

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**COMPARACIÓN DE METODOS DE EXTRACCIÓN DE**  
**ESPESTANTES ALIMENTICIOS DE TRES VARIEDADES**  
**DE CACTÁCEAS (*Cactaceae*)**

Presentado por:

**Br. Bladimir VILLANO SALAS**

**TÉSIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ANDAHUAYLAS –APURIMAC–PERÚ**

**2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



Presentado por:

**Br. Bladimir VILLANO SALAS**

**COMPARACIÓN DE METODOS DE EXTRACCIÓN DE**  
**ESPESANTES ALIMENTICIOS DE TRES VARIEDADES**  
**DE CACTÁCEAS (*Cactaceae*)**

Asesor:

**Ing. Fredy TAIPE PARDO**

**ANDAHUAYLAS –APURIMAC–PERÚ**

**2016**



## APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

LA TESIS: “COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ESPESANTES ALIMENTICIOS DE TRES VARIEDADES DE CACTACEAS (*Cactaceae*)”; para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, ha sido evaluada por el Jurado Dictaminador conformado por:

**PRESIDENTE:** Ing. DAVID JUAN RAMOS HUALLPARTUPA

**SECRETARIO:** Ing. MSc. CARLOS ALBERTO LIGARDA SAMANEZ

**VOCAL:** Ing. Mg. ABEL MANUEL SERNA HERRERA

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 24 del mes de octubre de 2016.

Andahuaylas, 24 de noviembre de 2016.

Ing. DAVID JUAN RAMOS HUALLPARTUPA  
**PRESIDENTE DEL JURADO DICTAMINADOR**

Ing. MSc. CARLOS ALBERTO LIGARDA SAMANEZ  
**SECRETARIO DEL JURADO DICTAMINADOR**

Ing. Mg. ABEL MANUEL SERNA HERRERA  
**VOCAL DEL JURADO DICTAMINADOR**

iii



## APROBACION DEL ASESOR

Quién suscribe:

FREDY TAPE PARDO, ASESOR – INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS, por la presente:

### CERTIFICA,

Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial BLADIMIR VILLANO SALAS, ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado “COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ESPESANTES ALIMENTICIOS DE TRES VARIEDADES DE CACTACEAS (*Cactaceae*)”, para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas, 24 de Noviembre del 2016.

Ing. FREDY TAPE PARDO  
ASESOR

Br. BLADIMIR VILLANO SALAS  
TESISTA



FACULTAD DE INGENIERIA

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el local salón de grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Sede Académica Santa de la Universidad Nacional José María Arguedas de la ciudad de Andahuaylas, siendo las diez de la mañana del día martes veinticinco de octubre del año dos mil dieciséis; se reunieron el Ing. David Juan Ramos Huallpartupa, Ing. MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez y Ing. Mag. Abel Manuel Serna Herrera; integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "Comparación de métodos de extracción de espesantes alimenticios de tres variedades de cactáceas (Cactaceae)", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial Bladimir Villano Salas, con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa del tesista, el Jurado Evaluador ACORDO: APROBAR por UNANIMIDAD al Bachiller en Ingeniería Agroindustrial Bladimir Villano Salas, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Table with 3 columns: Nota escala vigesimal (Numeros, Letras), and Mención. Handwritten values: 14, CATORCE, BUENO.

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

Signature of Ing. David Juan Ramos Huallpartupa, Presidente del Jurado Evaluador

Signature of Ing. MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez, Primer Miembro del Jurado Evaluador

Signature of Ing. Mag. Abel Manuel Serna Herrera, Segundo Miembro del Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

A **Dios** quién supo guiarme por el buen camino y por darme las fuerzas para alcanzar este sueño, A mi esposa **Oddulia** y mi hijo **Thiago** quienes están a mi lado siempre apoyándome, A mis padres **Alejandro** y **Rayda** quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos. A todos los que me apoyaron para realizar esta tesis.

**Bladimir.**

## **EPÍGRAFE**

La educación tiene por finalidad forjar al hombre nuevo: hombres pensantes y operantes, capaces de interpretar su realidad para transformarla a través de trabajo productivo.

**“El hombre se realiza en su trabajo”**

**José Carlos Mariátegui**

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Universidad Nacional José María Arguedas y muy especialmente a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA) por haberme permitido ser parte de ella y concluir satisfactoriamente con la presente tesis.
- A mis padres Alejandro Villano Curi y Rayda Margarita Salas León por el apoyo incondicional que me brindaron para concluir la presente tesis.
- A mis hermanos: Mirian, Venilda, Eberaldo, Marisol, Sherly y Silvia por su apoyo incondicional durante mi vida universitaria.
- A mi esposa Oddulia Damiano Vázquez, a mi hijo Thiago Bladimir Villano Damiano por apoyarme en todo momento para realizar la presente tesis.
- A mi asesor al Ing. Fredy Taipe Pardo por dedicarme su tiempo para apoyarme durante la ejecución de la presente tesis.
- A los miembros del jurado evaluador.

## PRESENTACIÓN

El presente trabajo de investigación contempla el estudio de la comparación de métodos de extracción de espesantes alimenticios de tres variedades de cactáceas (*cactaceae*) *Echinopsis pachanoi* (San pedro), *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus* (Tuna), con solventes Acetona, Etanol, NaCl 0.25M y Agua, en la investigación además se determinó las características fisicoquímicas de los espesantes extraídos de las tres variedades de cactáceas (*cactaceae*), Se determinó las propiedades tecnofuncionales, índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad (ISA), densidad aparente (DA), temperatura de gelatinización (TG) del espesante extraído de las tres variedades de cactáceas teniendo en cuenta que los métodos de extracción influyen en el rendimiento, características físico químicas y en las propiedades tecnofuncionales de los espesantes. La investigación presenta como objetivo general comparar los métodos de extracción de espesantes alimenticios de tres variedades de cactáceas (*cactaceae*) *Echinopsis pachanoi* (San pedro), *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus* (Tuna), mediante la comparación de rendimiento a diferentes métodos de extracción de diferentes variedades de cactáceas se determinó que existe diferencia significativa, para contrastar si influyen los métodos de extracción y las variedades de cactáceas se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y el test de Tukey sabiendo los rendimientos nos facilitara la extracción, teniendo en cuenta que los espesantes son importantes en la industria .alimentaria.

## INDICE

	<b>Pág.</b>
PRESENTACIÓN .....	IX
RESUMEN.....	XVII
ABSTRAC.....	XVIII
CAPITULO 1. INTRODUCCION .....	1
CAPITULO 2. REVISION DE LITERATURA .....	2
2.1. Metodos de extracion de espesantes .....	4
2.1.2. Extracción de pectina por métodos físico- químicos. ....	4
2.1.3. Extracción de pectinas por el método convencional. ....	4
2.1.4. Extracción de pectinas asistida por microondas. ....	5
2.1.5. Extracción enzimática de pectinas.....	5
2.2. Extraccion de pectinas de productos vegetales.....	6
2.3. Los hidrocoloides .....	6
2.3.1. Espesante .....	6
2.3.2. Gelificante .....	7
2.3.3. Goma .....	7
2.3.4. Estabilisante .....	8
2.4. Importancia de los hidrocoloides .....	8
2.5. Clasificacion de hidrocoloides .....	9
2.6. Hidrocoloides extraídas de plantas marinas .....	11
2.7. Hidrocoloides extraidas de semillas de plantas terrestres .....	12
2.8. Hidrocoloides extraidas como exudados de plantas terrestres .....	13
2.9. Gomas extraidas por modificación química de productos vegetales.....	15
2.10. Gomas celulósicas .....	16
2.11. Pectinas .....	16
2.12. Propiedades funcionales .....	17
2.13. Aplicaciones de gomas en alimentos .....	17
2.14. Propiedades tecnofuncionales .....	18
2.15. Índice de absorción de agua (iaa), índice de solubilidad en agua (ISA).....	18
2.16. Temperatura de gelatinización .....	19
2.17. Las cactaceas .....	20

2.18.	Las cactaceas como coagulantes y espesantes .....	20
2.19.	Variedades de cactaceas.....	22
2.20.	Justificación .....	25
2.21.	Problema central.....	25
2.22.	Objetivos .....	25
2.23.	Hipótesis .....	26
CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS .....		27
3.1.	Lugar de ejecución.....	27
3.2.	Material de estudio.....	27
3.2.1.	Población .....	27
3.2.2.	Muestra .....	27
3.2.3.	Unidad de análisis .....	27
3.2.4.	Bienes, equipos, materiales y reactivos.....	28
3.3.	Diseño de contrastación.....	29
3.4.	Métodos y técnicas .....	31
3.4.1.	Métodos y técnicas utilizadas para comparación del rendimiento de extracción del espesante de tres variedades de cactaceas.....	31
3.4.1.1.	Acondicionamiento de las muestras.....	31
3.4.1.2.	Extracción con solvente orgánico acetona.....	31
3.4.1.3.	Extracción con nacl .....	31
3.4.1.4.	Extracción con etanol .....	32
3.4.1.5.	Extracción acuosa .....	32
3.4.2.	Métodos de análisis.....	33
3.4.3.	Evaluación del rendimiento de extracción de espesante.....	33
3.4.4.	Métodos y técnicas utilizadas para determinar las caracterísitcas fisicoquímicas de los espesantes.....	34
3.4.4.1.	Solubilidad.....	34
3.4.4.2.	Proteínas .....	34
3.4.4.3.	Polisacáridos .....	35
3.4.5.	Métodos y técnicas utilizadas para la determinacion de propiedades tecnofuncionales de los espesantes extraidos .....	35
3.4.5.1.	Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua (ISA) ...	35
3.4.5.2.	Densidad aparente (DA).....	36

3.4.5.3. Temperatura de gelatinización (TG) .....	36
3.5. Análisis estadístico.....	37
3.5.1. Análisis de varianza .....	37
3.5.2. Comparación múltiple.....	38
CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	39
4.1. Rendimiento de extracción de los espesantes.....	39
4.2. Identificación fisicoquímica de los espesantes .....	42
4.2.1. El ph.....	42
4.2.2. Solubilidad.....	45
4.2.3. Evaluación de proteínas en los espesantes.....	46
4.2.4. Evaluación de polisacáridos en los espesantes.....	49
4.3. determinación de las propiedades tecnofuncionales .....	51
4.3.1. Índice de absorción de agua (IAA).....	51
4.3.2. Índice de solubilidad en agua (ISA) .....	53
4.3.3. Densidad aparente en los espesantes.....	55
4.3.4. Temperatura de gelatinización.....	57
CONCLUSIONES .....	60
RECOMENDACIONES.....	61
SUGERENCIAS.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
ANEXOS .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Clasificación de hidrocoloides por su función .....	9
Tabla 2: Principales gomas naturales modificadas y sintéticas. ....	10
Tabla 3: Descripción de equipos .....	28
Tabla 4: Descripción de materiales .....	28
Tabla 5: Descripción de reactivos y sustancias.....	28
Tabla 6: Operativización de variables. ....	29
Tabla 7:Matriz de diseño de las variables de estudio.....	30
Tabla 8: Rendimiento de extracción de espesantes de las cactáceas.....	40
Tabla 9: ANOVA para el rendimiento de extracción .....	41
Tabla 10: pH Del espesante natural de las variedades .....	43
Tabla 11: ANOVA para el pH del espesante .....	44
Tabla 12: Solubilidad de los espesantes .....	46
Tabla 13: Proteínas en el espesante natural de las variedades .....	47
Tabla 14: ANOVA para el contenido de proteínas en el espesante .....	48
Tabla 15: Sacarosa en el espesante natural de las variedades.....	49
Tabla 16: ANOVA para el contenido de sacarosa en el espesante .....	50
Tabla 17: IAA del espesante natural de las variedades .....	51
Tabla 18: ANOVA para el IAA en el espesante.....	52
Tabla 19: ISA del espesante natural de las variedades .....	53
Tabla 20: ANOVA para el ISA en el espesante.....	54
Tabla 21: Densidad aparente del espesante natural de las variedades.....	55
Tabla 22: ANOVA Para la densidad aparente del espesante.....	56
Tabla 23: Temperatura de gelatinización del espesante natural de las variedades ...	57
Tabla 24 : ANOVA Para temperatura de gelatinización del espesante .....	58

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1: Cactacea Subfamilia Cactoideae, <i>Echinopsis Pachanoi</i> .....	22
Figura 2: Cactacea Subfamilia Cactoideae, <i>Neoraimondia Arequipensis</i> .....	23
Figura 3: Cactacea Subfamilia Opuntioideae, <i>Opuntia Ficus</i> .....	24
Figura 4: Diagrama de comparación de medias para el rendimiento de extracción...	42
Figura 5: Diagrama de comparación de medias para el pH del espesante.....	45
Figura 6: Diagrama de comparación de medias para el contenido de proteínas en el espesante.....	48
Figura 7 : Diagrama de comparación de medias para el contenido de sacarosa en el espesante.....	50
Figura 8: Diagrama de comparación de medias para el IAA en el espesante.....	52
Figura 9: Diagrama de comparación de medias para el ISA en el espesante.....	54
Figura 10: Diagrama de comparación de medias para la DA del espesante.....	56
Figura 11: Diagrama de comparación de medias para la temperatura de gelatinización del espesante.....	59

## **ANEXOS**

Anexo 1: Pruebas de múltiple rangos para el rendimiento de extracción por solventes

Anexo 2: Datos del ph del espesante natural

Anexo 3: Construcción de la curva de calibración de proteínas

Anexo 4: Datos de la absorbancia para la determinación de proteína en el espesante natural

Anexo 5: Construcción de la curva de calibración de sacarosa

Anexo 6: Datos de la absorbancia para la determinación de sacarosa en el espesante natural

Anexo 7 : Datos para la determinación del IAA del espesante natural

Anexo 8: Datos para la determinación del ISA del espesante natural

Anexo 9: Datos de la densidad aparente del espesante natural

Anexo 10: Datos de la temperatura de gelatinización espesante natural

Anexo 11: Matriz de consistencia del proyecto de tesis

Anexo 12: Fotografías de la experimentación

## ABREVIATURAS Y UNIDADES

IAA	: Índice de absorción de agua
ISA	: Índice de solubilidad de agua
DA	: Densidad aparente
TG	: Temperatura de gelatinización
NaCl	: Cloruro de sodio
°C	: Grados Celsius
nm	: Nano metros
ml	: Mililitros
mg	: Miligramos
%	: Porcentaje
pH	: Potencial de hidrogeno

## RESUMEN

Las Cactáceas son utilizadas como espesantes naturales en forma artesanal, en las diferentes comunidades rurales del Perú, en esta investigación se comparó los métodos de extracción de espesantes alimenticios de tres variedades de cactáceas (*Cactaceae*): *Echinopsis pachanoi* (San pedro), *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus* (Tuna). La extracción de los espesantes se realizó con solventes Acetona, Etanol, *NaCl* 0.25M y Agua, el estudio se realizó en los laboratorios de química y procesos agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas de Andahuaylas, el presente trabajo es con el objetivo de comparar el rendimiento de extracción de espesante natural utilizando diferentes métodos de extracción para las tres variedades de cactáceas (*cactaceae*), analizar las características físico químicas de los espesantes extraídos de las tres variedades de cactáceas, determinar las propiedades tecno funcionales como IAA, ISA, DA y TG. Para el análisis estadístico de datos se utilizó un diseño de bloques completamente al azar DBCA, para la evaluación se aplicó un ANOVA de dos factores logrando mayor rendimiento de extracción con etanol la variedad *Opuntia ficus* (Tuna),  $0.6546 \pm 0.0246$  %, el pH de los espesantes tiene tendencia ácida al extraer con etanol, mientras que con solventes agua y *NaCl* 0.25 M tienen tendencia básica, el contenido de proteínas es menor a  $0.8986 \pm 0.007$  mg de Albúmina/ml de espesante al 1 %, el contenido de azúcares son menores a  $0.3160 \pm 0.0167$  mg de sacarosa/l de espesante al 1 %, por otra parte los espesantes presentan alta solubilidad en solventes polares; la temperatura de gelatinización se encuentra por encima de  $70.0$  °C, *echinopsis pachanoi* (San Pedro) y *Opuntia ficus* (Tuna), presentan mayores valores de IAA e ISA, mientras que la densidad aparente fue menor para *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite).

**Palabra clave:** Extracción, cactáceas, espesante natural.

## ABSTRAC

The Cactaceous ones are used like natural thickeners in handmade form, in the different rural communities of Peru, in this investigation there were compared the methods of extraction of nutritive thickeners of three varieties of cactaceous (Cactaceae): *Echinopsis pachanoi* (Sanpedro), *Neoraimondia arequipensis* (Ullquite) and *Opuntia ficus* (Tuna), The extraction of the thickeners was realized by solvents Acetone, Ethanol, NaCl 0.25M and distilled water, the study was conducted in the laboratories of chemical and agro-industrial processes Agroindustrial Vocational School of Agroindustrial engineering of the National University José María Arguedas in Andahuaylas, this paper is aiming to compare the performance of extraction of natural thickener using different extraction methods for the three varieties of cacti (cactaceae), analyze the physical and chemical characteristics of thickeners extracted from the three varieties of cactuses to determine the functional properties such as IAA, ISA, DA and TG, for statistical analysis of data it was used a design completely random block DBCA, for evaluation as a two-way ANOVA was applied, achieving higher yield of ethanol extraction variety *Opuntia ficus* (Tuna)  $0.6546 \pm 0.0246$  %, the pH of the acidic trend has thickeners ethanol extract, while solvent water and 0.25 M NaCl have basic trend; the protein content is less than  $0.8986 \pm 0.007$  mg Albumin / ml thickener 1%, the sugar content is less than  $0.3160 \pm 0.0167$  mg of sucrose / l thickener 1 %, moreover thickeners exhibit high solubility in polar solvents, gelatinization temperature is above  $70.0^{\circ} \text{C}$ , thickeners *Echinopsis* variety *pachanoi* (San Pedro) and *Opuntia ficus* (Tuna), thickeners *echinopsis* variety *pachanoi* (San Pedro) and *Opuntia ficus* (Tuna), show higher values of IAA and ISA, whereas the apparent density was lower for the variety *Neoraimondia arequipensis*, (Ullquite).

**Keyword:** Extraction, cactuses, natural thickeners.

## CAPITULO 1.

### INTRODUCCION

El uso de aditivos alimentarios hoy en día es casi imprescindible para la elaboración de productos de consumo alimentario, los espesantes es uno de estos debido a la solubilidad, viscosidad y habilidad de formación de gel es utilizado en una variedad de productos alimentarios como jaleas de frutas, mermeladas, compotas, espesantes de jarabes, leche etc. Góngora M. (2010).

Pasquel (2001). Debido a que las pectinas son compuestos que generalmente se emplean en alimentos, es necesario extraerlas del tejido vegetal mediante el uso de diferentes métodos de extracción, físico químico con reactivos, disolventes y equipos que no dejen residuos tóxicos en el producto final. Por ello, el proceso de extracción debe cumplir con estas necesidades; además, las propiedades fisicoquímicas de la pectina extraída, tales como pH, porcentaje de cenizas, grado de gelificación y grado de esterificación entre otros, deben estar dentro del rango apropiado para que las cualidades de la pectina puedan aprovecharse. Ostolaza, C (2010). Las cactáceas constituyen una de las familias botánicas más abundantes en el Perú, encontrándose en todos los pisos altitudinales, en una gran cantidad de géneros y variedades. Es así que desde tiempos remotos las cactáceas han sido importantes y han estado ligadas a una gran cantidad de culturas y pueblos latinoamericanos, y en muchas partes del mundo se hace uso de estas de muy distintas maneras, algunas alimenticias, forrajeras son importantes por sus propiedades medicinales. Otros de los usos y aplicaciones que encuentra son la clarificación de aguas, como polímeros naturales. El reto actual de los fabricantes de alimentos es elaborar alimentos procesados atractivos, de sabor, textura, agradable y de alta calidad, que mantengan las características organolépticas y nutritivas del alimento recién preparado durante largo periodo de tiempo. Para ello, la industria alimentaria necesita materias primas naturales que generen estas cualidades alimenticias, es por ello que se plantea el presente trabajo de investigación. Con el objetivo de Comparar los métodos de extracción de espesantes alimenticios de tres variedades de cactáceas (*Cactaceae*).

## **CAPITULO 2.**

### **REVISION DE LITERATURA**

Casamayou (2008), en su trabajo de investigación Extracción y caracterización de pectina en polvo a partir del bagazo de pera. Considera que, según el grado de maduración de la fruta, las pectinas están en mayor grado de esterificación en sus grupos ácidos por alcohol metílico, debido a que durante la maduración las pectinas están expuestas a variaciones provocadas por fermentos. Estos cambios se pueden considerar como división y separación de las macro moléculas, así en la obtención de pectina a partir de desechos de pera se comprueba que el índice de madurez de la fruta no influye en el contenido de pectina bruta.

