

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

“EXTRACCIÓN DE PECTINA DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*) POR MEDIO ÁCIDO APLICANDO DOS NIVELES DE TEMPERATURA, TIEMPO Y ESTADOS DE MADUREZ”

Proyecto de tesis presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial.

Autor (s) Aza Espinosa Marcela Elizabeth
Méndez Arellano Mario Antonio

INTRODUCCIÓN

El nopal es una planta que sobrevive a climas secos y desérticos se desarrolla en suelos calcáreos, es endémica de América del cual se conoce 258 especies 100 de ellos se encuentran en México y se informa que existe más de 10000 ha de plantaciones especializadas en la producción de nopal para el consumo humano.

En países como México el nopal es una de las materias primas más importantes para la elaboración de productos alimentarios y no alimentarios como son: conservas, cochinilla de nopal y para fines medicinales, entre otros. En algunos países el nopalito se prefiere consumir fresco en vez de procesado.

En la provincia de Imbabura sectores como valle del Chota, Chalguayacu entre otros se ha intensificado el cultivo del nopal para la producción de tuna la que sirve como fuente de ingresos para muchos agricultores; sin embargo se desconoce otras alternativas que ofrece el nopal por sus grandes características físico- químicas y reo lógicas.

Los productores de la comunidad de Juncal, perteneciente a la parroquia de Pimampiro, Chalguayacu han tecnificado sus formas de cultivos y desean aprovechar de mejor manera la materia prima que comúnmente se desecha. Mediante esta investigación podemos dar una nueva alternativa de producción que fomente el progreso de las comunidades.

La pectina es un heteropolisacárido que se encuentra en frutos frescos, se lo extrae de desechos cítricos pero también se lo puede obtener de materia primas como hojas de nopal, bagazo de caña, cáscara de plátano, etc. La característica principal es su poder gelificante, es utilizado en la elaboración de mermeladas, jaleas y fines medicinales es un aditivo importante para la calidad del producto final.

Las hojas de nopal excretan un mucilago con capacidad de gelificación que ha sido descrito como pectina, para su extracción por medio ácido se determinó los parámetros de temperatura, tiempo de extracción y estado de madurez con el fin de obtener un buen rendimiento y una buena calidad.

El campo Agroindustrial no sólo se enfoca en la parte del proceso de transformación; también es su compromiso investigar nuevas formas de aprovechamiento de los recursos existentes para desarrollar un manejo integral adecuado, que incentive y ayude al productor agrícola a ofertar productos que luego garanticen: seguridad y salud al consumidor, fomentando y desarrollando investigación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Extraer la pectina del Nopal (*Opuntia ficus indica*) por medio ácido aplicando dos niveles de temperatura, tiempo y estados de madurez.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el mejor tratamiento para la extracción de pectina en medio ácido (ácido clorhídrico 0,2 N) a temperaturas de 80 y 90 °C a un tiempo de 30 y 60min, en los dos estados de madurez tierno y maduro.
- Evaluar las propiedades físico- químicas y organolépticas de la pectina obtenida para todos los tratamientos.
- Caracterizar a la materia prima y el producto final mediante un análisis químico para los dos estados de madurez y el mejor tratamiento.
- Identificar a la pectina obtenida mediante pruebas físicas de: precipitación y solubilidad en alcohol, gelificación y solubilidad en agua caliente.

HIPÓTESIS

Hi: La temperatura de la solución nopal-ácido, el tiempo de extracción y estado de madurez influyen en el rendimiento y la calidad de la pectina.



MARCO



TEÓRICO

NOPAL (*Opuntia ficus indica*)

Definición .- Es una planta extremadamente tolerante a las altas temperaturas y a la falta de lluvia. El género *Opuntia* se adapta fácilmente a las zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvias erráticas y tierras pobres sujetas a erosión, gracias a que se han desarrollado adaptaciones fenológicas, fisiológicas y estructurales con el fin de mantener su desarrollo en este ambiente adverso.

Características generales de las especies

La taxonomía de los nopales es muy compleja por varias razones ya citadas. Sólo un intenso trabajo de campo puede permitir reconocer e identificar las especies, sus variedades y adaptaciones reflejadas en su fenotipo. “Se conocen casi 300 especies del género *Opuntia*, propias del lugares cálidos y semidesérticos .

Las características de estas especies son variables, diferenciándose en la forma de los cladodios, en la presencia o ausencia de espinas, en el tamaño y color de los frutos y en otras características botánicas.

Clasificación taxonómica de la *Opuntia ficus indica*.

| | |
|-------------|-----------------------|
| Reino: | <u>Plantae</u> |
| Subreino: | <u>Tracheobionta</u> |
| División: | <u>Magnoliophyta</u> |
| Clase: | <u>Magnoliopsida</u> |
| Subclase: | <u>Caryophyllidae</u> |
| Orden: | <u>Caryophyllales</u> |
| Familia: | <u>Cactaceae</u> |
| Subfamilia: | <u>Opuntioideae</u> |
| Tribu: | <u>Opuntieae</u> |

Composición química del Nopal

| COMPONENTE | NOPAL |
|-----------------------|--------------|
| Humedad % | 94.33 |
| Proteína (x 6,25) | 0.48 |
| Grasa % | 0.11 |
| Fibra % | 1.06 |
| Cenizas % | 1.60 |
| Carbohidratos % | 2.43 |
| Vitamina C (mg/100g*) | 23.11 |
| Ca % | 0.339 |
| Na % | 0.0183 |
| K % | 0.145 |
| Fe % | 0.322 |

Valor Nutricional

Cuadro de valor nutricional

| CONCEPTO | CONTENIDO |
|---------------------|-----------|
| Porción Comestible | 78.00 |
| Energía (Kcal) | 27.00 |
| Proteína (gr.) | 1.70 |
| Grasas (gr.) | 0.30 |
| Carbohidratos (gr.) | 5.60 |
| Calcio (mg.) | 93.00 |
| Hierro (mg.) | 1.60 |
| Tiamina (mg.) | 0.03 |
| Riboflavina (mg.) | 0.06 |
| Niacina (mg.) | 0.03 |
| Ascórbico (mg.) | 8.00 |

Corresponde a 100 g de peso Neto de Nopal Fresco

Propiedades funcionales de cladodios

Los compuestos funcionales son aquellos que tienen efectos beneficiosos para la salud y tanto los frutos como los cladodios de la tuna son una fuente interesante de tales componentes entre los que destacan la fibra, los hidrocoloides (mucílagos), los pigmentos (betalaínas y carotenoides), los minerales (calcio, potasio), y algunas vitaminas como la vitamina C, buscada entre otros motivos, por sus propiedades antioxidantes; todos estos compuestos son muy apreciados desde el punto de vista de una dieta saludable y también como ingredientes para el diseño de nuevos alimentos.

Usos del Nopal

- Tuna
- Alimentos
- Alimentación Animal
- Hospedero para la producción de grana cochinilla
- Conservador del suelo
- Propiedades medicinales
- Cosméticos

Aprovechamiento de la pectina de nopal

Las pectinas son utilizadas ampliamente en la industria de alimentos como agentes hidrocoloides (gomas) gelificantes. Tienen como componente común y principal, a una cadena lineal central constituida de unidades de ácido poli-a-D-galacturónico unidas por enlaces glicosídicos 1-4. Dependiendo del origen botánico y el proceso de extracción los grupos carboxílicos están parcialmente esterificados con metanol y en ciertas pectinas los grupos hidroxilo están parcialmente acetilados.

Actualmente, la industria de extracción de pectina en México, está soportada en los desechos de cítricos, no obstante, de cara al futuro, nuevas fuentes de pectina pueden ser muy atractivas desde el punto de vista económico.

