumen de producción.

Costos fijos.- Son los valores que tiene que tiene que cancelar sin importar si la empresa produce mayor o menor cantidad en cuanto al productos elaborado.

3.6.8.2. Costos variables de producción

Tabla 23. Costos de producción

DETALLES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO U.	COSTO T.
MATERIA PRIMA				
Compra de Nopal	kilogramos	1,5	\$ 0,20	\$ 0,30
INSUMOS QUIMICOS				
Ácido Sulfúrico GR96%	mL	20,82	0,017	\$ 0,35
Etanol absoluto 93%	mL	500	0,002	\$ 1,00
SUB- COSTO TOTAL				\$ 1,65

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

3.6.8.3. Costos fijos producción

Tabla 24. Costos fijos de producción

RUBRO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
LUZ	1 Kw.	0,03	0,03
AGUA	0,25 m ³	0,01	0,01
COMBUSTIBLE (Gas)	0,3 Kg.	0,10	0,03
MANO DE OBRA	1 PERSONA		0,10
TOTAL			0.17

Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

3.6.8.4. Costo total producción del mejor tratamiento

Costo total = Costos variables + Costos fijos

Costos variables = 1,65 USD

Costos fijos = 0.17 USD

Costo total = (1,65 + 0,17) USD

Costo total = 1,82 USD

Costo de producción = 1,82 USD/ 1.33 gramos de pectina

Costo de producción = 1,37 USD/ gramos de pectina

3.6.9. Verificación de hipótesis

De acuerdo a la hipótesis planteada, las variables temperatura y tiempo influyen en la obtención de pectina de nopal (*Opuntia spp*), y según los análisis realizados en la presente investigación se acepta la hipótesis alternativa, debido a que los factores en estudio si influyen en el proceso de hidrólisis de la pectina.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos del estudio Tema: "Obtención de pectina de Nopal (*Opuntia spp*), a diferentes tiempos y temperaturas, utilizando ácido sulfúrico." se establecen las siguientes conclusiones:

El ácido sulfúrico reacciona de manera favorable en la hidrólisis, rompiendo las cadenas de Protopectina.

De acuerdo a los análisis estadísticos, las variables tiempo y temperatura planteados en la investigación influyen significativamente en los resultados obtenidos.

El mejor tratamiento en la obtención de pectina a partir de nopal (*Opuntia spp*), fue T4 (a_2b_1) (90°C, 30 minutos) del cual se obtuvo una pectina con: grado de esterificación 86,9%; 2.47 °Bx; rendimiento de 1,31% y grado de metoxilo 13,02%; seguido por el tratamiento T5 (a_2b_2) (90°C, 45 minutos) con grado de esterificación 82,1%; 2.37 °Bx; rendimiento de 1,29% y grado de metoxilo 12,23%.

En la pectina obtenida en la presente investigación hace notoria la cantidad de fibra total de 10.07% vs 0.07% de la Pectina cítrica RS150 comercial, esto se debe a la naturaleza de la materia prima utilizada (nopal), dicho contenido hace que este producto se constituya como una fuente potencial de fibra.

El contenido de cenizas de 10.16% en la pectina del nopal vs 1.13% en la Pectina cítrica RS150 comercial indica que es una buena fuente de minerales.

De los análisis físico-químicos y microbiológicos del mejor tratamiento T4 (a_2b_1) (90°C, 30 minutos) se concluye que los resultados son comparables a los datos de los análisis de la pectina cítrica RS150.

El costo de producción de la pectina de nopal obtenida en el T4 (a₂b₁) (90°C, 30 minutos) es de 1,37 USD/g.

4.2. RECOMENDACIONES.

Es recomendable realizar varios lavados de la pectina obtenida con alcohol de 70° con el fin de remover la mayor cantidad de clorofilas y residuos de ácido.

Se recomienda realizar una buena agitación durante el proceso de extracción, a fin de lograr una homogénea distribución del calor en la masa de solución.

La temperatura de secado no debe de exceder los 55°C ya que la pectina se desnaturaliza y pierde sus propiedades gelificantes.

Se recomienda realizar una doble filtración de la solución nopal-ácido, para eliminar residuos de la planta ya que estos afectan la calidad de pectina.