Pasquel (2001). En su investigación, Gomas: una aproximación a la industria de alimentos realiza una revisión de los trabajos más importantes sobre las gomas y su uso en la industria de alimentos. Las gomas son sustancias que se clasifican según su origen, esto es, a partir de plantas marinas, semillas de plantas terrestres, exudados de plantas terrestres, y procesamiento microbiológico.

Góngora (2010). En su trabajo, estudio de las características espesantes y viscosantes del almidón de banano, comparado con los almidones utilizados comercialmente. Considera que el almidón de banano es un buen sustituto de los almidones de maíz y de trigo como agente viscosante o espesante, presentando mayor estabilidad en suspensión y por lo tanto el que menos volumen de sedimentos forma, comparados con los almidones utilizados comercialmente. Asimismo, el tipo de almidón y la concentración que hay en una suspensión de almidón son factores significativos estadísticamente que alteran la viscosidad de una suspensión.

Chocano (2011). Recopilación Tecnológica de Agentes de textura y sus aplicaciones, concluye que, los aditivos estabilizantes de las características físicas (espesantes, gelificantes emulsionantes, fosfatos y polioles) presentan ventajas claras en la producción de los alimentos, ya que mejoran la cantidad y la calidad de los alimentos desde el punto de vista sensorial (proporcionando textura y estabilidad) y algunos, posiblemente desde un punto de vista nutricional. Además, algunos de estos aditivos

facilitan muchos procesos modernos de fabricación de alimentos. Es muy importante que el consumidor descarte la idea de aditivo como algo no "natural" y comprenda que el grupo de los aditivos texturizantes pueden ayudar a la producción de platos preparados o alimentos de conveniencia y a la producción de nuevos alimentos como es el caso de los alimentos hipocalóricos.

Ramírez (2011). Evaluación de las propiedades floculantes de *Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus papayanensis* e *Hylocereus undatus* para clarificación de aguas. Se investigó aguas de la quebrada La Salada (municipio de Caldas, Colombia) a fin de verificar si los efectos floculantes se modifican por la especie (*Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus papayanensis* e *Hylocereus undatus*), el tipo de material vegetal (seco o fresco) y la concentración del floculante orgánico (10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml). Se utilizó la metodología JAR, norma ASTM No. D2035-80. Se encontró que *Heliocarpus papayanensis* e *Hylocereus undatus* presentaron poder de floculación (Valor P=0.017), al aumentar la concentración de floculante aumentó la floculación (Valor P=0.08), y que el almacenaje no alteró los efectos de las variedades sobre el proceso de floculación (Valor P=0.7813).

Sánchez y Untiveros, (2004). Determinación de la actividad floculante de la pectina en soluciones de hierro (III) y cromo (III). Se investigó la actividad floculante de la pectina en una suspensión de caolín. Se evaluó la actividad floculante de la pectina a diferentes concentraciones de iones hierro (III) y cromo (III), a diferentes pH y con diferentes concentraciones de pectina. La máxima actividad floculante (medida a 550 nm), de la pectina alcanzada fue de 36.53 y se obtuvo cuando se agregó 1mM de hierro (III) y 30 ppm de pectina a la solución de caolín a pH 3.

Masmoudi, (2008). Las pectinas se han extraído y caracterizado de muchos frutos y vegetales, incluyendo durazno, manzana, limón y naranja. Sin embargo, las fuentes comerciales de pectina son casi exclusivamente a partir de pomaza de manzana (15-18% de peso seco) y de las cáscaras de cítricos (20-30 % de peso seco).

Para Schieber (2003), desde un punto de vista económico y ecológico, la producción de pectinas es la manera más razonable de utilizar los subproductos de la industria de los jugos.

Zapata, (2008). Existen diferentes técnicas para la extracción de pectina a partir de tejidos vegetales, en las cuales pueden utilizarse procedimientos fisicoquímicos, o enzimáticos. Con la finalidad de obtener un mayor rendimiento durante la extracción de sustancias pécticas, comúnmente se realizan pretratamientos al material vegetal para facilitar la extracción. Es imposible extraer pectina libre del tejido vegetal, porque existe en una forma insoluble conocida como protopectina.

## **2.1. METODOS DE EXTRACION DE ESPESANTES**

### **2.1.2. EXTRACCIÓN DE PECTINA POR MÉTODOS FÍSICO- QUÍMICOS.**

Se han empleado dos métodos para extraer la protopectina de las plantas, uno es usando un agente quelante para remover los cationes que constituyen a los ácidos pécticos, y el otro mediante el uso de ácidos para romper los puentes de hidrógeno entre la celulosa y los ácidos pécticos Pasquel (2001).

También se han empleado otros métodos fisicoquímicos de extracción de pectinas. Pasquel (2001). Uso la técnica de extrusión como pretratamiento para la extracción de pectina de lima. En esta investigación se concluyó que la cantidad de pectinas solubles en agua se incrementó después del pretratamiento de extrusión, utilizando un pretratamiento termo-mecánico en el que sometieron cáscara de naranja a presión de vapor (100-700 kPa), seguido de una descompresión instantánea a vacío a 5 kPa. También se ha reportado la extracción de pectinas de un fruto cítrico

### **2.1.3. EXTRACCIÓN DE PECTINAS POR EL MÉTODO CONVENCIONAL.**

Se lleva a cabo a temperaturas cerca de los 90 °C por al menos una hora Zapata, (2008). Frecuentemente las pectinas se extraen y se separan de los desechos de diferentes frutos mediante la acidificación. Comercialmente las pectinas se extraen a altas temperaturas para hidrolizar la protopectina usando ácidos como el sulfúrico, fosfórico, nítrico, clorhídrico o cítrico. Después de la concentración, la pectina se precipita con la adición de alcohol, se seca, se granula y finalmente se tamiza.

Se ha encontrado que la extracción de pectina en soluciones acuosas ácidas es suficiente para extraer pectinas que no son sensibles al calcio. Se emplea además otra extracción bajo condiciones de ácidos fuertes para obtener la

pectina restante, principalmente aquellas sensibles al calcio. Existen algunos datos experimentales sobre la extracción de pectinas con soluciones neutras o básicas, pero no se ha confirmado con certeza, la concentración adecuada de alcohol para la precipitación de la pectina Zapata, (2008).

Casamayou, (2008) extrajeron pectina de pomaza fresca de durazno bajo diferentes condiciones experimentales y encontraron que los mayores rendimientos se obtienen a altas temperaturas y bajos pH.

#### **2.1.4. EXTRACCIÓN DE PECTINAS ASISTIDA POR MICROONDAS.**

Las condiciones de extracción empleadas en el método convencional provocan la degradación térmica de proteínas, lo cual genera pérdidas de cantidad y calidad de la pectina extraída. Debido a esto, se han establecido nuevos métodos en donde la pectina puede extraerse en menores tiempos y con mejor calidad y rendimiento, como es el caso de la extracción asistida con microondas, que ha mostrado obtener mayor rendimiento y calidad de pectinas en menor tiempo. Zapata, (2008).

Casamayou, (2008). confirmaron el efecto favorable del pre tratamiento con microondas durante la extracción de pectina de cáscara de naranja. Los autores sugieren que el efecto del calentamiento con microondas sobre el rendimiento y la calidad de las pectinas extraídas se debe primero a la desintegración parcial del tejido vegetal y a la hidrólisis de protopectina y en segundo lugar, a la rápida inactivación de enzimas pectolíticas.

Por su parte, Zapata, (2008). estudiaron el efecto del calentamiento con microondas sobre el rendimiento de extracción de pectina de la cáscara de limón bajo diferentes condiciones. Recientemente se optimizaron las condiciones de extracción asistida con microondas y concluyeron que la aplicación de microondas en la extracción de pectina de pomaza de manzana redujo considerablemente el tiempo de extracción.

#### **2.1.5. EXTRACCIÓN ENZIMÁTICA DE PECTINAS.**

Existen pocos trabajos sobre extracción enzimática de pectinas. El método enzimático emplea pectinesterasa o pectinmetilesterasa, la cual convierte a las pectinas de alto metoxilo en pectinas de bajo metoxilo sin la despolimerización de la molécula de pectina. Chocano et al. (2011) obtuvieron pectinas de bajo metoxilo vía enzimática (pectinesterasa de origen vegetal) con capacidad para

formar geles de alta resistencia, y las compararon con geles obtenidos por vía química, encontraron que los geles obtenidos por vía enzimática eran más resistentes.

Dziezak,(1991) extrajeron pectina de pomaza de limón utilizando endopoligalacturonasa de *Aspergillus niger* con objeto de comparar dicho proceso con la extracción convencional, encontrando un rendimiento menor en el método enzimático que en el método convencional. Utilizaron enzimas de *Aspergillus awamori* con la finalidad de degradar la celulosa y las sustancias insolubles de la pared vegetal de calabazas, y obtuvieron pectinas con un grado de esterificación del 53% en tres horas de procesamiento.

## **2.2. EXTRACCION DE PECTINAS DE PRODUCTOS VEGETALES**

Existen diferentes métodos para realizar la extracción de pectina a partir de productos vegetales. Chocano et al. (2011) comparó dos métodos de extracción, ácida y enzimática, y tres procedimientos de purificación, diálisis, precipitación con alcohol y precipitación con metal. El tratamiento enzimático mostró mayor rendimiento que el tratamiento con ácido en caliente. La precipitación con metal fue el método más eficiente para purificar la pectina. Llevó a cabo un estudio de extracción de pectina con hidrólisis ácida a partir de cáscaras de maracuyá, obteniendo como mejor rendimiento 18.45 % en base seca.

## **2.3. LOS HIDROCOLOIDES**

En conjunto se les denomina hidrocoloides por su propiedad de formar líquidos espesos o geles con el agua, leche o cualquier sistema alimentario acuoso. Los principales hidrocoloides de uso alimentario son los siguientes: almidones modificados, celulosas modificadas, sustancias pécticas, gelatinas u otras proteínas y las gomas. Las gomas alimenticias son obtenidas a partir de una variedad de fuentes: exudados y semillas de plantas terrestres, algas, productos de la biosíntesis de microorganismos y la modificación química de polisacáridos naturales Casamayou, (2008).

### **2.3.1. ESPESANTE**

Los agentes espesantes, son sustancias que al agregarse a una mezcla, aumentan su viscosidad sin modificar sustancialmente sus otras

propiedades como el sabor, proveen cuerpo, aumentan la estabilidad y facilitan la formación de suspensiones. Los agentes espesantes son frecuentemente alimentarios. Están basados en polisacáridos (almidones o gomas vegetales), proteínas (yema de huevo, colágeno). Algunos ejemplos comunes son el Agar-Agar, alginina, carragenano, colágeno, almidón de maíz, gelatina, goma guar, goma de algarrobo, pectina y goma xantana. Algunos agentes espesantes son agentes gelificantes, que forman un gel, que se disuelve en la fase líquida como una mezcla coloidal que forma una estructura interna débilmente cohesiva Casamayou, (2008).

### **2.3.2. GELIFICANTE**

Un gel es un sistema coloidal donde la fase continua es sólida y la dispersa es líquida. Los geles presentan una densidad similar a los líquidos, sin embargo su estructura se asemeja más a la de un sólido. El ejemplo más común de gel es la gelatina comestible, ciertos geles presentan la capacidad de pasar de un estado coloidal a otro, es decir, permanecen fluidos cuando son agitados y se solidifican cuando permanecen inmóviles. Esta característica se denomina tixotropía. El proceso por el cual se forma un gel se denomina gelación. Casamayou, (2008)

Los agentes gelificantes se utilizan para espesar y estabilizar los alimentos líquidos, dándoles así textura. Aunque cumplen un propósito muy similar al de los espesantes, los agentes gelificantes, como sugiere su propio nombre, son capaces de formar geles. En general, los agentes gelificantes son proteínas o carbohidratos que, al disolverse en alimentos líquidos, forman una red tridimensional dentro del líquido. Así se crea un alimento único de apariencia sólida pero que sin embargo está compuesto en su mayoría por líquido, como las gelatinas, mermeladas y confituras. Entre los agentes gelificantes más comunes están la pectina y la carragenina.

### **2.3.3. GOMA**

Las gomas pueden ser definidas en términos prácticos como moléculas de alto peso molecular con características hidrofílicas o hidrofóbicas que, usualmente, tienen propiedades coloidales, con capacidad de producir geles

al combinarse con el solvente apropiado. De este modo, el término goma se aplica a una gran variedad de sustancias con características gomosas. Sin embargo, es más común la utilización del término goma para referirse a polisacáridos o sus derivados, obtenidos de plantas o por procesamiento microbiológico, que, al dispersarse en el agua fría o caliente, producen soluciones mezclas viscosas (Whistler & Daniel, 1985; Whistler, 1973). En muchos libros de texto o artículos sobre gomas, estabilizantes, hidrocoloides, y especies de similar función o estructura, los autores encuentran muchas dificultades para definir sus términos.

#### **2.3.4. ESTABILISANTE**

Muchos alimentos contienen combinaciones de aceite y agua conocidas como emulsiones. Las emulsiones se forman utilizando unas sustancias llamadas emulsificantes o estabilizantes, que hacen posible la formación de una mezcla homogénea del agua y el aceite. Los estabilizantes se utilizan en productos como la mayonesa, los aliños para ensalada y los helados para evitar que las emulsiones se separen, contribuyendo a mantener las propiedades físicas y de textura de los alimentos. Los estabilizantes más comunes incluyen la goma garrofín y los alginatos. (Whistler & Daniel, 1985; Whistler, 1973).

#### **2.4. IMPORTANCIA DE LOS HIDROCOLOIDES**

La industria alimentaria utiliza hidrocoloides, los cuales son polímeros hidrofílicos de origen vegetal, animal, microbiano o sintético. Entre las propiedades que aportan a los productos alimenticios están la viscosidad (incluyendo la gelificación y espesamiento) y la retención de agua, además de la emulsión, estabilización, prevención de recristalización del hielo propiedades organolépticas (vazquez 1994).

Arboleda (2000) los hidrocoloides son sustancias que tienen la capacidad de atrapar moléculas de agua. De esta manera permiten cambiar las propiedades físicas del alimento que contiene agua. También menciona que algunos de los hidrocoloides más frecuentemente utilizados en la industria son el agar, alginatos, arabinoxilanos, carragenanos, carboximetilcelulosa, celulosa, goma guar, goma arábica, almidón, goma xantan y pectina.

Arboleda. (2000) mencionan que los hidrocoloides engloban a sustancias naturales poliméricas solubles o dispersables en agua, en este grupo se puede incluir a los almidones y algunas proteínas, como la gelatina, generalmente el término hidrocoloide se aplica a sustancias de composición polisacárido. De forma coloquial se les denomina con el nombre de “gomas”.

## 2.5. CLASIFICACION DE HIDROCOLOIDES

Se pueden clasificar:

- **Por su función**

Glicksman (1979), citado por Guzmán (2008), menciona que las gomass se clasifican de acuerdo a su habilidad para modificar las propiedades básicas del agua. Una clasificación de acuerdo a la función ya sea como espesante, agente gelificante o estabilizador, se muestra la clasificación de las gomass según su función.

**Tabla 1:** Clasificación de hidrocoloides por su función

Tipos de gomass	Espesante	Gelificante	Estabilizador
Goma guar	+	-	-
Pectina	-	+	+
Alginato	+	+	+
Agar	-	+	+
Carragenina	-	+	+
Derivados celulósicos	+	-	-
Goma tragacanto	+	-	-
Goma arábica	+	-	+
Almidones	+	-	+
Goma xantano	+	-	+

Fuente: Badui, 1995.

•**Por su origen**

Glicksman (1979), citado por Guzmán (2008) clasifica a las gomas por su origen y pueden ser: gomas naturales, modificadas y de origen sintético. Es evidente que las gomas más usadas en la industria de alimentos son las de origen natural, muchas de estas gomas han sido usadas para consumo humano desde hace miles de años esta clasificación se presenta en el siguiente cuadro.

**Tabla 2:** Principales gomas naturales modificadas y sintéticas.

<b>Naturales</b>	<b>Modificadas</b>	<b>Sintéticas</b>
<u>Exudado de plantas</u>	<u>Derivados de celulosa</u>	Polivinilpirolidina(PVP)
Goma arábica	Carboximetilcelulosa	Polietileno
Goma tragacanto	Metilcelulosa	<u>Otras gomas sintéticas</u>
Goma ghatti	Hidroxietilcelulosa	Gabopois
Goma zapote	Hidroxipropilmetilcelulosa	Gantrezan.
<u>Extracto de algas</u>	<u>Otros derivados</u>	Polímeros del óxido de etileno
Agar	Almidones modificados	
Alginatos	Pectina de bajo metoxilo	
<u>De semillas</u>	Propileno	
Guar		
Locust vean		
Linaza		
Membrillo		
Tamarindo		
<u>Goma de fermentación</u>		
Xantan		
Dextrinas		

Fuente: Badui, 1995.

## 2.6. HIDROCOLOIDES EXTRAÍDAS DE PLANTAS MARINAS

Los alginatos, la goma agar y la goma carragenana son extractos de algas rojas y marrones, que, en conjunto, en inglés, son conocidas como *seaweeds*.

### A. ALGINATOS

Son descritos como compuestos que incluyen una variedad de productos constituidos por los ácidos D-manurónico y L-gulurónico; y que son extraídos de algas marrones conocidas como *Phaeophyceae*, siendo que las más importantes para la producción comercial de los alginatos incluye *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria hyperborea*, *Laminaria digitata* y *Ascophyllum nodosum*, que son encontradas en el mundo entero. No todos los alginatos gelifican, pero son bien conocidos por su capacidad para producir geles irreversibles en agua fría, en la presencia de iones calcio. Esta propiedad de gelificar en el agua fría diferencia a los alginatos de las gomas derivadas de las algas rojas. Muchos alginatos son usados, frecuentemente, como espesantes, estabilizantes de emulsiones, gelificantes, inhibidores de sinéresis, y mouthfeel (Dziezak, 1991).

### B. GOMA AGAR

Es obtenida a partir de algas rojas de la clase *Rhodophyceae*, siendo las más importantes la *Gelidium cartilagineum*, *Gracilaria confervoides* y *Pteroclaia capillacea*. Considerada como uno de los agentes gelificantes más importantes, esta goma constituida de galactosa y anhidrogalactosa parcialmente esterificada con ácido sulfúrico, produce una gelificación perceptible en concentraciones tan bajas como 0.04 %. No es soluble en agua fría, pero se disuelve completamente en agua caliente, y la gelificación se inicia en la faja de 35 a 40 °C, resultando un gel fuerte, claro y termorreversible que sólo se liquidifica si la temperatura llega a 85 °C. Sus propiedades gelificantes, la resistencia térmica de sus geles y la marcada diferencia entre sus temperaturas de gelificación y de fusión, son las razones fundamentales a la hora de escogerla, aunque su uso en la industria americana de alimentos, por ejemplo, no es muy importante en términos cuantitativos. Su uso en niveles del orden de

0.12 % mejora la suavidad de helados y su uso en la fabricación del queso mejora la textura y calidad de los cortes (Dziezak, 1991).

### **C. GOMA CARRAGENANA**

Es un polímero sulfatado, constituido de unidades de galactosa y anhidrogalactosa, extraída de algas rojas donde destaca la *Chondrus crispus*, también conocida como "musgo irlandés". Towle (1973) citado por (Dziezak, 1991) indica que el extracto del "musgo irlandés", es usado hace casi 600 años en la elaboración de alimentos, remedios y fertilizantes, en el municipio de Carrageen que da origen al nombre de esta goma. Otras importantes fuentes de carragenana son la *Eucheuma spp.* y *Gigartina spp.*, que se encuentran en África Oriental, Filipinas y Japón. Existen tres grupos principales de goma carragenana, que se diferencian por su contenido y distribución de los grupos de ésteres sulfatados: iota, kappa y lambda. La carragenana es usada como gelificante, espesante, estabilizante, y emulsionante; siendo que, por su capacidad de reacción con ciertas proteínas, es usada en pequeñas concentraciones (del orden de 0.01 a 0.03 %) en la industria de los lácteos.

## **2.7. HIDROCOLOIDES EXTRAIDAS DE SEMILLAS DE PLANTAS TERRESTRES**

Un segundo grupo importante de gomas son las galactomanas obtenidas de las semillas de ciertas plantas: goma locuste y goma guar.

### **A. GOMA LOCUSTE**

Es un polisacárido neutro constituido de manosa y galactosa en la proporción de 4:1. Esta goma es extraída de las semillas de la *Ceratonia siliqua*, que es un árbol nativo de los países de la cuenca del Mediterráneo. Es insoluble en agua fría y soluble en agua caliente, siendo que su viscosidad máxima se alcanza cuando es calentada a 95°C y después enfriada. Gelifica sólo cuando se mezcla con la goma xantana, y sus principales usos son como espesante, estabilizante de emulsiones, e inhibidor de la sinéresis en diversos productos: alimentos enlatados, salsas, sobremesas, gaseosas, quesos, helados y carnes

procesadas. En el caso del queso la goma locuste acelera la coagulación (Dziezak, 1991).

