



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

EXTRACCIÓN DE INULINA DE DOS VARIEDADES DE TUNA *Opuntia ficus-indica* COLOR ROJA Y BLANCA DEL VALLE DEL CHOTA POR LIXIVIACIÓN

Autor:

Richar Omar Pinango Cacuango

Director:

Ing. Marco Lara Fiallos M.Sc.

Asesores:

Bioq. Valeria Olmedo M.Sc.

Dra. Lucía Yépez M.Sc.

Lic. Silvio Álvarez M.Sc.

Ibarra-Ecuador

2019

Lugar de investigación:

Laboratorio de Análisis Experimental e Innovación de la Facultad de Ciencias Agropecuaria y Ambientales (FICAYA) de la Universidad Técnica del Norte

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

FICAYA-UTN

RICHAR OMAR PINANGO CACUANGO, "EXTRACCIÓN DE INULINA DE DOS VARIEDADES DE TUNA *Opuntia ficus-indica* COLOR ROJA Y BLANCA DEL VALLE DEL CHOTA POR LIXIVIACIÓN" TRABAJO DE GRADO. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agroindustrial, 23 de abril del 2019.

DIRECTOR: Ing. Marco Vinicio Lara Fiallos M.SC.

La presente investigación tuvo como objetivo la extracción de inulina de dos variedades de tuna *opuntia ficus-indica* color roja y blanca del valle del chota por lixiviación.

Ibarra 23 de abril del 2019



Ing. Marco Lara Fiallos M.Sc.
Director de tesis



Richar Omar Pinango Cacuango
Autor

HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR



NOMBRE: Richar Omar Pinango Cacuango

DOCUMENTO DE IDENTIDAD: 172426827-9

FECHA DE NACIMIENTO: 28 de noviembre de 1990

ESTADO CIVIL: Soltero

DIRECCIÓN: Tabacundo/ Nueva Esperanza, Panamericana Norte vía Cayambe km 46

TELÉFONO: (02) 2365-564

CELULAR: 0988116863

E-MAIL: ropinangoc@utn.edu.ec

AÑO: 2019

ARTÍCULO CIENTÍFICO

TÍTULO: EXTRACCIÓN DE INULINA DE DOS VARIEDADES DE TUNA *Opuntia ficus-indica* COLOR ROJA Y BLANCA DEL VALLE DEL CHOTA POR LIXIVIACIÓN

AUTOR:

Pinango Cacuango Richar Omar

DIRECTOR:

Ing. Lara Fiallos Marco Vinicio M.Sc.

RESUMEN:

La inulina es un carbohidrato de reserva energética presente en muchas especies de plantas, por su efecto es utilizada sobre las bifidobacterias intestinales como un prebiótico importante y en diversas aplicaciones industriales. En este estudio se establecieron las condiciones óptimas para obtener el mayor rendimiento de extracción de inulina cruda a partir de la tuna *Opuntia ficus-indica* mediante el proceso de extracción sólido-líquido. Para la cual se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial AxB. En la metodología se mantuvieron constantes el tiempo (45min.) y la velocidad de agitación (200rpm), variando la temperatura y la relación volumen disolvente/ masa soluto, con dos niveles en cada una. La máxima extracción de inulina se logró al trabajar a 85°C y a la relación de agua/tuna igual a 4ml/g, en las que se consiguió un rendimiento de 10, 63% para la tuna roja y 10, 83% para la tuna blanca, estableciéndose que el rendimiento de inulina se incrementa al subir la temperatura y la relación solvente/soluto, lo que evidenció el gran potencial que posee la tuna para la extracción de inulina.

DESCRIPTORES: Inulina/ Tuna/
Cuantificación

INULIN EXTRACTION OF TWO VARIETIES OF TUNA *Opuntia ficus-indica* RED AND WHITE COLOR FROM CHOTA VALLEY BY LIXIVIATION

ABSTRACT:

Inulin is an energy reserve carbohydrate that's in many plants species that is used as a prebiotic for its effect on intestinal bifidobacteria and other industrial applications. Optimal inulin extraction efficiency conditions over raw Tuna by liquid-solid extraction were established in this study. A completely random design with an AxB factorial arrangement was used. Time (45mins) and agitation speed (200rpm) were constants, temperature and solute mass/dissolvent volume relation varied at two levels each one. Best inulin extraction was at 85 °C and at 4 ml/g water/tuna relation with a 10,63% and 10,83% efficiency for red and white tuna respectively, establishing that efficiency increase over temperature and dissolvent/solute relation increase, showing the great potential in tuna inulin extraction.