V. BIBLIOGRAFÍA.

- Alimentación-sana.org. (10 de octubre de 2013). *Alimentación-sana*. Obtenido de Alimentación-sana: <http://www.alimentación-sana.org/PortalNuevo/actualizaciones/nopal.htm>
- Antonio, M. (Enero de 2007). Extracción y caracterización reológica de polisacáridos tipo pectina de la cáscara de tuna(*Opuntia spp*). Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.
- ATSDR. (3 de Marzo de 2014). anhídrido sulfúrico y ácido sulfúrico. Atlanta, Estados Unidos.
- Ávila, M. A. (2009). Extracción de pectina líquida a partir de cáscaras de maracuyá(*Passiflora edulis*) y su aplicación en el desarrollo de un producto de humedad intermedia. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Clerque Bolaños , M. F., & Gudiño Acosta , S. D. (28 de Enero de 2010). Determinación de los parámetros óptimos de proceso para nopal (*Opuntia Spp.*) con fines industriales. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Comercio, E. (15 de Octubre de 2011). *El Comercio.com*. Obtenido de El Comercio.com: http://www.elcomercio.ec/agromar/tuna-variedades-producen-pais_0_572342895.html
- Dergal, S. B. (2006). Química de los Alimentos. En S. B. Dergal, *Química de los Alimentos* (págs. 92-97). México: Pearson Addison Wesley.
- Espinoza, C. C. (2009). "Influencia del Secado sobre la Captación de Agua de Pectina extraída a partir del Citrus Aurantifolia Swingle. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Flores, C., Luna , J., & Ramírez, P. (Diciembre de 1995). *infoaserca*. Recuperado el 2014 de Agosto de 20, de infoaserca: <http://www.infoaserca.gob.mx/proafex/nopal.pdf>

- Granados, D. y. (1996). *El Nopal. 2ª Reimpresión*. México: Ed. Trillas.
- Gudiño, H. (6 de Octubre de 2012). Cultivo de nopal. (E. Montenegro, Entrevistador)
- invdes. (2013). *Invdes*. Recuperado el 10 de junio de 2014, de Invdes: <http://www.invdes.com.mx/suplemento/1788-aprovecha-la-uam-propiedad-industrial-del-nopal>
- Jace, K. (25 de octubre de 2013). *ehowenespanol*. Obtenido de ehowenespanol: http://www.ehowenespanol.com/beneficios-del-cactus-nopal-salud-sobre_34900/
- N. Cubero, A. M. (2002). Aditivos Alimentarios. En A. M. N. Cubero, *Aditivos Alimentarios* (págs. 140-143). Madrid: Artes Gráficas Cuesta, S.A.
- Nacional, A. (2013). *PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR*. Obtenido de www.presidencia.gob.ec
- Pimienta. (1990). El nopal tunero. Guadalajara, Jalisco, México.
- QMax México S.A. de CV. (2011). *Ácido Sulfúrico*. México: ONU.
- Químicos, L. C. (12 de 07 de 2014). Precio de pectina. (E. Montenegro, Entrevistador)
- Quiminet.com. (1 de Febrero de 2006). *Quiminet.com*. Recuperado el 20 de agosto de 2013, de Quiminet.com: www.quiminet.com/articulos/las-aplicaciones-del-acido-sulfurico-5357.htm
- Quinatóa, M. (Enero de 2013). Obtenido de www.google.com
- Ramos, V. Q. (Diciembre de 2004). *Iquiglobalenergy*. Obtenido de Iquiglobalenergy:

http://www.elquiglobalenergy.com/english/datas/Manejo_general_cultivo_Nopal.pdf

- Sáenz, C. (2006). Utilización agroindustrial del Nopal. En C. Sáenz, *Utilización agroindustrial del Nopal* (págs. 12-15). Roma: Cadmo Rosell.
- Sepúlveda, E. y Sáenz. (1990). *Chemical and physical characteristics of prickly pear (Opuntia ficus-indica) pulp*. *Rev. Agroquim. Technol. Aliment. México* .
- Sudzuki, F, Muñoz, C y Berger, H. (1993). El cultivo de la tuna (Cactus Pear). Chile.
- Taipe, C. C. (2-4 de Noviembre de 2011). Importancia de la Pectina como Aditivo Alimentario en la Industria de Alimentos. Lima, Peru.