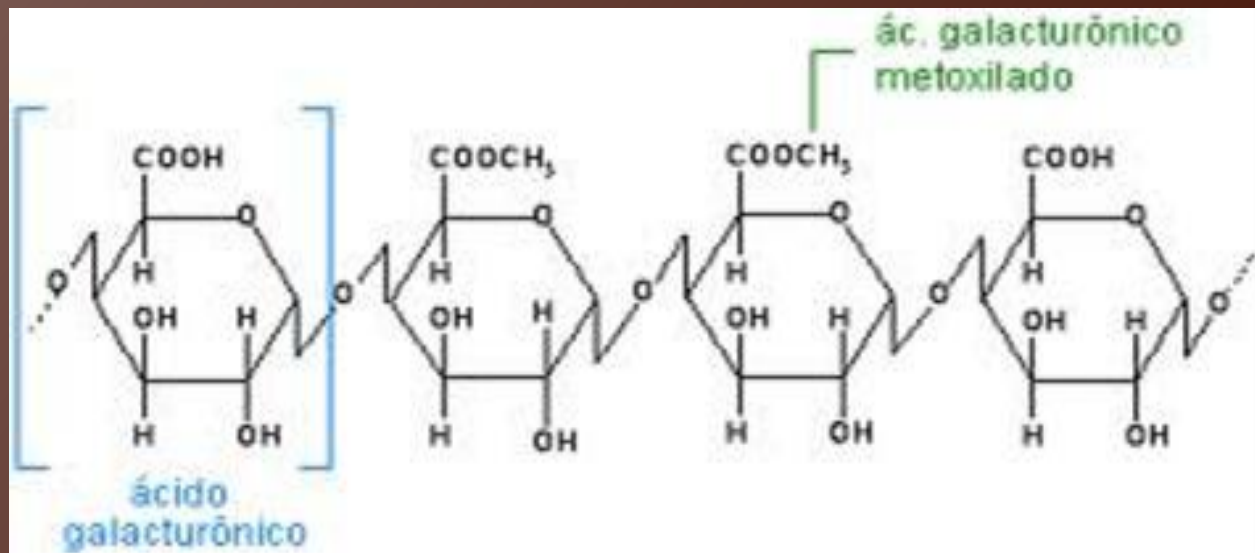
PECTINA

Definición.-- La pectina es polisacárido natural, uno de los constituyentes mayoritarios de las paredes de las células vegetales y se obtiene a partir de los restos de la industria de fabricación de zumos de naranjas, limón y sidra. Es más barato que los otros gelificantes con la excepción del almidón forman geles en medios ácidos en presencia de cantidades grandes de azúcar.

Localización y estructura de las pectinas

La naturaleza de las sustancias pécticas que constituyen la protopectina evoluciona con la edad del tejido, y de una forma muy manifiesta cuando se trata de frutos. Hasta la maduración son insolubles, participando así en mantener la rigidez; pero alcanzada esta fase se va produciendo una degradación de la laminilla media (generalmente de tipo enzimático), con aparición de meatos intercelulares donde se acumulan los compuestos pécticos, que poco a poco absorben agua y se solubilizan parcialmente.

Estructura representativa de la pectina



Características químicas

- Grado de Esterificación
- El grado de metoxilación
- Enlaces de calcio

Características físicas

- Materia prima
- Temperatura.
- Peso Molecular de la Pectina
- pH.
- Precipitación
- Solubilidad
- Degradación

Tipos de pectina

Las pectinas se clasifican: según su “poder gelificante (grado), su grado de metoxilación.

Pectinas de alto metoxilo donde GE es mayor al 50%.

Pectinas de bajo metoxilo donde GE es menor al 50%

Las pectinas de alto metoxilo pueden encontrarse en el mercado de tres tipos:

| Gelificación de la pectina | Porcentaje esterificación |
|----------------------------|---------------------------|
| Lenta | 60 - 67 |
| Mediana | 68 - 70 |
| Rápida | 71 - 76 |

Pectina de bajo Metoxilo.

Al contrario de las pectinas de alto metoxilo las pectinas de bajo metoxilo (LM) forman geles termorreversibles por interacción con el calcio presente en el medio; el pH y la concentración de sólidos son factores secundarios que influyen en la velocidad y la temperatura de gelificación y además en la textura final del gel.

En efecto estas pectinas tienen la propiedad de formar gel cuyo soporte esta constituido por una estructura reticular de PECTINATOS DE CALCIO, mientras su contenido de sólidos solubles puede bajar hasta 2%, y el valor de pH acercarse a la neutralidad. Para la gelificación, por esto, la sola presencia de la pectina y de las sales de calcio es necesaria y suficiente.

METODOS DE EXTRACCIÓN DE PECTINA

- Hidrólisis ácida
- Acción de enzimas
- Medio Alcalino

A collection of laboratory glassware including test tubes, flasks, and beakers, with the text 'MATERIALES Y MÉTODOS' overlaid in white.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES Y EQUIPOS

MATERIALES

Materiales de vidrio
Buretas
Mufla
Mortero
Embudos
Pinzas
Papel filtro
Jarras 1lt
Guantes (térmicos ,caucho ,industriales)
Mesas
Envases para muestras
Cuchillos
Ollas
Agitador
Filtro o colador

EQUIPOS

Balanza
Licuadora industrial
Cocina
Secador
Termómetro
Cronómetro
Potenciómetro
Molino manual
Viscosímetro

INSUMOS

Ácido Clorhídrico
Etanol

MATERIA PRIMA

Nopal
Agua desmineralizada

LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

Caracterización Del Área De Estudio

| | | |
|--------------|---|--------------------------|
| CANTÓN | : | Ibarra |
| PROVINCIA | : | Imbabura |
| PARROQUIA | : | El Sagrario |
| SITIO | : | Unidades Productivas UTN |
| ALTITUD | : | 2212 m.s.n.m. |
| LATITUD | : | 0° 20' Norte |
| HR. PROMEDIO | : | 73% |
| PLUVIOSIDAD | : | 503- 1000 m.m. Año |
| LONGITUD | : | 78° 08' oeste |
| TEMPERATURA | : | 18°C |

Fuente: Departamento de Meteorología de la Dirección de Aviación Civil Aeropuerto Militar Atahualpa de la Ciudad de Ibarra (24-03-2010)

FACTORES DE ESTUDIO

| | |
|---------------------------|------------------|
| FACTOR A | |
| ESTADO DE MADUREZ | |
| A1 | Tierno (6 meses) |
| A2 | Maduro (12meses) |
| FACTOR B | |
| TEMPERATURA DE EXTRACCIÓN | |
| B1 | 80 ° C |
| B2 | 90 ° C |
| FACTOR C | |
| TIEMPO DE EXTRACCIÓN | |
| C1 | 30 min |
| C2 | 60 min |

TRATAMIENTOS

| TRATAMIENTOS | FACTORES | | |
|--------------|----------|----|----|
| T1 | A1 | B1 | C1 |
| T2 | A1 | B1 | C2 |
| T3 | A1 | B2 | C1 |
| T4 | A1 | B2 | C2 |
| T5 | A2 | B1 | C1 |
| T6 | A2 | B1 | C2 |
| T7 | A2 | B2 | C1 |
| T8 | A2 | B2 | C2 |

DISEÑO EXPERIMENTAL

Diseño completamente al azar, 8 tratamientos y 3 repeticiones con arreglo factorial $A \times B \times C$ en el que **A** corresponde a la madurez del nopal, **B** a la temperatura de extracción y **C** al tiempo de extracción.

CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

| | |
|--------------------------------|----|
| REPETICIONES | 3 |
| TRATAMIENTOS | 8 |
| UNIDADES EXPERIMENTALES | 24 |

TAMAÑO DE UNIDAD EXPERIMENTAL

Cada unidad experimental consto de 10 kg de Nopal fresco en los estados de madurez tierno (6 meses) y maduro (12 meses).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

| F de V | GL |
|--------------------|----|
| TOTAL | 23 |
| TRATAMIENTOS | 7 |
| A | 1 |
| B | 1 |
| C | 1 |
| A x B | 1 |
| A x C | 1 |
| B x C | 1 |
| A x B x C | 1 |
| ERROR EXPERIMENTAL | 16 |

ANÁLISIS FUNCIONAL

- Se calculó el coeficiente de variación (CV%)
- Prueba de Tukey para tratamientos y prueba de DMS para factores.