## **B. GOMA GUAR**

Es obtenida del endospermo de la semilla de la planta guar *Cyamopsis tetragonolobus*, oriunda de la India y Pakistán. Se disuelve completamente en agua fría, produciendo alta viscosidad; sin embargo, no gelifica, y su principal uso es como formador de cuerpo, estabilizante y ligador de agua (Dziezak, 1991).

## **2.8. HIDROCOLOIDES EXTRAIDAS COMO EXUDADOS DE PLANTAS TERRESTRES**

Un tercer grupo importante de gomas usadas en la industria de los alimentos es el grupo de las gomas exudadas por árboles: goma arábica, goma ghatti, goma karaya y goma tragacanto.

### **A. GOMA ARÁBICA**

O goma acacia, considerada la más vieja y la mejor conocida de las gomas, es la savia exudada de varias variedades de árboles de la Acacia para prevenir el resecamiento de sus tejidos cuando son heridos. Químicamente la goma arábica es una sal neutra o levemente ácida de un polisacárido complejo que contiene iones calcio, magnesio y potasio en su molécula; y está formada por seis carbohidratos: galactosa, ramnosa, arabinopiranososa, arabinofuranosa, ácido glucourónico y ácido 4-o-metilglucourónico (Prakash y Mangino, 1990). Según de BeMiller y Whistler (1996), esta goma es un material heterogéneo que generalmente consiste de dos fracciones: una, que representa cerca del 70 % de la goma, está compuesta de cadenas de polisacáridos con poco o ningún material nitrogenado, y una segunda fracción que contiene moléculas de elevado peso molecular y proteínas como parte de su estructura integral, siendo que esta fracción polisacárido-proteína es, por su vez, heterogéneo, en lo que se refiere a la proteína que forma parte de la estructura. La goma arábica se disuelve rápidamente en el agua fría o en agua caliente, y es la menos viscosa

y más soluble de los hidrocoloides: es posible comparar sus soluciones con una concentración del orden de los 55 % con otros hidrocoloides comunes de alta viscosidad en el orden del 5 % de concentración (Dziezak, 1991). Fogarty (1988) citado por Dziezak (1991) observa que más de la mitad de la goma arábica producida en el mundo, es utilizada en la preparación de dulces y confites, con la finalidad de retardar la cristalización del azúcar y promover la emulsificación; siendo que la industria del flavor usa la goma arábica como fijador y encapsulante para evitar la oxidación y volatilización de los componentes del flavor, mientras que en la elaboración de la cerveza promueve la estabilización de la espuma; y debido a su componente proteico, esta goma es usada como emulsionante y estabilizante en emulsiones de bebidas no alcohólicas, una parte del mercado que consume 30 % del total de la goma arábica en el mundo.

## **B. GOMA GHATI**

O goma hindú es un exudado amorfo y translúcido del árbol del *Anogeissus latifolia* de la familia Combretaceae oriunda de la India. Es un polisacárido complejo, soluble en agua, formado por arabinosa, galactosa, mannososa, xilosa y ácido glucourónico. Está constituida de una fracción soluble y de una insoluble, pero gelificable. La goma en su conjunto, aun cuando no gelifique, se dispersa en agua fría o caliente formando un sol coloidal debido a la fracción soluble, y su viscosidad máxima se manifiesta en un pH entre 5 y 7; siendo que, de todas las gomas comerciales, la goma ghati es la que tiene la viscosidad y propiedades emulsionantes más próximas de la goma arábica. Las principales razones para escogerla son su habilidad para emulsionar, estabilizar, producir viscosidad y ligar agua (Dziezak, 1991).

## **C. GOMA KARAYA**

Es un exudado seco del árbol *Sterculia* producido en el norte y centro de la India, es un polisacárido complejo parcialmente acetilado, constituido de una cadena principal de unidades de ácido D-galactourónico, L-ramnosa y D-galactosa, de cadenas laterales de ácido D-glucourónico. Lo que caracteriza

esta goma es su baja solubilidad en el agua y su fuerte adherencia cuando es usada en elevadas concentraciones. Es una de las menos solubles entre las gomas exudadas, no disuelve, pero absorbe agua y produce un sol coloidal viscoso (Glicksman, 1983). Las dispersiones de la goma karaya tienen una viscosidad mayor cuando son preparadas con agua fría, aun cuando la ebullición aumenta la solubilidad de la goma y reduce su viscosidad de forma permanente. Similarmente, la viscosidad es reducida por la adición de algunos electrolitos fuertes o de pH extremos. Valores alcalinos del pH transforman el sol karaya en una pasta pegajosa. Debido a su propiedad de ligar agua, la goma karaya, es usada en concentraciones bajas, típicamente del orden de 0.2 a 0.4%, en la preparación de helados, con la finalidad de prevenir la formación de grandes cristales de hielo y la pérdida de agua libre (Dziezak, 1991).

#### **D. GOMA TRAGACANTO**

Es un exudado producido por algunas variedades de un arbusto del género *Astragalus*, una leguminosa perenne oriunda del Asia menor y de las regiones montañosas y semidesérticas del Irán, Siria y Turquía. Está formada de una mezcla de polisacáridos: el ácido tragacántico, insoluble en agua y responsable por la propiedad absorbente de agua de la goma, y la arabinogalactana que es un polímero soluble en agua y responde por la solubilidad de la goma. La goma tragacanto produce la más alta viscosidad de todos los hidrocoloides extraídos de plantas y produce soles coloidales viscosos con textura similar a geles blandos. Es soluble en agua fría, estable al calor y al ácido (debajo de pH 2) y muy emulsionante (Dziezak, 1991).

### **2.9. GOMAS EXTRAIDAS POR MODIFICACIÓN QUÍMICA DE PRODUCTOS VEGETALES**

Destacan en este grupo las modificaciones químicas de la celulosa y pectina, conducentes a la obtención de hidrocoloides con propiedades gelificantes.

## **2.10. GOMAS CELULÓSICAS**

Son las más usadas de este grupo, y forman una familia de productos obtenidos por modificación química de la celulosa, siendo sus ejemplos más importantes compuestos tales como carboximetilcelulosa, metilcelulosa e hidroxipropilmetilcelulosa. La carboximetilcelulosa sódica, comúnmente conocida como goma celulósica o CMC, es generalmente utilizada como espesante, estabilizante, gel, y modificador de las características de flujo de soluciones acuosas o suspensiones. La metilcelulosa (MC) y la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) son las únicas gommas que gelifican con el calor y después, al enfriarse, retornan a su viscosidad original líquida, lo que las hace muy importante para ser utilizadas con alimentos fritos (Dziezak, 1991).

## **2.11. PECTINAS**

Funcionan como agentes gelificantes y espesantes en una gran variedad de productos. Las pectinas comerciales son galactouranoglicanos con varios contenidos de grupos éster metilo; mientras que las pectinas comerciales se encuentran en las paredes celulares y capas intercelulares de todas las plantas terrestres y son moléculas más complejas que se convierten en productos comerciales vía la extracción ácida (BeMiller y Whistler, 1996). Existen dos tipos de pectinas que dependen de su grado de metilación: LM y HM. La selección de una pectina depende de los requerimientos de una aplicación en particular. Las composiciones y propiedades de las pectinas varían con la materia prima, los procesos usados durante la extracción y los subsecuentes tratamientos realizados (Dziezak, 1991; BeMiller y Whistler, 1996). Las soluciones de pectinas HM gelifican en presencia de cantidades suficientes de ácido y azúcar, pero las soluciones de pectinas LM gelifican sólo en presencia de cationes divalentes (únicamente Ca es utilizado en aplicaciones alimenticias). El aumento de la concentración de cationes incrementa la temperatura de gelificación y la fuerza del gel (BeMiller y Whistler, 1996).

## **2.12. PROPIEDADES FUNCIONALES**

Al igual que ocurre con la mayoría de los polímeros, las propiedades funcionales de las gomas, como son la de espesante y gelificantes, dependen de varios factores:

a) los intrínsecos propios de la molécula, como el peso molecular, los grados de ionización y de ramificación, etc.,

b) los extrínsecos que son propios del sistema, tales como el pH, la fuerza iónica, la temperatura, la concentración de los otros componentes, entre otros (Fennema, 1993).

Cada goma presenta características físicas y químicas determinadas, que no pueden ser fácilmente sustituidas con el uso de otro polisacárido; la combinación de dos o más de estos compuestos genera nuevas propiedades funcionales que en lo individual no tienen; éste es el caso de la emulsificación de sistemas aceite/agua, que se logra con mezclas de gomas (Badui, 1999).

## **2.13. APLICACIONES DE GOMAS EN ALIMENTOS**

El uso de las gomas en la industria alimentaria es muy vasto: en helados, confitería, jugos de frutas, cerveza, vinos, mayonesa, quesos, mermeladas, aderezos, embutidos, productos dietéticos, etc. En cada caso, las gomas desempeñan un papel muy característico gracias a las propiedades funcionales que desarrollan (Fennema, 1993).

La función principal de las gomas en los aderezos es darles estabilidad, al mismo tiempo tiene un efecto estabilizante y en muchos casos la combinación de diferentes gomas mejora la calidad sensorial de estas emulsiones (Dickinson y Stainsby, 1988).

En muchos casos la adición de otros ingredientes provee diversas ventajas, como la disminución en el contenido de colesterol, en general, el contenido de

grasa incrementa la estabilidad microbiológica y en algunos casos reduce los costos de manufactura (Riscardo et al., 2003).

#### **2.14. PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES**

Las propiedades tecnofuncionales han adquirido una gran importancia debido al incremento en el uso de harinas en el desarrollo de formulaciones alimentarias. En este sentido, los investigadores han enfatizado la expansión de la utilización de alimentos en forma de harinas como ingredientes funcionales (Rachel, 2012).

Las propiedades tecno-funcionales son propiedades fisicoquímicas que proporcionan información sobre cómo un ingrediente en particular podría comportarse en una matriz alimentaria. Dichas propiedades se establecen por la composición y estructura molecular de los componentes individuales, como carbohidratos y proteínas, y de las interacciones que se establecen entre ellos. Entre las propiedades tecno-funcionales destacan aquéllas que están relacionadas con el agua, ya que desarrollan un papel importante en los principales cambios que tienen lugar durante el procesado de alimentos. Por lo tanto, se puede decir que las propiedades de hidratación, entre las que destacan la capacidad de absorción de agua y la capacidad de retención de agua, influyen directamente en las características que conforman la matriz del alimento (Rachel, 2012).

#### **2.15. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA), ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA)**

Las propiedades tecnofuncionales como el índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y el poder de hinchamiento (PH) de un determinado puré de papa, se ve influenciado por dos factores importantes como: puentes de hidrógeno y enlaces internos débiles debido a la presencia de grupos fosfato esterificados ionizables que estimulan el hinchamiento por repulsión eléctrica mutua (Whistler y Paschall, 1965). La alteración de puentes de hidrógeno débiles entre las moléculas de almidón gelatinizado (Swinkels,

1985) permite que la masa de almidón se hinche mucho en el interior de la célula, mientras que su expansión está limitada por la pared celular circundante; de esta manera, cuando la solubilidad del almidón se incrementa en el interior de la célula, las células se hinchan debido a la presión ejercida por la relativamente alta cantidad y densidad del almidón hinchado. Estos efectos de hinchamiento podrían desempeñar un papel en las propiedades texturales de las células (Shomer *et al.*, 1993).

El poder de hinchamiento y solubilidad en agua está influenciado por la relación amilosa-amilopectina y por las características de éstas en cuanto peso molecular, grado de ramificación, longitud de las ramificaciones, y conformación de moléculas complejas de lípidos, además la proteína dentro de los gránulos de almidón juega un papel muy importante en el control del poder de hinchamiento de los mismos (Zhang *et al.*, 2005).

## **2.16. TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN**

Según Zhang *et al.* (2005) la gelatinización del almidón se refiere al colapso del orden en el interior de los gránulos cuando estos son sometidos a calor en presencia de agua, ocasionando cambios irreversibles, entre los que se encuentra según De la Torre *et al.*, (2008); pérdida de su orden cristalino, aumento en el tamaño de los gránulos, birrefringencia y la solubilización del almidón.

La gelatinización del almidón tiene lugar en exceso de agua y condiciones de humedad limitadas en un intervalo de temperatura, que se conoce como temperatura de gelatinización y depende de la variedad (Álvarez, 1996). Como consecuencia del aporte de calor se rompen los puentes de hidrogeno que mantienen ordenadas las cadenas de amilosa y amilopectina dejando libres los grupos polares hidroxilo. Durante la gelatinización del almidón, parte de la amilosa difunde del gránulo (Smith, 1980) y las regiones de amilopectina cristalina absorben agua, dando lugar a un hinchamiento de los gránulos de almidón. La amilopectina es la máxima responsable del hinchamiento debido a que se encuentra en mayor proporción en el almidón (aproximadamente 75%),

y a que presenta menor grado de cristalinidad como consecuencia de su estructura ramificada.

Estos cambios van acompañados de un aumento de viscosidad del producto debido a que los gránulos de almidón se adhieren unos a otros (Whistler y Daniel, 1993).

## **2.17. LAS CACTACEAS**

Hace ya más de quinientos años, empezó la migración de los cactus, oriundos del continente americano, primero hacia Europa, luego al resto del mundo, y este tránsito no sólo ha terminado, sino que aumenta cada día. Por eso, hoy es posible encontrar cactus cultivados en lugares tan remotos para nosotros como Australia, Japón, Nueva Zelanda o Rusia (Ostolaza, 2010).

En algunos casos, el cultivo de cactus con criterio comercial fuera de América está tan extendido que un viajero desinformado que visite las Islas Canarias o Sicilia, al sur de Italia, podría pensar que estas plantas son propias de estos lugares donde el clima benigno favorece su cultivo masivo que trata de satisfacer la creciente demanda del mercado Europeo, Asia.

## **2.18. LAS CACTACEAS COMO COAGULANTES Y ESPESANTES**

La precipitación química fue uno de los primeros procesos químicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales (Schulz y Okum, 1991).

Actualmente se utilizan muchas y muy diversas sustancias como agentes de precipitación, el grado de clarificación obtenido en el proceso depende de la cantidad de productos químicos utilizados y del cuidado con que se controle el proceso por medio de precipitación química es posible obtener un efluente limpio, substancial exento de materia en suspensión o en estado coloidal, éste, como cualquier otro fenómeno natural está regido por diverso factores de los cuales los principales son: mezclado, estabilidad de los coloides, tiempo de retención y velocidad de sedimentación.

Con respecto al mezclado, tenemos que está encaminado a la distribución

uniforme y rápida de los espesantes en el agua que se esté tratando, ya que cuando más alta sea la velocidad y mayor la turbulencia, más eficaz será el mezclado, pudiéndose llevar a cabo el proceso de precipitación totalmente (Rivas, 1983)

En los procesos de tratamiento comunes, la turbulencia es inducida por el uso de impulsores giratorios, tales como paleta, las cuales se utilizan como dispositivos de floculación cuando se añade al agua residual productos químicos.

La adición de espesantes puede hacerse de dos maneras:

- Al pasar la masa de agua por un punto determinado en el cual se produce una fuerte turbulencia inducida por un dispositivo hidráulico, orificio, vertedero, etc.
- Reteniendo el agua en un estanque especial por un tiempo de retención nominal, en donde se aplican espesantes, mientras se agita con una turbina o paleta rotatoria o cualquier otro sistema para crear turbulencia. En ambos casos la turbulencia puede crearse hidráulica o mecánicamente.
- Una vez que la dispersión de los espesantes se ha llevado a cabo, la agitación debe controlarse con mucho cuidado, de modo que se favorezca el contacto entre las partículas para la formación de flóculos ya que si la agitación fuese demasiado fuerte los esfuerzos cortantes que se producen romperán el flóculo (CEPIS, 1981).

Stequist y Kaufman (Hanson y Jhon, 2000), demostraron que a medida que la alcalinidad del agua cruda es mayor, el proceso de coagulación queda más afectado por la velocidad con que se dispersan los espesantes. Con poca alcalinidad, la mezcla puede ser más lenta, con alta alcalinidad la dispersión puede ser instantánea.

## 2.19. VARIEDADES DE CACTACEAS

### ***A. Echinopsis pachanoi***

Tiene como nombre común “San Pedro” en algunas zonas del Perú. Planta arbórea (figura 1), 3 a 6 m. de alto, ramas numerosas azul-verdoso, 6 a 8 costillas, anchas y redondeadas, con depresión transversal sobre las areolas, espinas generalmente ausentes o escasas, pequeñas, 1 cm. desiguales, amarillomarrón. Flor de 23 cm. de largo, blancas, con pelo negro (Ostolaza, 2010).

Distribución: Descrita en Cuenca, Ecuador, 2000-3000 m; llega a Huancabamba, Piura; Qda. Santa Cruz, Cordillera Blanca, Ancash, 3 300 m.



**Fuente: Ostolaza, 2010.**

**Figura 1:** Cactacea Subfamilia Cactoideae, tribu Trichocereae, *Echinopsis pachanoi*.

### ***B. Neoraimondia arequipensis***

El nombre específico alude a la Región Arequipa, al sur del Perú. Planta grande (figura 2), arbustiva, hasta 8 m. de alto y 40 cm. de diámetro, ramificación

basal, ramas curvas en la base y luego ascendentes y paralelas, verde-gris de 20 cm. de diámetro, 7 a 8 costillas, areolas afelpadas marrón, grandes y con el tiempo cilíndricas, hasta 7 espinas muy flexibles y largas de hasta 25 cm. de largo. Flores blanco-verdosas. Frutos de 7 cm. de diámetro, púrpura, por fuera y por dentro, con areolas y pequeñas espinas que pierde al madurar (Ostolaza, 2010).

Distribución: Ica; Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Moquegua y Tacna.



**Fuente:** Ostolaza, 2010.

**Figura 2:** Cactacea Subfamilia Cactoideae, tribu Browningieae, *Neoraimondia arequipensis*

### **C. *Opuntia ficus***

La revisión de los aspectos teóricos de las sustancias naturales que se plantea en la investigación del espesante natural alternativo, específicamente la obtención, preservación y aplicación de los polisacáridos de la Tuna (*Opuntia ficus*) como espesante y/o ayudante de coagulación en agua residuales de alta turbiedad y alta alcalinidad (Hernández, 2005). Los derivados de la tuna o nopal son polvos blancos solubles en agua que se extractan con relativa facilidad del mucilago. Han sido probados con agua turbia artificial y natural y han dado resultados comparables o mejores que los de los polímeros sintéticos en el tratamiento de aguas superficiales. Su producción no ha sido hecha en escala industrial hasta el momento, pero podría hacerse (Salas, 1998).



**Fuente:** Ostolaza, 2010.

Figura 3: Cactacea Subfamilia Opuntioideae, tribu *Opuntia Ficus*.

## **2.20. JUSTIFICACIÓN**

- La importancia de este trabajo de investigación radica en mostrar nuevas alternativas acerca de la producción de aditivos naturales la cual debe ir en forma creciente que a la importación.
- Actualmente este aditivo solo puede ser adquirido en algunos lugares específicos y la mayoría de estas empresas importan de este modo su precio se eleva por no ser producido en mayores cantidades en nuestro país, esto se debe a diversas causas, por desconocimiento de sus utilidades como producto, por no interesarse en estos temas de elaboración de aditivos y tal vez por el pensamiento limitado de muchas empresas o entidades en creer que es imposible su elaboración por no contar con tecnología avanzada.
- En este trabajo se determinó los rendimientos de extracción de tres variedades de Cactáceas, a través de diferentes métodos de extracción. Los gelificantes o espesantes extraídos podrán tener aprovechamiento durante la elaboración de diversos productos alimenticios como néctares, vinos y etc. Así como la Comercialización y explotación de materias primas naturales y exóticas.

## **2.21. PROBLEMA CENTRAL**

- ¿En qué medida es posible extraer espesantes alimenticios a partir de tres variedades de Cactáceas?

## **2.22. OBJETIVOS**

Los objetivos que se pretende alcanzar en el presente trabajo de tesis son:

### **GENERAL**

- Comparar los métodos de extracción de espesantes alimenticios de tres variedades de cactáceas (*Cactaceae*).

### **ESPECÍFICOS**

- Comparar el rendimiento de extracción utilizando diferentes métodos de extracción para las tres variedades de cactáceas (*Cactaceae*)

- Determinar características fisicoquímicas de los espesantes extraídos de las tres variedades de Cactáceas.
- Determinar las propiedades tecnofuncionales: índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), Densidad Aparente (DA), Temperatura de gelatinización (TG) del espesante extraído de las tres variedades de cactáceas.