DESCRIPTORS:

Inulin / Tuna / Quantification

INTRODUCCIÓN

Tuna

La tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) es una planta cactácea originaria de América; como centro de origen se considera a México, debido a que en este país se encuentra el mayor número de géneros e individuos. La tuna crece en diversos climas y terrenos, siendo resistentes a las sequías; se cultiva en suelos arenosos, calcáreos, pedregosos y en tierras

marginales y poco fértiles. (Terán , Navas , Petit , Garrido , & DÁubeterre, 2015)

En Ecuador se cultivan alrededor de 180 hectáreas de tuna; las provincias donde tiene mayor presencia son Imbabura, Loja, Santa Elena y Tungurahua, en las que se siembran las variedades: amarilla sin espina, la amarilla con espina, la blanca y la silvestre. Pese a que la planta de nopal no requiere mayor cuidado para su florecimiento, la producción aparece a los tres años de su siembra; este tiempo es necesario para que la planta consolide sus raíces y la savia madure, especialmente cuando se cambia de cultivos tradicionales de frutas y verduras, pues el suelo necesita un lapso para reponer sus propiedades. (Chávez, 2017)

Inulina

La inulina es compuesto de alto peso molecular, la molecula total consta de 30 unidades de fructosa con una unidad de glucosa en el extremo. La inulina es un carbohidrato de reserva energetica presente en varias especies de plantas, sobre todo , en los rizomas de las dalias y en las alcachofas, de donde se obtine industrialmente. (Hans & Wolfgang, 1987)

El uso de la inulina o sus derivados para cumplir funciones tecnológicas, simultaneamente aporta beneficios a la salud ya que tiene la capacidad de modular la flora intestinal, esto se debe a su efecto prebiótico; la inulina y derivados tienen un aporte calórico reducido (máximo de 1,5 kcal/g), atribuibles a la resistencia a la digestión y posterior hidrólisis y fermentación por la flora intestinal selectiva del intestino grueso. Por su efecto hipoglicemiante, la inulina se recomienda en la dieta de individuos con diabetes. (Madrigal & Sangronis, 2007)

MATERIALES

En la presente investigación se utilizó los siguientes materiales, equipos y sustancias:

Materiales y equipos de laboratorio

Materiales

- Vasos de precipitación de 100 ml A= [± 10 ml]
- Vasos de precipitación de 600 ml A= [± 100 ml]
- Erlenmeyer de 250 ml A= [± 50 ml]
- Probeta de 250 ml A= [± 2 ml]
- Pipeta de 5 ml A= [± 0.05 ml]
- Pipeta de 1 ml A= [± 0.01 ml]
- Tubos de ensayo con tapa
- Balón aforado de 50 ml
- Balón aforado de 250 ml
- Papel filtro
- Gradilla para tubos de ensayo
- Jeringas de 5 ml
- Celdas o cubetas para espectrofotómetro

Equipos

- Termómetro digital A= [± 0,1 °C] R= [-50 a +300] °C
- Termómetro de mercurio A= [± 1 °C] R= [-20 a + 100] °C
- Agitador mecánico
- Balanza analítica A= [± 0.1 g]
- Cronómetro A= [± 0.1 seg]
- Triturador
- Baño térmico SHAKER
- Estufa
- Medidor de pH (potenciómetro)
- Espectrofotómetro Uv-Visible

Sustancias y reactivos

- Tuna
- Agua Tipo 1
H₂O
- Alcohol potable
C₂H₅OH 50%
- Etanol
C₂H₅OH 96 %
- Hidróxido de calcio
Ca(OH)₂ 0.1 M
- Ácido clorhídrico
HCl 0,05 N
- Carbonato de sodio
Na₂CO₃ 0.045 M
- Cianuro de potasio
KCN 0.0092 M
- Bicarbonato de sodio
NaHCO₃ 0.109 M
- Ferricianuro de potasio
K₃Fe(CN)₆ 0.0015 M
- Sulfato férrico amoniacal
(FeNH₄(SO₄))₂ 0.0106 M
- Ácido sulfúrico
H₂SO₄ 0.05 M
- Inulina de achicoria marca Sigma

MÉTODOS

Caracterización fisicoquímica de la tuna

Para la caracterización de la materia prima, se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos de: humedad, fibra, pH, azúcares reductores y azúcares totales.