VARIABLES A EVALUARSE

VARIABLES CUANTITATIVA

- Rendimiento
- Grado de Esterificación
- Sólidos Solubles
- Acidez titulable
- Viscosidad relativa

VARIABLES CUALITATIVAS

- Olor
- Color
- Textura

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA EXTRACCIÓN DE PECTINA DE NOPAL

MATERIA PRIMA
NOPAL



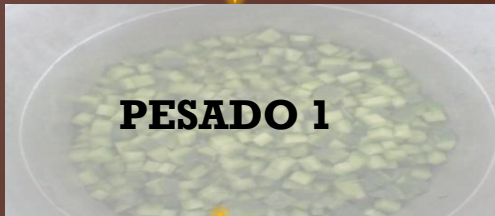
1

1



2

2



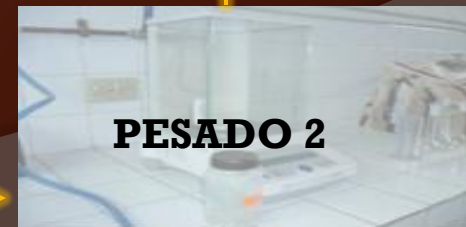
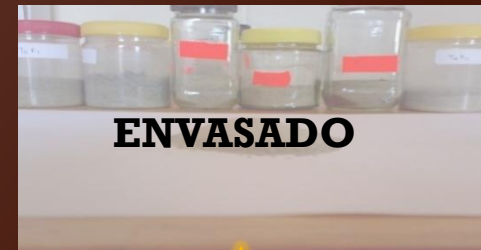
3

3



4

4



RESULTADOS Y

DISCUSIONES



• RENDIMIENTO

ADEVA de la variable de rendimiento (%)

| F.V. | G.L. | S.C | C.M | F. Cal. | F.T 1% | F. 5% |
|------------------------|------|---------|---------|----------|--------|-------|
| Total | 23 | 0,07886 | | | | |
| Tratamientos | 7 | 0,07146 | 0,01021 | 22,073** | 4,030 | 2,660 |
| FA (Estado de Madurez) | 1 | 0,02470 | 0,02470 | 53,414** | 8,530 | 4,490 |
| FB (Temperatura) | 1 | 0,01000 | 0,01000 | 21,631** | 8,530 | 4,490 |
| FC (Tiempo) | 1 | 0,00700 | 0,00700 | 15,144** | 8,530 | 4,490 |
| I (AxB) | 1 | 0,00570 | 0,00570 | 12,333** | 8,530 | 4,490 |
| I (AxC) | 1 | 0,00350 | 0,00350 | 7,577* | 8,530 | 4,490 |
| I (BxC) | 1 | 0,01354 | 0,01354 | 29,270** | 8,530 | 4,490 |
| I (AxBxC) | 1 | 0,00700 | 0,00700 | 15,144** | 8,530 | 4,490 |
| ERROR EXP. | 16 | 0,00740 | 0,00046 | | | |

CV= 3,9918%

** : Altamente significativo

* : Significativo

NS : No significativo

Prueba de TUKEY para variables de rendimiento.

| TRATAMIENTOS | | MEDIAS | RANGOS |
|--------------|--------|--------|--------|
| T5 | A2B1C1 | 0,677 | a |
| T8 | A2B2C2 | 0,547 | b |
| T6 | A2B1C2 | 0,537 | b |
| T1 | A1B1C1 | 0,523 | b |
| T7 | A2B2C1 | 0,523 | b |
| T4 | A1B2C2 | 0,503 | b |
| T2 | A1B1C2 | 0,500 | b |
| T3 | A1B2C1 | 0,500 | b |

Pruebas de DMS para el factor A (Estado de madurez)

| FACTORES | MEDIAS | RANGOS |
|----------|--------|--------|
| A2 | 0,571 | a |
| A1 | 0,507 | b |

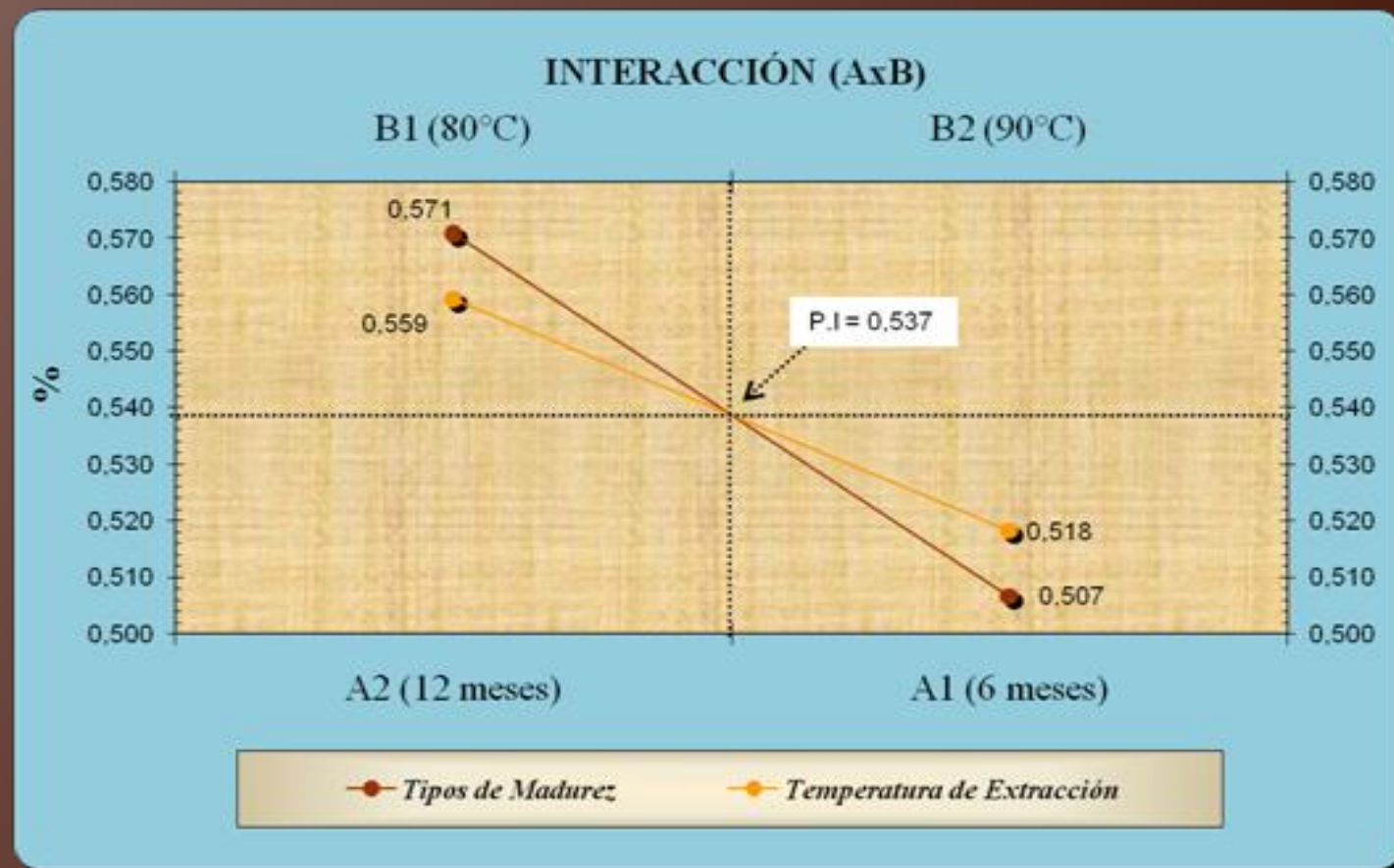
Pruebas de DMS para el factor B (temperatura de extracción)