## **2.23. HIPÓTESIS**

### **GENERAL**

Existe diferencia significativa en el contenido de espesante entre las tres variedades de cactáceas

### **ESPECÍFICOS**

- Los métodos de extracción influyen significativamente en el rendimiento de extracción en cada variedad de cactácea.
- Las caracterizaciones fisicoquímicas de los espesantes extraídos de las tres variedades de Cactáceas permiten conocer sus características de identificación.
- Los espesantes extraídos de las diferentes variedades de cactáceas muestran un alto índice de solubilidad, absorción de agua, densidad aparente y temperatura de gelatinización.

## CAPITULO 3.

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El desarrollo de la investigación se realizó en los laboratorios de Química y Procesos agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNAJMA.

#### 3.2. MATERIAL DE ESTUDIO

##### 3.2.1. POBLACIÓN

El material genético de Cactáceas de las variedades *Echinopsis pachanoi*, *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus*, procedieron de los cultivos silvestres ubicados en del distrito de Talavera a 3000 msnm. Latitud 13°36'07.89'' S, longitud 73°16'33.13'', con temperaturas promedios de 13 °C y precipitación promedio anual de 930 mm, de la provincia de Andahuaylas.

##### 3.2.2. MUESTRA

Se consideró una muestra a 5 kg de cladodios o pencas de Cactácea de cada variedad, las cuales serán recolectadas adecuadamente, evitando cualquier rasguño o golpe.

##### 3.2.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis estuvo referida a las pencas o cladodios de las cactáceas previamente recolectadas y refrigeradas procedentes de los cultivos silvestres ubicados en del distrito de Talavera a 3000 msnm. Latitud 13°36'07.89'' S, longitud 73°16'33.13'', con temperaturas promedios de 13 °C y precipitación promedio anual de 930 mm, de la provincia de Andahuaylas.

### 3.2.4. BIENES, EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

**Tabla 3:** Descripción de equipos

Cantidad	Descripción
01	Secador de bandejas de aire caliente de 20 L
01	Autoclave de 10 L
01	Juego de Tamices de 300, 200 y 100 micras
01	Viscosímetro de Brookfield con pin N° 21 y 28
01	Microscopio trinocular con cámara
04	Agitador termomagnético de hasta 600 rpm
01	Potenciómetro
01	Centrifuga de 1000 g

**Tabla 4:** Descripción de materiales

Cantidad	Descripción
06	Probetas de vidrio de 200 mL
06	Vasos de precipitados de 250 mL
02	Termómetro de -10 °C a 250 °C
09	Fuentes de acero inoxidable de fondo blanco
12	Tubos de ensayo
02	Bureta de 25 mL
02	Matraz de 50 mL

**Tabla 5:** Descripción de Reactivos y sustancias

Cantidad	Reactivos
250 g	Bisulfito de sodio
250 g	Cloruro de sodio
50 g	Hidróxido de sodio
10 mL	Indicador Fenolftaleína
10 mL	Folin Colteau
10 mL	Ácido sulfúrico

### 3.3. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN

De acuerdo a los objetivos propuestos en la investigación, el tipo de investigación fue experimental – descriptiva.

Las variables que se consideraron para el desarrollo del de tesis se muestran en la tabla (6).

**Tabla 6:** Operativización de variables.

Variable	Tipo de variable	Indicador(es)	Instrumento
<b>De entrada/Independiente</b>			
Cactácea	Cualitativa	- Variedad	- Observación
Método de extracción	Cualitativa	- Método	- aplicación
<b>De salida/Dependiente/Respuestas</b>			
Rendimiento de extracción	Cuantitativa	- porcentaje	Medida indirecta
Características fisicoquímicas	Cuantitativa	- pH - Solubilidad	- Medidas instrumentales

		- Proteínas - Polisacáridos	
Propiedades tecnofuncionales	Cuantitativa	- Índice de absorción de agua - IAA - Índice de solubilidad en agua - ISA - Densidad aparente - DA - Temperatura de gelatinización – TG	- Medidas instrumentales

**Tabla 7:** Matriz de diseño de las variables de estudio.

Variable de entrada		Respuestas
Cactácea	Método de extracción	
Especie 01: <i>Echinopsis pachanoi</i>	Con acetona	---
	Con NaCl	---
	Con etanol	---
	Acuosa	
Especie 02: <i>Neoraimondia arequipensis</i>	Con acetona	---
	Con NaCl	---
	Con etanol	---
	Acuosa	
Especie 03: <i>Opuntia ficus</i>	Con acetona	---
	Con NaCl	---
	Con etanol	---
	Acuosa	

### **3.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **3.4.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADAS PARA COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ESPESANTE DE TRES VARIEDADES DE CACTACEAS**

##### **3.4.1.1. ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS**

Se colectaron muestras de cada una de las cactáceas, las cuales fueron eliminados completamente sus espinos, posteriormente se cortaron en trozos pequeños y se licuaron a alta velocidad con agua destilada en una relación 1:1, luego de la molienda fina, se procedió a tamizarlo en una malla de 1000 micras, a fin de eliminar la fibra y obtener únicamente el mucilago.

##### **3.4.1.2. EXTRACCIÓN CON SOLVENTE ORGÁNICO ACETONA**

Se extrajo de acuerdo al método de Dujardin *et al.* (1985), el cual consiste en realizar una extracción líquido-líquido de 300 mL de zumo filtrado, con acetona en relación 1 de zumo: 2 de solvente. Posteriormente se realizarán tantos cambios de solvente como sea necesario hasta la eliminación del color, en seguida el precipitado se seca a temperatura ambiente. Ya seca la muestra se muele finamente y en seguida se tamizo en una malla de 300 micras, obteniéndose un polvo fino y cristalizado de espesante.

##### **3.4.1.3. EXTRACCIÓN CON NaCl**

Se siguió el método citado por Prasad (2009), se midió (100) mL de zumo de muscilago filtrado y se extrajo durante 30 minutos en (500) ml de disolución salina 0,25 molar en NaCl utilizando agitador magnético. La mezcla se filtró al vacío con papel Whatman 42. La solución resultante tuvo una concentración al 20 % volumen/volumen el cual se llevó a un secador, luego se tamizo en una malla de 300 micras, obteniéndose un polvo fino y cristalizado de espesante.

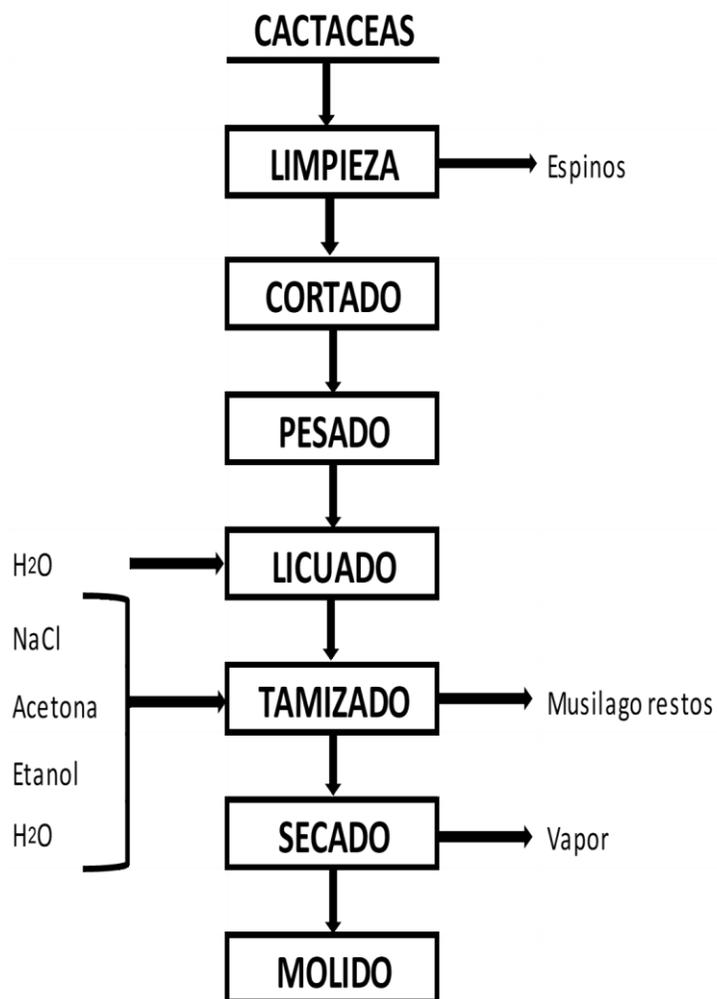
#### **3.4.1.4. EXTRACCIÓN CON ETANOL**

El procedimiento se basó en el método citado por Mpagi (2007), se midió 20 mL de zumo de muscilago filtrado y se añadió a 100 ml de etanol anhidro al 95 %. La mezcla se dejó en agitador magnético durante 30 minutos, luego se separó los sólidos por centrifugación a 4000 rpm durante 30 minutos. El sobrenadante se descartó mientras que el sólido se secó a 40 °C en horno durante 24 horas, luego se tamizo en una malla de 300 micras, obteniéndose un polvo fino y cristalizado de espesante.

#### **3.4.1.5. EXTRACCIÓN ACUOSA**

Se midió 20 mL de zumo de muscilago filtrado y se añadió a 100 ml de agua destilada, luego se llevó a un agitador magnético durante 30 minutos. La mezcla se filtró al vacío con papel Whatman 42. La solución resultante tuvo una concentración al 20 % volumen/volumen, se llevó a un secador por 24 horas a 40 °C, se tamizo en una malla de 300 micras, obteniéndose un polvo fino y cristalizado de espesante.

## FLUJOGRAMA PARA EXTRACCIÓN DE ESPESANTES ALIMENTICIOS DE CACTACEAS (*Cactaceae*)



Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS

### 3.4.3. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE ESPESANTE

Una vez extraída el espesante natural en cristales, se determinó el rendimiento de extracción de acuerdo con la ecuación (01).

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{\text{g de cristales de espesante}}{\text{g de material utilizado}} * 100 \quad \text{Ec. (01)}$$

### **3.4.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADAS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS ESPESANTES**

#### **3.4.4.1. SOLUBILIDAD**

Se determinó utilizando medios solventes polares (agua y etanol) y apolares (Acetato de etilo, Hexano, Éter y Tetracloruro de carbono), los resultados se reportaron como Solubles, Poco soluble e Insoluble.

#### **3.4.4.2. PROTEINAS**

Se determinó utilizando en método de Lowry (Granadas y Castañeda, 1991).

Inicialmente se preparó las siguientes soluciones:

Solución A: Carbonato de sodio al 2 %

Solución B: Tartrato de sodio y potasio al 2 %

Solución C: Sulfato de cobre pentahidratado al 1 %

Se mezcló las soluciones de la siguiente manera: 49.0 mL de A, 0.5 mL de B y 0.5 mL de C.

En seguida se agregó 1 mL de la muestra al 1 % que contenga proteína a 5 mL de la mezcla A, B, C, se agito y se dejó reposar por 10 minutos, posteriormente se agregó 0.5 mL de Folin y 0.5 mL de agua (este se mezcló antes de agregar); se dejó reposar por 30 minutos y se leyó en un espectrofotómetro a 625 nm.

Para la elaboración de la curva patrón (anexo 03) se consideró los resultados reportados por Granadas y Castañeda (1991).

### 3.4.4.3. POLISACÁRIDOS

Se colocó una muestra en un tubo de ensayo con un volumen de 0.1, 0.4, 0.8 y 1.0 mL se añadió 0.5 mL de muestra problema, se añadió 0.8 mL de fenol (5 %), posteriormente se agregó 4 mL de ácido sulfúrico; se dejó en reposo por 10 minutos, enseguida se colocó en baño isotérmico por 20 minutos a 30 °C, habiendo transcurrido ese tiempo se leyó en el espectrofotómetro a 490 nm. (Keleti, 1994).

Las muestras se preparan al 1 % tanto para la curva patrón como el problema.

### 3.4.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADAS PARA LA DETERMINACION DE PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS ESPESANTES EXTRAIDOS

#### 3.4.5.1. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA)

Los índices de solubilidad y absorción de agua se pueden utilizar como un indicativo del grado de modificación de los almidones, gomas y espesantes por tratamientos termo mecánico. El método que se siguió para la determinación de IAA e ISA, fue tomado de Anderson *et al.* (1969) con algunas modificaciones, se pesó 2,5 g de muestra en una balanza analítica, se adiciono 50 mL de agua destilada y se agitó durante 30 min. Se tomó un alícuota de 6 mL de la suspensión formada y se centrifugó a 3000 rpm por 15 min en una centrífuga. El sobrenadante se decantó y se secó a 100 °C durante 24 h, y el gel retenido en los tubos se pesó.

El IAA e ISA, se determinó de acuerdo con las ecuaciones (02), (03) y (04)

$$\text{Peso muestra (g)} = \frac{\text{Peso seco muestra (g)}}{[\text{Peso seco muestra (g)} + \text{agua(g)}]} * \text{alícuota(g)} \text{ ec. (02)}$$

$$IA = \frac{\text{Peso de gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)}} \quad \text{ec. (03)}$$

$$ISA(\%) = \frac{\text{Peso seco sobrenadante(g)}}{\text{Peso muestra (g)}} * 100 \quad \text{ec. (04)}$$

### 3.4.5.2. DENSIDAD APARENTE (DA)

La densidad aparente del espesante puede ser determinada utilizando la relación entre el peso del espesante que ocupa un volumen conocido, se puede determinar en dos formas: como espesante suelto y como espesante empacado (Smith, 1967).

Se pesó una probeta graduada vacía, se adiciono cuidadosamente con una espátula la muestra de espesante deshidratado a la probeta de 10 mL por medio de un embudo hasta que el volumen total sea libremente completado, el cálculo se realizó de acuerdo con la ecuación (05).

$$DA \text{ espesante} = \frac{[(\text{peso probeta} + \text{espesante suelto}) - \text{peso probeta vacía}]}{250 \text{ mL}} \quad \text{ec. (05)}$$

### 3.4.5.3. TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN (TG)

Los gránulos del espesante son insolubles en agua fría; cuando se calientan en solución a temperaturas altas alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia el hinchamiento de los gránulos. Esta temperatura es llamada temperatura de gelatinización (Grace, 1977).

Se pesó 5 g de espesante deshidratado, se disuelve en agua destilada y se completó a 50 mL, enseguida se calentó agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85 °C, y se tomó 5 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL, luego se introduce el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C, y se agito con el termómetro constantemente la suspensión de espesante hasta que se forme una

pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos, leer la temperatura de gelatinización (Fernández, 2008).

### 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los datos de las respuestas se utilizó un Diseño de Bloques completamente al Azar, DBCA donde los bloques fueron las variedades de Cactáceas y los métodos de extracción, asimismo se proponen las siguientes evaluaciones:

#### 3.5.1. ANÁLISIS DE VARIANZA

Se aplicó un ANOVA de dos factores, variedades de Cactáceas y los métodos de extracción.

El planteamiento de hipótesis estadística para el ANOVA será:

**Hipótesis nula – $H_0$ :** La media de los resultados de las variables de respuesta no muestran diferencia significativa.

$$\bar{x}_i = \bar{x}_j$$

**Hipótesis alterna – $H_A$ :** La media de los resultados de las variables de respuesta muestran diferencia significativa.

$$\bar{x}_i \neq \bar{x}_j, \text{ al menos dos de ellos.}$$

**Nivel de significancia ( $\alpha$ )**

Para el caso de comparaciones de tratamientos habitualmente se emplea  $\alpha = 0.05$  (Gutiérrez y de la Vara, 2004).

### 3.5.2. COMPARACIÓN MÚLTIPLE

Se desarrolló a través del Test Tukey (análisis paramétrico), se aplicó en la comparación múltiple, referidos a las variables de respuesta medibles o paramétricas.

El planteamiento de hipótesis estadística para el test Tukey, será:

**Hipótesis nula – $H_0$ :** La media de los resultados de las de las variables de respuesta no muestran diferencia significativa.

$$\bar{x}_i = \bar{x}_j$$

**Hipótesis alterna – $H_A$ :** La media de los resultados de las variables de respuesta muestran diferencia significativa.

$$\bar{x}_i \neq \bar{x}_j, \text{ para algún par } i, j.$$

#### **Nivel de significancia ( $\alpha$ )**

Para el caso de comparaciones de tratamientos habitualmente se emplea  $\alpha = 0.05$  (Gutiérrez y de la Vara, 2004).

#### **Criterio para la prueba de hipótesis**

Se rechaza  $H_0$  si  $\alpha > p\text{-value}$

Para la evaluación de las pruebas ANOVA y Tukey, se utilizará el Software estadístico MINITAB V15 (Minitab Inc. 2006) y Excel vista (Microsoft, 2008).

## CAPITULO 4.

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE LOS ESPESANTES

Los resultados del rendimiento de extracción de los espesantes cristalizados, se muestra en la tabla (8), en ella se aprecia que el rendimiento es diferente para cada variedad cuando se extrae con diferentes métodos o solventes. Por otra parte, el rendimiento también es diferente entre variedades cuando son sometidos a la extracción con el mismo solvente, es así que en todos los casos el rendimiento es mayor para la variedad *Opuntia ficus* (Tuna), siendo  $0.6546 \pm 0.0246\%$  extraído con el etanol,  $0.5244 \pm 0.0175\%$  con el NaCl 0.25 M y  $0.4021 \pm 0.0069\%$  con el agua, lográndose mejores rendimientos de extracción con el etanol. Vazquez (1994) extrae espesante natural deshidratando la penca de *Opuntia ficus* (Tuna), luego moliéndola y tamizándola en malla N° 325 y logra rendimientos de 2.5 % para la variedad *Opuntia lindheimeri* y 6.3 % para la variedad *Opuntia microdasys*; Villabona *et al.*, (2012) aplicando el mismo proceso logra rendimientos de 6.5 % para la *Opuntia ficus*, aunque este tipo de espesantes extraídos presenta además de gomas floculantes, otros componentes como pectinas, carbohidratos, fibras solubles polímeros fenólicos, lípidos y otros (Vazquez, 1994), no obstante la extracción por solventes permite eliminar en gran medida algunos componentes de las pencas o cladodios de las cactáceas, de allí que el rendimiento logrado en la investigación es menor. En la tabla (9) se muestra el ANOVA para el rendimiento de extracción, en ella se aprecia que hay diferencia significativa ( $p\text{-value} < 0.05$ ) en la extracción por solventes y por variedades de Cactáceas, esto quiere decir que la utilización de un solvente distinto genera rendimientos diferentes, tal como se muestra en la tabla (8), asimismo las variedades de Cactáceas presentan diferentes contenidos de espesante.