Diseño experimental

En la presente investigación se utilizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial A x B en el que (A) corresponde a Temperatura de extracción y (B) Relación disolvente/soluto.

VARIABLES DEL PROCESO

Las variables experimentales seleccionadas fueron la temperatura de extracción y la relación disolvente/materia prima, las dos

trabajadas con niveles, estas fueron asumidas entre los puntos medios del máximo y mínimo, según reportan los estudios de Lingyun.

- **Factor A:** Temperatura

A1: 75°C

A2: 85°C

- **Factor B:** Relación disolvente/soluto

B1: 3ml H₂O/g tuna

B2: 4ml H₂O/g tuna

La variable respuesta del diseño fue el rendimiento de inulina en el extracto, cuantificando el valor de la inulina por medio del espectrofotómetro UV-VIS expresada como azúcares reductores, utilizando el método de Park Johnson modificado por (Hizukuri, Takeda, Yasuda, & Suzuki, 1981), validada por (Alvarez, Jurado, Calixto, & Alarcón, 2008) y por (Rodríguez, 2010) en investigaciones similares, método que resulta sencillo, rápido y económico para la determinación de FOS en una solución.

MANEJO DEL EXPERIMENTO

El experimento constó de varios procesos secuenciales, los cuales se encuentran especificados en el diagrama de extracción de inulina de tuna (figura 1).

Diagrama de proceso de extracción de inulina de Tuna

En la figura 1 se observa el proceso de extracción de inulina planteado por (Álvarez, Ruano, Calle, & Lara Fiallos, 2014) con ciertas modificaciones adecuadas para esta investigación.

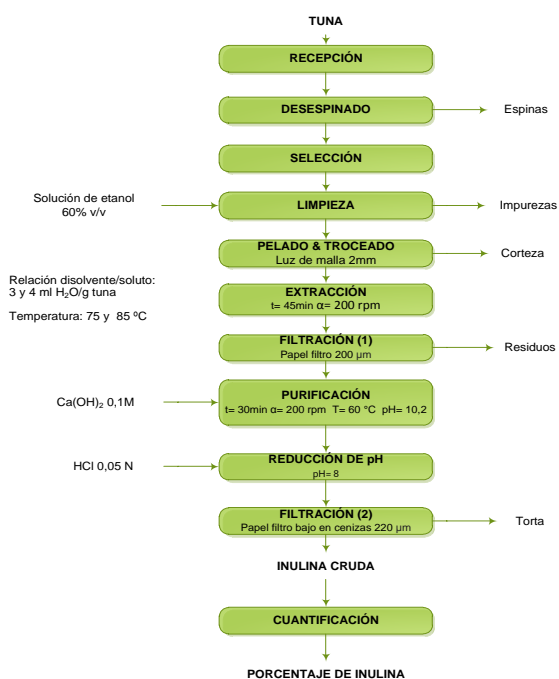


Figura 1. Diagrama de proceso de extracción y determinación de inulina de tuna

Procedimiento

Se pesó 50 g de tuna previamente lavadas, desinfectadas, peladas y troceadas se depositaron en matraces con agua tipo I, en cantidad variable de acuerdo al experimento. Estos se ubicaron en el equipo de baño María (shaker) que controla la temperatura, agitación y tiempo. Las condiciones con las que trabajo el equipo fueron las siguientes: temperatura de 75 y 85°C con un tiempo de extracción de 45 min y una agitación constante de 200 rpm. Seguidamente, se filtró los extractos, para luego ser purificados mediante una solución de Ca (OH)₂ 0,1 M, la cual provocó que el pH se incremente; para restablecer el valor inicial de pH se utilizó una solución de HCl 0,05 N. Finalmente, el contenido de inulina se cuantifico mediante espectrofotometría uv-visible.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La información que a continuación se presenta detalla los resultados de la investigación.

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA TUNA

Para la caracterización de las muestras de tuna roja y blanca, se realizaron los siguientes análisis físico-químicos de: humedad, fibra, pH, azúcares reductores y azúcares totales en el Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos de la Universidad Técnica del Norte. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características de las dos variedades de muestras de tuna

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados		Método de ensayo
		Tuna roja	Tuna blanca	
Contenido de Agua	%	87,5	87,4	AOAC 925.10
Azúcares Totales	%	11,2	13,6	AOAC 906.04
Azúcares Reductores Libres	%	7,6	8	Fehling
Fibra Cruda	%	9,2	6,3	NTE INEN 522
pH	pH	6,12	6,05	NTE INEN 526