| FACTORES | MEDIAS | RANGOS |
|-----------------|---------------|---------------|
| B1 | 0,559 | a |
| B2 | 0,518 | b |

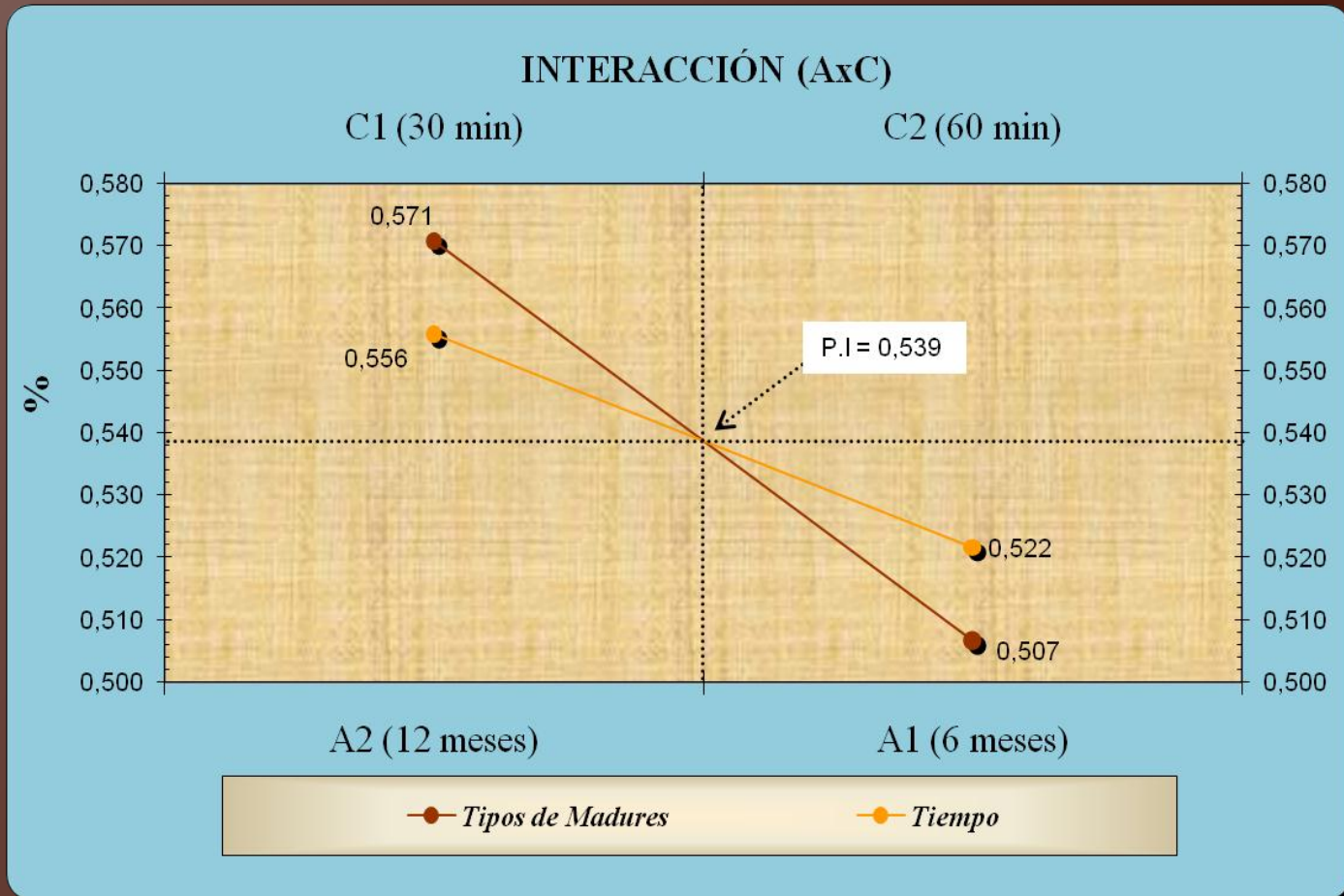
Pruebas de DMS para el factor C (tiempo de extracción)

| FACTORES | MEDIAS | RANGOS |
|-----------------|---------------|---------------|
| C1 | 0,556 | a |
| C2 | 0,522 | b |

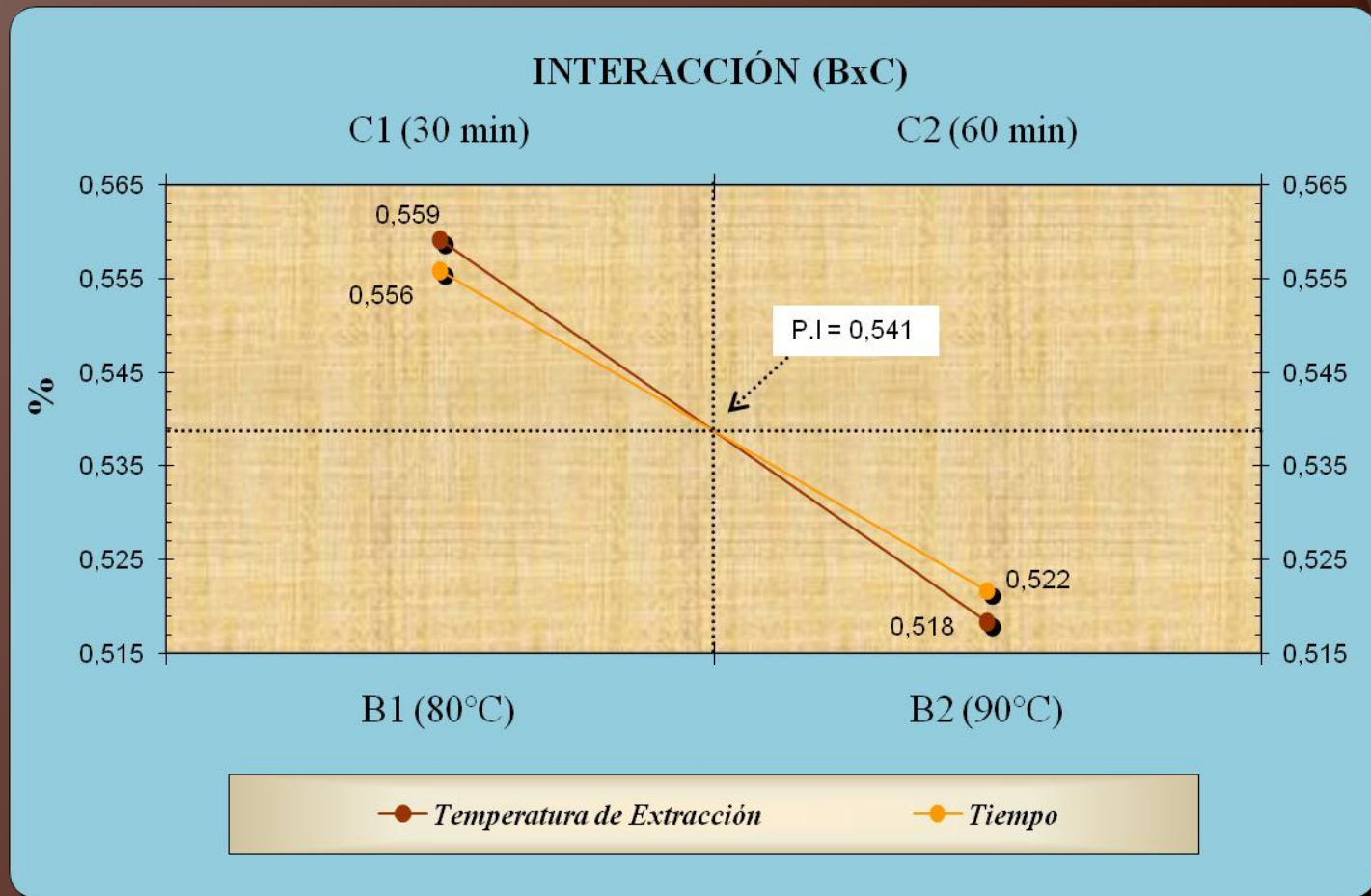
Efecto de las interacciones del rendimiento entre estado de madurez – temperatura de extracción



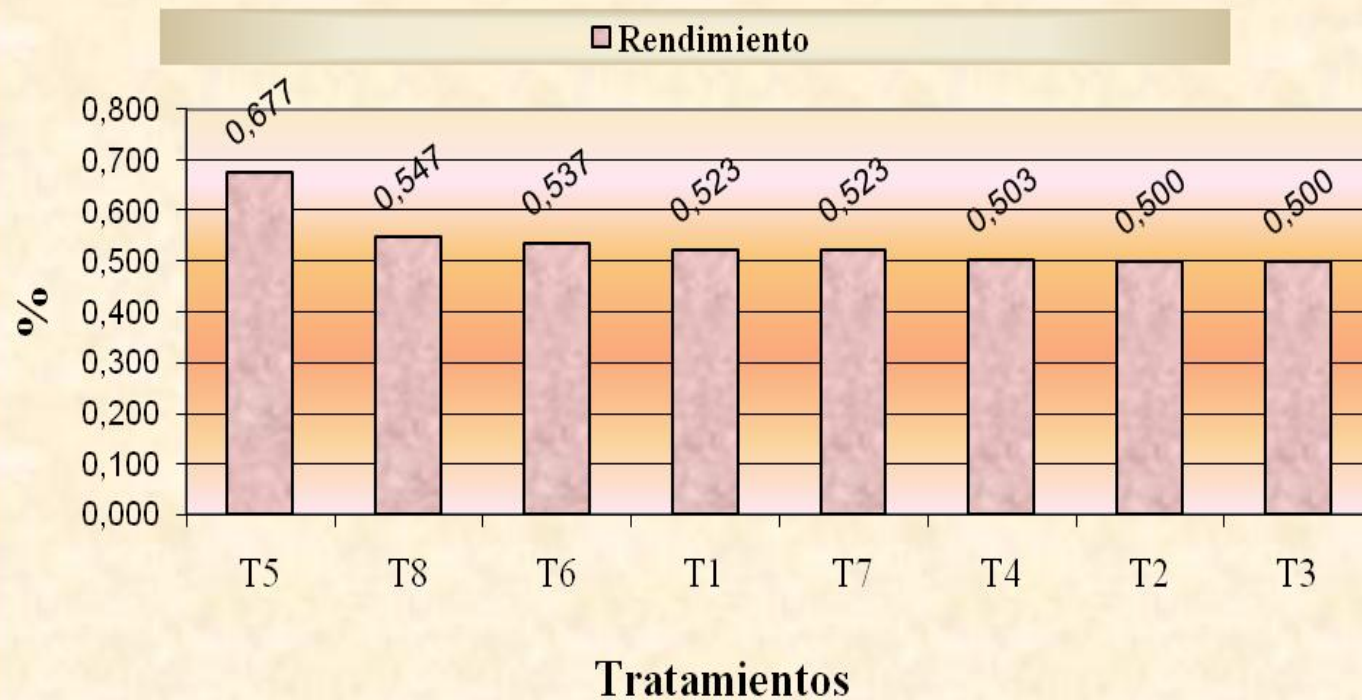
Efecto de las interacción del rendimiento entre estado de madurez – tiempo de extracción