**Tabla 8:** Rendimiento de extracción de espesantes de las Cactáceas

Variedad	Penca (g)	Zumo filtrado (mL)	Solvente (mL)	Solución filtrada (g)	Espesante cristalizado (g)			% Rendimiento (g de espesante/g de Cactácea) *		
					R1	R2	R3	$\bar{x}$	$\pm$	s
<b>Solvente</b>		<b>Etanol</b>								
<i>Echinopsis pachanoi</i> (San pedro)	300	300	600	300	0.7560	0.8236	0.8025	0.2647	$\pm$	0.0115
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)	300	300	600	360	0.0630	0.1012	0.0926	0.0285	$\pm$	0.0067
<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	300	300	600	300	1.9724	1.8863	2.0330	0.6546	$\pm$	0.0246
<b>Solvente</b>		<b>NaCl 0.25 M</b>								
<i>Echinopsis pachanoi</i> (San pedro)	300	300	600	300	0.7484	0.8231	0.7702	0.2602	$\pm$	0.0128
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)	300	300	600	320	0.4511	0.5230	0.4333	0.1564	$\pm$	0.0158
<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	300	300	600	300	1.5166	1.6203	1.5827	0.5244	$\pm$	0.0175
<b>Solvente</b>		<b>Agua</b>								
<i>Echinopsis pachanoi</i> (San pedro)	300	300	600	300	0.3574	0.3862	0.4241	0.1297	$\pm$	0.0112
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)	300	300	600	350	0.1566	0.1822	0.1402	0.0532	$\pm$	0.0071
<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	300	300	600	300	1.1833	1.2233	1.2121	0.4021	$\pm$	0.0069
<b>Solvente</b>		<b>Acetona</b>								
<i>Echinopsis pachanoi</i> (San pedro)	300	300	600							No reporta
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)	300	300	600							No reporta
<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	300	300	600							No reporta

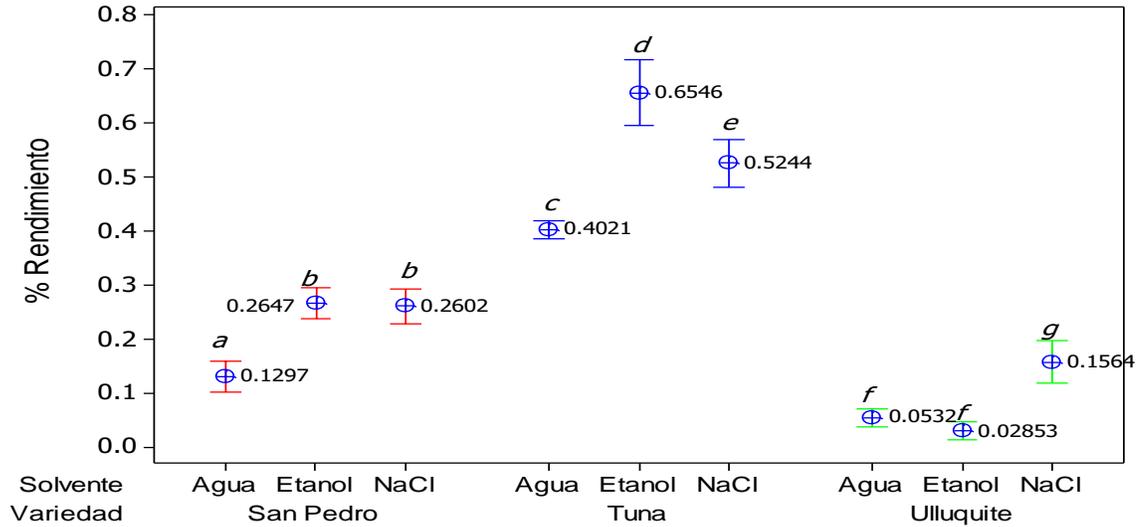
Donde:  $\bar{x}$  es la media; s es la desviación estándar

**Tabla 9:** ANOVA para el rendimiento de extracción

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	$F_{cal}$	$p$ -value*	$F_{crit}$
Solvente	2	0.0861	0.0431	12.48	0.000	3.55
Variedad	2	0.9452	0.4726	137.02	0.000	3.55
Error	22	0.0759	0.0035			
Total	26	1.1072				

\*Evaluada a un nivel de significancia  $\alpha = 5\%$

La comparación entre rendimientos individuales por solventes para cada variedad de Cactácea se realizó a través de la aplicación del test Tukey, el cual se muestra gráficamente en la figura (4), en ella se aprecia que la extracción del espesante de la cactácea *Echinopsis pachanoi* (San pedro) con agua y etanol no muestran diferencia significativa (letras iguales), es decir se logra los mismos rendimientos utilizando ambos solventes, por el contrario en la variedad *Opuntia ficus* (Tuna) existe diferencia significativa del rendimiento de extracción con los solventes utilizados (letras diferentes), mientras que para la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluqute) la extracción con agua y etanol reportan similares rendimientos (letras iguales), aunque estas son menores al rendimiento obtenido con la solución *NaCl* 0.25M.



**Figura 4:** Diagrama de comparación de medias para el rendimiento de extracción

\*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$  (datos individuales en el anexo 01)

## 4.2. IDENTIFICACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ESPESANTES

### 4.2.1. EL PH

Los valores del pH de los espesantes naturales de las variedades que se estudiaron se muestran en la tabla (10), en ella se aprecia que el pH de los espesantes extraídos con el solvente etanol, son los que presentan menores valores, mientras que los extraídos con solución NaCl/0.25M son los que presentan mayores valores.

**Tabla 10: pH del espesante natural de las variedades**

Solvente	pH del Espesante					
	<i>Echinopsis pachanoi</i> (San pedro)		<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)		<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	
	$\bar{x}$	$\pm s$	$\bar{x}$	$\pm S$	$\bar{x}$	$\pm S$
Etanol	6.98	$\pm 0.04$	6.75	$\pm 0.03$	6.68	$\pm 0.03$
NaCl 0.25M	7.34	$\pm 0.03$	7.32	$\pm 0.01$	7.21	$\pm 0.02$
Agua	7.33	$\pm 0.02$	7.26	$\pm 0.04$	7.19	$\pm 0.03$

Donde:  $\bar{x}$  es la media; s es la desviación estándar

Para Arboleda (2000), los pH altos posibilitan una mejor remoción de color en las aguas residuales, y que influye de manera importante en los procesos de coagulación-floculación (Hernández, 2003), Sciban *et al.* (2009) coincidieron en la aplicación de valores de pH altos durante la evaluación de los agentes espesantes o coagulantes, los valores utilizados fueron 9 y 8.5 respectivamente. En contraste, Martínez *et al.* (2003) hicieron un ajuste del pH, en forma tal que se encontraran dentro del rango establecido en las normas de calidad del agua (pH entre 6.5 y 8.5). Por otro lado, Nkurunziza *et al.* (2009) llevaron a cabo las pruebas de coagulación-floculación bajo valores de pH neutros (pH=7), utilizando como agente espesante *Moringa oleifera*.

Quirós *et al.* (2010), encontró un valor de pH de 6.43 para el espesante natural de Mozote *Triumfetta semitriloba*, asimismo Vázquez (1994) encontró valores del pH que oscilan entre 6.5 a 6.7 para el espesante natural obtenido a partir de la *Opuntia imbricata*, y Villabona *et al.* (2012), encontró un pH de 6.19 para espesante extraído de la tuna (*Opuntia ficus-indica*)

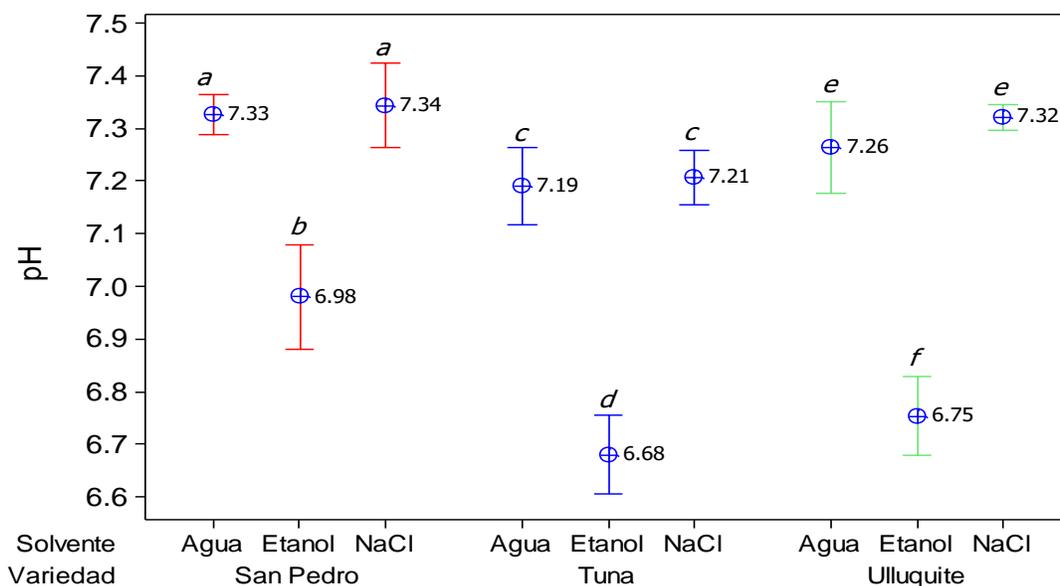
La evaluación del ANOVA mostrada en la tabla (11), indica que existe diferencia significativa ( $p\text{-value} < 0.05$ ) en cuanto al pH de los espesantes naturales de las distintas variedades, así como de acuerdo al tipo de extracción por solventes.

**Tabla 11:** ANOVA\* para el pH del espesante

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	$F_{cal}$	$p\text{-value}^*$	$F_{crit}$
Solvente	2	1.3326	0.6663	258.1	0.000	3.55
Variedad	2	0.1648	0.0824	31.93	0.000	3.55
Error	22	0.0568	0.0026			
Total	26	1.5542				

\*Evaluada a un nivel de significancia  $\alpha = 5 \%$

Asimismo se aplicó el test Tukey a fin de conocer las diferencias significativas entre pares de tratamientos, los cuales se muestran en la figura (5), en ella se aprecia que el pH del espesante natural extraído con agua y  $NaCl$  0.25M a partir del *Echinopsis pachanoi* (San pedro) no muestra diferencia significativa (letras iguales), este hecho es similar para las otras variedades *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) y *Opuntia ficus* (Tuna), por otra parte se puede observar que el pH del espesante natural extraído con etanol es menor en todos los casos.



**Figura 5:** Diagrama de comparación de medias para el pH del espesante\*

\*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$  (datos individuales en el anexo 02)

#### 4.2.2. SOLUBILIDAD

La solubilidad de los espesantes naturales se evaluó por observación tomando como criterio soluble, poco soluble e insoluble en los solventes polares y apolares, los resultados se muestran en la tabla (12), los espesantes son solubles o poco solubles en los solventes polares como el agua y etanol, mientras que en los solventes apolares muestran alta insolubilidad.

**Tabla 12:** Solubilidad de los espesantes

		SOLUBILIDAD		
Solvente		Echinopsis pachanoi (San pedro)	Neoraimondia arequipensis (Ulluquite)	Opuntia ficus (Tuna)
Polar	Etanol	Soluble	Poco soluble	Poco soluble
	Agua	Soluble	Soluble	Soluble
Apolar	Acetato de etilo	Poco Soluble	Poco Soluble	Poco Soluble
	Hexano	Insoluble	Poco soluble	Insoluble
	Eter	Insoluble	Insoluble	Insoluble
	Tetracloruro de Carbono	Insoluble	Poco soluble	Poco soluble

#### 4.2.3. EVALUACIÓN DE PROTEÍNAS EN LOS ESPESANTES

En la tabla (13) se aprecia el contenido de proteínas de los espesantes de las variedades de Cactáceas extraídas por diferentes métodos y solventes, la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) es la que presenta mayor contenido de proteínas como Albúmina, la variedad *Echinopsis pachanoi* (San pedro) con menor contenido, mientras que la variedad *Opuntia ficus* (Tuna) presenta valores que oscilan entre 0.37 a 0.89 mg/mL, Vazquez (1994) encontró valores que oscilan entre 0.21 a 0.32 mg/mL de proteínas como albumina en coagulantes o espesantes de la variedad *Opuntia ficus*, aunque en su estado natural la *Opuntia ficus* en sus distintas variedades presenta contenidos de proteínas que oscilan entre 5.25 a 23.00 % (en base húmeda) (Vazquez, 1994 y Quiros *et al.*, 2010).

Los polímeros naturales son complejos en su composición química, ya que están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos y proteínas como caseína, gelatina, olieratina, albumina y otros (Ndabigengesere *et al.*, 1995), algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o espesantes y en muchos lugares son usados en forma

empírica por los nativos para aclarar el agua turbia con resultados satisfactorios (Vazquez, 1994) o como espesantes en guisantes.

**Tabla 13:** Proteínas en el espesante natural de las variedades

Solvente	Proteínas (mg de Albúmina/mL al 1%)					
	<i>Echinopsis pachanoi</i> (San pedro)		<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)		<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	
	$\bar{x}$	$\pm s$	$\bar{x}$	$\pm S$	$\bar{x}$	$\pm s$
Etanol	0.3773	$\pm$ 0.0022	0.8589	$\pm$ 0.0013	0.8986	$\pm$ 0.0007
NaCl/0.25M	0.1688	$\pm$ 0.0000	0.7481	$\pm$ 0.0046	0.3773	$\pm$ 0.0058
Agua	0.3161	$\pm$ 0.0041	0.8703	$\pm$ 0.0006	0.4672	$\pm$ 0.0069

Donde:  $\bar{x}$  es la media; s es la desviación estándar

Curva patrón en el anexo (03)

Una baja fracción del contenido proteico de los espesantes naturales sugiere que estas variedades bioquímicas no son las principales responsables del poder espesante del material (Almendárez, 2004)

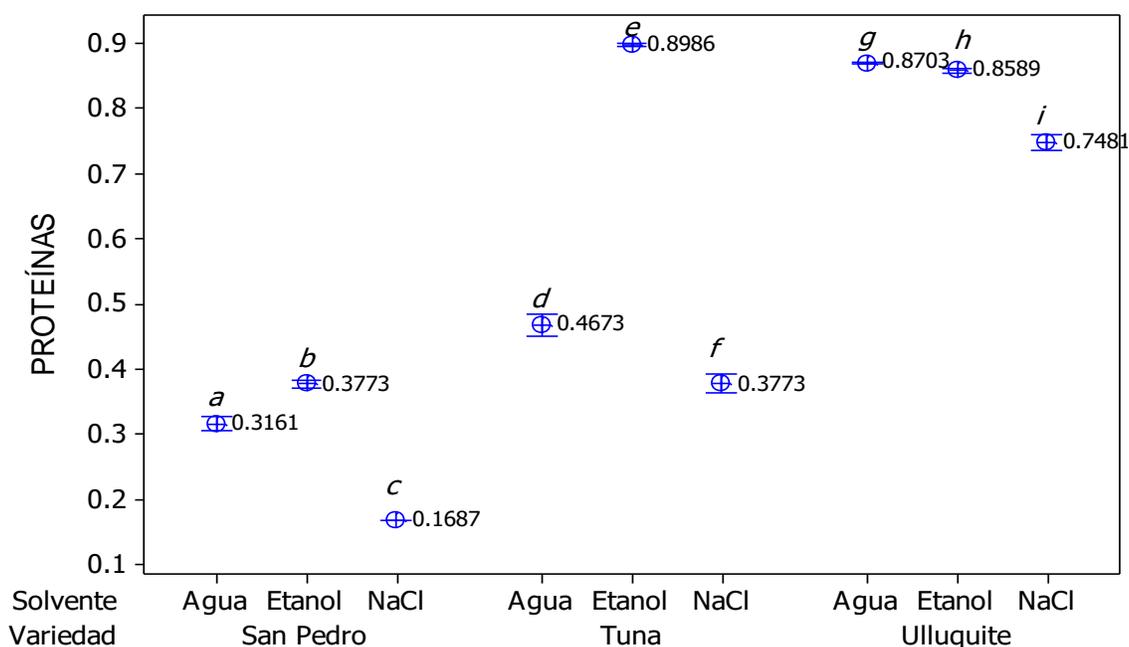
El ANOVA tabla (14) muestra que existe diferencia significativa ( $p$ -value < 0.05) el contenido de proteínas en los diferentes espesantes de las variedades de Cactáceas, así como cuando son extraídos por diferentes medios solventes.

**Tabla 14:** ANOVA\* para el contenido de proteínas en el espesante

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	$F_{cal}$	$p\text{-value}^*$	$F_{crit}$
Solvente	2	0.356	0.178	18.94	0.000	3.55
Variedad	2	1.308	0.654	69.60	0.000	3.55
Error	22	0.207	0.009			
Total	26	1.870				

\*Evaluada a un nivel de significancia  $\alpha = 5 \%$

La comparación múltiple del contenido de proteínas como Albúminas se muestra en la figura (6), la cual fue evaluada a través del test de Tukey, en ella se aprecia que en todos los casos existe diferencia significativa (letras diferentes en cada barra) en el contenido de proteínas.



**Figura 6:** Diagrama de comparación de medias para el contenido de proteínas en el espesante.

\*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$  (datos individuales en el anexo 04).

#### 4.2.4. EVALUACIÓN DE POLISACÁRIDOS EN LOS ESPESANTES

Los polímeros naturales están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos por ejemplo almidón, celulosa, glucósidos, disacáridos (como sacarosa) (Ndabigengesere *et al.*, 1995), es así que se realizó la determinación del contenido de sacarosa en los espesantes naturales de las Cactáceas en estudio. En la tabla (15) se muestra los resultados del contenido de sacarosa en las tres variedades de Cactáceas extraídos con diferentes solventes, en ella se aprecia que los extractos tratados con etanol, reportan mayores contenidos de sacarosa en los espesantes naturales, mientras que los espesantes extraídos con la solución *NaCl* 0.25M son los que presentan menor contenido de sacarosa, Vazquez (1994) reporta valores que oscilan entre 3.60 a 4.30 mg de sacarosa por litro para distintas variedades de *Opuntia ficus*. Almendárez (2004) indica que mientras que el alto contenido de carbohidratos señala que estos compuestos deben favorecer la coagulación y/o capacidad espesante.

**Tabla 15:** Sacarosa en el espesante natural de las variedades

Solvente	Sacarosa (mg/l)					
	<i>Echinopsis pachanoi</i> (San pedro)		<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)		<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	
	$\bar{x}$	$\pm s$	$\bar{x}$	$\pm s$	$\bar{x}$	$\pm s$
Etanol	0.3773	$\pm$ 0.0022	0.8589	$\pm$ 0.0013	0.8986	$\pm$ 0.0007
<i>NaCl</i> 0.25M	0.1688	$\pm$ 0.0000	0.7481	$\pm$ 0.0046	0.3773	$\pm$ 0.0058
Agua	0.3161	$\pm$ 0.0041	0.8703	$\pm$ 0.0006	0.4672	$\pm$ 0.0069

Donde:  $\bar{x}$  es la media; s es la desviación estándar Curva patrón en el anexo (05)

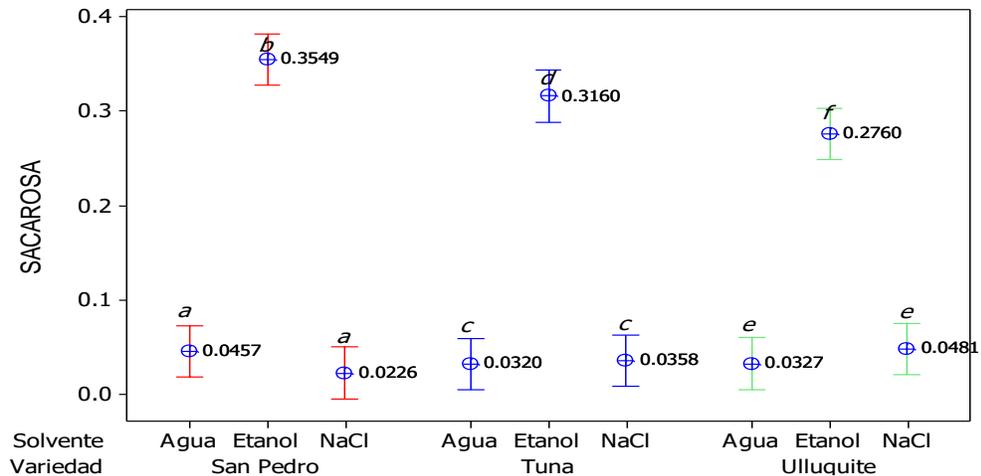
El ANOVA mostrada en la tabla (16), indica que el contenido de sacarosa en los espesantes naturales muestra diferencia significativa (p-value < 0.05) cuando son extraídas con diferentes solventes.

**Tabla 16:** ANOVA para el contenido de sacarosa en el espesante

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	$F_{cal}$	$p\text{-value}^*$	$F_{crit}$
Solvente	2	0.4686	0.2343	290.83	0.000	3.55
Variedad	2	0.0022	0.0011	1.39	0.271	3.55
Error	22	0.0177	8E-04			
Total	26	0.4886				

\*Evaluada a un nivel de significancia  $\alpha = 5 \%$

En la figura (7) se aprecia que los espesantes de las tres variedades de Cactáceas extraídas con el solvente etanol muestran diferencia significativa (letras diferentes para cada variedad) en comparación a los extraídos con los otros dos solventes, este hecho se debe a que la sacarosa es insoluble en el etanol, es por ello que su contenido es mayor.



**Figura 7 :** Diagrama de comparación de medias para el contenido de sacarosa en el espesante

\*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$  (datos individuales en el anexo 06).

### 4.3. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

#### 4.3.1. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA)

Los resultados del IAA de los espesantes se muestran en la tabla (17), en ella se aprecia que el espesante de la variedad Ulluquite presenta menores valores de IAA en comparación de las dos variedades, y de estas la variedad San Pedro muestra valores altos del IAA, Rodríguez *et al.*, (2012), encontró que el valor del IAA de la papa es de  $12.03 \pm 0.19$  g de gel/g de muestra y para la quinua de  $12.47 \pm 0.12$  g de gel/g de muestra.