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la tabla 1, se puede apreciar que las dos variedades de tuna son diferentes en su composición, siendo la tuna blanca quien presenta mayor contenido de azúcares totales 13,6 % y azúcares reductores libres 8% en relación a la tuna roja que presenta 11,2 % de azucares totales y 7,6% de azúcares reductores libres; resultados favorables para esta investigación, ya que los métodos oficiales de cuantificación de inulina de la AOAC reportan que la mayor parte de la inulina se encuentra contenida en las mismas. En relación al contenido de fibra cruda, la tuna roja es la que presenta mayor porcentaje con 9,2% en relación a la tuna blanca que presenta 6,3%; estos porcentajes hacen que esta fruta sea un alimento con beneficios para la salud, ya

que el componente mencionado se le atribuyen efectos benéficos en la trata de problemas intestinales. En cuanto a los valores de contenido de agua 87,5% para la roja y 87,4% para la blanca, y los valores de pH 6,12 y 6,05% respectivamente, no presentan diferencia significativa.

Las concentraciones reportadas en esta investigación presentan una ligera variación entre las reportadas por (Cerezal & Duarte, 2005), en su estudio denominado “Algunas características de tunas (*Opuntia ficus-índica* (L.) Miller) cosechadas en el altiplano andino de la 2da Región de Chile”, donde se obtuvo las siguientes concentraciones: Humedad 84,95%, azúcares totales 10,46%, azúcares reductores 8,07%, fibra cruda 3,24% y pH 6,31%. Esta variación se debe al lugar donde fue cultivada, ya que (Cerezal & Duarte, 2005), demostró que el tamaño de las tunas, el peso y su composición se ven influenciado por la localización donde se desarrolla la planta.

EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y RELACIÓN DISOLVENTE/SOLUTO EN EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN

En las tablas 2 y 3 se presentan los rendimientos obtenidos en función de los factores temperatura y relación disolvente/soluto para el extracto de inulina obtenido a partir de dos variedades de tuna.

Tabla 2. Porcentaje de azúcares reductores en función de la relación disolvente/soluto y la temperatura para la extracción de inulina a partir de tuna roja

TUNA ROJA				% INULINA		
Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Relación S-L (ml)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
200	45	75	3	6,400	6,859	6,239
			4	9,519	9,710	9,639
		85	3	8,993	8,957	8,915
			4	10,371	10,552	10,633

Tabla 3. Porcentaje de azúcares reductores en función de la relación disolvente/soluto y la temperatura para la extracción de inulina a partir de tuna blanca

TUNA BLANCA				% INULINA		
Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Relación S-L (ml)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
200	45	75	3	6,961	6,753	6,941
			4	9,460	9,694	9,500
		85	3	7,764	7,916	7,752
			4	10,777	10,658	10,833

En las tablas 2 y 3, Se aprecia las condiciones con las que se trabajó en esta investigación, donde se relacionaron dos variables dependientes a dos niveles de temperatura; 75 y 85°C, y dos niveles de relación disolvente/soluto; 3 y 4 ml H₂O/g tuna, para un tiempo y agitación constante de 45 min y 200 rpm respectivamente. Respecto a los factores tiempo y relación disolvente /soluto, se aprecia que actuaron conjuntamente en el proceso de extracción, conforme se incrementa la temperatura y la relación disolvente/soluto, se aumenta en el porcentaje de extracción de inulina, llegando a obtener un valor máximo de extracción de 10,63% para la variedad de tuna roja y un valor de 10,83% para la variedad de tuna blanca, valores superiores al reportado por (Caballero & Jiménez, 2012) en su estudio de pre-factibilidad para la producción de inulina de tuna para Cuba.

La diferencia entre los resultados obtenidos por (Caballero & Jiménez, 2012) y esta investigación, se deberían a la variedad de tuna utilizada y zona de cultivo, ya que diversos estudios comprueban que existen diferencias entre cultivos de la misma especie en su composición, tal como se logró apreciar en la investigación de extracción y determinación de inulina de ajo común autóctono por (Álvarez, Ruano, Calle, & Lara Fiallos, 2014), donde se alcanzó un rendimiento del 18%, valor superior con reportes de investigaciones

similares que reportaron 16%. Otros factores que pudieron inferir con los resultados obtenidos serían la temperatura de extracción y la agitación que se utilizó para facilitar la transferencia de calor al momento de la extracción sólido-líquido. Adicionalmente, la técnica utilizada en esta investigación fue de carácter cuantitativo, mientras que en la investigación citada fue de carácter cualitativo que constó de tres etapas de identificación: examen físico, evidencias organolépticas e identificación final.