Efecto de las interacción del rendimiento entre temperatura – tiempo de extracción



Comportamiento de la medias para el rendimiento al final del proceso de extracción



• GRADO DE ESTERIFICACIÓN

ADEVA de la variable grado de esterificación (%)

| F.V. | G.L. | S.C | C.M | F. Cal. | F.T 1% | F. 5% |
|-------------------------------|-------------|------------|------------|---------------------|---------------|--------------|
| Total | 23 | 159,67958 | | | | |
| Tratamientos | 7 | 136,34452 | 19,47779 | 13,355** | 4,030 | 2,660 |
| FA (Estado de Madurez) | 1 | 0,23602 | 0,23602 | 0,162 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| FB (Temperatura) | 1 | 0,73500 | 0,73500 | 0,504 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| FC (Tiempo) | 1 | 28,90815 | 28,90815 | 19,821** | 8,530 | 4,490 |
| I (AxB) | 1 | 0,88167 | 0,88167 | 0,605 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| I (AxC) | 1 | 0,25215 | 0,25215 | 0,173 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| I (BxC) | 1 | 103,66727 | 103,66727 | 71,081** | 8,530 | 4,490 |
| I (AxBxC) | 1 | 1,66427 | 1,66427 | 1,141 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| ERROR EXP. | 16 | 23,33507 | 1,45844 | | | |

CV= 4,6450 %

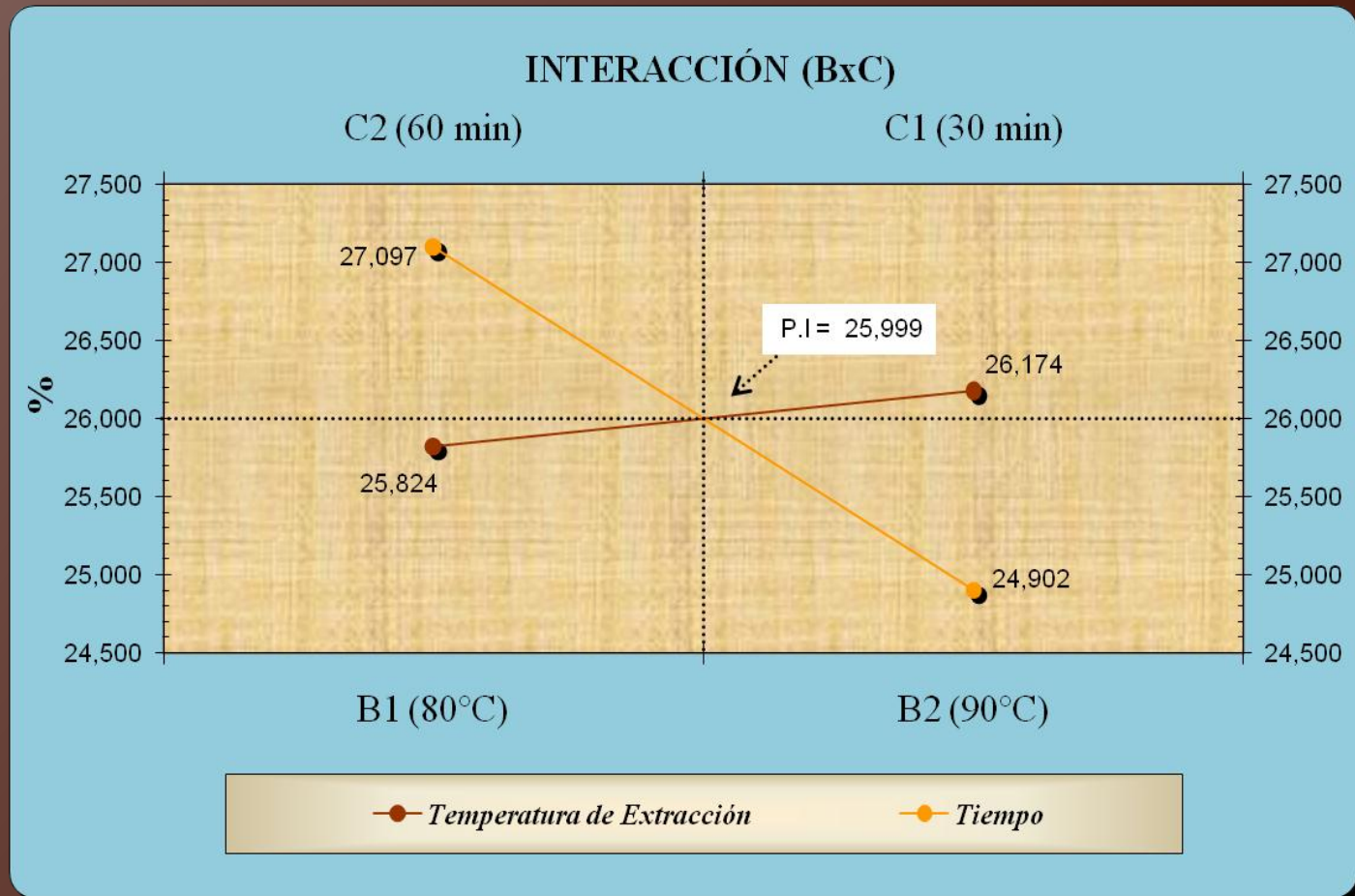
Pruebas TUKEY para tratamientos de la variable grado de esterificación

| TRATAMIENTOS | MEDIAS | RANGOS |
|--------------|--------|--------|
| T2 A1B1C2 | 29,253 | a |
| T6 A2B1C2 | 28,747 | a |
| T3 A1B2C1 | 27,230 | a |
| T7 A2B2C1 | 27,080 | a |
| T8 A2B2C2 | 25,850 | b |
| T4 A1B2C2 | 24,537 | b |
| T5 A2B1C1 | 22,717 | c |
| T1 A1B1C1 | 22,580 | c |