VI. ANEXOS

Anexo. 1 Nopal (*opuntia spp*)



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 2 Selección de Nopal



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 3 Lavado de Nopal



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 4 Cortado de Nopal



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 5 Preparación del Ácido Sulfúrico



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 6 Nopal picado



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 7 Triturado



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 8 Proceso de extracción



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 9 Tamizado



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 10 Lavado de pectina



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 11 Secado de la pectina



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 12 Molienda de pectina



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 13 Almacenamiento



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 14 Deshidratación de muestras con y sin clorofila



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 15 Toma de datos



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 16 Toma de muestras para análisis de precipitación



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 17 Recuperación del alcohol utilizado



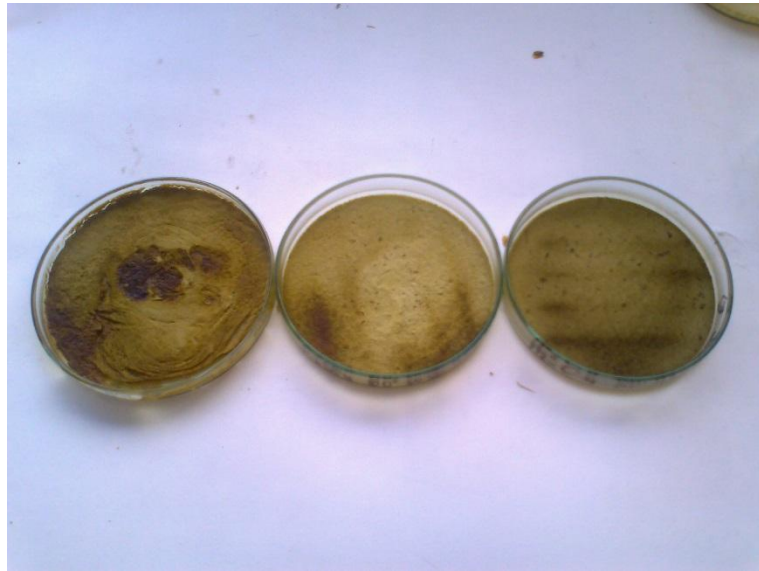
Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 18 Prueba de esterificación



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 19 Muestra con clorofila



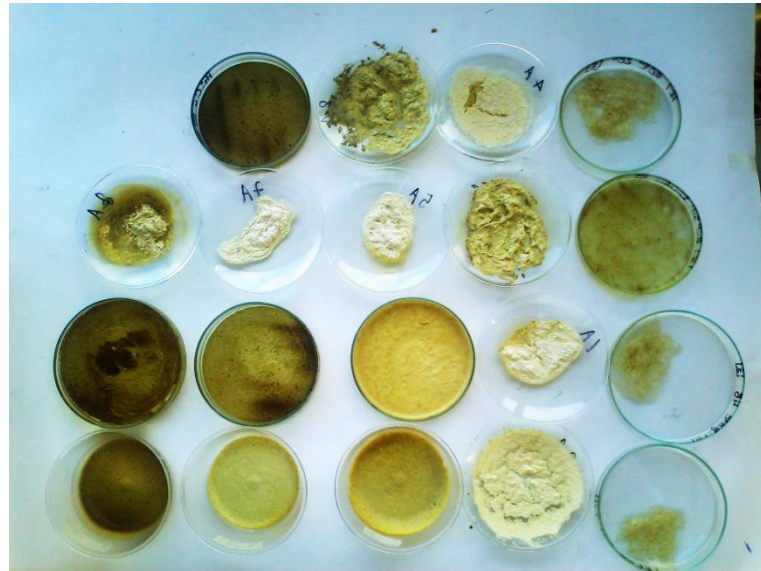
Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 20 Muestras sin clorofila



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 21 Muestras de los diferentes tratamientos



Elaborado por: (Montenegro E., 2014)

Anexo. 22 Resultados del análisis pectina comercial



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002-CONEA-2010-129-DC.
Resolución No. 001-073-CEAACES-2013-13

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°. 062 - 2014

Ibarra, 24 de abril de 2014

Análisis solicitado por:

Sr. Emilio Montenegro

Número de muestras :

Una, pectina

Fecha de recepción de las muestras:

17 de abril de 2014

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado	Método de ensayo
Humedad	g/100 g	10,17	AOAC 925.10
Fibra Total	g/100 g	0,07	AOAC 978.10
Cenizas	g/100 g	1,36	AOAC 923.03
pH	-----	3,14	AOAC 981.12
Recuento de coliformes totales	UFC/g	0	AOAC 989.10
Recuento de E. coli	UFC/g	0	

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de Julio S-21 y José María
Córdova, Barrio El Olivo.
Teléfono: (06)2997800
Fax: Ext: 7711.
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador

Anexo. 23 Resultados del análisis de pectina de nopal (*opuntia spp*)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002-CONEA-2010-129-DC.
Resolución No. 001-073-CEAACES-2013-13

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°: 063 - 2014

Ibarra, 24 de abril de 2014

Análisis solicitado por:

Sr. Emilio Montenegro

Número de muestras :

Una, pectina de Nopal

Fecha de recepción de las muestras:

17 de abril de 2014

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado	Método de ensayo
Humedad	g/100 g	13,27	AOAC 925.10
Fibra Total	g/100 g	10,07	AOAC 978.10
Cenizas	g/100 g	10,16	AOAC 923.03
pH	-----	4,12	AOAC 981.12
Recuento de coliformes totales	UFC/g	0	AOAC 989.10
Recuento de E. coli	UFC/g	0	

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de Julio S-21 y José María
Córdova. Barrio El Olivo.
Teléfono: (06)2997800
Fax: Ext. 7711.
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador

Anexo. 24 Tabla de conversión de medida de malla

Número Malla (U.S. STD. Sieve)	Milímetros	Pulgadas
4	4.76	0.187
5	4	0.157
6	3.35	0.132
8	2.38	0.0937
10	2	0.0787
12	1.68	0.0661
14	1.41	0.0555
16	1.19	0.0469
18	1	0.0394
20	0.841	0.0331
25	0.707	0.0278
30	0.595	0.0234
35	0.5	0.0197
40	0.42	0.0165
45	0.354	0.0139
50	0.297	0.0117
60	0.25	0.0098
70	0.21	0.0083
80	0.177	0.007
100	0.149	0.0059
200	0.074	0.0029
325	0.037	0.0017

Fuente: 1 (Químicos, 2014)



ANALYSIS CERTIFICATE	
Ref certificat 103369	
PRODUCT :	UNIPECTINE RS 150 CITRUS
Batch N° :	1401226011/
EX WORKS 28 JANUARY 2014	

1. ANALYTICAL CHARACTERISTICS:

ASPECT: a white cream to light brown powder

PARTICLE SIZE 315µ	%	<1
LOSS ON DRYING	%	6.9
PH 1% SOLUTION IN DE-IONIZED WATER(20°C)	pH	3.3
ESTERIFICATION DEGREE of the lot	%	71
SAG Value	%	149

2. STATISTICAL CHARACTERISTICS:

HEAVY METALS

Arsenic(AS) : under 3 ppm	
Copper(Cu)+Zinc(Zn) : under 50 ppm	including Zn : under 25 ppm
Lead(Pb) : under 5 ppm	
Cadmium : under 1 ppm	
Mercury : under 1 ppm	

BACTERIOLOGY:

Total innocuous germs(per gram) :	under 1000/g
Pathogen germs	
(E. Coli in 1 gram, Salmonella in 25 grams) :	Negative by tests
Yeasts and moulds.	under 100/g

3. OTHER INFORMATIONS:

PRODUCTION DATE :	17 JANUARY 2014
SHELF LIFE :	17 JANUARY 2015

Cargill Texturizing Solutions
 Cargill France SAS au capital de 103 422 065 Euros
 RCS VERSAILLES 572 099 895
 18-20, rue des Gaudines - CS 18215
 F78105 Saint-Germain-en-Laye (France)
 Tél: +33 1 30 61 35 00 - Fax : +33 1 30 61 35 50

F. LIGNEUL - Quality Manager
 Redon plant
 28 JANUARY 2014
 Computer / electronically printed and therefore no signature

Fuente: (Químicos, 2014)