**Tabla 17:** IAA del espesante natural de las variedades

Solvente	IAA del Espesante (g de gel/g de espesante)					
	<i>Echinopsis pachanoi</i> (San pedro)		<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)		<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	
	$\bar{x}$	$\pm s$	$\bar{x}$	$\pm s$	$\bar{x}$	$\pm s$
Etanol	0.7336	$\pm 0.0079$	0.4556	$\pm 0.0119$	0.7142	$\pm 0.0056$
NaCl 0.25M	0.7614	$\pm 0.0041$	0.3472	$\pm 0.0044$	0.7401	$\pm 0.0030$
Agua	0.7708	$\pm 0.0019$	0.3550	$\pm 0.0053$	0.8099	$\pm 0.0073$

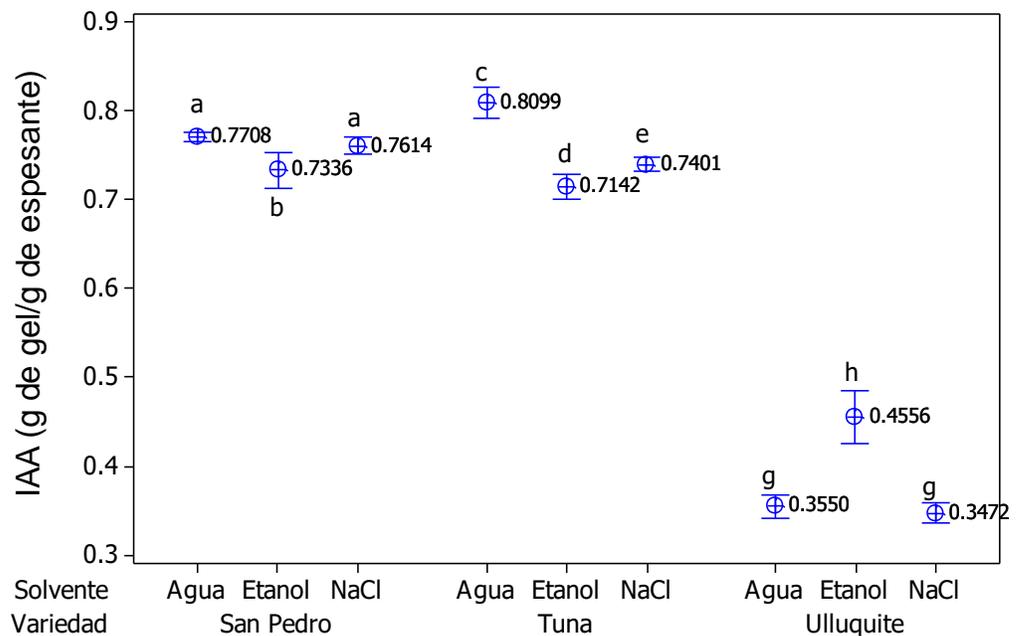
Donde:  $\bar{x}$  es la media; s es la desviación estándar

La evaluación del ANOVA muestra que los espesantes provenientes de las tres variedades en estudio muestran diferencia significativa ( $p\text{-value} < 0.05$ ), mientras que los espesantes extraídos con los diferentes solventes no muestran diferencia significativa, tal como se aprecia en la tabla (18), así se puede apreciar en la figura (8).

**Tabla 18:** ANOVA para el IAA en el espesante

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	$F_{cal}$	$p$ -value*	$F_{crit}$
Solvente	2	0.0039	0.0019	1.19	0.322	3.55
Variedad	2	0.8173	0.4087	251.7	0.000	3.55
Error	22	0.0357	0.0016			
Total	26	0.8569				

\*Evaluada a un nivel de significancia  $\alpha = 5\%$



**Figura 8:** Diagrama de comparación de medias para el IAA en el espesante

Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$  (datos individuales en el anexo 07)

#### 4.3.2. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA)

Los resultados del ISA se muestran en la tabla (19), en ella se observa que la variedad San Pedro presenta mayores valores de ISA, mientras que la variedad Ulluquite bajos valores, el ISA desempeña un papel en las propiedades texturales de las células, es así que algunas propiedades fundamentales de los almidones, como su mayor índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua, están relacionadas con el mayor tamaño de sus gránulos.

**Tabla 19:** ISA del espesante natural de las variedades

Solvente	ISA del Espesante (%)					
	<i>Echinopsis pachanoi</i> (San pedro)		<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)		<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	
	$\bar{x}$	$\pm s$	$\bar{x}$	$\pm S$	$\bar{x}$	$\pm s$
Etanol	33.0750	$\pm 0.7572$	18.3983	$\pm 0.2139$	29.3300	$\pm 0.2129$
NaCl 0.25M	34.1950	$\pm 0.2524$	18.7250	$\pm 0.2778$	29.1783	$\pm 0.4219$
Agua	34.5333	$\pm 0.0535$	20.0550	$\pm 0.2524$	34.0433	$\pm 0.8432$

Donde:  $\bar{x}$  es la media; s es la desviación estándar

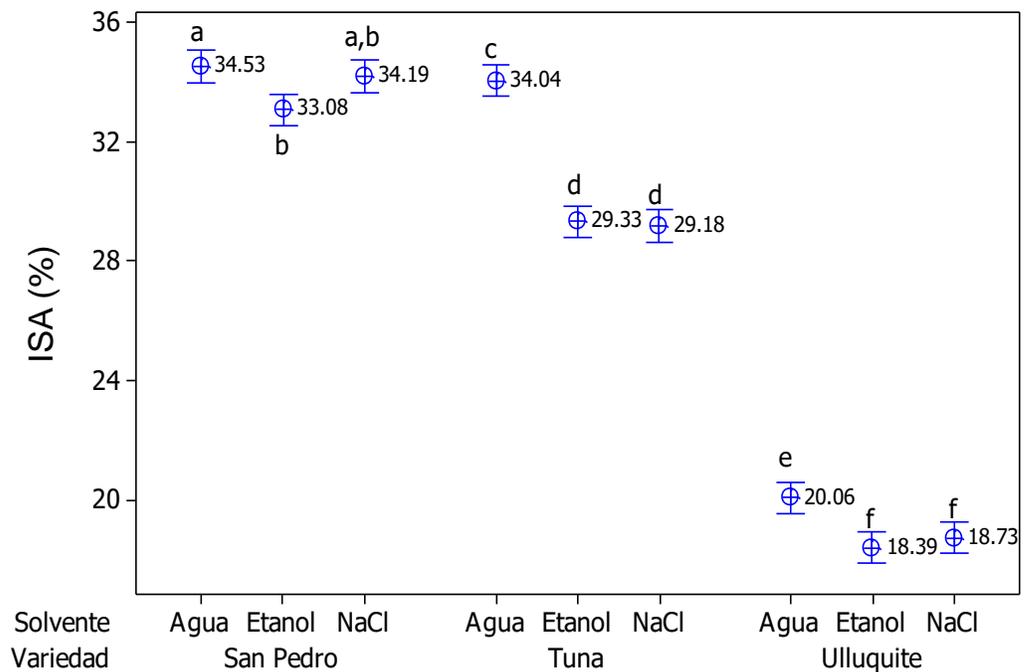
Rodríguez *et al.*, (2012), presentan resultados de ISA de 4.48 % para la papa y 5.10 % para la quinua, y de 2.1 % para el trigo, aunque Henao (2004), reporta valores de 13.26 % de ISA para el trigo y 8.0 % para la yuca, este valor del ISA depende del contenido de proteínas y almidón soluble es así que ICONTEC (2002), muestra valores del ISA para la yuca que oscilan entre 0.27 a 15.45 %.

El ANOVA de la tabla (20) indica que tanto las variedades, así como su método de extracción de los espesantes muestra diferencia significativa ( $p\text{-value} < 0.05$ ) en el ISA, este hecho también se pudo evidenciar en la figura (9).

**Tabla 20:** ANOVA para el ISA en el espesante

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	$F_{cal}$	$p\text{-value}^*$	$F_{crit}$
Solvente	2	35.21	17.61	17.35	0.00	3.55
Variedad	2	1109.42	554.71	546.53	0.00	3.55
Error	22	22.33	1.01			
Total	26	1166.96				

\*Evaluada a un nivel de significancia  $\alpha = 5\%$



**Figura 9:** Diagrama de comparación de medias para el ISA en el espesante\*

\*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$  (datos individuales en el anexo 08).

### 4.3.3. DENSIDAD APARENTE EN LOS ESPESANTES

En la tabla (21), se presenta los valores de la densidad aparente de los espesantes naturales de las variedades de Cactáceas, en ella se aprecia que el espesante natural extraído de la *Opuntia ficus* (tuna), es la que presenta mayores valores de densidad, y para esta variedad el espesante extraído con el solvente etanol presenta un valor de  $0.6546 \pm 0.0246$  g/ml, por otra parte, las densidades aparentes de los espesantes extraídos con agua para todas las variedades muestran el menor valor.

El ANOVA (tabla 22) indica que existe diferencia significativa entre los espesantes de las variedades y solventes, ya que  $p\text{-value} < 0.05$ , no obstante, la densidad aparente reportada por el espesante extraído con agua y *NaCl* 0.25M *Echinopsis pachanoi* (San pedro) no muestran diferencia significativa.

**Tabla 21:** Densidad aparente del espesante natural de las variedades

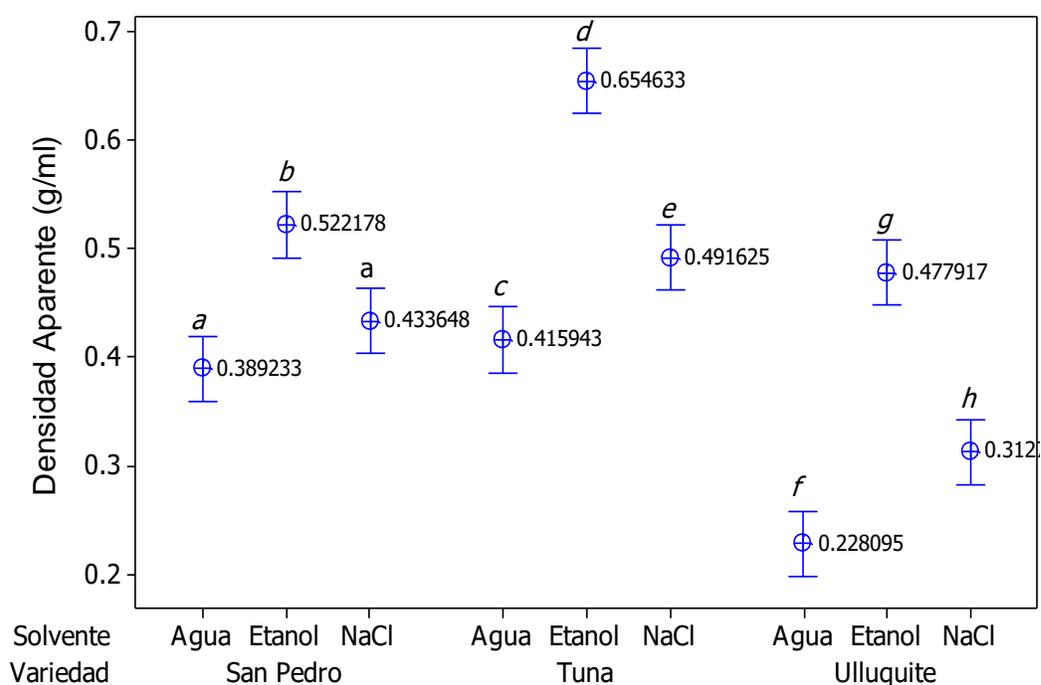
Solvente	Densidad aparente (g/ml)					
	<i>Echinopsis pachanoi</i> (San pedro)		<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)		<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	
	$\bar{x}$	$\pm s$	$\bar{x}$	$\pm s$	$\bar{x}$	$\pm s$
Etanol	0.5222	$\pm 0.0238$	0.4779	$\pm 0.1002$	0.6546	$\pm 0.0246$
<i>NaCl</i> 0.25M	0.4336	$\pm 0.0213$	0.3128	$\pm 0.0317$	0.4916	$\pm 0.0164$
Agua	0.3892	$\pm 0.0335$	0.2281	$\pm 0.0302$	0.4159	$\pm 0.0071$

Donde:  $\bar{x}$  es la media; s es la desviación estándar

**Tabla 22:** ANOVA para la densidad aparente del espesante

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	$F_{cal}$	$p$ -value*	$F_{crit}$
Solvente	2	0.2006	0.1003	91.3	0.000	3.55
Variedad	2	0.1496	0.0748	68.11	0.000	3.55
Error	22	0.0242	0.0011			
Total	26	0.3744				

Evaluada a un nivel de significancia  $\alpha = 5\%$



**Figura 10:** Diagrama de comparación de medias para la densidad aparente del espesante\*

\*Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$  (datos individuales en el anexo 09).

#### 4.3.4. TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN

Los resultados se muestran en la tabla (23), y en ella se observa que la temperatura de gelatinización es menor para el espesante de la variedad *Echinopsis pachanoi* (San pedro), mientras que la variedad *Opuntia ficus* (Tuna) es la que presenta mayores valores, según Zhang *et al.* (2005) la gelatinización se debe al contenido del almidón en el espesante natural, y esta se refiere al colapso del orden en el interior de los gránulos cuando estos son sometidos a calor en presencia de agua, ocasionando cambios irreversibles, entre los que se encuentra según De la Torre *et al.*, (2008); pérdida de su orden cristalino, aumento en el tamaño de los gránulos, birrefringencia y la solubilización del almidón en el espesante.

**Tabla 23:** Temperatura de gelatinización del espesante natural de las Variedades

Solvente	Temperatura de gelatinización (°C)					
	<i>Echinopsis pachanoi</i> (San pedro)		<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Ulluquite)		<i>Opuntia ficus</i> (Tuna)	
	$\bar{x}$	$\pm s$	$\bar{x}$	$\pm s$	$\bar{x}$	$\pm s$
Etanol	69.67	$\pm 0.58$	77.33	$\pm 0.58$	78.67	$\pm 0.58$
NaCl 0.25M	69.33	$\pm 0.58$	78.00	$\pm 1.00$	79.67	$\pm 0.58$
Agua	71.33	$\pm 0.58$	77.17	$\pm 0.76$	77.33	$\pm 0.58$

Donde:  $\bar{x}$  es la media; s es la desviación estándar

En la tabla (24) se presenta el ANOVA, en ella se muestra que no existe diferencia significativa ( $p\text{-value} > 0.05$ ) en la temperatura de gelatinización en los espesantes de la misma variedad de Cactáceas, es decir la extracción por cualquier medio solvente permite obtener espesantes que presentan la misma temperatura de gelatinización en

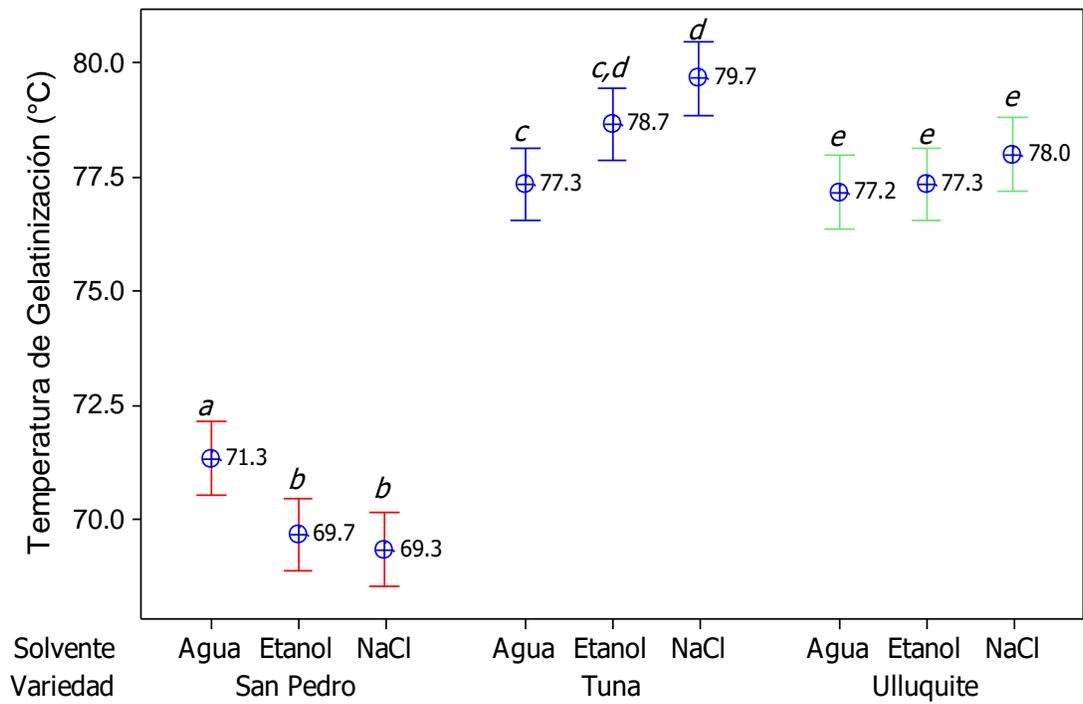
cada variedad estudiada, aunque la temperatura de gelatinización entre variedades muestra diferencia significativa ( $p\text{-value} < 0.05$ ).

**Tabla 24** : ANOVA\* para temperatura de gelatinización del espesante

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	$F_{cal}$	$p\text{-value}^*$	$F_{crit}$
Solvente	2	1.056	0.528	0.50	0.611	3.55
Variedad	2	381.056	190.528	181.8	0.000	3.55
Error	22	23.056	1.048			
Total	26	405.167				

\*Evaluada a un nivel de significancia  $\alpha = 5\%$

En la figura (11), se presenta la comparación múltiple de la temperatura de gelatinización del espesante natural extraído por distintos solventes, en el caso de la Variedad *Echinopsis pachanoi* (San pedro) la temperatura de gelatinización del espesante de esta variedad extraído con etanol y *NaCl* 0.25M no muestran diferencia significativa (letras iguales), para el caso de la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) no difiere para ninguno de los casos.



**Figura 11:** Diagrama de comparación de medias para la temperatura de gelatinización del espesante\*

Las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$  (datos individuales en el anexo 10)

## CONCLUSIONES

- ❖ La extracción con etanol reporta mejores rendimientos para las tres variedades de cactáceas y la extracción con acetona no reporta rendimiento ninguno.
- ❖ La comparación del rendimiento de extracción de espesantes de las tres variedades de Cactáceas con los tres solventes muestra diferencia significativa, el mayor rendimiento lo presentó la variedad *Opuntia ficus* (tuna) cuando se extrajo con etanol, NaCl al 0.25 M y agua, mientras que la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite) presenta menores rendimientos para los tres solventes utilizados.
- ❖ Las características fisicoquímicas de los espesantes cristalizados de las tres variedades de cactáceas extraídos con los tres solventes, muestran diferencia significativas, el pH de los espesantes tiene tendencia ácida cuando se extrae con etanol, mientras que con los solventes agua y NaCl 0.25 M tienen tendencia básica, el contenido de proteínas es mayor para las tres variedades de cactáceas extraídos con etanol, el contenido de azúcares son mayores para las tres variedades de cactáceas extraídos con etanol, por otra parte los espesantes presentan alta solubilidad en solventes polares.
- ❖ Las propiedades tecnofuncionales muestra diferencias significativas en los espesantes de las tres variedades de cactáceas así como en los tres métodos de extracción, presentando mayor IAA e ISA la variedad *echinopsis pachanoi* (San Pedro) y *opuntia ficus* (Tuna), asimismo la densidad aparente es mayor para la variedad *Opuntia ficus* (tuna) extraído con etanol, la temperatura de gelatinización se encuentra por encima de 70 °C, para las tres espesantes naturales.

## RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar estudios de extracción de espesantes naturales de otras variedades de cactáceas (*cactaceae*) empleando diferentes métodos de extracción.
- ❖ Realizar estudios de tratamiento de aguas residuales utilizando espesante extraídos de cactaceas *Echinopsis pachanoi* (san pedro), *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite), *Opuntia ficus* (tuna) por el alto poder de floculación que tiene los espesantes.
- ❖ Determinar los costos de producción de espesantes naturales extraídos de cactaceas *Echinopsis pachanoi* (san pedro), *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite), *Opuntia ficus* (tuna) y compararlos con los costos de producción de espesantes obtenidos a partir de almidón de papa, que es la fuente principal de hidrocoloides.
- ❖ Realizar estudios sobre aplicación de espesantes naturales extraídos de cactáceas, *Echinopsis pachanoi* (san pedro), *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite), *Opuntia ficus* (tuna) a alimentos funcionales.

## SUGERENCIAS

- ❖ Se sugiere investigar la extracción de espesantes aplicando diferentes métodos a la convencional.
- ❖ Se sugiere profundizar estudios de extracción de espesantes alimenticios de la variedad de *opuntia ficus* (tuna) aplicando el método de extracción con etanol.
- ❖ Se sugiere realizar estudios de espesantes naturales con aplicación a alimentos funcionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almendárez, N. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua "Piedras Azules". *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 5(1): 46-54.
- Anderson R.A.; Conway V.F.; Pfeifer V.F. ; Griffin E.L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll – and extrusion – cooking. *Cereal Science Today*. 1969, Vol. 14, p 4-12.
- Arboleda, (2000) *Teoría y práctica de la purificación del agua*. 3era edición. Editorial McGraw Hill.
- BeMiller J.N.; Whistler, R.L. Carbohydrates. In: Fennema, O.R. (1996). *Food Chemistry*, 3 Ed., Marcel Dekker, New York.
- Casamayou, E. (2008). Obtención y caracterización de pectina en polvo a partir del bagazo de pera. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
- CEPIS/OPS/OMS (1991). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Lima Peru.
- Chocano, A. (2011). *Recopilación Tecnológica de Agentes de textura y sus aplicaciones*. Oficina Española de patentes.
- De La Torre, L; Chel, L; Betancur, D. (2008). *Propiedades funcionales de la harina de platano (Musa balbisiana)*. *Food Chemistry*.
- Dziezak J.D. A (1991) Focus on gums. *Food Technology*, v.45, nº3.
- Elliasson, A.C.; Kim, H.R. (1992). Changes in rheological properties of hydroxypropyl potato starch pastes during freeze-thaw treatments I. A rheological approach for evaluation of freeze-thaw stability. *Journal of Texture Studies*, 23: 279-295.
- Fernández C. (2008). Caracterización reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados. Efectos del proceso y adición de

crioprotectores. Memoria para optar al grado de doctor. Facultad de veterinaria, Departamento de Nutrición, Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Universidad Complutense de Madrid.

Glicksman, M.; (1983). Gum arabic (Gum acacia). In: Glicksman M. (Ed.), Food Hydrocolloids, v.2. CRC Press, Boca Raton.

Góngora, M. (2010). Estudio de las características espesantes y viscosantes del almidón de banano. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Granadas, S.; Castañeda, P. (1991). El nopal: Historia, Genética e importancia frutícola. Ed. Trillas. México.

Hanson, T.; Jhon, L. (2000). The effects of temperature on turbulent flocculation: Fluid dynamics and chemistry. Jour AWWA.

Henao, S. (2004). *Estudio tecnológico de la utilización de harina de yuca en panificación*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración.

Hernández A. (2003). Depuración y desinfección de aguas residuales. Colección seínor No. 9. pp. 319439.

Hernández, A. (2005). Depuración de aguas residuales. 4ta edición, España.

ICONTEC. (2002). *Alimentos para animales. Yuca integral seca para consumo animal*. NTC 3528. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá.

Keleti, D.; Lederer W. (1994). Handbook of micromethods for the biological sciences. Ed. Van Nostrand Company. New York

Martínez, D.; Chávez, M.; Díaz, A.; Chacín, E.; Fernández N. (2003). *Eficiencia del cactus lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas*. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, 26, 1

- Mpagi H (2007) Application of indigenous materials in drinking water treatment. Tesis doctoral, Royal Institute of Technology, Suecia.
- Ndabigengesere A, Narasiah K y Talbot B (1995) Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera, Wat. Res. 29, 2, 703-710
- Nkurunziza, T.; Nduwayezu, J.B.; Banadda, E.N.; Nhapi, I. (2009). The effect of turbidity levels and Moringa oleífera concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment, Water Science & Technology, 59(8): 1551-1558.
- Ostolaza, C. (2010). 101 Cactus del Perú. Ministerio del Ambiente – MINAM – Perú.
- Pasquel A. (2001). Gomas: una aproximación a la industria de alimentos. Revista Amazónica de Investigación. UNAP, Iquitos, Perú.
- Prakash A.J.M.; Mangino M.E. (1990). The effects of added proteins on the functionality of gum arabic in soft drink emulsion systems. Food Hydrocolloids, v.4, nº3.
- Prasad K (2009) Color removal from distillery spent wash through coagulation using Moringa oleifera seeds: Use of optimum response surface methodology J. of Haz. Mat. 165: 804-811
- Quirós, N.; Vargas, M.; Jiménez, J. (2010). Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el rio Humo, reserva forestal rio Macho. Centro de Investigación en protección ambiental. Insituto tecnológico de Costa Rica.
- Rachel, T. (2012). *Impacto del procesamiento sobre la pared celular y las propiedades hipoglucémicas y tecnofuncionales de leguminosas*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias. Madrid, España.
- Rámirez, L.; Suárez, J.; Ramírez, J. (2011). Evaluación de las propiedades floculantes de Malvaviscus arboreus, Helicarpus popayanensis e Hylocereus undatus para clarificación de aguas. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Pag 33-42.

- Ratnayake, W., Hoover, R., Shahidi, F., Perera, C., Jane, J., (2001). *Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars*. Food Chem. Págs. 189-202.
- Rivas, G. (1983). Tratamiento de potabilización de aguas. Ed. Nuevas Gráficas S.A. de C.V.
- Rodriguez, E.; Lascano, A.; Sandoval, G. (2012). *Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas*. Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica.
- Salas, J. (1998). Distribución geográfica y ecológica de las variedades amenazadas de extinción del estado de San Luis Potosí, México. Tesis de Maestría, Facultad de Agronomía, U.A.S.L.P. San Luis Potosí, S.L.P. 1998
- Sánchez, S.; Untiveros, G. (2004). Determinación de la actividad floculante de la pectina en soluciones de hierro (III) y cromo (III). Rev. Soc. Quím. Perú, 70. N° 4, pag. 201-208.
- Schulz, R.C.; Okum, A. (1991). Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo. Ed. LIMUSA S.A. México
- Sciban, M.; Klasnja, M.; Antov, M.; Skrbic, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn, Bioresource Technology, 100: 6639 – 6643.
- Shomer, I.; Rao, M.A.; Bourne, M.C. y Levy, D. (1993). *Impact of temperature and cellulose treatments on rheological behavior of potato-tuber cell-suspensions*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 63 (2): 245-250.
- SIQYPN. (1992). XIX Simposium Internacional de Química y Productos Naturales. Monterrey N.L. México.

- Smith, R.J. (1967). Characterization and analysis of starches. In Whistler, R.L. & Paschall, E. *Starch: Chemistry and Technology. Vol II. Industrial Aspects.* New York, Academia Press. p 593.
- Smith; P. (1980). *Notas en Tecnología de secado industrial.* Alto centro profesional, East Brunswick, NJ.
- Swinkels, J.J.M. (1985). *Composición y propiedades de la harina native commercial.* Rev. Carbohydrate Polymers
- Vazquez, O. (1994). Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales. Tesis de posgrado. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.
- Villabona, A.; Paz, I.C.; Martínez, J. (2012). Caracterización de la *Opuntia ficus indica* para su uso como espesante natural. Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Colombia.
- Whistler, R.L.; Paschall, E.F. (1965). *Harina: Química y Tecnología.* Vol 01. Aspectos Fundamentales. Edit. Academic Press, New York, USA.
- Zhang, P; Wistler, L; Bemiller, J; Hamaker, B. (2005). *Harina de platano: producción, propiedades fisicoquímicas y digestibilidad.* Rev. Carbohydrate Polymers

## **ANEXOS**

## **ANEXO: DATOS DE RESULTADOS DE EXPERIMENTO**

**ANEXO 1:** Pruebas de Múltiple Rangos para el rendimiento de extracción por solventes

**Variedad *Echinopsis pachanoi* (San pedro)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
<i>Agua</i>	3	0.129733	X
<i>NaCl</i>	3	0.2602	X
<i>Etanol</i>	3	0.264667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
<i>Agua - Etanol</i>	*	-0.134933	0.0297094
<i>Agua - NaCl</i>	*	-0.130467	0.0297094
<i>Etanol - NaCl</i>		0.00446667	0.0297094

\* indica una diferencia significativa.

**Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
<i>Etanol</i>	3	0.0285333	X
<i>Agua</i>	3	0.0532	X
<i>NaCl</i>	3	0.156367	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
<i>Agua - Etanol</i>		0.0246667	0.0268455
<i>Agua - NaCl</i>	*	-0.103167	0.0268455
<i>Etanol - NaCl</i>	*	-0.127833	0.0268455

\* indica una diferencia significativa.

### Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
<i>Agua</i>	3	0.402067	X
<i>NaCl</i>	3	0.5244	X
<i>Etanol</i>	3	0.654667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.2526	0.04478
Agua - NaCl	*	-0.122333	0.04478
Etanol - NaCl	*	0.130267	0.04478

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 2:** Datos del pH del espesante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	San Pedro	7.02	7.38	7.33
R2	San Pedro	6.98	7.33	7.34
R3	San Pedro	6.94	7.32	7.31
R1	Ulluquite	6.78	7.33	7.23
R2	Ulluquite	6.72	7.32	7.30
R3	Ulluquite	6.76	7.31	7.26
R1	Tuna	6.71	7.20	7.16
R2	Tuna	6.68	7.23	7.22
R3	Tuna	6.65	7.19	7.19

Pruebas de Múltiple Rangos para el pH del espesante por solventes

**Variedad *Echinopsis pachanoi* (San pedro)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Etanol	3	6.98	X
Agua	3	7.32667	X
NaCl	3	7.34333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	0.346667	0.0774426
Agua - NaCl		-0.0166667	0.0774426
Etanol - NaCl	*	-0.363333	0.0774426

\* indica una diferencia significativa.

**Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Etanol	3	6.68	X
Agua	3	7.19	X
NaCl	3	7.20667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	0.51	0.0683546
Agua - NaCl		-0.0166667	0.0683546
Etanol - NaCl	*	-0.526667	0.0683546

\* indica una diferencia significativa.

**Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Etanol	3	6.75333	X
Agua	3	7.26333	X
NaCl	3	7.32	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	0.51	0.0688629
Agua - NaCl	*	-0.0566667	0.0688629
Etanol - NaCl	*	-0.566667	0.0688629

\* indica una diferencia significativa.

### ANEXO 3: Construcción de la curva de calibración de Proteínas

Componente	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8
Albúmina (mg)	0	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875	1
Agua (mL)	1	0.875	0.75	0.625	0.5	0.375	0.25	0.125	0
Concentración (mg/mL)	0	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875	1
SOL ABC	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sol Folin + agua	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Absorvancia (625 nm)	<b>0.001</b>	<b>0.095</b>	<b>0.15</b>	<b>0.227</b>	<b>0.219</b>	<b>0.283</b>	<b>0.29</b>	<b>0.916</b>	<b>1.226</b>

#### Determinación de modelos de Curva Patrón

ABS	Concentración de albúmina
-----	---------------------------

X	Y
0.001	0.000
0.095	0.125
0.150	0.250
0.227	0.375
0.219	0.500
0.283	0.625
0.290	0.750
0.916	0.875
1.226	1.000

#### Resumen

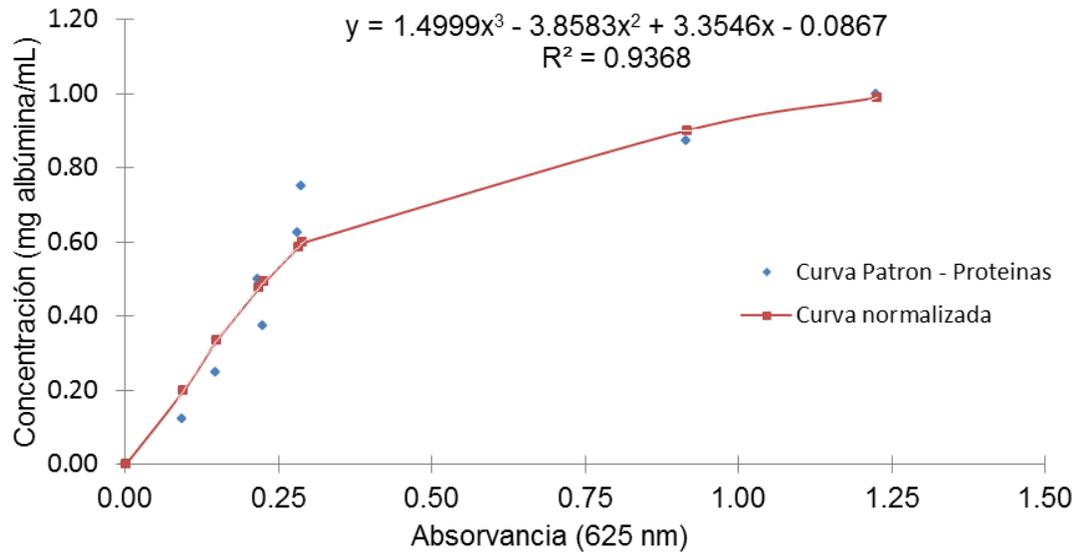
##### Estadísticas de la regresión

Coeficiente de correlación múltiple	0.8562
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.7331
R <sup>2</sup> ajustado	0.695
Error típico	0.1891
Observaciones	9

X	X2	Y (experim)	Y (Modelo)	Resumen	
0.001	1E-06	0.0000	0.0080		
0.095	0.009	0.1250	0.2097	Estadísticas de la regresión	
0.15	0.0225	0.2500	0.3176	Coeficiente de correlación múltiple	0.9461
0.227	0.0515	0.3750	0.4560	Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.8952
0.219	0.048	0.5000	0.4423	R <sup>2</sup> ajustado	0.8602
0.283	0.0801	0.6250	0.5475	Error típico	0.128
0.29	0.0841	0.7500	0.5584	Observaciones	9
0.916	0.8391	0.8750	1.0407		
1.226	1.5031	1.0000	0.9199		

X	X2	X3	Y (experim)	Y (Modelo)	Resumen	
0.001	1E-06	1E-09	0.000	0.0000		
0.095	0.009	0.0009	0.125	0.1985	Estadísticas de la regresión	
0.15	0.0225	0.0034	0.250	0.3347	Coeficiente de correlación múltiple	0.9679
0.227	0.0515	0.0117	0.375	0.4935	Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.9368
0.219	0.048	0.0105	0.500	0.4787	R <sup>2</sup> ajustado	0.8989
0.283	0.0801	0.0227	0.625	0.5876	Error típico	0.1089
0.29	0.0841	0.0244	0.750	0.5982	Observaciones	9
0.916	0.8391	0.7686	0.875	0.9015		
1.226	1.5031	1.8428	1.000	0.9906		

Representación gráfica de la curva patrón para la determinación de proteínas



**ANEXO 4:** Datos de la absorbancia para la determinación de proteína en el espesante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	San Pedro	0.1690	0.0840	0.1440
R2	San Pedro	0.1680	0.0840	0.1410
R3	San Pedro	0.1700	0.0840	0.1410
R1	Ulluquite	0.5910	0.4200	0.6310
R2	Ulluquite	0.5930	0.4150	0.6310
R3	Ulluquite	0.5980	0.4100	0.6270
R1	Tuna	0.8710	0.1680	0.2160
R2	Tuna	0.8660	0.1670	0.2140
R3	Tuna	0.8440	0.1720	0.2090

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de proteínas en el espesante por solventes

**Variedad *Echinopsis pachanoi* (San pedro)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
NaCl	3	0.1688	X
Agua	3	0.316133	X
Etanol	3	0.377267	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.0611333	0.00662144
Agua - NaCl	*	0.147333	0.00662144
Etanol - NaCl	*	0.208467	0.00662144

\* indica una diferencia significativa.

**Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
NaCl	3	0.377267	X
Agua	3	0.467267	X
Etanol	3	0.898633	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.431367	0.0130442
Agua - NaCl	*	0.09	0.0130442
Etanol - NaCl	*	0.521367	0.0130442

\* indica una diferencia significativa.

### Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
NaCl	3	0.748133	X
Etanol	3	0.8589	X
Agua	3	0.870233	X

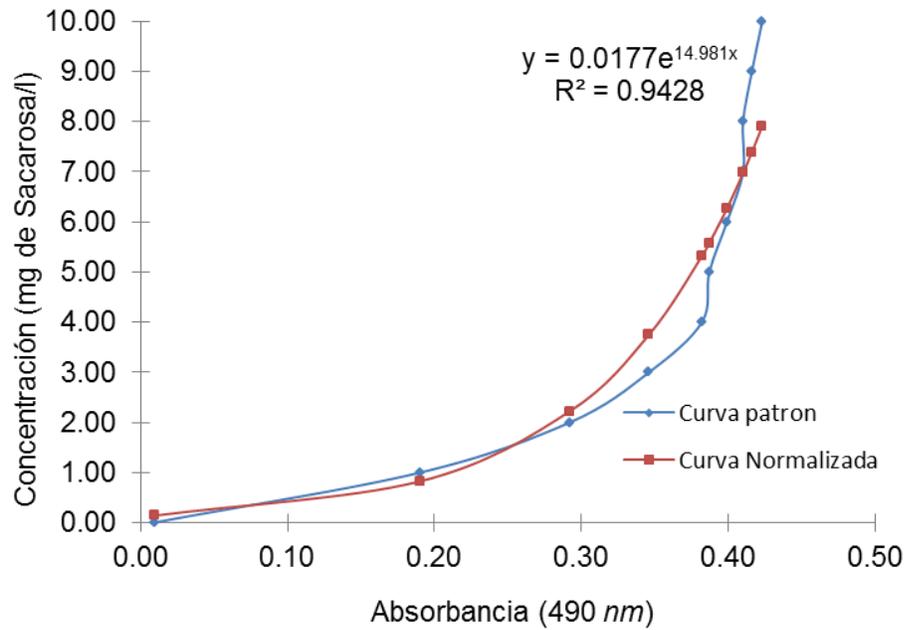
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	0.0113333	0.00696633
Agua - NaCl	*	0.1221	0.00696633
Etanol - NaCl	*	0.110767	0.00696633

\* indica una diferencia significativa.

### ANEXO 5: Construcción de la curva de calibración de Sacarosa

Componente	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sacarosa (mg)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Concentración (mg/l)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Solución de Fenol (mL)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Ácido Sulfúrico (mL)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Absorbancia	0	0.19	0.29	0.35	0.38	0.39	0.4	0.41	0.41	0.42	0.42

Representación gráfica de la curva patrón para la determinación de Sacarosa



**ANEXO 6:** Datos de la absorbancia para la determinación de sacarosa en el espesante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	San Pedro	0.3704	0.0228	0.0476
R2	San Pedro	0.4114	0.0222	0.0455
R3	San Pedro	0.2829	0.0228	0.0441
R1	Ulluquite	0.2829	0.0498	0.0313
R2	Ulluquite	0.2745	0.0483	0.0342
R3	Ulluquite	0.2705	0.0462	0.0327
R1	Tuna	0.3142	0.0353	0.0332
R2	Tuna	0.3336	0.0369	0.0322
R3	Tuna	0.3004	0.0353	0.0308

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de sacarosa en el espesante por solventes

**Variedad *Echinopsis pachanoi* (San pedro)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
NaCl	3	0.0226	X
Agua	3	0.0457333	X
Etanol	3	0.3549	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.309167	0.0949739
Agua - NaCl		0.0231333	0.0949739
Etanol - NaCl	*	0.3323	0.0949739

\* indica una diferencia significativa.

**Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	0.0320667	X
NaCl	3	0.0358333	X
Etanol	3	0.316067	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.284	0.0242238
Agua - NaCl		-0.00376667	0.0242238
Etanol - NaCl	*	0.280233	0.0242238

\* indica una diferencia significativa.

### Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	0.0327333	X
NaCl	3	0.0481	X
Etanol	3	0.275967	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.243233	0.0097487
Agua - NaCl	*	-0.0153667	0.0097487
Etanol - NaCl	*	0.227867	0.0097487

\* indica una diferencia significativa.

### ANEXO 7 : Datos para la determinación del IAA del espesante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	San Pedro	0.7389	0.7571	0.7718
R2	San Pedro	0.7245	0.7651	0.7721
R3	San Pedro	0.7375	0.7619	0.7686
R1	Ulluquite	0.4424	0.3430	0.3584
R2	Ulluquite	0.4655	0.3469	0.3577
R3	Ulluquite	0.4589	0.3518	0.3490
R1	Tuna	0.7119	0.7375	0.8015
R2	Tuna	0.7101	0.7434	0.8144
R3	Tuna	0.7206	0.7396	0.8138

Pruebas de Múltiple Rangos

**Variedad *Echinopsis pachanoi* (San pedro)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Etanol	3	0.733633	X
NaCl	3	0.761367	X
Agua	3	0.770833	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Agua - Etanol	*	0.0372	0.0131798
Agua - NaCl		0.00946667	0.0131798
Etanol - NaCl	*	-0.0277333	0.0131798

\* indica una diferencia significativa.

**Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
NaCl	3	0.347233	X
Agua	3	0.355033	X
Etanol	3	0.4556	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Agua - Etanol	*	-0.100567	0.0198552
Agua - NaCl		0.0078	0.0198552
Etanol - NaCl	*	0.108367	0.0198552

\* indica una diferencia significativa.

### Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Etanol	3	0.7142	X
NaCl	3	0.740167	X
Agua	3	0.8099	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	0.0957	0.0139849
Agua - NaCl	*	0.0697333	0.0139849
Etanol - NaCl	*	-0.0259667	0.0139849

\* indica una diferencia significativa.

### ANEXO 8: Datos para la determinación del ISA del espesante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	San Pedro	33.2850	34.4050	34.4750
R2	San Pedro	32.2350	34.2650	34.5800
R3	San Pedro	33.7050	33.9150	34.5450
R1	Ulluquite	18.4450	19.0400	19.8450
R2	Ulluquite	18.5850	18.5150	19.9850
R3	Ulluquite	18.1650	18.6200	20.3350
R1	Tuna	29.2250	28.7350	33.0750
R2	Tuna	29.1900	29.2250	34.6150
R3	Tuna	29.5750	29.5750	34.4400

Pruebas de Múltiples Rangos

**Variedad *Echinopsis pachanoi* (San pedro)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Etanol	3	33.075	X
NaCl	3	34.195	X X
Agua	3	34.5333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Agua - Etanol	*	1.45833	1.157
Agua - NaCl		0.338333	1.157
Etanol - NaCl		-1.12	1.157

\* indica una diferencia significativa.

**Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Etanol	3	18.3983	X
NaCl	3	18.725	X
Agua	3	20.055	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Agua - Etanol	*	1.65667	0.624823
Agua - NaCl	*	1.33	0.624823
Etanol - NaCl		-0.326667	0.624823

\* indica una diferencia significativa.

### Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
NaCl	3	29.1783	X
Etanol	3	29.33	X
Agua	3	34.0433	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	4.71333	1.39806
Agua - NaCl	*	4.865	1.39806
Etanol - NaCl		0.151667	1.39806

\* indica una diferencia significativa.

### ANEXO 9: Datos de la densidad aparente del espesante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	San Pedro	0.5040	0.4158	0.3574
R2	San Pedro	0.5491	0.4573	0.3862
R3	San Pedro	0.5135	0.4279	0.4241
R1	Ulluquite	0.4650	0.3007	0.2237
R2	Ulluquite	0.5060	0.3487	0.2603
R3	Ulluquite	0.4628	0.2889	0.2003
R1	Tuna	0.6575	0.4739	0.4080
R2	Tuna	0.6288	0.5063	0.4218
R3	Tuna	0.6777	0.4946	0.4180

Pruebas de Múltiple Rangos para la densidad aparente del espesante por solventes

**Variedad *Echinopsis pachanoi* (San pedro)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	0.389233	X
NaCl	3	0.433667	X
Etanol	3	0.5222	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.132967	0.0669095
Agua - NaCl		-0.0444333	0.0669095
Etanol - NaCl	*	0.0885333	0.0669095

\* indica una diferencia significativa.

**Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	0.415933	X
NaCl	3	0.4916	X
Etanol	3	0.654667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.238733	0.0439629
Agua - NaCl	*	-0.0756667	0.0439629
Etanol - NaCl	*	0.163067	0.0439629

\* indica una diferencia significativa.

### Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	0.2281	X
NaCl	3	0.312767	X
Etanol	3	0.477933	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	-0.249833	0.0724613
Agua - NaCl	*	-0.0846667	0.0724613
Etanol - NaCl	*	0.165167	0.0724613

\* indica una diferencia significativa.

### ANEXO 10: Datos de la temperatura de gelatinización espesante natural

Replica	Variedad	Etanol	NaCl	Agua
R1	San Pedro	70.00	70.00	71.00
R2	San Pedro	69.00	69.00	72.00
R3	San Pedro	70.00	69.00	71.00
R1	Ulluquite	77.00	77.00	76.50
R2	Ulluquite	78.00	78.00	78.00
R3	Ulluquite	77.00	79.00	77.00
R1	Tuna	79.00	79.00	77.00
R2	Tuna	78.00	80.00	77.00
R3	Tuna	79.00	80.00	78.00

Pruebas de Múltiple Rangos para la temperatura de gelatinización del espesante por solventes

**Variedad *Echinopsis pachanoi* (San pedro)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
NaCl	3	69.3333	X
Etanol	3	69.6667	X
Agua	3	71.3333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	1.66667	1.44641
Agua - NaCl	*	2.0	1.44641
Etanol - NaCl		0.333333	1.44641

\* indica una diferencia significativa.

**Variedad *Opuntia ficus* (Tuna)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	77.3333	X
Etanol	3	78.6667	X X
NaCl	3	79.6667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol		-1.33333	1.44641
Agua - NaCl	*	-2.33333	1.44641
Etanol - NaCl		-1.0	1.44641

\* indica una diferencia significativa.

**Variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquite)**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Agua	3	77.1667	X
Etanol	3	77.3333	X
NaCl	3	78.0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol		-0.166667	2.00246
Agua – NaCl		-0.833333	2.00246
Etanol – NaCl		-0.666667	2.00246

\* indica una diferencia significativa

ANEXO 11: MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROYECTO DE TESIS

Matriz de consistencia del proyecto de tesis

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DEFINICIÓN DE OPERACIONES					RECOLECCIÓN DE DATOS		
			VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALORES ESC.	DISEÑO O MÉTODO	TÉCNICA	INSTRUMENTO
¿En qué medidas es posible extraer espesantes alimenticios a partir de tres variedades de Cactáceas?	<b>Objetivo general</b> Comparar métodos de extracción de espesantes alimenticios de tres variedades de cactáceas ( <i>Cactaceae</i> ).	<b>Hipótesis general</b> Existe diferencia significativa en el contenido de espesante entre las tres variedades de cactáceas	<b>VARIABLES Independientes:</b> Métodos de extracción y variedad de cactaceas	Se refiere al efecto de métodos de extracción en el rendimiento de espesantes	comparación	Método Variedad	Cualitativo cualitativo	Experimental descriptivo	Aplicación Observación	Registro de datos.
	<b>Objetivo específico</b> Comparar el rendimiento de extracción utilizando diferentes métodos para las tres variedades de cactáceas ( <i>Cactaceae</i> )	<b>Hipótesis específicos</b> -Los métodos de extracción influyen significativamente en el rendimiento de extracción en cada variedad de cactácea.	<b>VARIABLES dependientes:</b> • Rendimiento de extracción • Características fisicoquímicas • Propiedades tecnofuncionales	Se refiere al rendimiento de espesantes cristalizados	Análisis físico químico	Rendimiento de extracción	Porcentaje (%)	Calculo con datos experimentales	Determinación indirecta	Registro de datos.
	Realizar la identificación fisicoquímica de los espesantes extraídos de las tres variedades de Cactáceas.	-La caracterización fisicoquímica de los espesantes extraídos de las tres variedades de Cactáceas permiten conocer sus características de identificación.				Características físico químicas <b>Ph. Solubilidad</b> <b>Proteínas</b> <b>Polisacaridos</b>	Soluble Insoluble Mg de albumina/mL al 1% Sacarosa Mg/l	Calculo con datos experimentales	Medidas instrumentales	Registro de datos.
	Determinar las propiedades tecnofuncionales: índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), Densidad Aparente (DA), Temperatura de gelatinización (TG), grado de Sinérisis (SN) del espesante extraído de las tres especies de cactáceas.	-Los espesantes extraídos de las diferentes variedades de cactáceas muestran un alto índice de solubilidad, absorción de agua, densidad aparente y temperatura de gelatinización.				Propiedades tecnofuncional	IAA=g de gel/g de espesante ISA = % DA = g/ml TG = °C	Calculo con datos experimentales	Medidas instrumentales	Registro de datos.

## ANEXO 11: FOTOGRAFÍAS DE LA EXPERIMENTACIÓN



Pencas o cladodios de Cactáceas enteras y picadas de las tres variedades



Vista de materia prima en proceso



Filtrado de zumo de las tres variedades de Cactáceas con diferentes solventes



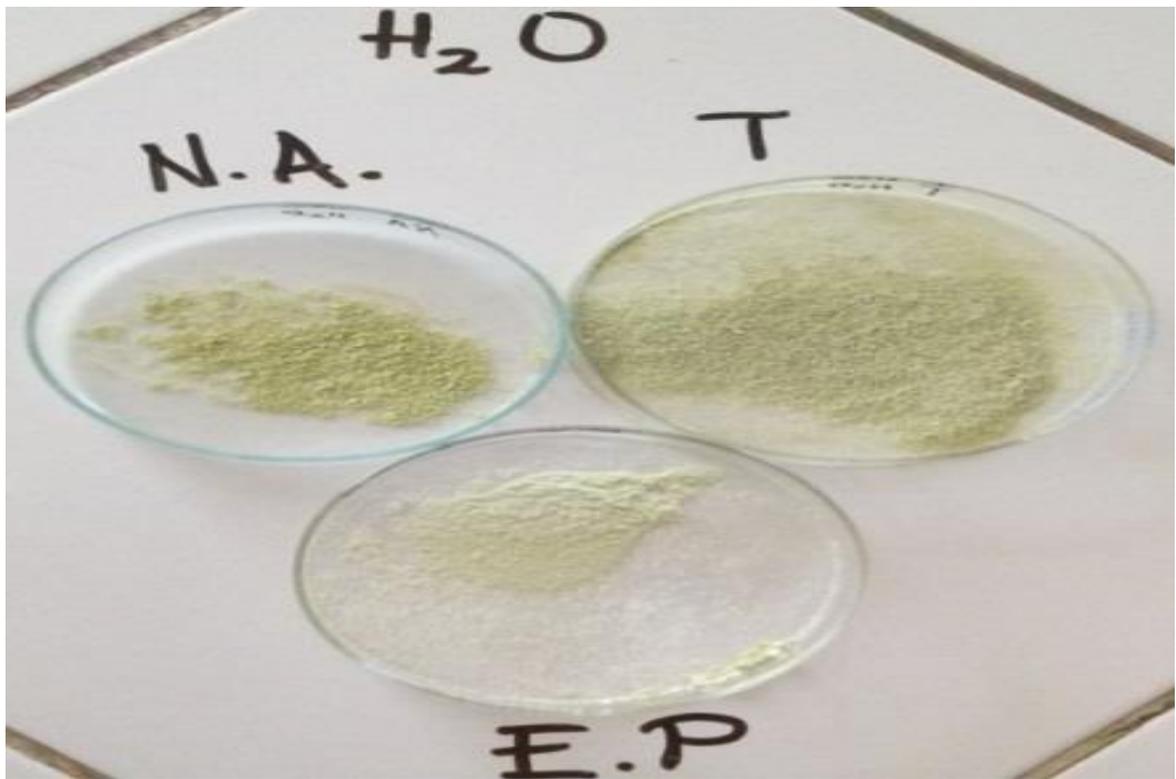
Decantación de zumo filtrado



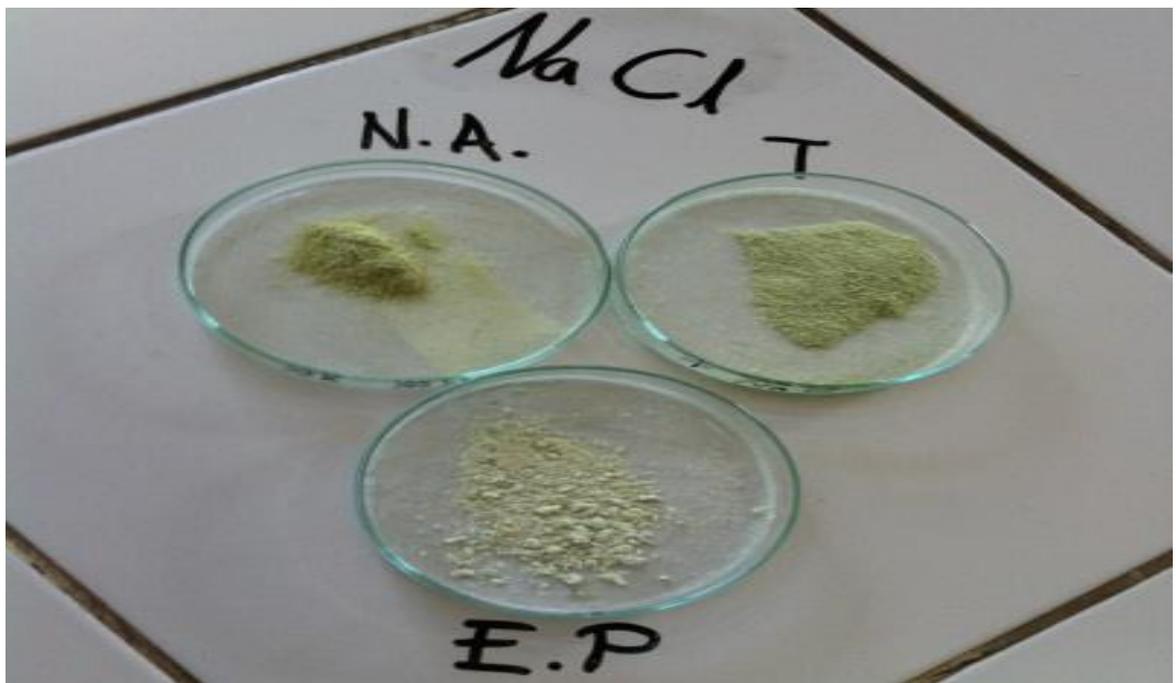
Secado de los espesantes de las tres variedades



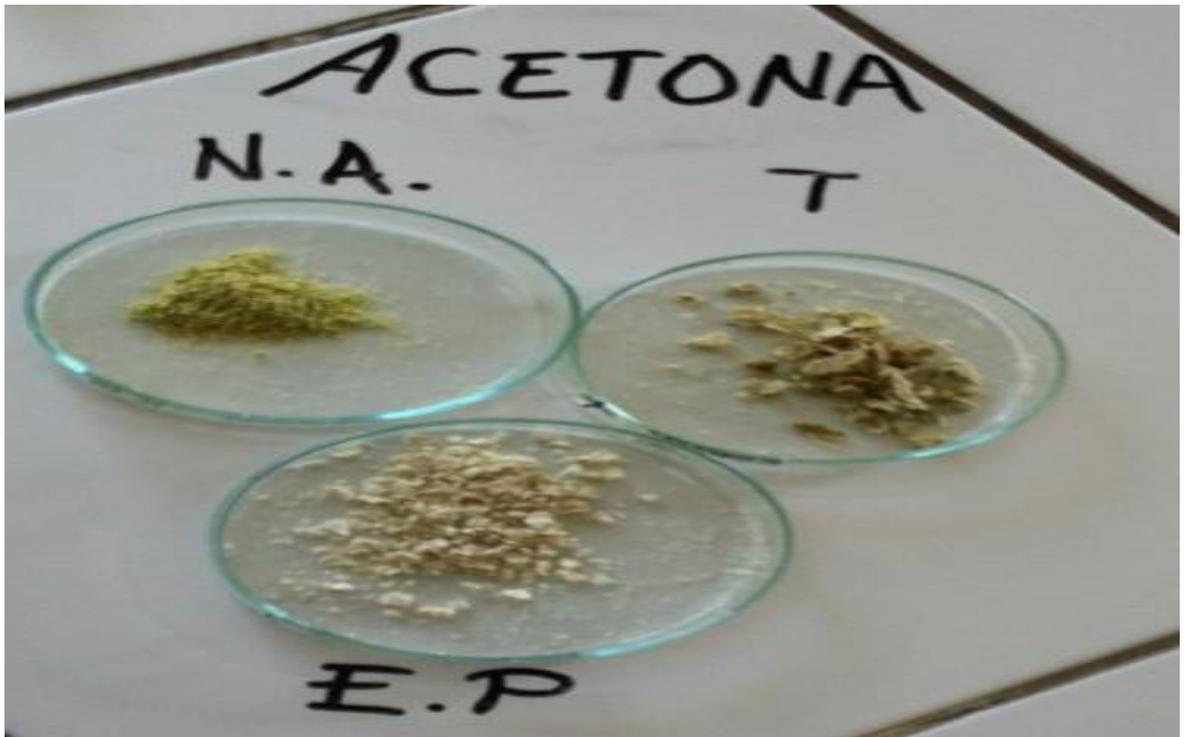
Molido de espesantes



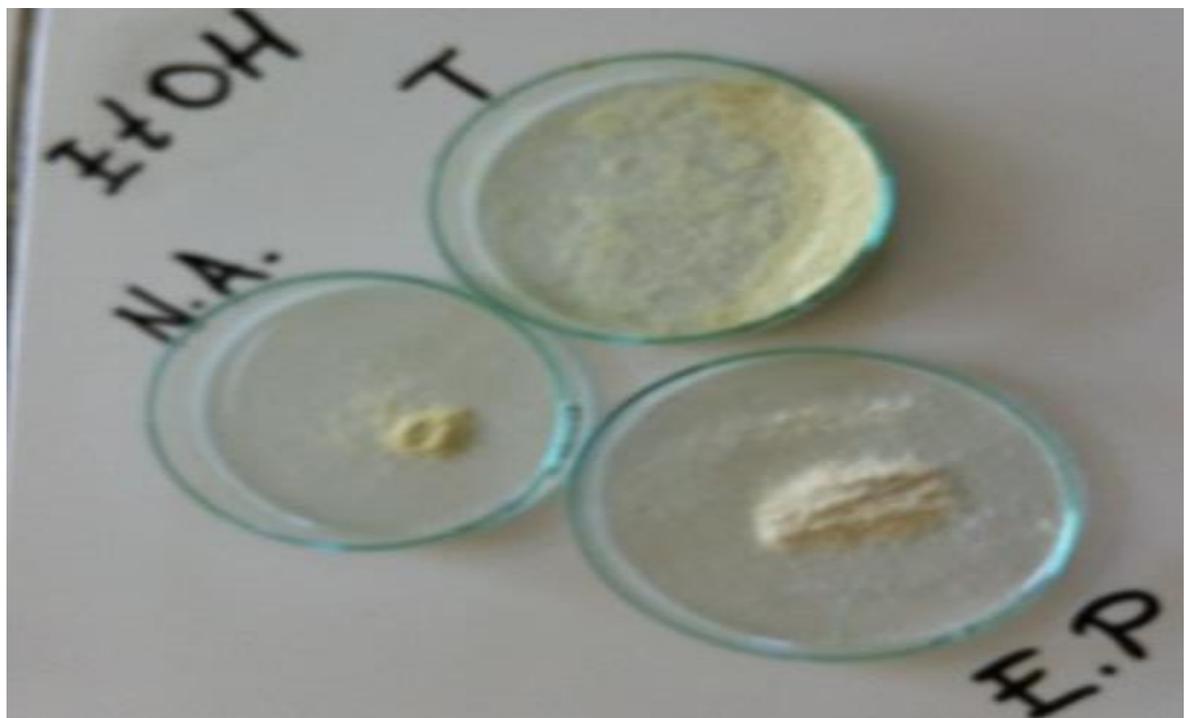
Espesante cristalizado extraído con agua



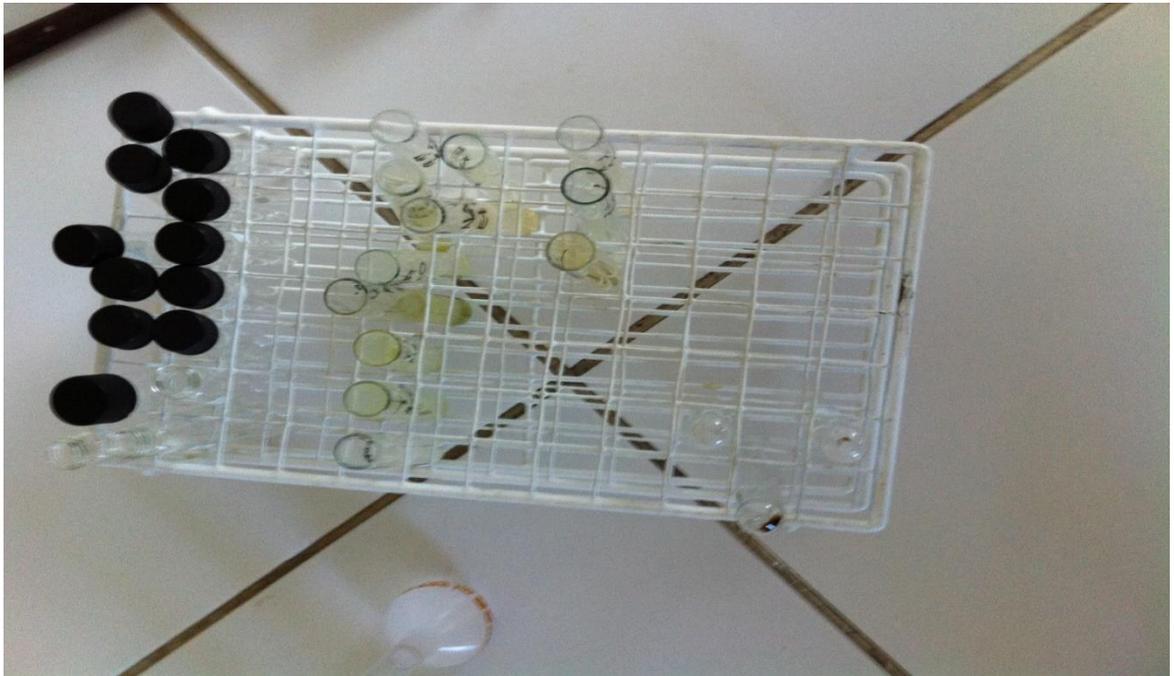
Espesantes cristalizados extraídos con cloruro de sodio



Espesante cristalizado extraído con acetona



Espesantes cristalizados extraídos con etanol



Determinación de solubilidad de espesantes



Determinación de Proteínas



Determinación de polisacáridos



Determinación del ISA e IAA



Control de la Temperatura de Gelatinización



Lectura en el espectrofotómetro