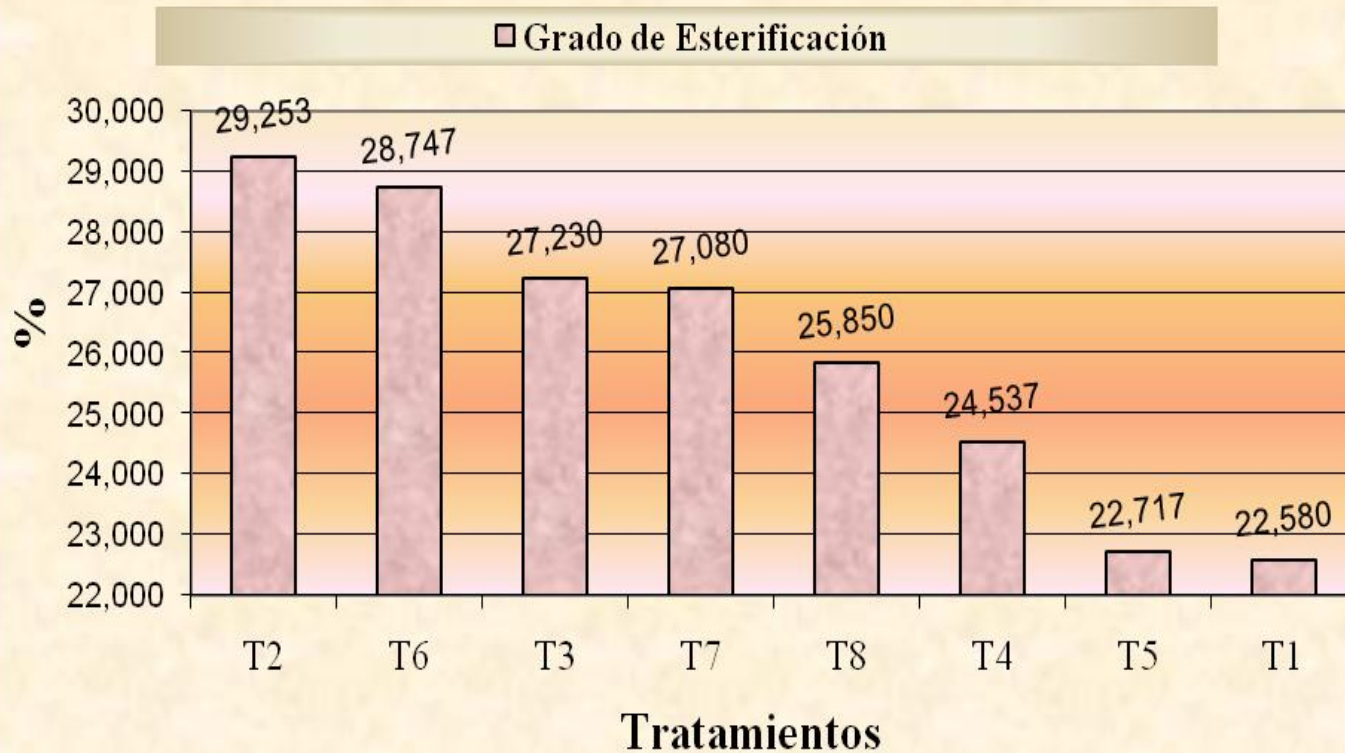
Pruebas de DMS para factor C (tiempo de extracción)

| FACTORES | MEDIAS | RANGOS |
|----------|--------|--------|
| C2 | 27,097 | a |
| C1 | 24,902 | b |

Efecto de las interacción del grado de esterificación entre temperatura de extracción – tiempo de extracción



Comportamiento de las medias del grado de esterificación



• SÓLIDOS SOLUBLES

ADEVA de la variable sólidos solubles (° Brix)

| F.V. | G.L. | S.C | C.M | F. Cal. | F.T 1% | F. 5% |
|-------------------------------|------|---------|---------|---------------------|--------|-------|
| Total | 23 | 1,41958 | | | | |
| Tratamientos | 7 | 1,23958 | 0,17708 | 15,741** | 4,030 | 2,660 |
| FA (Estado de Madurez) | 1 | 0,70042 | 0,70042 | 62,259** | 8,530 | 4,490 |
| FB (Temperatura) | 1 | 0,22042 | 0,22042 | 19,593** | 8,530 | 4,490 |
| FC (Tiempo) | 1 | 0,00042 | 0,00042 | 0,037 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| I (AxB) | 1 | 0,00375 | 0,00375 | 0,333 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| I (AxC) | 1 | 0,01042 | 0,01042 | 0,926 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| I (BxC) | 1 | 0,00042 | 0,00042 | 0,037 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| I (AxBxC) | 1 | 0,30375 | 0,30375 | 27,000** | 8,530 | 4,490 |
| ERROR EXP. | 16 | 0,18000 | 0,01125 | | | |

CV= 4,6537%

Pruebas TUKEY para tratamientos de la variable sólidos solubles

| TRATAMIENTOS | MEDIAS | RANGOS |
|--------------|--------|--------|
| T5 A2B1C1 | 2,633 | a |
| T8 A2B2C2 | 2,500 | a |
| T6 A2B1C2 | 2,433 | a |
| T1 A1B1C1 | 2,300 | b |
| T7 A2B2C1 | 2,233 | b |
| T4 A1B2C2 | 2,133 | b |
| T2 A1B1C2 | 2,133 | b |
| T3 A1B2C1 | 1,867 | c |

Pruebas de DMS para el factor A (estado de madurez)

| FACTORES | MEDIAS | RANGOS |
|----------|--------|--------|
| A2 | 2,450 | a |
| A1 | 2,108 | b |

Pruebas de DMS para el factor B (temperatura de extracción)

| FACTORES | MEDIAS | RANGOS |
|----------|--------|--------|
| B1 | 2,375 | a |
| B2 | 2,183 | b |

Comportamiento de las medias de sólidos solubles



• **ACIDEZ TITULABLE**

ADEVA de la variable Acidez titulable (mg/100g)

| F.V. | G.L. | S.C | C.M | F. Cal. | F.T 1% | F. 5% |
|-------------------------------|-------------|------------|------------|---------------------|---------------|--------------|
| Total | 23 | 0,01038 | | | | |
| Tratamientos | 7 | 0,00552 | 0,00079 | 2,591 ^{NS} | 4,030 | 2,660 |
| FA (Estado de Madurez) | 1 | 0,00240 | 0,00240 | 7,890* | 8,530 | 4,490 |
| FB (Temperatura) | 1 | 0,00060 | 0,00060 | 1,973 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| FC (Tiempo) | 1 | 0,00042 | 0,00042 | 1,370 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| I (AxB) | 1 | 0,00042 | 0,00042 | 1,370 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| I (AxC) | 1 | 0,00027 | 0,00027 | 0,877 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| I (BxC) | 1 | 0,00060 | 0,00060 | 1,973 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| I (AxBxC) | 1 | 0,00082 | 0,00082 | 2,685 ^{NS} | 8,530 | 4,490 |
| ERROR EXP. | 16 | 0,00487 | 0,00030 | | | |

CV= 2,1119 %

Pruebas de DMS para el factor A (Estado de madurez)

| FACTORES | MEDIAS | RANGOS |
|----------|--------|--------|
| A2 | 0,836 | a |
| A1 | 0,816 | b |

• VISCOSIDAD

ADEVA de la variable viscosidad (poises)

| F.V. | G.L. | S.C | C.M | F. Cal. | F.T 1% | F. 5% |
|-------------------------------|-------------|------------|------------|----------------|---------------|--------------|
| Total | 23 | 2,18535 | | | | |
| Tratamientos | 7 | 2,08050 | 0,29721 | 45,353 ** | 4,030 | 2,660 |
| FA (Estado de Madurez) | 1 | 1,70412 | 1,70412 | 260,038 ** | 8,530 | 4,490 |
| FB (Temperatura) | 1 | 0,01452 | 0,01452 | 2,216 NS | 8,530 | 4,490 |
| FC (Tiempo) | 1 | 0,21468 | 0,21468 | 32,759 ** | 8,530 | 4,490 |
| I (AxB) | 1 | 0,07581 | 0,07581 | 11,568 ** | 8,530 | 4,490 |
| I (AxC) | 1 | 0,04845 | 0,04845 | 7,394 * | 8,530 | 4,490 |
| I (BxC) | 1 | 0,00082 | 0,00082 | 0,126 NS | 8,530 | 4,490 |
| I (AxBxC) | 1 | 0,02209 | 0,02209 | 3,371 NS | 8,530 | 4,490 |
| ERROR EXP. | 16 | 0,10485 | 0,00655 | | | |

CV= 2,5754%

Pruebas TUKEY para tratamientos de la variable viscosidad

| TRATAMIENTOS | MEDIAS | RANGOS |
|--------------|--------|--------|
| T1 A1B1C1 | 3,504 | a |
| T2 A1B1C2 | 3,477 | a |
| T3 A1B2C1 | 3,415 | a |
| T4 A1B2C2 | 3,243 | b |
| T7 A2B2C1 | 3,023 | c |
| T5 A2B1C1 | 3,009 | c |
| T8 A2B2C2 | 2,793 | d |
| T6 A2B1C2 | 2,681 | d |