La dependencia del rendimiento de la temperatura y la relación disolvente/soluto, se puede apreciar de mejor manera mediante las gráficas de superficie de respuesta para cada variedad de tuna en las figuras 2 y 5.

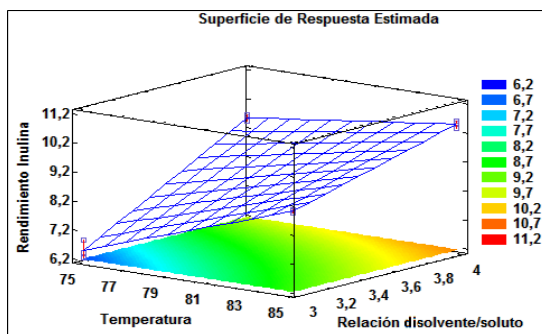


Figura 2. Superficie de repuesta correspondiente a la concentración de inulina en el extracto de tuna roja en función de la temperatura y la relación disolvente/soluto

En la figura 2, se presenta el diagrama de superficie de respuesta para la variedad de tuna roja, donde se observa el efecto que tienen los factores temperatura y relación disolvente/soluto en función del rendimiento de inulina, donde mediante colores se aprecia el incremento gradual de extracción de inulina conforme interactúan estos factores, el mejor rendimiento dentro de los parámetros establecidos para esta investigación se obtiene al trabajar con una temperatura de 85 °C y una relación disolvente/soluto de 4ml H₂O/g tuna, donde

se obtuvo 10,63%. Al mismo tiempo, se puede apreciar el punto máximo de extracción de inulina si incrementa los niveles de cada factor llegando a obtener un valor de 11,2%.

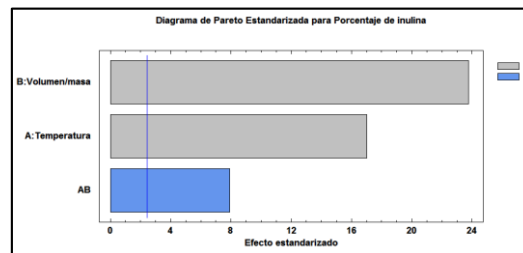


Figura 3. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de la temperatura y relación disolvente/soluto sobre el rendimiento de inulina disuelta en el extracto de tuna roja

En la figura 3, se presenta el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, en el cual se observa que el efecto producido por la relación disolvente/soluto es mayor que el efecto producido por la temperatura, el cual afirma que el efecto con mayor relevancia es la relación disolvente soluto.

Tabla 4. Pruebas de significación de Tukey para los tratamientos de la variable inulina en la variedad de tuna roja

Tratamientos	media	Rango
T4	10,52	a
T2	9,62	b
T3	8,95	c
T1	6,5	d

En la prueba de significación de Tukey (Tabla 62) para la variable inulina en la variedad de tuna roja, se puede apreciar que el T4 (85°C, 4 ml H₂O/g tuna), presenta 10,52 % de inulina, mientras que el T2 (75°C, 4 ml H₂O/g tuna), presenta 9,62 % de inulina, siendo estos tratamientos los que presentan la mayor concentración. Mostrando que la relación disolvente/soluto 4:1 es la más influyente.

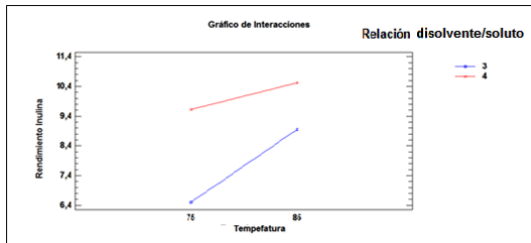


Figura 4. Gráfica de interacción de los factores: temperatura y la relación disolvente/soluto sobre el rendimiento de inulina disuelta en el extracto de tuna roja

En la figura 4, se aprecia que el efecto más importante es la relación disolvente/soluto, ya que se puede evidenciar que existe un aumento considerable en el proceso de extracción si aumenta dicho efecto. Este comportamiento se debe que al aumentar la cantidad de agua aumenta a su vez la difusión de los polisacáridos hacia el medio de extracción. Estos resultados concuerdan con investigaciones de diversos autores (Salazar Leyva, González Ferreiro, Osuna Ruelas, & Osuna Ruiz, 2007), (Arango Bedoya, Cuarán, & Fajardo, 2008) que observaron que se obtiene un mayor rendimiento de extracción de inulina al trabajar con relaciones disolvente/soluto mayores a 3:1.

Tabla 5. DMS para la variable temperatura en la variedad de tuna roja

Factor A	Media	Rangos
a2	9,74	a
a1	8,06	b

Al realizar la prueba de significación de Diferencia Mínima Significativa (DMS) para el factor A (temperatura de extracción) tabla 18, se determinó que existe diferencia significativa para los grados de temperatura sobre la relación disolvente soluto, de manera que a2 (85 °C) es el mejor nivel, siendo 85 °C la temperatura ideal para obtener la mayor concentración de inulina en la variedad de tuna roja.

Tabla 6. DMS para la variable relación disolvente/soluto en la variedad de tuna roja

Factor B	Media	Rangos
b2	10,07	a
b1	7,73	b

Al realizar la prueba de significación de Diferencia Mínima Significativa (DMS) para el factor B (relación disolvente/soluto) tabla 6, se determinó que existe diferencia significativa para los grados de temperatura sobre la relación disolvente soluto, de manera que b2 (4 ml H₂O / g Tuna), es el mejor nivel, siendo la relación 4:1 la ideal para obtener la mayor concentración de inulina en la variedad de tuna roja.

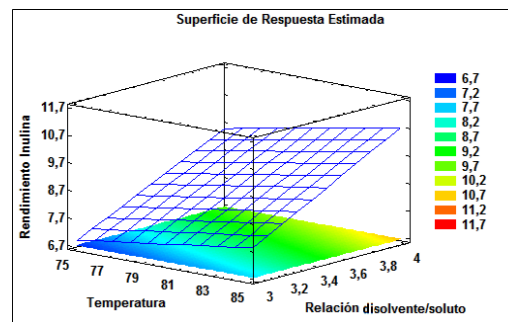


Figura 5. Superficie de repuesta correspondiente a la concentración de inulina en el extracto de tuna blanca en función de la temperatura y la relación disolvente/soluto.

En la figura 5, se muestra la gráfica de superficie de respuesta correspondiente a la variedad de tuna blanca, en la que se puede observar un comportamiento similar a la variedad de tuna roja. De igual manera, se aprecia que el mejor rendimiento dentro de los parámetros establecidos se obtiene al trabajar con una temperatura de 85 °C y relación disolvente/soluto de 4ml/g de muestra.

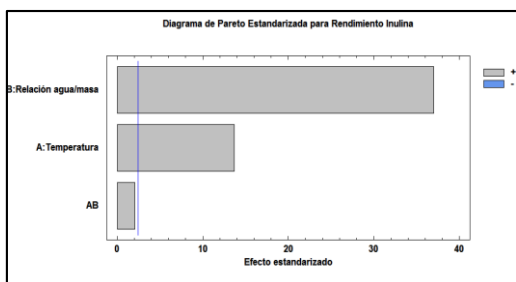


Figura 6. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de la temperatura y relación disolvente/soluto sobre el rendimiento de inulina disuelta en el extracto de tuna blanca

De igual modo que con la figura 2, en la figura 6, se observa el efecto producido en la variedad de tuna blanca por las variables de estudio; temperatura y relación disolvente/soluto, mostrando que el factor con mayor influencia es la relación disolvente soluto. Además, se puede apreciar que las variables de estudio actuaron del mismo modo para las dos variedades de tuna.

Tabla 7. Pruebas de significación de Tukey para los tratamientos de la variable inulina en la variedad de tuna blanca.

Tratamientos	Media	Rango
T4	10,76	a
T2	9,55	b
T3	7,77	c
T1	6,88	d

En la tabla 7, el análisis de Tukey para la variedad de tuna blanca, muestra que todos los tratamientos son diferentes y representados por diferente letra, con referente al tratamiento T4 (85°C, 4 ml H₂O/g tuna), presenta un valor promedio de inulina de 10,76 %, mientras que el T2 (75°C, 4 ml H₂O/g tuna), presenta 9,55 % de inulina, siendo estos tratamientos los que presentan la mayor concentración, mostrando que la relación disolvente soluto 4:1 es la más influyente

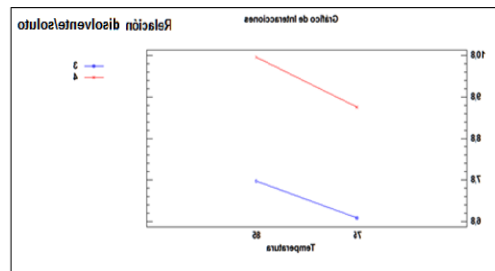


Figura 7. Gráfica de interacción de los factores: temperatura y la relación disolvente/soluto sobre el rendimiento de inulina disuelta en el extracto de tuna blanca

De igual modo que en la figura 4, en la figura 7, se aprecia la gráfica de interacción de los factores de estudio en la variedad de tuna blanca, la cual indica que el efecto más importante es la relación disolvente/soluto. Revelando a su vez, que las afirmaciones mostradas anteriormente en el estudio de la variedad de tuna roja concuerdan con las investigaciones ya mencionadas.

Tabla 8. DMS para la variable temperatura en la variedad de tuna blanca

Factor A	Media	Rangos
a2	9,26	a
a1	8,22	b

Al realizar la prueba de significación de Diferencia Mínima Significativa (DMS) para el factor A (temperatura de extracción) tabla 8, se determinó que existe diferencia significativa para los grados de temperatura sobre la relación disolvente soluto, de manera que a2 (85°C) es el mejor nivel, siendo 85°C la temperatura ideal para obtener la mayor concentración de inulina en la variedad de tuna blanca.

Tabla 9. DMS para la variable disolvente/soluto en la variedad de tuna blanca

Factor B	Media	Rangos
b2	10,15	a
b1	7,33	b

Al realizar la prueba de significación de Diferencia Mínima Significativa (DMS) para el factor B (relación disolvente/soluto) tabla 9, se determinó que existe diferencia significativa para los grados de temperatura sobre la relación disolvente soluto, de manera que b2 (4 ml H₂O / g Tuna), es el mejor nivel, siendo la relación 4:1 la ideal para obtener la mayor concentración de inulina en la variedad de tuna blanca.

INULINA PRESENTE ENTRE LAS DOS VARIEDADES DE TUNA OPUNTIA FICUS-INDICA COLOR ROJA Y BLANCA

Tabla 10. Comparación de rendimiento de inulina entre dos variedades de tuna

TEMPERATURA (°C)	RELACIÓN DISOLVENTE/SOLUTO (ml/g)	RENDIMIENTO INULINA %	
		ROJA	BLANCA
75	3	6,50	6,88
	4	9,62	9,55
85	3	8,95	7,77
	4	10,52	10,76

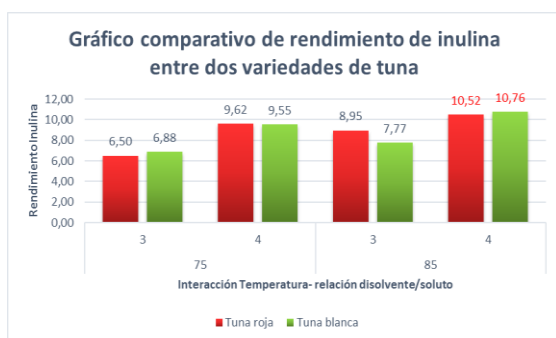


Figura 8. Gráfico comparativo de rendimiento de inulina entre dos variedades de tuna

De acuerdo al gráfico comparativo de los resultados de rendimiento de inulina entre las dos variedades de tuna roja y blanca (figura 8), se puede apreciar el porcentaje promedio de extracción de inulina, que se obtuvo al aplicar dos factores; temperatura y relación disolvente/soluto con dos niveles cada uno; 75 y 85 °C, 3 y 4 ml H₂O/g tuna

respectivamente. Con respecto a la relación disolvente soluto, aprecia que es el factor predominante en el proceso de extracción obteniendo los valores más altos de 10,52 % para la variedad de tuna roja y 10,76% en la variedad de tuna blanca. La variación de los porcentajes de extracción obtenidos entre las dos variedades de tuna, sería resultado a la composición fisicoquímica que presenta cada variedad, ya que en los resultados de la caracterización de las dos variedades estudiadas (tabla 1), se observa que existe diferencia significativa en su composición.

Con respecto a la influencia de los factores en el proceso de extracción, se aprecia que tiene un comportamiento similar para las dos variedades de tuna, mostrando que la variación en el porcentaje de extracción no se debe a la influencia de los mismos.

CONCLUSIONES

- La caracterización de la materia prima reveló que la tuna contiene un porcentaje de azúcares totales de 11,2% para la roja y 13,6% para la blanca, un porcentaje de azúcares reductores de 7,6% en la roja y 8% en la blanca; resultados favorables para esta investigación, ya que los métodos oficiales de cuantificación de inulina de la AOAC reportan que la mayor parte de la inulina se encuentra contenida en los azúcares totales. Además, el porcentaje de fibra cruda 9,2 y 6,3% respectivamente, hacen que esta fruta sea un alimento con beneficios para la salud, ya que al componente mencionado se le atribuye efectos benéficos en la trata de problemas intestinales.
- La temperatura y la relación disolvente/soluto produjeron un efecto significativo en el proceso de

extracción, ya que al aumentar o disminuir los niveles de estos, los porcentajes de extracción se ven influenciados aumentado o disminuyendo el valor de extracción final.

- Al comparar el porcentaje de inulina extraída entre la tuna roja y blanca: 10,51 y 10,75 % respectivamente, se evidencia que no existe diferencia significativa entre las variedades en lo que refiere al rendimiento de extracción, por lo que se establece que éstas pueden ser empleadas como precursores de inulina.

RECOMENDACIONES

- Si se piensa guardar los extractos por un periodo largo se recomienda almacenar en frascos oscuros y en refrigeración, ya que tienden a fermentarse.
- Estudiar la composición de los subproductos generados de la extracción de inulina en ánimo de establecer posibles usos en la industria.
- De acuerdo al porcentaje de inulina presente en las dos variedades de tuna *Opuntia ficus-indica* 10,52% para la roja y 10,76 % para la blanca, y a la disponibilidad de materia prima en el valle del chota 40 ha, se sugiere realizar un estudio de prefactibilidad para la implementación de una planta de producción de inulina en la zona.
- Continuar con la investigación aplicando métodos de concentración y cristalización del extracto para llegar a obtener inulina comercial.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, P. P., Jurado, B., Calixto, M., & Alarcón, J. S. (2008). Prebiótico Inulina/Oligofructosa en la Raíz del Yacón (*Smallanthus sonchifolius*), Fitoquímica y Estandarización con Base de Estudio Preclínicos y Clínicos. *Gastroenterol Perú*, 22-27.
- Álvarez, R., Ruano, A., Calle, R., & Lara Fiallos, M. (2014). *Extracción y determinación de inulina de ajo común autóctono (allium sativum)*. Quiro: Revista Cubana de Química.
- Arango Bedoya, O., Cuarán, G., & Fajardo, J. (2008). *Extracción, cristalización y caracterización de inulina a partir de yacón (Smallanthus sonchifolius) para su utilización en la industria alimentaria y farmacéutica*. Pasto Colombia.
- Caballero, B. D., & Jiménez, A. C. (2012). *Análisis de prefactibilidad técnico-económico para la obtención de inulina a partir de Tuna (Opuntia ficus-indica)*. Cmagüey.
- Cerezal, P., & Duarte, G. (2005). *Algunas características de tunas (Opuntia ficus-índica (L.) Miller) cosechadas en el altiplano andino de la 2da Región de Chile*. Chile.
- Chávez, R. (04 de noviembre de 2017). El cultivo de tuna ocupa 180 hectáreas en el país. *El telégrafo*, pág. 1.
- Hans, B., & Wolfgang, W. (1987). *Manual de química orgánica*. Barcelona-Bogotá Buenos Aires Caracas-México: Reverté.
- Hizukuri, S., Takeda, Y., Yasuda, M., & Suzuki, A. (1981). Multi-branched

nature of Amylose and action of
debranching enzymes.
Carbohydrate Research, 205- 213.

Madrigal , L., & Sangronis, E. (2007). La
inulina y sus derivados como
ingredientes claves in alimentos
funcionales. *Archivos
latinoamericanos de nutrición* , 1-
11.

Rodríguez , W. (2010). *Determinación de
inulina de once especies vegetales*.
Buenvista, Santillo, Coahuila,
México.

Salazar Leyva, J. A., González Ferreiro, Á.,
Osuna Ruelas, S., & Osuna Ruiz , I.
(2007). *Determinación de las
condiciones óptimas de extracción
de inulina a partir de piñas de
agave azul (Tequilana Weber)*.
México.

Terán , Y., Navas , D., Petit , D., Garrido , E.,
& DÁubeterre, R. (2015). Análisis
de las características físico-
químicas del fruto de tuna opuntia
ficus indica cosechado en Lara
Venezuela . *Iberoamericana de
Tecnología*, 1-7.