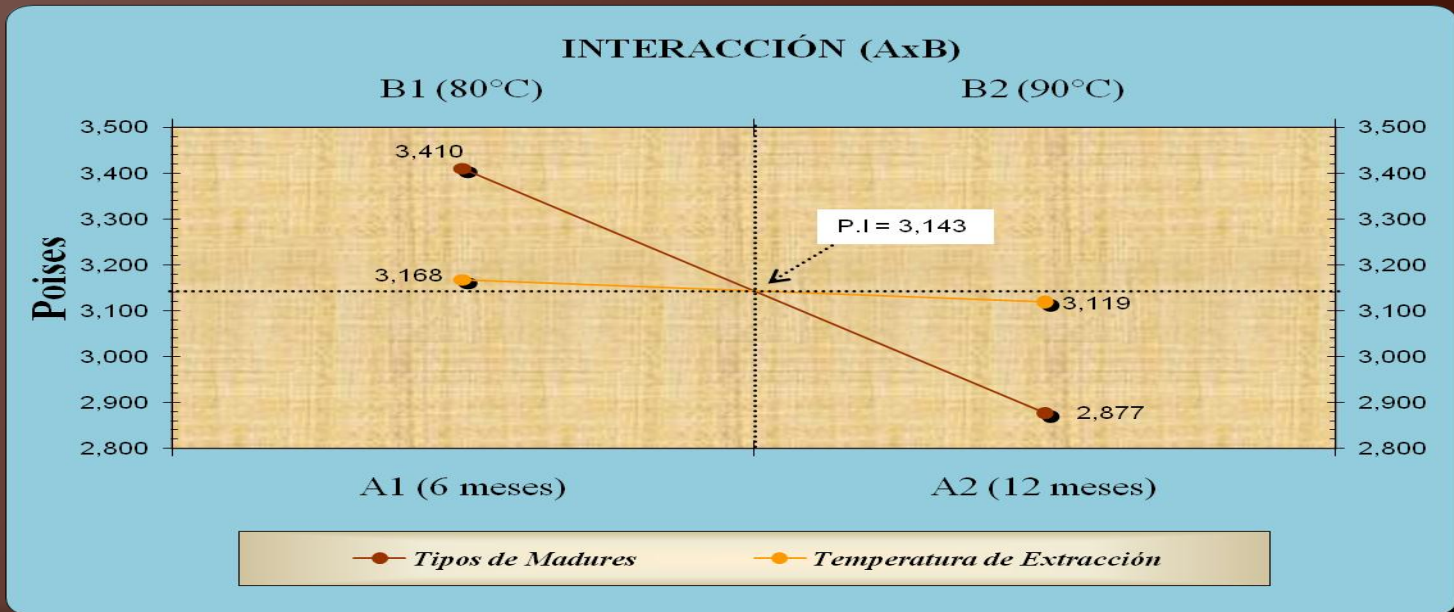
Pruebas de DMS para el factor A (estado de madurez)

| FACTORES | MEDIAS | RANGOS |
|----------|--------|--------|
| A1 | 3,410 | a |
| A2 | 2,877 | b |

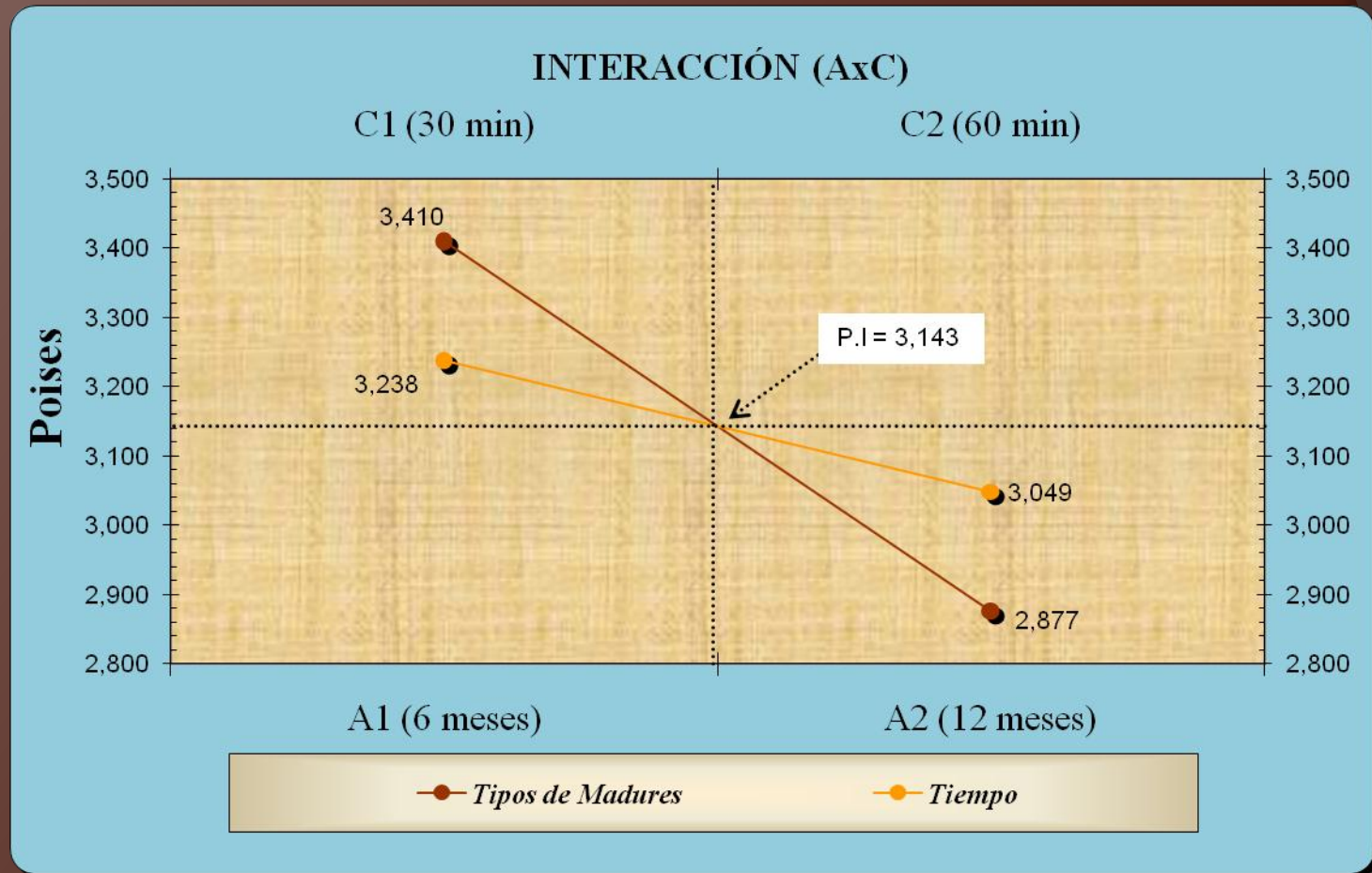
Pruebas de DMS para factor C (tiempo de extracción)

| FACTORES | MEDIAS | RANGOS |
|----------|--------|--------|
| C1 | 3,238 | a |
| C2 | 3,049 | b |

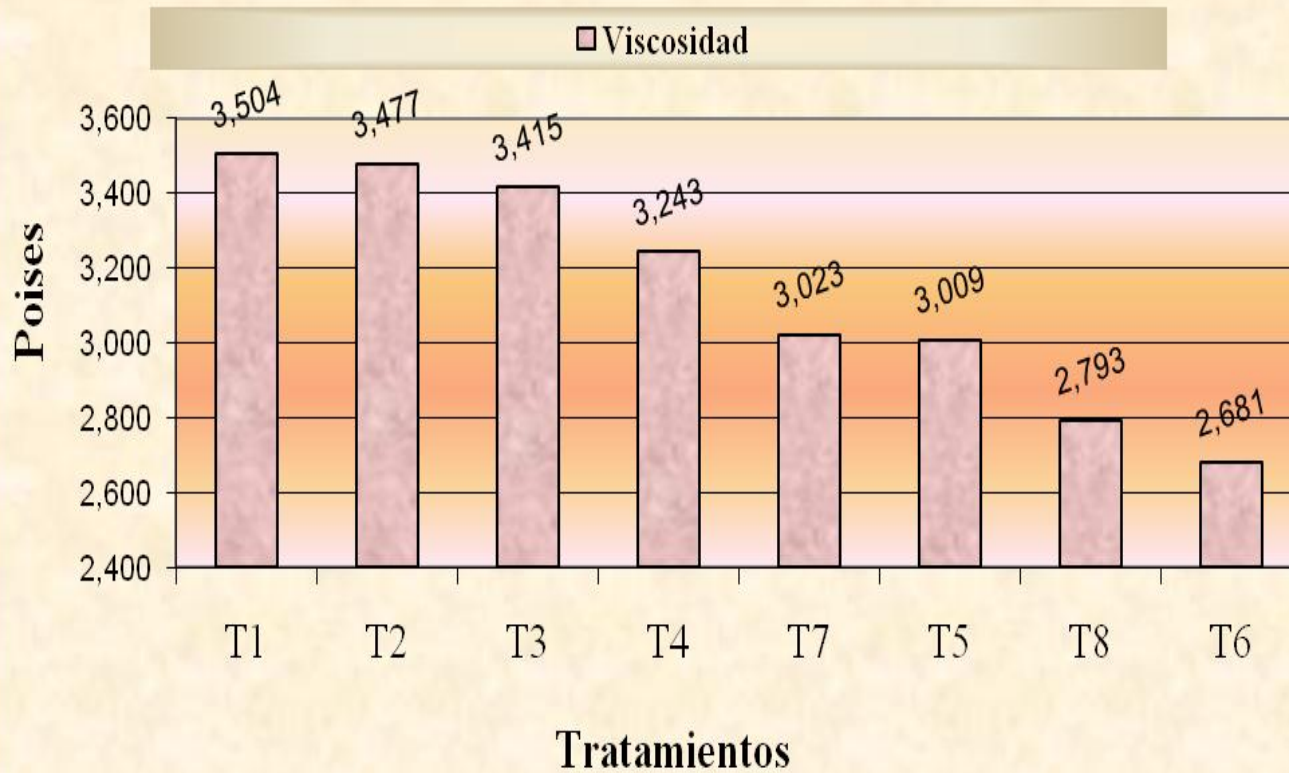
Efecto de la interacción de la viscosidad entre estado de madurez – temperatura de extracción



Efecto de las interacción de la viscosidad entre estado de madurez – tiempo de extracción



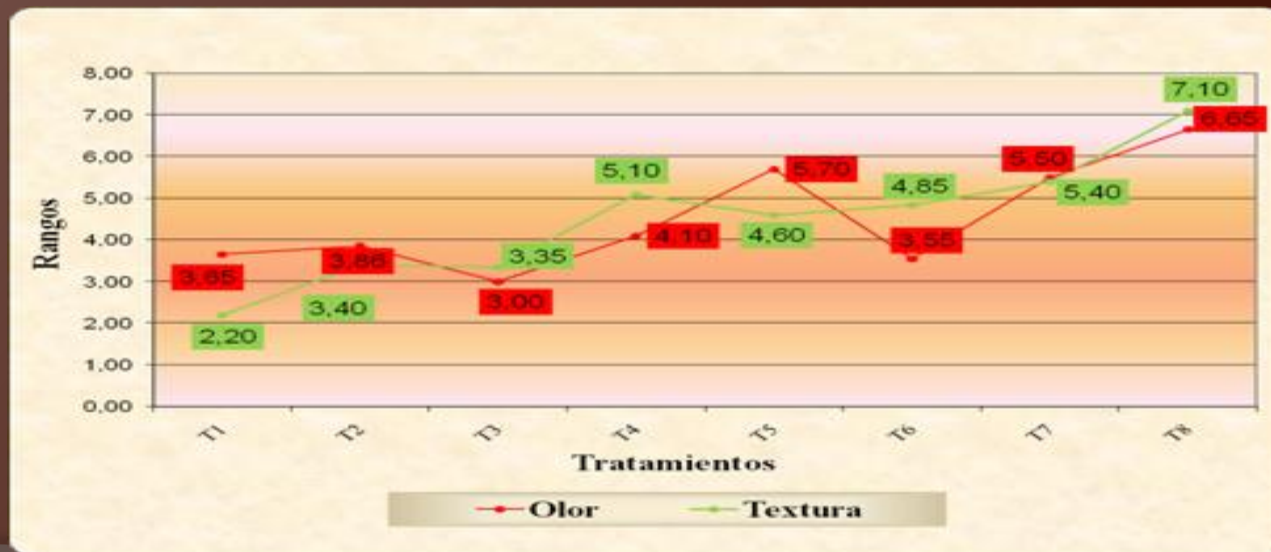
Comportamiento de medias para la viscosidad



Pruebas de significación de las variables cualitativas

| VARIABLE | VALOR CALCULADO χ^2 | VALOR TABULAR χ^2 | |
|----------|--------------------------|------------------------|------|
| | | 5% | 1% |
| COLOR | 10,86 ^{NS} | 14,1 | 18,5 |
| OLOR | 19,28** | 14,1 | 18,5 |
| TEXTURA | 26,48** | 14,1 | 18,5 |

Curvas para las variables no para métricas Olor, Textura



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

- Podemos concluir que los tres factores; madurez, temperatura extracción y tiempo de extracción influye significativamente en el rendimiento de la pectina obtenida. Esto significa que a mayor estado de madurez mejor contenido de pectina y por ende mayor rendimiento. Por el contrario entre menor temperatura y menor tiempo de extracción mayor será su rendimiento.
- Con respecto a los factores tiempo y madurez podemos concluir que influyen significativamente en la viscosidad, esto significa que la mejor consistencia de la pectina líquida se obtiene del estado maduro de 6 meses y aun tiempo mínimo de extracción los valores de la viscosidad son mayores y favorecen a la estabilidad de la pectina.

- Podemos concluir que los mejores valores de grado de esterificación se obtiene de los tratamientos: T2 (estado de madurez = 6 meses, temperatura de extracción = 80 ° C y tiempo extracción = 60 min) cuyo valor es 29,25 %, T3 (estado de madurez = 6 meses, temperatura de extracción 90 ° C y tiempo de extracción = 30 min) cuyo valor es de 28,74 %, y que pertenece a un tipo de pectina de bajo metoxilo por ser de un grado de esterificación inferior al 50%.
- Los parámetros de grado de esterificación, sólidos solubles y acidez titulable tiene una relación directa con la calidad de la pectina obtenida. Es decir que entre mayor sea el valor de grado de esterificación, sólidos solubles y acidez titulable mejor será la calidad de la pectina.
- Con respecto a los factores en estudio, se concluye que para obtener un buen rendimiento y una buena calidad de la pectina de nopal la madurez óptima es de 12 meses a una temperatura de 80 ° C , tiempo de extracción de 30 minutos.

- En el análisis sensorial podemos observar que la variable de color no presenta ninguna diferencia en cada tratamiento según el criterio de cada panelista.
- En la variable de olor y textura existe una aceptación variada por los panelistas, pero los tratamientos mayormente aceptados son T7 (estado de madurez = 12 meses, temperatura de extracción 90 °C y tiempo de extracción = 30min) T8 (madurez = 12 meses, temperatura de extracción = 90° C, Tiempo de extracción = 60min), que tuvieron la mayor aceptabilidad.
- Una vez realizada la caracterización de la materia prima en sus propiedades químicas podemos concluir que el contenido acuoso de las hojas de nopal inciden en el rendimiento debido a que poseen un bajo contenido de sólidos y un alto contenido de humedad cerca del 90 por ciento.

- En relación a la fibra contenida en el mejor tratamiento observamos que aumenta considerablemente su porcentaje esto favorece al valor nutricional y la calidad de la pectina.
- Una vez terminada las pruebas físicas de identificación de la pectina obtenida podemos concluir que todas tuvieron como resultado un valor positivo que identifica a la sustancia como pectina.
- Finalmente se confirmó la hipótesis planteada es decir, que la temperatura, estado de madurez y tiempo de extracción influyen significativamente en la calidad de pectina obtenida.

RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones planteadas durante esta investigación son las siguientes:

- Se recomienda que la medición del pH no se realice al inicio del proceso de sino después del corte y triturado, debido a que el nopal tiende a oxidarse y alterar el valor de p H que afectaría a la fase de hidrólisis.
- El ajuste de pH al valor de 2 se debe realizar lo más preciso posible por cuanto se derivan de esta los factores en estudio en especial la temperatura y el tiempo de extracción.
- Se recomienda investigar sobre otro método de extracción de pectina y comparar el rendimiento con el método aplicado en esta investigación.

- Se recomienda que se realice al menos 2 veces el proceso de filtrado para obtener un buen rendimiento y reducir las pérdidas. Para optimizar este proceso es necesario que se caliente la solución y se adicione nuevamente etanol con el fin de que se separe la pectina restante.
- Debido que la composición química del nopal difiere de una variedad a otra se hace necesario realizar una caracterización de la materia prima para obtener datos reales para la investigación.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN