



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LAS  
INDUSTRIAS PRODUCTORAS DE PANELA PARA LA  
OBTENCIÓN DE POLICOSANOL”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Presentado para optar el grado académico de:  
**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: RICARDO WILLIAM PROAÑO MENESES**  
**TUTOR: ING. HUGO CALDERÓN**

Riobamba-Ecuador

2019

©2019, Ricardo William Proaño Meneses

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo las citas bibliográficas del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Investigación:  
“APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LAS INDUSTRIAS  
PRODUCTORAS DE PANELA PARA LA OBTENCIÓN DE POLICOSANOL”, de  
responsabilidad del señor Ricardo William Proaño Meneses, ha sido minuciosamente revisado  
por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada para su  
presentación.

NOMBRE

FIRMA

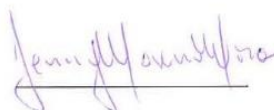
FECHA

Ing. Segundo Hugo Calderón  
**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**



2019-02-26

Dra. Jenny Marina Moreno Mora  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



2019.02.26

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Ricardo William Proaño Meneses, declaro que el presente trabajo es de mi autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 26 de febrero de 2019

A handwritten signature in purple ink that reads "Ricardo Proaño". The signature is written in a cursive style and is enclosed within a hand-drawn purple oval.

Ricardo William Proaño Meneses

160057075-6

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación está dedicado a:

Mis padres Cecilia Meneses y Luis Proaño quienes con su amor, paciencia y esfuerzo permitieron llegar a cumplir un sueño más, por inculcar en mi esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está siempre conmigo.

A mi esposa Cristina y mi hijo Mathius por su sacrificio y esfuerzo, de acompañarme en el transcurso de esta carrera para nuestro futuro, siempre me brindaron su comprensión, cariño y amor.

A mis maestros, quien se ha tomado el arduo trabajo de transmitirme sus diversos conocimientos.

A toda mi familia y conocidos por su apoyo incondicional durante todo este proceso, todos sus consejos y palabras de aliento que de una u otra forma me acompañan en mis metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mis compañeros y amigos quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas.

Ricardo

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi agradecimiento a las Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a toda la Facultad de Ciencias, a mis docentes de la Escuela de Ingeniería Química por sus conocimientos impartidos durante mi formación, un agradecimiento especial al Ing. Hugo Calderón y la Dra. Jenny Moreno por su colaboración en el presente trabajo de investigación.

De igual manera a mis compañeros y amigos Andrea M., Alex T., Carlos D., Erika Z., Gabriela M., José B., Jorge V., Juan H., Katty C., Kerly C., Maribel M., Mario F., Paul Z., Ronny R., Rubén A., Terry S., Víctor U. y Verónica S., con quienes compartí extraordinarios momentos que siempre quedaran grabados en mi mente.

Ricardo

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	xv
SUMMARY .....	xvi
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Identificación del problema.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Justificación .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<i>1.3.1. General .....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2. Específicos .....</i>	<i>3</i>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Antecedentes de la investigación.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Marco conceptual .....</b>	<b>4</b>
<i>2.2.1. Etapas de procesos de producción de panela .....</i>	<i>4</i>
<i>2.2.2. Subproductos generados en la producción de panela .....</i>	<i>5</i>
<i>2.2.2.1. Bagazo .....</i>	<i>6</i>
<i>2.2.2.2. Estructura .....</i>	<i>6</i>
<i>2.2.2.3. Cachaza .....</i>	<i>7</i>
<i>2.2.3. Policosanol .....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.3.1. Estructura química .....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.3.2. Propiedades nutracéuticas .....</i>	<i>9</i>
<i>2.2.4. Procesos de obtención de Policosanol .....</i>	<i>9</i>
<i>2.2.4.1. Extracción a partir del bagazo .....</i>	<i>9</i>
<i>2.2.4.2. Extracción a partir de la cachaza.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.5. Cromatografía de gases.....</i>	<i>11</i>

### CAPÍTULO III

<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	12
<b>3.1. Hipótesis y especificación de las variables</b> .....	12
<b>3.1.1. Hipótesis general</b> .....	12
<b>3.1.2. Hipótesis específicas</b> .....	12
3.1.2.1. <i>Operacionalización de las variables</i> .....	13
3.1.2.2. <i>Matriz de consistencia</i> .....	14
<b>3.2. Tipo y diseño de la investigación</b> .....	14
<b>3.2.1. Tipo de investigación</b> .....	14
<b>3.2.2. Diseño de investigación</b> .....	15
<b>3.4. Población de estudio</b> .....	17
<b>3.5. Tamaño de muestra</b> .....	17
<b>3.6. Selección de la muestra</b> .....	18
<b>3.7. Desarrollo experimental</b> .....	18
<b>3.7.1. Localización del experimento</b> .....	18
<b>3.7.2. Materiales y equipos</b> .....	19
<b>3.7.3. Procedimiento experimental</b> .....	20
3.7.3.1. <i>Obtención de Policosanol</i> .....	20
3.7.3.2. <i>Metodología para la caracterización del Policosanol</i> .....	22
3.7.3.3. <i>Técnicas utilizadas para la caracterización del producto obtenido</i> .....	22
3.7.3.3.1. <i>Caracterización de la cera</i> .....	22
<b>3.8. Técnicas de recolección de datos</b> .....	22

### CAPÍTULO IV

<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	25
<b>4.1. Análisis de resultados</b> .....	25
<b>4.1.1. Rendimiento del proceso</b> .....	25
4.1.1.1. <i>Tratamientos preliminares en la obtención de Policosanol</i> .....	25
<b>4.1.2. Análisis estadístico de resultados mediante el método ANOVA</b> .....	38



4.1.2.1. <i>Análisis del porcentaje de rendimiento en el proceso de obtención de Policosanol</i> .....	38
<b>4.1.3. <i>Análisis de las propiedades físicas del Policosanol</i></b> .....	40
4.1.3.1. <i>Índice de saponificación</i> .....	40
4.1.3.2. <i>Punto de fusión</i> .....	42
4.1.3.3. <i>Cromatografía de gases</i> .....	44
<b>4.1.4. <i>Análisis de las propiedades químicas del Policosanol</i></b> .....	46
4.1.4.1. <i>Presencia del grupo funcional hidroxilo</i> .....	46
4.1.4.2. <i>Presencia de alcanos</i> .....	48
4.1.3.2.1. <i>Presencia del grupo alquilo</i> .....	50
<b>4.2. <i>Comprobación de hipótesis</i></b> .....	52
4.2.1. <i>Hipótesis general</i> .....	52
4.2.2. <i>Hipótesis específicas</i> .....	53
4.2.2.1. <i>Hipótesis específica 1</i> .....	53
4.2.2.2. <i>Hipótesis específica 2</i> .....	54
4.2.2.3. <i>Hipótesis específica 3</i> .....	55
<b>4.3. <i>Discusión de resultados</i></b> .....	56
<b>CONCLUSIONES</b> .....	60
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	61
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Etapas de producción artesanal de panela .....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Subproductos de la industria panelera.....	5
<b>Tabla 3-2:</b> Estructura química del bagazo .....	6
<b>Tabla 4-2:</b> Composición química de la cachaza derivado del proceso de refinación de la panela.....	7
<b>Tabla 5-2:</b> Componentes del Policosanol .....	9
<b>Tabla 1-3:</b> Cronograma de recolección de residuos producidos en la planta “Tarqui” .....	18
<b>Tabla 2-3:</b> Condiciones experimentales de la ciudad de Riobamba.....	19
<b>Tabla 3-3:</b> Materiales y equipos utilizados en el muestreo de los residuos sólidos generados en la planta “Tarqui” .....	19
<b>Tabla 4-3:</b> Materiales, equipos y reactivos utilizados en la obtención de Policosanol a partir de los residuos generados en la planta “Tarqui” .....	19
<b>Tabla 5-3:</b> Materiales, equipos y reactivos utilizados para la caracterización del Policosanol obtenido a escala de laboratorio .....	20
<b>Tabla 6-3:</b> Resumen de la nomenclatura aplicada para el tratamiento estadístico de los datos de acuerdo a tratamientos y ensayos aplicados en la obtención de Policosanol .....	20
<b>Tabla 7-3:</b> Esquema del ANOVA .....	23
<b>Tabla 8-3:</b> Esquema del experimento utilizado para la determinación de las variables de proceso. ....	24
<b>Tabla 9-3:</b> Esquema del adeva utilizado para la determinación de la significancia de las variables. ....	24
<b>Tabla 1-4:</b> Análisis del rendimiento para el secado de la cachaza en la obtención de Policosanol.....	28
<b>Tabla 2-4:</b> Análisis del rendimiento para la molienda de la cachaza en la obtención de Policosanol .....	29
<b>Tabla 3-4:</b> Análisis del rendimiento para la extracción de la cera en la obtención de Policosanol.....	30
<b>Tabla 4-4:</b> Análisis del rendimiento para la saponificación de la cera en la obtención de Policosanol.....	32
<b>Tabla 5-4:</b> Análisis del rendimiento para la extracción de Policosanol a partir de la cera saponificada. ....	34
<b>Tabla 6-4:</b> Análisis del rendimiento en la recristalización para la obtención de Policosanol.....	35
<b>Tabla 7-4:</b> Análisis del rendimiento global práctico para el proceso en la obtención de Policosanol .....	36
<b>Tabla 8-4:</b> Análisis de los rendimientos prácticos del proceso en obtención de Policosanol .....	36

<b>Tabla 9-4:</b> Análisis de porcentaje de rendimientos del proceso en obtención de Policosanol....	38
<b>Tabla 10-4:</b> Análisis estadístico del porcentaje de rendimiento de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol .....	38
<b>Tabla 11-4:</b> Análisis estadístico del índice de saponificación de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol. ....	40
<b>Tabla 12-4:</b> Análisis estadístico del punto de fusión de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol. ....	42
<b>Tabla 13-4:</b> Análisis estadístico de la cromatografía de gases de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol .....	44
<b>Tabla 14-4:</b> Análisis estadístico del grupo funcional hidroxilo de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol. ....	46
<b>Tabla 15-4:</b> Análisis estadístico de alcanos de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol. ....	48
<b>Tabla 16-4:</b> Análisis estadístico del grupo alquilo de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol. ....	50

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b> Resultados obtenidos del porcentaje de rendimiento de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación, para obtención de Policosanol. ....	39
<b>Gráfico 2-4:</b> Resultados obtenidos del índice de saponificación de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación, para obtención de Policosanol. ....	41
<b>Gráfico 3-4:</b> Resultados obtenidos del punto de fusión de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación, para obtención de Policosanol.....	43
<b>Gráfico 4-4:</b> Resultados obtenidos de la cromatografía de capa gases de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación para obtención de Policosanol. ....	45
<b>Gráfico 5-4:</b> Resultados obtenidos a la evaluación de la presencia del grupo funcional hidroxilo determinado por espectrofotometría infrarroja de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación para obtención de Policosanol.....	47
<b>Gráfico 6-4:</b> Resultados obtenidos a la evaluación de la presencia de alcanos determinado por espectrofotometría infrarroja de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación para obtención de Policosanol.....	49
<b>Gráfico 7-4:</b> Resultados obtenidos a la evaluación de la presencia del grupo funcional alquilo alifático determinado por espectrofotometría infrarroja de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación para obtención de Policosanol.....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Esquema experimental para la cromatografía de gases.....	11
<b>Figura 1-3:</b> Resumen esquemático del diseño de la investigación.....	16
<b>Figura 2-3:</b> Diagrama de flujo para la obtención de Policosanol a partir de cachaza .....	21

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A.** Prueba de rangos múltiples, homogeneidad de las distintas pruebas realizadas al Policosanol.

**ANEXO B.** Recopilación fotográfica del trabajo experimental de la producción de policosanol

**ANEXO C.** Espectros obtenidos del corrido en el espectrofotómetro infrarrojo de los distintos métodos de extracción aplicados en la investigación.

**ANEXO D.** Resultados obtenidos a la prueba de cromatografía de gases de los distintos métodos de extracción aplicados en la investigación.

**ANEXO E.** Tabla Psicométrica para la determinación de la humedad del aire en el secador

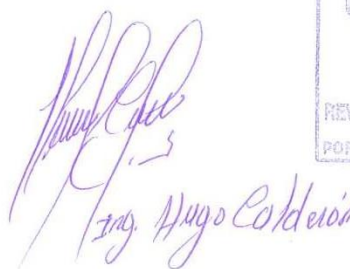
**ANEXO F.** Norma INEN 0040: para la determinación del índice de saponificación de grasas y aceites comestibles.

**ANEXO G.** Norma INEN 6321:2013 para la determinación del punto de fusión en tubos capilares de aceites y grasas de origen animal y vegetal.

## RESUMEN

La investigación planteó aprovechar los residuos sólidos de las industrias productoras de panela para la obtención de Policosanol, se propuso recuperar los residuos generados en la industria panelera “Tarqui”; en el lugar se tomó 400 cm<sup>3</sup> de cachaza durante un mes; se la llevó a los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Para el proceso de obtención se realizó las siguientes operaciones unitarias: secado, molienda, extracción sólido-líquido de la cachaza, saponificación de cera, extracción sólido-líquido de la cera saponificada, recristalización; las pruebas de calidad incluyen: análisis del rendimiento, índice de saponificación, punto de fusión, análisis de la pureza mediante cromatografía de gases y análisis de la composición química mediante espectrofotometría infrarroja. Para la tabulación de datos se aplicó el diseño completamente al azar con arreglo combinatorio en el paquete estadístico IBM SPSS statistics; los dos factores de estudio corresponden al tipo de solvente empleado en la extracción sólido-líquido de la cachaza (heptano puro, heptano recuperado y heptano/agua) y la velocidad de agitación en la saponificación (300 y 400 rpm). El mayor rendimiento se obtuvo al extraer el Policosanol con heptano puro con una velocidad de giro de 300 rpm, con un valor igual a 1.02 %, de acuerdo al análisis por cromatografía de gases el valor mayor se obtuvo al extraer el Policosanol con heptano puro, con un valor igual a 90.52 % de pureza, para la caracterización química mediante espectroscopía IR el valor mayor se obtuvo al extraer el Policosanol con heptano recuperado a 300 y 400 rpm con una variación estándar para el grupo hidroxilo igual a 5.74 cm<sup>-1</sup>, se concluye que se aprovecharon los residuos sólidos de las industrias paneleras, para obtener Policosanol con la utilización de heptano puro, que constituyó el mejor tratamiento; se trabajó además con heptano recuperado y heptano/agua en la extracción pero con resultados menos favorables.

**PALABRAS CLAVE:** <INGENIERIA Y TECNOLOGIA QUIMICA> <CACHAZA>, <SOLVENTE>, <POLICOSANOL>, <CROMATOGRAFÍA DE GASES>, <ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA>



Ing. Hugo Calderín



## SUMMARY

The research proposed to take advantage of the solid waste of panela producing industries to obtain Policosanol, it was proposed to recover the waste generated in the "Tarqui" panela industry, in the place 400 cm<sup>3</sup> of cachaça was taken during one month; I took it to the laboratories of the Faculty of Sciences of ESPOCH. For the obtaining process, the following unit operations were carried out: drying, grinding, solid-liquid extraction of the filter cake, saponification of wax, solid-liquid extraction of the saponified wax, recrystallization; Quality tests include: performance analysis, saponification index, melting point, purity analysis by gas chromatography and analysis of chemical composition by infrared spectrophotometry. For data tabulation, the design was completely randomized with a combinatorial arrangement in the statistical package IBM SPSS statistics ; The two study factors correspond to the type of solvent used in solid-liquid extraction of the filter cake (pure heptane, recovered heptane and heptane / water) and the speed of agitation in saponification ((300 and 400 rpm). obtained by extracting Policosanol with pure heptane with a rotation speed of 300 rpm, with a value equal to 1.025%, according to the analysis by gas chromatography the highest value was obtained when extracting Policosanol with pure heptane, with an equal value at 90.52% purity, for chemical characterization by IR spectroscopy the highest value was obtained when extracting Policosanol with heptane recovered at 300 and 400 rpm with a standard variation for the hydroxyl group equal to 5.74 cm<sup>-1</sup>, it is concluded that they were used the solid waste of the panela industries, to obtain Policosanol with pure heptane, which constituted the best treatment, was also worked with recovered heptane and heptane / water in the extraction but with less favorable results.

**Key words:** <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <CACHAZA>, <SOLVENT>, <POLICOSANOL>, <GAS CHROMATOGRAPHY>, <INFRARED SPECTROPHOTOMETRY>





# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Identificación del problema

De acuerdo con estadísticas publicadas por la (FAO, 2011, pp. 28-29) la producción de panela fue cercana a 2 000 000 toneladas, que representan cerca del 17 % de la producción mundial. Dentro de los países productores de panela reportados en el continente se destacan, en su orden: Colombia, Brasil, México, Guatemala, Venezuela, Haití, Perú, Ecuador, Honduras, El Salvador, Costa Rica, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, Bolivia y Argentina.

(Guevara, 2010, p. 5), estudia que la caña de azúcar se produce en las estribaciones de cordillera de las provincias de la Sierra, el Oriente y la Costa Ecuatoriana. En la mayoría de los casos, estos cultivos pertenecen a pequeños agricultores. La producción agrícola de caña para panela en nuestro país se distribuye en un amplio número de unidades dispersas.

Con respecto a la situación actual de la producción de la panela en Ecuador, (Guevara, 2010, p. 5), señala que es ampliamente reconocido el atraso del sector panelero en el país, considerado más, como una producción artesanal. La nula competencia que presentan los derivados de la agroindustria panelera en el mercado los mantiene en condiciones desfavorables frente a su principal competidor, el azúcar de mesa producida en los ingenios azucareros.

(Alvarado, 2007, p. 10), en su estudio realizado sobre el impacto ambiental generado en la industria panelera de Ecuador, investiga que el tipo de producción artesanal que se genera en el país trae consigo problemas ambientales, el problema principal es la degradación de suelo por predominancia de monocultivo de caña y generación de residuos sólidos por el bajo grado de tecnificación de las paneleras, esto genera que no sea una industria competitiva y que el consumo de la panela se dé únicamente a nivel local sin miras a exportar.

(Solano, 2015, pp. 1-5); en la revista virtual REDVET que habla sobre la contaminación de la industria panelera sostiene que el principal residuo sólido generado en esta industria es la cachaza que se produce de 30 a 50 Kg por tonelada de materia prima procesada, lo cual representa

entre 3 y 5 % de la caña molida. Este material contiene muchos de los coloides de la materia orgánica originalmente dispersa en el jugo, juntamente con aniones orgánicos e inorgánicos que precipitan durante la clarificación.

(Solano, 2015, pp. 1-5); también establece que en general la cachaza contiene: 40 % de materia orgánica; 1,76 % de nitrógeno; 3,0 % de  $P_2O_5$ ; 0,42 % de  $K_2O$ ; 1,07 % de  $MgO$ ; 36,7 % de  $CaO$  por lo que es un material orgánico de relación carbono: nitrógeno (C:N) mayor de 20:1. El alto contenido del nitrógeno que contiene la cachaza al ser desechada se fija en el suelo, que genera efectos tóxicos derivado de la ingesta de alimentos o de aguas ricas con alto contenido de este mineral, lo que ocasiona la enfermedad de la piel azul y en rumiantes puede producir la muerte del animal.

Uno de los principales problemas que afecta a la refinación son los gastos excesivos generados por efecto de la manipulación y transporte de la cachaza, al lograr utilizar los residuos y darles valor agregado se puede mejorar la situación actual de la producción de panela en Ecuador, con miras a que pequeños productores puedan tecnificar las plantas y luego exportar la panela a mercados con mayor poder adquisitivo.

## **1.2. Justificación**

La cachaza, residuo sólido generado en la producción artesanal de panela, al momento no es destinado a ningún uso de importancia y es desechado en terrenos destinados al cultivo de caña, lo cual genera grave contaminación provocada con un residuo de elevada toxicidad; que sin embargo puede constituir materia prima importante para la extracción de Policosanol, importante compuesto químico ampliamente utilizado en la formulación de fármacos como el Ateromixol PPG-20, prescrito para tratar problemas cardiovasculares.

Además, las personas que tienen problemas cardiovasculares también se verán beneficiadas ya que los fármacos derivados del Policosanol son comúnmente recetados; mismos que no son producidos en Ecuador lo que incrementa el costo y ocasiona que las personas no puedan tratar sus enfermedades con lo cual se disminuye la calidad de vida de las personas.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. General***

Aprovechar los residuos sólidos de las industrias productoras de panela para la obtención de Policosanol.

#### ***1.3.2. Específicos***

- Obtener Policosanol a partir de residuos agroindustriales: bagazo y cachaza de caña de azúcar.
- Calcular el rendimiento de Policosanol obtenido a partir de los residuos agroindustriales.
- Comparar el Policosanol obtenido con Ateromixol/PPG-20 mediante la técnica de cromatografía en capa fina.
- Validar por la técnica de espectrofotometría infrarroja el Policosanol obtenido mediante su comparación con Ateromixol/PPG-20.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

La obtención de fármacos a partir de residuos agroindustriales es un tema de investigación fundamental para esta industria, ya que permite aprovechar residuos sin valor comercial y obtener productos farmacológicos es así como Eldaí Ramón Cabrera, (2016) realizó la investigación con el tema: “Revalorización de los subproductos de la caña de azúcar”.

(Cabrera, 2016), obtuvo el rendimiento de la cera de 15 % y recuperó el solvente en un 83.33 %; al realizar la extracción con Heptano mediante el uso de un extractor de Soxhlet; los grupos funcionales reconocidos mediante espectrofotometría infrarrojo fueron hidrocarburos, grupos carboxílicos y grupos ésteres; de acuerdo con esto logró una extracción de cera a partir de la cachaza con un rendimiento del 15 %.

En el 2017 Lara, E. estudió la obtención de Policosanol a partir de la cachaza de caña de azúcar; realizó los procesos normales para la extracción de Policosanol tomando como solvente el n-heptano puro; obteniendo como resultado un 65.45 % de recuperación de solvente y concentración de alcoholes del 0.05 %.

Revelo, D. (2011), estudió la extracción de la cera del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) mediante un tratamiento de explosión de vapor y un tratamiento de combinación de solventes heptano/hexano/agua, con una extracción de 3.20 g/100 g de Bagazo, con un porcentaje de solvente retenido del 36.71 %.

#### 2.2. Marco conceptual

##### 2.2.1. *Etapas de procesos de producción de panela*

(Pérez, 2007, p. 214), estudia que cada etapa en el proceso de producción es fundamental para obtener panela de calidad, a continuación, se detalla las diferentes etapas que sigue la caña cultivada para poder producir panela.

**Tabla 1-2:** Etapas de producción artesanal de panela

<b>Etapa</b>	<b>Descripción del proceso</b>
Molienda	La caña llega a un tándem de molinos, constituido cada uno de ellos por tres o cuatro mazas metálicas y mediante presión extrae el jugo de la caña. La caña al pasar por el primer molino pierde aproximadamente entre 70 a 80 % de su peso en jugo, el proceso de molienda se repite por dos o tres veces para lograr una mayor extracción de jugo
Evaporación y concentración	Se concentra el jugo claro proveniente de la molienda, para obtener un jarabe de 60–65°Brix de concentración. El jugo extraído en la molienda se recibe en los evaporadores con una concentración de 15 °Brix, se concentra por evaporación y se entrega con una concentración aproximada de 60-65 °Brix. Este jugo concentrado se denomina jarabe o panela líquida.
Punteo, batido, moldeo y enfriamiento	La panela líquida se deposita en bateas preferiblemente de acero inoxidable y por acción de batido intensivo e intermitente se enfría para el moldeo, el cual se realiza mediante el uso de elementos de madera, individuales o múltiples denominados gaveras, en los cuales la panela solidifica y adquiere su forma definitiva.

Fuente: (Seebaluck, 2008, p. 104)

### 2.2.2. Subproductos generados en la producción de panela

(Seebaluck, 2008, p. 104), indica que en los ingenios o plantas de producción de panela se generan subproductos que en la actualidad son de importancia para la agroindustria, pues a través de éstos se pueden realizar una diversidad de subproductos con beneficios tanto económicos como sociales, en la tabla 2-2 se detalla los subproductos más importantes generados en la industria panelera.

**Tabla 2-2:** Subproductos de la industria panelera

<b>Subproducto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Usos</b>
<b>Residuos de la cosecha</b>	Aquellos llamados barbojo, resultante de despajar la caña y descogollar.	Alimentación para ganado, fuente de productos hidrolíticos, como fuente energética.
<b>Bagazo</b>	Es el residuo fibroso que se obtiene durante la extracción del jugo.	Combustible para producir azúcar y panela, producción de furfural, obtención de alcohol y proteínas para alimentación animal, producción de papel, material para la producción de madera artificial (tableros).
<b>Cachaza</b>	La cachaza es el residuo que se obtiene del proceso de filtración de los jugos.	Fertilizante para campos de caña, composta, extracción de cera, extracción de Policosanol, alimentos para animales.

Fuente: (Castillo, 2012)

### 2.2.2.1. Bagazo

(Seebaluck, 2008, p. 104), dicta que el bagazo de caña es un subproducto obtenido en la fabricación de panela. El bagazo es el residuo lignocelulósico, fibroso, obtenido a la salida del último molino del tándem. Representa el 28% en peso de la caña que se procesa. Constituido por cuatro fracciones: fibra (45 %), sólidos insolubles (2-3 %), sólidos solubles (2-3 %) y agua (50 %), representa el coproducto de mayor tonelaje y volumen de la producción industrial de panela.

### 2.2.2.2. Estructura

(Herryman, 2005, p. 8), indica que: “El análisis proximal del bagazo muestra que tiene un 50 % de humedad y un contenido residual de sacarosa de alrededor del 4 % (base seca), representa entre un 23-27 % del total de la producción de panela (11-13 % base seca).”

(Herryman, 2005, p. 8), analiza que desde el punto de vista general de su estructura, el bagazo se caracteriza por su elevada heterogeneidad morfológica y está formado por dos facciones bien diferenciadas; la fibra, de estructura cristalina, estable químicamente, brinda rigidez a la planta, y el meollo o parénquima de estructura amorfa y de alto poder de absorción.

(Herryman, 2005, p. 8), interpreta que desde el punto de vista químico el bagazo de la caña de azúcar está compuesto, aproximadamente de 41 - 44 % de celulosa, 25 - 27 % de hemicelulosas, 20 - 22 % de lignina y 8 - 10 % de otros componentes, entre estos las cenizas. La celulosa y hemicelulosas componen la fracción carbohidrato del bagazo a la que se le denomina analíticamente como Holo-celulosa (1,2,3). En la tabla 3-2 se muestran las propiedades químicas de variedades mezcladas de bagazo integral, su fracción fibra y la médula o meollo.

**Tabla 3-2:** Estructura química del bagazo

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BAGAZO</b>			
<b>I</b>	<b>Integral</b>	<b>Fracción Libre</b>	<b>Médula</b>
Celulosa	46.6	47.0	41.2
Pentosanas	25.2	25.1	26.0
$\alpha$ Celulosa	38.2	40.4	-
Lignina	20.7	19.5	21.7
Extractivos A/B	2.70	2.30	2.90
Cenizas	2.60	1.40	5.40

Fuente: (Herryman, 2005).

### 2.2.2.3. Cachaza

(Rivera, 2010, p. 1), interpreta que la cachaza es un material esponjoso, de color oscuro a negro y el principal residuo de la industria panelera; su precio relativamente bajo la hace atractiva frente a otros productos orgánicos, produciéndose de 30 a 50 kg por tonelada de materia prima procesada, lo cual representa entre 3 y 5 % de la caña molida. Este porcentaje y su composición química varían con las características agroecológicas de la zona, la eficiencia de fábrica, el método de evaporación empleado, entre otros factores.

(Rivera, 2010, p. 1), analiza que: “La cachaza se obtiene durante la evaporación del jugo de caña en la industria panelera. Se recoge a la salida de los filtros, presentando aproximadamente un 25 % de materia seca. Este material contiene muchos de los coloides de la materia orgánica originalmente dispersa en el jugo. La cachaza se usa principalmente como abono, ya que mejora algunas propiedades físicas y ácidas del suelo; generalmente, aplicándose en suelos próximos a las fábricas de las paneleras, ya que su alto contenido de humedad aumenta el costo del transporte.

**Tabla 4-2:** Composición química de la cachaza derivado del proceso de refinación de la panela

<b>Composición Química de la Cachaza</b>			
<b>Componentes %</b>	<b>Valor</b>	<b>Componentes %</b>	<b>Valor</b>
Humedad	70,7	MgO	0,66
Densidad (g/L)	180	Carbono (C)	20,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,21	Relación C/N	38,40
K <sub>2</sub> O	0,24	pH en agua	7,22
CaO	2,94	Materia Orgánica	64,30
N <sub>2</sub> Total	0,81	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0,97
Si	0,27	Zn	0,51
Proteína cruda	16,00	Extracto en C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (Ceras, aceites y resinas)	14,00
Sacarosa y ART	14,00	Bagacillo	25,00
Hierro (Fe)	2,00	Manganeso (Mn)	0,16
Magnesio (Mg)	0,70	Aluminio (Al)	0,50
Cobre (Cu)	0,04	Cenizas	12,00
*Ácido aspártico	4,40	*treonina	2,80
*Ácido glutámico	3,70	*Metionina	0,50
*Isoleucina	2,10	*Valina	3,50
*Leucina	3,60	*Tirosina	0,60
*Fenilalanina	1,30	*Triptofano	1,20
*Histidina	2,20	*Lisina	2,10
*Arginina	0,90	**Ácido valérico	1,10
**Ácido caprónico	0,50	**Ácido pelargónico	0,40

**Ácido 3-nonanoico	2,20	**Ácido cáprico	0,40
**Ácido undecílico	1,50	**Ácido Láurico	5,00
**Ácido linolénico	2,10	**Ácido octacosanoico	25,60
**Ácido mirístico	1,60	**Ácido Palmítico	18,00
**Ácido azelaico	2,20	**Ácido esteárico	8,10
**Ácido linoleico	27,00	**Ácido oleico	10,20
**n-tetracosanol	1,70	**n-hexacosanol	5,50
**n-heptacosanol	2,90	**n-octacosanol	60,00
**n-nonacosanol	2,90	**n-dotriacontanol	1,70
**n-tetratricontacosanol	3,30	**Stigmasterol	27,50

Fuente: (Rivera, 2010).

### 2.2.3. Policosanol

(Mirkin, 2001, pp. 31-34), explica que el Policosanol es una mezcla de alcoholes alifáticos aislada y purificada a partir de la cera de la caña de azúcar, contiene aproximadamente 60 % de octacosanol, junto con muchos químicos relacionados. Estudios numerosos informan que el Policosanol mejora sustancialmente los niveles de colesterol aproximadamente al mismo grado que los medicamentos más efectivos utilizados para este propósito.

(Mirkin, 2001, pp. 31-34), añade que tanto el Policosanol como el octacosanol se comercializan como suplementos alimenticios para mejorar el desempeño, fuerza y resistencia muscular.

#### 2.2.3.1. Estructura química

(Gnanaral, 2012, pp. 705-712), analiza que el Policosanol es el nombre denominado a las cadenas largas de alcoholes alifáticos primarios de alto peso molecular que derivan de ceras constituyentes de plantas, son una mezcla de cadenas largas de 20-36 carbonos con grupo hidroxilo terminal, el Policosanol es una mezcla constituida por docosanol (C-22), tetracosanol (C24), hexacosanol (C26), octacosanol (C28), triacosanol (C30), dotricosanol (C32) y tetratricosanol (C34).

(Gnanaral, 2012, pp. 705-712), argumenta que: “El Policosanol está compuesto principalmente por octacosanol (C28), es el primer suplemento dietario manufacturado a partir de cera de caña de azúcar, contiene un 66 % de octacosanol en la mezcla, fue descubierto y es manufacturado en la Habana, el nombre Policosanol es un nombre genérico que se aplica a la mezcla obtenida de la extracción de la cera de caña de azúcar, la composición se detalla en la tabla 5-2.”



**Tabla 5-2:** Componentes del Policosanol

Nombre	Fórmula Alcohol Alifático	Peso Molecular (g)
Octacosanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{26}\text{CH}_2\text{OH}$	410,76
Hexacosanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{24}\text{CH}_2\text{OH}$	382,71
Triacosanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{28}\text{CH}_2\text{OH}$	438,81
Eicosanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{CH}_2\text{OH}$	298,32
Nonacosanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{27}\text{CH}_2\text{OH}$	424,79
Dotriacontanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{30}\text{CH}_2\text{OH}$	466,87
Tetracontanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{32}\text{CH}_2\text{OH}$	494,92
Heptacosanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{25}\text{CH}_2\text{OH}$	396,73

Fuente: (Gnanaral, 2012)

#### 2.2.3.2. *Propiedades nutraceuticas*

(Gnanaral, 2012, pp. 705-712), indica que el Policosanol obtenido a partir de caña de azúcar es la mezcla a la cual se le han atribuido propiedades terapéuticas con efecto anticolesterolémicos, antiagregante plaquetario, inhibición peroxidación lipídica, antitrombótica, mejor la integridad endotelial y también tiene papel terapéutico neurológico, con el aumento de la respuesta ante estímulos.

#### 2.2.4. *Procesos de obtención de Policosanol*

##### 2.2.4.1. *Extracción a partir del bagazo*

(Revelo, 2011, p. 127), estudia que en la extracción del Policosanol a partir del bagazo se utilizan las siguientes técnicas:

- **Por explosión de vapor:** La aplicación del proceso de explosión de vapor se realiza en un extractor de aceites modificado, que funciona como un reactor de vapor a alta presión y cuenta con un escape de vapor condensado para controlar la presión.
- **Por el uso de solventes:** Basado en el principio del proceso Merz, consiste en la combinación de varios solventes como hexano, heptano y agua en diferentes proporciones, obteniendo de este proceso la cera cruda.

#### 2.2.4.2. Extracción a partir de la cachaza

(García, 2016, pp. 20-22), estudia que en la extracción del Policosanol a partir de la cachaza se utilizan las siguientes técnicas:

- **Método Merz:** En la elección del equipo se realiza entre un tanque de vidrio con agitación tipo batch o un equipo Soxhlet. Se utilizan solventes orgánicos no polares tales como: heptano (99.97 %), hexano 11 (99,99 %) y una mezcla heptano-tolueno en proporción 1:2. Al establecer la relación óptima cachaza-solvente, se obtiene el máximo rendimiento de extracción (gramo cera/gramo cachaza seca). Para ello se mantiene constante el volumen de solvente, variando la cantidad de cachaza.
- **Método Sweenson:** Consiste en extraer la cera cruda contenida en la cachaza húmeda se utiliza una columna de platos perforados. El solvente utilizado es el heptano y se bombea por el fondo de la columna a 105 °C y mediante la transferencia de masa, se obtiene una mezcla cera-heptano. El heptano se elimina de la mezcla mediante un evaporador, el mismo que se recircula a la columna.
- **Extracción por percolación:** Se realiza por medio de un extractor de percolación con solvente alifáticos como hexano y heptano, a temperaturas menores a la de ebullición del solvente (relación 1:5 entre cachaza-solvente). Las fracciones de cera se precipitan mediante el enfriamiento escalonado del extracto.
- **Extracción Soxhlet:** El proceso con el equipo Soxhlet permite introducir el disolvente en el balón y colocarlo posteriormente en un baño termostático, lo que permite que el disolvente se caliente hasta su temperatura de ebullición. El balón se conecta al dispositivo de extracción que contiene un dedal de celulosa donde es colocada la cachaza de la caña de azúcar.

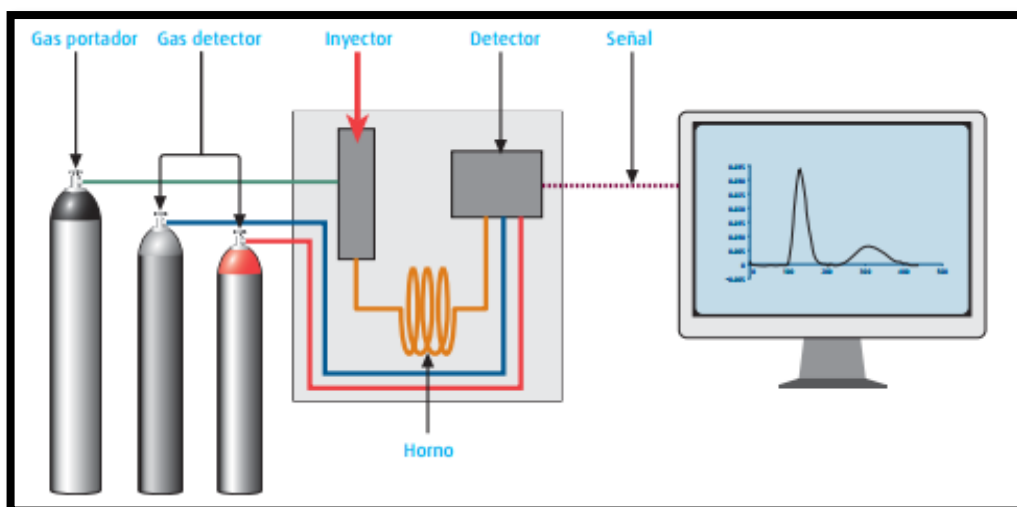
Una vez alcanzada la temperatura de ebullición, los vapores del solvente producidos ascienden por el conducto y pasan al estado líquido en el condensador ubicado en la parte superior del equipo. El solvente gotea en la muestra logrando la extracción de la cera de la caña de azúcar, mismo que a través de un sifón regresa con el soluto al balón, logrando la concentración de este al repetir varios ciclos de este proceso.

- **Extracción Soxtec:** La unidad de extracción Soxtec, está constituido por el extractor y un sistema de recirculación del aceite térmico. Es un sistema completamente automatizado con el manejo seguro y rápido de una extracción de materia soluble de un amplio rango de matrices, se lleva a cabo cuatro etapas de extracción: ebullición, enjuague, recuperación del solvente y apagado automático.

### 2.2.5. Cromatografía de gases

(Dabrio, 2011, pp. 151-154), indica que es una técnica analítica que permite separar mezclas de compuestos fácilmente volatilizables y térmicamente estables en sus componentes individuales. En todas las separaciones cromatográficas, la muestra se desplaza con una fase móvil, a través de una fase estacionaria con la que es inmisible fijada a una columna o a una superficie sólida. Las dos fases se eligen de tal forma que los componentes de la muestra se distribuyen de modo distinto entre ambas.

(Dabrio, 2011, pp. 151-154), analiza que aquellos componentes fuertemente retenidos por la fase estacionaria se mueven lentamente con el flujo de la fase móvil; por el contrario, los componentes que se unen débilmente se mueven con rapidez. Como consecuencia de la distinta movilidad, los componentes de la muestra se separan en bandas que pueden identificarse cualitativa y/o determinarse cuantitativamente. La clasificación más frecuente en cromatografía, la marca el tipo de fase móvil, en este sentido la cromatografía de gases emplea como fase móvil un gas, revisar figura 1-1.



**Figura 1-2:** Esquema experimental para la cromatografía de gases

Fuente: (Dabrio, 2011)

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Hipótesis y especificación de las variables

##### 3.1.1. *Hipótesis general*

- La recuperación de los residuos generados por la industria panelera para la obtención de Policosanol se podrá realizar a escala de laboratorio.

##### 3.1.2. *Hipótesis específicas*

- El bagazo y la cachaza generada en la industria panelera contienen Policosanol recuperable.
- El rendimiento del proceso de extracción será mayor de acuerdo a la pureza del solvente empleado.
- La pureza del Policosanol variará de acuerdo al tipo de solvente empleado.
- Los grupos funcionales que se obtengan serán comparables con los grupos funcionales del medicamento Ateromixol/PPG-20.

3.1.2.1. Operacionalización de las variables

VARIABLES	CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	VALORACIÓN
<b>Variable dependiente:</b>  Calidad de la extracción del Policosanol	El Policosanol obtenido tiene que cumplir con estándares de calidad para ser comercializado.	<b>PRUEBAS FÍSICAS</b> Consiste en mediciones con aparatos físicos, para determinar los flujos de alimentación y de salida después de cada operación unitaria empleada en el laboratorio	Rendimiento (%)	Mínimo 2% para que sea un proceso rentable
		<b>PRUEBAS QUÍMICAS</b> Consiste en la caracterización del producto obtenido por medio de análisis instrumental del producto obtenido.	Índice de Saponificación, (%)	Norma NTE INEN 0040:1973
			Punto de fusión, (°C)	Norma NTE INEN-ISO 6321:2013
<b>Variables Independientes:</b>  Se realizó la extracción del Policosanol con la utilización de diferentes tipos de solventes, recopilados en la bibliografía de la parte experimental. Para la saponificación se probó distintas velocidades de giro del agitador magnético.			Pureza, (%) Composición Química, (Grupos funcionales)	- Contenido de grupos hidroxilos, alcanos y alquilo alifático.
			Tipo de Solvente  Velocidad de Agitación	Heptano Heptano Recuperado Heptano + Agua 300 rpm 400 rpm

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

### 3.1.2.2. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL		OBJETIVO GENERAL		HIPOTESIS GENERAL
¿Es viable el aprovechamiento de los residuos sólidos generados de las industrias productoras de la panela para la obtención de Policosanol?		Aprovechar los residuos sólidos de las industrias productoras de panela para la obtención de Policosanol.		La recuperación de los residuos generados por la industria panelera para la obtención de Policosanol se podrá realizar a escala de laboratorio.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES ESPECÍFICAS	MÉTODO DE ANÁLISIS
¿Se puede obtener Policosanol de los diferentes residuos generados en la industria de la panela?	Obtener Policosanol a partir de residuos agroindustriales: bagazo y cachaza de caña de azúcar.	El bagazo y la cachaza generados en la industria panelera contienen Policosanol recuperable	-	-
¿ En qué grado afecta la extracción del Policosanol con diferentes solventes al rendimiento del proceso de obtención?	Calcular el rendimiento de Policosanol obtenido a partir de los residuos agroindustriales.	El rendimiento del proceso de extracción será mayor de acuerdo a la pureza del solvente empleado	Rendimiento	Balances de materia Análisis Estadístico
¿ En qué grado afecta la pureza del Policosanol extraído con diferentes solventes y la interacción con la velocidad de agitación?	Comparar el Policosanol obtenido con Ateromixol/PPG-20 mediante la técnica de cromatografía de gases.	La pureza del Policosanol variará de acuerdo al tipo de solvente empleado	Índice de Saponificación  Punto de fusión  Pureza	Reacción con el hidróxido de sodio Calentamiento en tubos capilares  Cromatografía de gases
¿Cómo comparar el Policosanol obtenido a escala de laboratorio con los medicamentos que existe en el mercado?	Validar por la técnica de espectrofotometría infrarroja el Policosanol obtenido mediante su comparación con Ateromixol/PPG-20.	Los grupos funcionales que se obtengan serán comparables con los grupos funcionales del medicamento Ateromixol/PPG-20	Composición Química	Espectrofotometría por infrarroja  Prueba de Shapiro-Wilk

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

## 3.2. Tipo y diseño de la investigación

### 3.2.1. Tipo de investigación

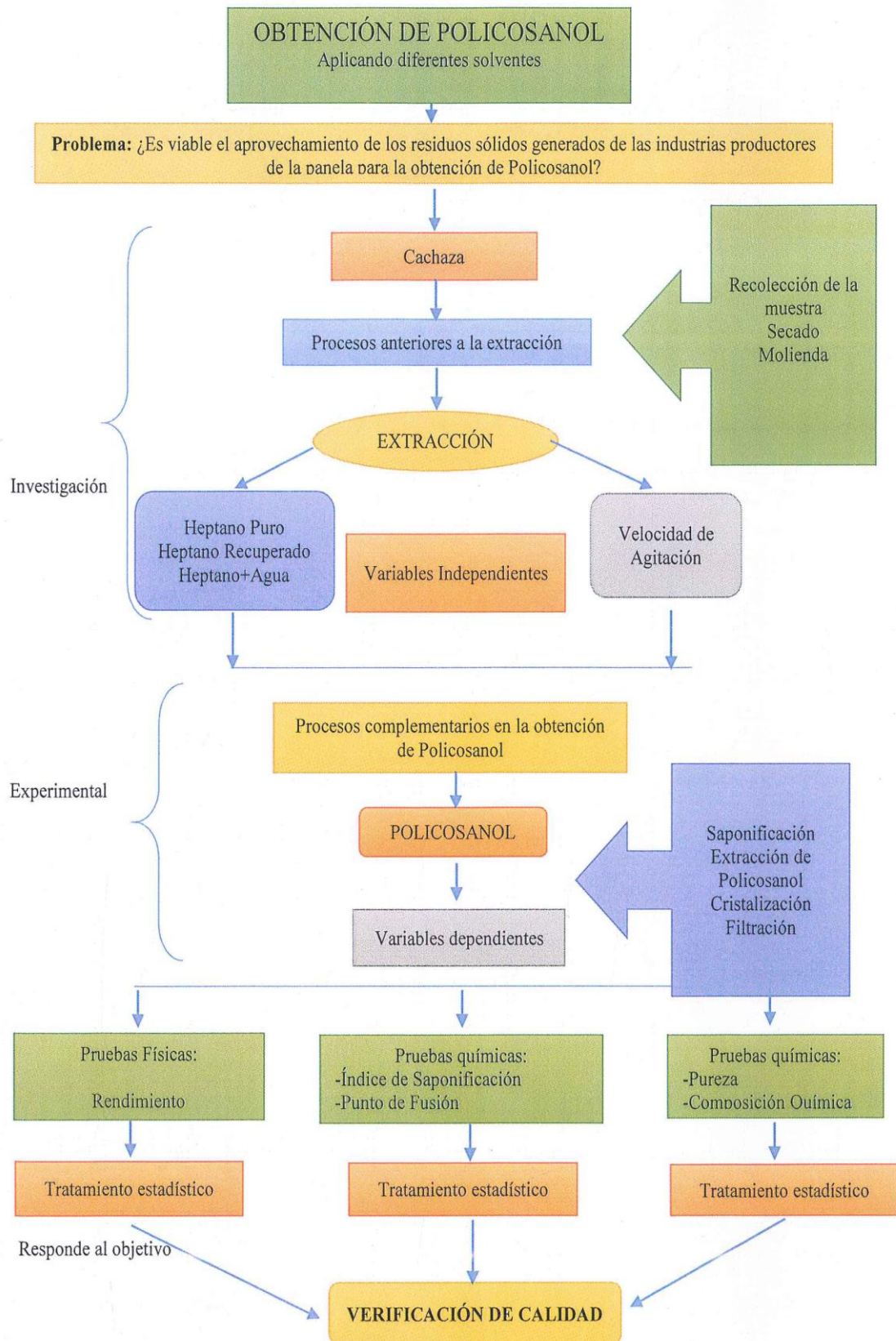
La presente investigación abarcó un extenso campo de estudio, es necesario realizar una investigación de dos tipos: experimental y descriptiva, para lograr entrelazar los resultados obtenidos con los objetivos planteados y lograr confirmar las hipótesis preestablecidas, se

identifica cada parte de las técnicas empleadas de acuerdo al tipo de investigación y metodología utilizada.

- **Experimental:** En Ecuador el producto que se planteó obtener (Policosanol), no se ha estudiado de manera extensa y se tiene un conocimiento escaso de su composición y de sus propiedades, por lo que es fundamental experimentar técnicas y métodos para poder reconocer la vía más rentable de obtener este producto, además de experimentar de qué manera se comprueba si los resultados obtenidos son o no Policosanol, también se necesita conocer la calidad final para sustentar las hipótesis establecidas.
- **Descriptivo:** Exploradas y recogidas las técnicas para la redacción de los resultados y las bitácoras de la investigación, es necesario describir cómo se realizó cada etapa desde la recolección de la materia prima hasta la caracterización del producto final, esta descripción es detallada con lo cual se podrán crear técnicas que puedan ser aprovechadas por los productores de panela de la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza.

### ***3.2.2. Diseño de investigación***

Esta investigación es de tipo experimental debido a que se va a realizar la extracción del Policosanol con la experimentación de diferentes técnicas, con la variación del tipo de solvente utilizado en la extracción y la velocidad de agitación en la saponificación. Dentro de los resultados obtenidos en los análisis respectivos se aceptó o rechazó las hipótesis propuestas. En la figura 1-3, se presenta esquemáticamente el diseño experimental de la investigación.



**Figura 1-3:** Resumen esquemático del diseño de la investigación  
Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.



### 3.3. Unidad de análisis

Para la presente investigación la unidad de análisis fue la muestra extraída de Policosanol, a la cual se le realizó los procesos de transformación con diferentes tipos de solventes; y se estudió sus características físicas y químicas para determinar su calidad final.

### 3.4. Población de estudio

La población de estudio constituyó los residuos sólidos generados en la industria panelera “Tarqui” lugar propuesto para la recuperación del bagazo y la cachaza, mensualmente en esta empresa se producen 100 unidades de cachaza y 400 cm<sup>3</sup> de bagazo, se tomó como referencia la empresa “Tarqui”, dado a que en la actualidad es la empresa que más panela produce en la provincia de Pastaza.

### 3.5. Tamaño de muestra

De acuerdo a la cantidad de bagazo y cachaza que se producen mensualmente en la industria panelera “Tarqui”, para el cálculo del tamaño de la muestra se utiliza: un nivel de confianza  $1 - \alpha$ , donde  $\alpha$  es el nivel de significación que queremos, generalmente es 5 % o 1 % (0,05 o 0,01). Lo que realmente significa es que, si extraemos un número determinado de muestras del mismo tamaño de una población con un parámetro de valor constante, el 95 % de los intervalos de confianza contruidos a partir de esas muestras contendrán el valor del parámetro que buscamos y el 5 % restante no lo contendrá, además se utiliza el valor de error máximo del 5 % en términos estadísticos, mediante la siguiente fórmula se determina el tamaño de muestra:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times g}{e^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times g}$$

Tipo de muestreo: aleatorio simple

N= número de población = 100 unidades

1-  $\alpha$ = Nivel de confianza = 95 %

Z= 1,96

p= probabilidad de éxito = 50 %

g= probabilidad de fracaso = 50 %

e= error = 5 %

$$n = \frac{100 \times (1,96)^2 \times 0,5 \times 0,5}{(0,05)^2 \times (100 - 1) + (1,96)^2 \times 0,5 \times 0,5}$$

$$n = 79,5 \cong 80$$

$$n = 80 \text{ unidades}$$

### 3.6. Selección de la muestra

Para la selección de las muestras se utilizó un muestreo aleatorio simple, en donde se numeró los lotes de desechos generados y mediante tablas de aleatoriedad se seleccionó los lotes, con esto se aseguró que la muestra sea representativa y que tenga las mismas características en todos los lotes de producción, para disminuir la posibilidad de errores en la obtención de Policosanól; en la tabla 1-3 se muestra el cronograma de recolección de la muestra que se ajustó de acuerdo al cronograma de la industria panelera “Tarqui”.

**Tabla 1-3:** Cronograma de recolección de residuos producidos en la planta “Tarqui”

<b>RECOLECCIÓN DE BAGAZO</b>		
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Cantidad Recogida</b>
05-03-2018	6:30- 7:00	20 unidades
12-03-2018	6:30- 7:00	20 unidades
19-03-2018	6:30- 7:00	20 unidades
26-03-2018	6:30- 7:00	20 unidades
<b>RECOLECCIÓN DE LA CACHAZA</b>		
05-03-2018	8:30- 9:30	100 cm <sup>3</sup>
12-03-2018	8:30- 9:30	100 cm <sup>3</sup>
19-03-2018	8:30- 9:30	100 cm <sup>3</sup>
26-03-2018	8:30- 9:30	100 cm <sup>3</sup>

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

Recogidas las muestras, se almacenaron en recipientes y fundas plásticas de acuerdo al tipo de desecho para así evitar el contacto entre bagazo y cachaza, cada muestra contó con su respectiva etiqueta de acuerdo al día, hora y lugar de sección, después se llevaron a la ciudad de Riobamba donde se realizó la extracción de Policosanól.

### 3.7. Desarrollo experimental

#### 3.7.1. Localización del experimento

Las muestras fueron recolectadas en la planta “Tarqui” ubicada en la ciudad del Puyo provincia de Pastaza, y el desarrollo de la parte experimental se realizó en los laboratorios de Química Analítica, Química Orgánica y Analítica Instrumental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la ciudad de Riobamba, Panamericana 1 ½, las condiciones experimentales están descritas en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Condiciones experimentales de la ciudad de Riobamba

<b>INDICADORES</b>	<b>2017</b>
Temperatura (°C).	13,45
Precipitación (mm/año).	42,8
Humedad relativa (%).	61,4
Viento / velocidad (m/s).	2,50

**Fuente:** Estación Meteorológica de la Facultad de Recursos Naturales. (2015).

### 3.7.2. Materiales y equipos

**Tabla 3-3:** Materiales y equipos utilizados en el muestreo de los residuos sólidos generados en la planta “Tarqui”

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Guantes	Balanza
Mandil	Probetas de 1500 ml
Fundas Plásticas	
Recipiente Plástico	

**Realizado por:** PROAÑO, Ricardo. 2019.

**Tabla 4-3:** Materiales, equipos y reactivos utilizados en la obtención de Policosanol a partir de los residuos generados en la planta “Tarqui”

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Guantes	Estufa eléctrica	Agua
Mascarilla	Balanza analítica	n-Heptano
Cofia	Equipo de extracción de Soxhlet	Hidróxido de Sodio
Mandil	Termómetro	Cloroformo
Bisturí	Reverbero	Alcohol Etilico
Papel aluminio	Agitador magnético	Alcohol Metílico
Papel filtro	Bomba al vacío	
Grapas		
Vasos de precipitación		
Matraz Erlenmeyer		
Vidrio reloj		
Pipeta		
Probeta		
Espátula		
Mortero y pistilo		
Kitasato		
Embudo		

**Realizado por:** PROAÑO, Ricardo. 2019.

**Tabla 5-3:** Materiales, equipos y reactivos utilizados para la caracterización del Policosanol obtenido a escala de laboratorio

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Pipetas	Espectrofotómetro Infrarrojo	Agua
Balones de aforación	Cromatógrafo de gases Agilent Technologies Modelo 7820A	Fenolftaleína
Vidrio reloj	Columna Agilent HP-5MSUI	Ateromixol
Espátula		Hidróxido de Potasio
Bureta		Policosanol
Soportes universales		
Pinzas		

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

### 3.7.3. Procedimiento experimental

#### 3.7.3.1. Obtención de Policosanol

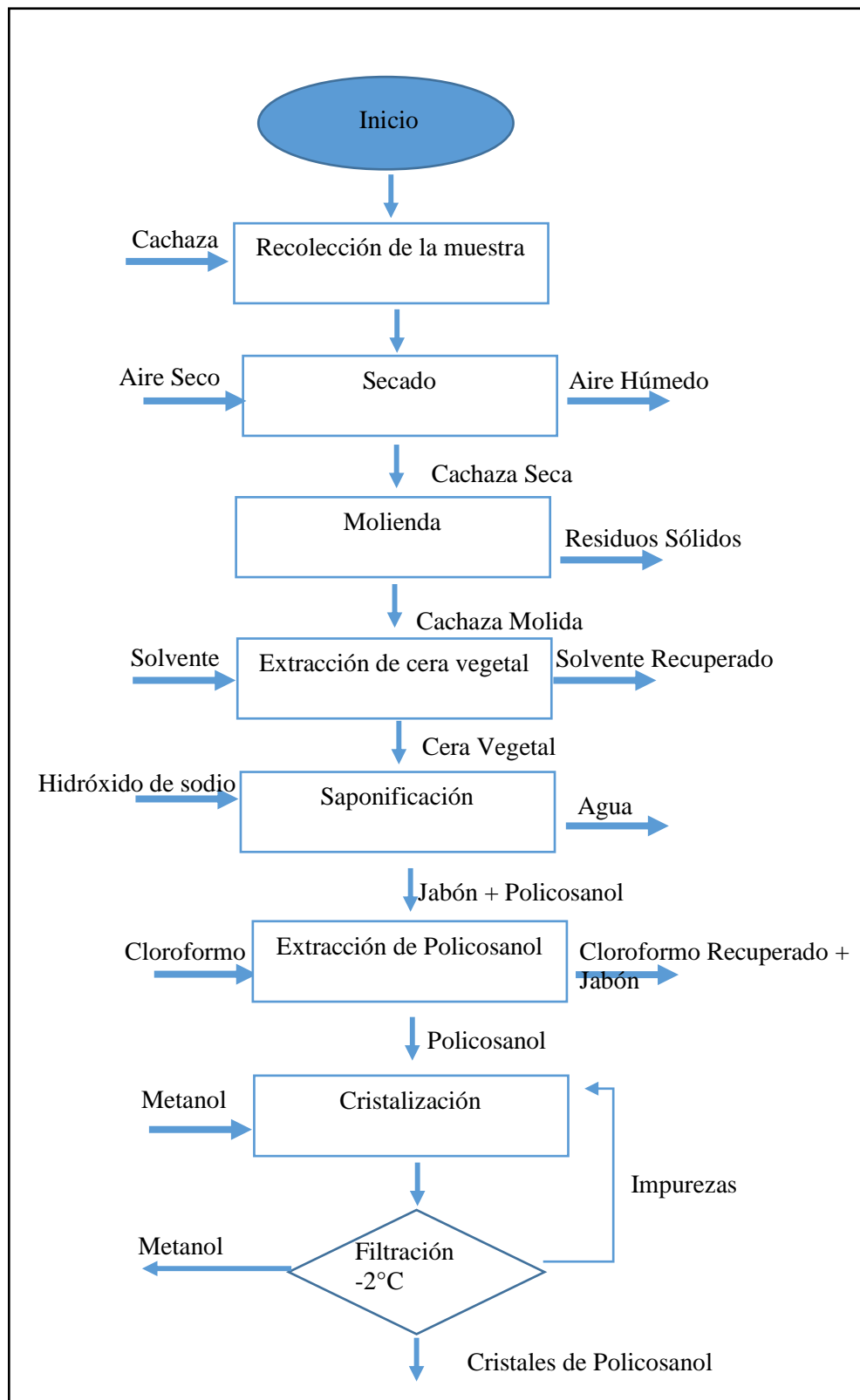
Para la obtención de Policosanol, la investigación se dividió en dos factores de estudio; el primero es el tipo de solvente usado para la extracción y el segundo es la velocidad de agitación para realizar la saponificación del Policosanol, estableciéndose la nomenclatura de acuerdo al siguiente esquema: heptano puro es el primer tratamiento (T1), extracción solvente heptano recuperado constituye el segundo tratamiento (T2) y extracción con heptano/agua es el tercer tratamiento (T3).

Se emplea dos velocidades de giro en la saponificación de la cera: velocidad de giro igual a 300 revoluciones por minuto es el ensayo 1 (E1) y velocidad de giro igual a 400 revoluciones por minuto es el ensayo dos (E2) como se indica en la tabla 6-3, al establecer esta diferenciación en los factores de estudio, para todas las muestras se sigue el mismo procedimiento experimental para obtener Policosanol como se muestra en la figura 2-3.

**Tabla 6-3:** Resumen de la nomenclatura aplicada para el tratamiento estadístico de los datos de acuerdo a tratamientos y ensayos aplicados en la obtención de Policosanol

<b>Tratamientos</b>	<b>Ensayos</b>	<b>Nomenclatura</b>
Heptano Puro(T1)	300 rpm(E1)	T1E1
Heptano Puro(T1)	400 rpm(E2)	T1E2
Heptano Recuperado(T2)	300 rpm(E1)	T2E1
Heptano Recuperado(T2)	400 rpm(E2)	T2E2
Heptano /Agua(T3)	300 rpm(E1)	T3E1
Heptano/Agua(T3)	400 rpm(E2)	T3E2

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.



**Figura 2-3:** Diagrama de flujo para la obtención de Policosanol a partir de cachaza  
 Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

### 3.7.3.2. Metodología para la caracterización del Policosanol

Para determinar las características finales del Policosanol y sus propiedades se evaluó la pureza, el rendimiento y la composición química, con esto se logró determinar si el Policosanol obtenido es de calidad y como se asemejan sus características al medicamento comercial Ateromixol PPG-20, las que se detallan a continuación:

- **Rendimiento:** El rendimiento se obtuvo mediante cálculos de ingeniería, tomando en cuenta la cantidad de materia prima, aditivos y reactivos que ingresaron al proceso de transformación y la cantidad de Policosanol obtenido, esto ayuda a determinar si el proceso es industrialmente viable y cuanto del residuo se aprovecha tomando en consideración la cantidad de sustancias adicionadas.
- **Pureza:** Se determinó mediante cromatografía de gases, en donde con el uso de la columna de cromatografía se evaluó mediante la comparación del medicamento estándar y el Policosanol obtenido por tratamiento, el objetivo de la investigación es obtener un producto que se pueda comparar con el Ateromixol PPG-20, por lo que obtener el mayor grado de pureza es necesario para comprobar la calidad del producto.
- **Determinación de los grupos funcionales:** La determinación de los grupos funcionales del Policosanol obtenido se realizó mediante el uso de un espectrofotómetro infrarrojo, se midió las vibraciones de los grupos funcionales mayoritarios presentes en el Policosanol y comparó con los grupos funcionales presentes en el Ateromixol PPG-20.

### 3.7.3.3. Técnicas utilizadas para la caracterización del producto obtenido

#### 3.7.3.3.1. Caracterización de la cera

Para la caracterización de la cera se realizó: índice de saponificación y punto de fusión, mediante los procedimientos detallados en la norma técnica NTE INEN 0040:1973 y NTE INEN ISO 6321:2013 respectivamente, el procedimiento seguido para la caracterización se detalla en los anexos 6 y 7, por la consideración que los análisis se realizaron en el laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## 3.8. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizó bitácoras de investigación, en donde se anotó los datos a lo largo de cada etapa productiva, los errores observados en cada proceso y los valores de los

parámetros que se debe controlar en cada etapa de producción. Obtenido el Policosanol en los distintos tratamientos, se realizó los análisis propuestos.

Para el análisis estadístico, se trabajó de acuerdo al diseño completamente al azar con arreglo combinatorio, comparando entre tres tratamientos (heptano puro; heptano recuperado y heptano/agua) y dos ensayos (300 y 400 rpm).

Se utilizó este tipo de diseño estadístico (ANOVA), ya que es necesario en el proceso investigativo replicar el procedimiento mínimo tres veces, con la que se determinó errores experimentales realizados en las diferentes operaciones de obtención del Policosanol, con este análisis estadístico se obtuvo: varianza de los tratamientos, varianza del error y diferencia de los datos; entre las dos varianzas se encuentra el valor de probabilidad (p-valor); se analizó si los tratamientos tienen relación con el factor de estudio.

Para la comprobación de hipótesis se utilizó las comparaciones de Shapiro-Wilk; que permite comparar el valor de probabilidad y la curva de normalidad, la hipótesis nula se acepta cuando se encuentra bajo la curva de normalidad; todos los datos fueron procesados con el paquete estadístico IBM SPSS statistics en el modo estudiante que es gratuito; en este programa se obtuvo los datos tabulados de las diferentes pruebas estadísticas detalladas anteriormente.

En la tabla 7-3, se muestra el esquema del ANOVA que se utilizó para determinar la variación que existe entre los tratamientos.

**Tabla 7-3:** Esquema del ANOVA

<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Varianza</b>	<b>Valor de Fisher</b>	<b>Probabilidad</b>
Suma de cuadrados totales	Grados de libertad totales	Varianza Total	---	---
Suma de cuadrados por repetición	Grados de libertad por repetición	Varianza de las repeticiones	---	---
Suma de cuadrados por ensayo	Grados de libertad por ensayos	Varianza de los ensayos	---	---

**Realizado por:** PROAÑO, Ricardo. 2019.

**Tabla 8-3:** Esquema del experimento utilizado para la determinación de las variables de proceso.

<b>Tipo de Solvente</b>	<b>T.U. E</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>solvente/tratamiento</b>
Heptano Puro (300 rpm)	1	3	3
Heptano Puro (400 rpm)	1	3	3
Heptano recuperado (300 rpm)	1	3	3
Heptano Recuperado (400 rpm)	1	3	3
Heptano/Agua (300 rpm)	1	3	3
Heptano/Agua (400 rpm)	1	3	3
Total			18

**T.U.E:** Tamaño de la unidad experimental

**Realizado por:** PROAÑO, Ricardo. 2019.

Para determinar la significación de los datos se tiene que especificar el adeva de los datos, lo que se muestra en la tabla 9-3.

**Tabla 9-3:** Esquema del adeva utilizado para la determinación de la significancia de las variables.

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Total	17
Factor A	2
Factor B	1
Interacción A*B	2
Error	12

**Realizado por:** PROAÑO, Ricardo. 2019.



## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis de resultados

El análisis de los resultados se realizó en 3 etapas: rendimiento del proceso, pureza del Policosanol y determinación de grupos funcionales del producto obtenido.

##### *4.1.1. Rendimiento del proceso*

El rendimiento del proceso se obtuvo mediante el uso de balances de materia, los cuales determinan la cantidad de materia prima que ingresan a cada etapa de transformación, la cantidad de producto obtenido y los residuos generados, con esto se aporta a la investigación la viabilidad técnica y económica para la obtención del Policosanol a partir de la cachaza recuperada de la industria panelera.

##### *4.1.1.1. Tratamientos preliminares en la obtención de Policosanol*

###### *4.1.1.1.1. Secado*

El secado se realizó a una temperatura de entrada de aire a 70 °C, en un secador tipo bandejas, alimentado con aire calentado por una resistencia eléctrica, la muestra permaneció hasta que el peso se mantuvo constante, para el balance de materia se utilizó la ecuación de la conservación de la masa y energía.

$$\left\{ \begin{array}{c} \text{Entrada} \\ \text{de materia prima} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{Generación de} \\ \text{Sustancias} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \text{Salida de} \\ \text{productos} \end{array} \right\} + \{ \text{Acumulación} \}$$

En este proceso no existió generación de sustancias residuales, debido a que el secado se da por la transferencia de masa, entre el aire caliente y la cachaza; no existió acumulación de las corrientes de salida, todo se retiró como producto seco y aire húmedo, con estos conceptos, para la determinación del flujo de salida de productos se utiliza la ecuación 1-4.

- **Balance de masa general para el secado**

$$E_s + E_{da} = S_p + S_{ah} \quad \text{Ec. 1-4}$$

Donde:

$E_s$ : Entrada de cachaza húmeda, Kg

$E_{da}$ : Entrada de aire seco, Kg

$S_p$ : Salida de cachaza seca, Kg.

$S_{ah}$ : Salida de aire húmedo, Kg

Es necesario también el balance parcial para los componentes: agua, sólido y corriente de aire empleado.

$$X_1 E_s + X_2 M_a = X_3 S_p + X_4 M_a \quad \text{Ec. 2-4}$$

Donde:

$X_1$ : Contenido de humedad de la cachaza húmeda, Kg de Agua/Kg de Sólido

$X_2$ : Contenido de humedad del aire seco, calculada en tablas psicométricas a 65°C y 10% de humedad relativa, kg de Agua/kg de Aire

$X_3$ : Contenido de humedad de la cachaza seca, Kg de Agua/Kg de Sólido

$X_4$ : Contenido de humedad del aire húmedo, calculada en tablas psicométricas a 18°C y 75% de humedad relativa, Kg de Agua/Kg de Aire (ver Anexo 5).

$M_a$ : Masa de aire, Kg.

- **Balance de masa para el componente aire a la entrada y a la salida**

$$E_{da} = M_a X \quad \text{Ec. 3-4}$$

Donde:

$M_a$ : Masa de aire, Kg.

$X$ : Humedad de aire a la entrada y a la salida, %.

- **Balance de masa para el componente sólido**

$$E_s(1 - X_1) = S_p(1 - X_3) \quad \text{Ec 4-4}$$

De la tabla 1-4, se reemplaza los valores obtenidos en la prueba experimental en la ecuación 4-4, para calcular la cantidad de humedad final del sólido después del proceso de secado.

$$0.1545(1 - 0.4970) = 0.1262 (1 - X_3)$$

$$0.0777 = 0.1262(1 - X_3)$$

$$0.6157 = 1 - X_3$$

$$X_3 = 0.3842 \text{ Kg} \frac{\text{Agua}}{\text{Kg sólido}}$$

➤ **Balance de masa para el componente aire**

Se reemplaza los valores obtenidos en la ecuación 4-4 en la ecuación 2-4 y se obtiene:

$$(0.1545 * 0.4970) + (0.10)M_a = (0.3842 * 0.1262) + (0.11)M_a$$

$$M_a = 2.8314 \text{ Kg}$$

➤ **Balance de masa para calcular la salida de aire húmedo**

Se reemplaza los valores obtenidos en la ecuación 2-4 en la ecuación 3-4 con lo que se obtiene:

$$S_{ah} = 2.8314 + (0.11 * 2.8314)$$

$$S_{ah} = 3.1429 \text{ Kg}$$

➤ **Rendimiento del proceso de secado**

El rendimiento se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Salida de producto seco}}{\text{Entrada de producto húmedo}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.1262}{0.1545} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 81.68 \%$$

En la tabla 1-4, se muestra el rendimiento al proceso de secado de los diferentes tratamientos en los que se dividió la investigación, bajo el mismo esquema de cálculo.

**Tabla 1-4:** Análisis del rendimiento para el secado de la cachaza en la obtención de Policosanól

Tratamiento	Cantidad de cachaza (Kg)	Cantidad de cachaza seca (Kg)	Rendimiento (%)
T1E1	0.1545	0.1262	81.68
T1E2	0.1139	0.1012	88.85
T2E1	0.1415	0.1171	82.75
T2E2	0.1279	0.1119	87.49
T3E1	0.1188	0.1054	88.68
T3E2	0.1195	0.1017	85.10

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.1.1.2. Triturado

La operación de triturado se realizó con la ayuda de un pistilo y un mortero, reduciendo el tamaño de la cachaza seca para tener mayor área de contacto con el solvente y lograr la maximización del rendimiento en la etapa de extracción, para calcular el rendimiento de la operación de triturado se empleó el siguiente balance de masa.

- **Balance de masa general para el triturado**

$$E_{ss} = S_{bm} + S_{rs} \quad \text{Ec 5-4}$$

Donde:

$E_{ss}$ : Entrada de cachaza seca, Kg.

$S_{bm}$ : Salida de cachaza triturada, Kg.

$S_{rs}$ : Salida de residuos sólidos retenidos, Kg.

Se reemplaza los valores reportados en la tabla 2-4 obtenidos en la parte práctica de la investigación, en la ecuación 6-4.

$$0.1262 = S_{bm} + 0.00086$$

$$S_{bm} = 0.1254 \text{ Kg}$$

➤ **Rendimiento del proceso de molienda**

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Salida de cachaza molida}}{\text{Entrada cachaza seca}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.1254}{0.1262} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 99.32 \%$$

En la tabla 2-4, se muestra el rendimiento al proceso de triturado de los diferentes tratamientos realizados en la investigación, bajo el mismo esquema de cálculo.

**Tabla 2-4:** Análisis del rendimiento para la molienda de la cachaza en la obtención de Policosanol

<b>Tratamiento</b>	<b>Cantidad de cachaza (Kg)</b>	<b>Cantidad de cachaza molida, (Kg)</b>	<b>Cantidad de residuos sólidos retenidos (Kg)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
T1E1	0.1262	0.1254	0.00086	99.32
T1E2	0.1012	0.1005	0.00086	99.15
T2E1	0.1171	0.1163	0.00086	99.27
T2E2	0.1119	0.1112	0.00086	99.23
T3E1	0.1054	0.1047	0.00086	99.18
T3E2	0.1017	0.1010	0.00086	99.15

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

4.1.1.2. *Tratamientos para la obtención de Policosanol*

4.1.1.2.1. *Extracción de cera vegetal*

El proceso de extracción se realizó con un equipo de extracción continua de Soxhlet, en la que se emplea diferentes tipos de solventes, para lograr separar la cera que contiene el Policosanol de los demás compuestos que no son de interés para el desarrollo de la investigación.

- **Balance de masa global para el proceso de extracción de cera vegetal**

$$E_{cm} = S_r + S_c \quad \text{Ec. 6-4}$$

Donde:

$E_{cm}$ : Entrada de cachaza molida, Kg.

$S_r$ : Salida de residuos, Kg.

$S_c$ : Salida de cera extraída, Kg.

Los valores obtenidos a escala de laboratorio de la cantidad de cachaza molida que se muestran en la tabla 3-4, se reemplaza en la ecuación 7-4; obteniéndose:

$$0.1254 = 0.0631 + S_c$$

$$S_c = 0.0623 \text{ Kg}$$

➤ **Rendimiento del proceso de extracción de cera vegetal**

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{masa de cera}}{\text{masa de cachaza} + \text{masa solvente}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.0623}{0.1254} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 49.72 \%$$

En la tabla 3-4, se muestra el rendimiento del proceso de extracción de cera de los diferentes tratamientos de la investigación, bajo el mismo esquema de cálculo.

**Tabla 3-4:** Análisis del rendimiento para la extracción de la cera en la obtención de Policosanol

<b>Tratamiento</b>	<b>Cantidad de cachaza molida (Kg)</b>	<b>Cantidad de cera extraída (Kg)</b>	<b>Cantidad de residuos generados (Kg)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
T1E1	0.1254	0.0623	0.0631	49.72
T1E2	0.1005	0.0493	0.0512	49.06
T2E1	0.1163	0.0167	0.0996	14.40
T2E2	0.1112	0.0159	0.0953	14.30
T3E1	0.1047	0.0203	0.0844	19.38
T3E2	0.1010	0.0200	0.0810	19.82
<b>Promedio</b>	0.10985	0.03075	0,0791	---

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.1.2.2. Saponificación de la cera vegetal

El proceso de saponificación se realizó para separar los compuestos grasos de la cera obtenida, esto se realizó añadiendo una solución de 1.2 % de Hidróxido de Sodio en peso y se colocó en un agitador magnético a 300 y 400 rpm, con el fin de formar jabones a partir del extracto graso que existe en la cera, el balance de materia para el proceso de saponificación se muestra a continuación.

- **Balance de masa general para el proceso de saponificación**

$$E_{cm} + E_s = S_c + S_r \quad \text{Ec. 7-4}$$

Donde:

$E_{cm}$ : Entrada de cera extraída, Kg.

$E_s$ : Entrada de solvente, Kg.

$S_c$ : Salida de cera saponificada, Kg.

$S_r$ : Salida de residuos, Kg.

- **Balance de masa parcial para el cálculo de la cantidad de hidróxido de sodio**

$$m = \frac{V_w * \% \text{ de soluto}}{100} \quad \text{Ec. 8-4}$$

$$m = \frac{300 * 1.2}{100}$$

$$m = 3.6 \text{ g} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$m = 0.0036 \text{ Kg}$$

Se reemplaza los valores obtenidos en la ecuación 8-4 y los reportados en la tabla 5-4, en la ecuación 7-4 con lo que se obtiene:

$$E_s = 0.0623 + 0.0036 - 0.0107$$

$$E_s = 0.0516 \text{ Kg}$$

- **Rendimiento para el proceso de saponificación de la cera**

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Salida de cera saponificada}}{\text{Entrada de cera}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.0516}{0.0623} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 82.75 \%$$

En la tabla 4-4, se muestra el rendimiento al proceso de saponificación de la cera vegetal de los diferentes tratamientos de la investigación, bajo el mismo esquema de cálculo.

**Tabla 4-4:** Análisis del rendimiento para la saponificación de la cera en la obtención de Policosanol

<b>Tratamiento</b>	<b>Cantidad de cera extraída (Kg)</b>	<b>Cantidad de cera saponificada (Kg)</b>	<b>Cantidad de residuos sólidos (Kg)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
T1E1	0.0623	0.0516	0.0107	82.75
T1E2	0.0493	0.0399	0.0094	80.89
T2E1	0.0167	0.0137	0.0030	82.33
T2E2	0.0159	0.0132	0.0027	83.01
T3E1	0.0203	0.0167	0.0036	82.06
T3E2	0.0200	0.0165	0.0035	82.52
<b>Promedio</b>	0.03075	0.02427	0.005483	---

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.1.2.3. Extracción de Policosanol

Para la extracción del Policosanol se empleó cloroformo, con el fin de lograr reducir los jabones formados en la etapa de saponificación, además de separar otros compuestos generados en las anteriores etapas y que son contaminantes, con el fin de aumentar la pureza del Policosanol, el cálculo de la cantidad de Policosanol extraído se muestra a continuación:

- **Balance de masa general para el proceso de extracción de Policosanol**

$$E_{cs} = S_p + S_{cl} \quad \text{Ec. 9-4}$$



Donde:

$E_{cs}$ : Entrada de cera saponificable, Kg.

$S_p$ : Salida de Policosanol, Kg.

$S_r$ : Salida de residuos, Kg.

➤ **Cálculo de la masa de salida de Policosanol**

Para el cálculo de la masa de Policosanol, se reemplaza los valores obtenidos en la etapa experimental de la investigación que se reportan en la tabla 5-4 en la ecuación 9-4.

$$E_{cs} - S_r = S_p$$

$$S_p = 0.0516 - 0.0331$$

$$S_p = 0.0185 \text{ Kg}$$

➤ **Rendimiento en la etapa de extracción de Policosanol**

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa de policosanol}}{\text{Masa de cera saponificada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.0185}{0.0516} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 35.77 \%$$

En la tabla 5-4, se muestra el rendimiento del proceso de extracción de Policosanol de los diferentes tratamientos de la investigación, bajo el mismo esquema de cálculo.

**Tabla 5-4:** Análisis del rendimiento para la extracción de Policosanol a partir de la cera saponificada.

Tratamiento	Cantidad de cera saponificada (Kg)	Cantidad de Policosanol extraído (Kg)	Salida de residuos (Kg)	Rendimiento (%)
T1E1	0.0516	0.0185	0.0331	35.77
T1E2	0.0399	0.0146	0.0253	36.59
T2E1	0.0137	0.0049	0.0088	35.87
T2E2	0.0132	0.0047	0.0085	35.69
T3E1	0.0167	0.0060	0.0107	36.18
T3E2	0.0165	0.0059	0.0106	35.89
<b>PROMEDIO</b>	0.02427	0.0091	0,01617	---

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.1.2.4. Recristalización del Policosanol

Como último paso para la purificación del Policosanol obtenido a partir de la cachaza se procedió a la recristalización de la muestra, en donde mediante el empleo de metanol se agrupan las cadenas de alcoholes presentes formando cristales, para el cálculo del rendimiento del proceso se utilizó el método de cálculo que se muestra a continuación; considerando la cantidad de Policosanol puro refinado para cada tratamiento.

- **Balance de masa general para el proceso de recristalización del Policosanol**

$$E_{pe} = S_m + S_{rs} \quad \text{Ec. 10-4}$$

Donde:

$E_{pe}$ : Entrada de Policosanol extraído, Kg.

$S_{rs}$ : Salida de residuos sólidos, Kg.

$S_{pr}$ : Salida de cristales de Policosanol, Kg.

Se reemplaza los valores obtenidos en la parte experimental de la investigación que se reporta en la tabla 6-4 en la ecuación 10-4 y se obtiene:

$$0.0185 - 0.0086 = S_m$$

$$S_m = 0.0099 \text{ Kg}$$

- **Rendimiento para el proceso de recristalización del Policosanol**

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa de Poliocanol puro}}{\text{Masa de Policosanol extraído}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.0099}{0.0185} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 53.36 \%$$

En la tabla 6-4, se muestra el rendimiento del proceso de extracción de Policosanol Puro de los diferentes tratamientos realizados en la investigación, bajo el mismo esquema de cálculo.

**Tabla 6-4:** Análisis del rendimiento en la recristalización para la obtención de Policosanol

<b>Tratamiento</b>	<b>Cantidad de Policosanol extraído (Kg)</b>	<b>Cantidad de cristales de Policosanol (Kg)</b>	<b>Cantidad de residuos sólidos (Kg)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
T1E1	0.0185	0.0099	0.0086	53.36
T1E2	0.0146	0.0077	0.0069	52.60
T2E1	0.0049	0.0026	0.0023	53.17
T2E2	0.0047	0.0024	0.0023	51.53
T3E1	0.0060	0.0032	0.0028	52.67
T3E2	0.0059	0.0031	0.0028	52.29
<b>Promedio</b>	0,0091	0.004817	0,004283	---

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.1.2.5. Análisis del rendimiento global práctico en la obtención de Policosanol

Se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad de Policosanol obtenido}}{\text{Cantidad de Cachaza a la entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.0099}{0.1545} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 6.41 \%$$

**Tabla 7-4:** Análisis del rendimiento global práctico para el proceso en la obtención de Policosanol

Tratamiento	Cantidad de cachaza adicionada (Kg)	Cantidad de Policosanol obtenido (Kg)	Rendimiento (%)
T1E1	0.1545	0.0099	6.41
T1E2	0.1139	0.0077	6.76
T2E1	0.1415	0.0026	1.84
T2E2	0.1279	0.0024	1.88
T3E1	0.1188	0.0032	2.69
T3E2	0.1195	0.0031	2.60

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.1.2.6. Interpretación de los rendimientos prácticos en el proceso de obtención del Policosanol

**Tabla 8-4:** Análisis de los rendimientos prácticos del proceso en obtención de Policosanol

Rendimiento / Tratamiento	Extracción Cera	Saponificación	Extracción Policosanol	Recristalización	Global
T1E1	49.72	82.75	35.77	53.36	6.41
T1E2	49.06	80.89	36.59	52.60	6.76
T2E1	14.40	82.33	35.87	53.17	1.84
T2E2	14.30	83.01	35.69	51.53	1.88
T3E1	19.38	82.06	36.18	52.67	2.69
T3E2	19.82	82.52	35.89	52.29	2.60

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

Mediante la tabla 8-4, podemos interpretar que en el rendimiento práctico de extracción de cera se puede evidenciar la variación de acuerdo al solvente empleado en su extracción, con una extracción máxima del 49.72 % con heptano puro y una mínima de 14.40 % con heptano

recuperado, el rendimiento práctico de la saponificación no presenta variaciones significativas entre sí.

El rendimiento práctico en la extracción de Policosanol no presenta variación entre muestras con respecto a la máxima extracción mediante cloroformo que es del 38 %, en el rendimiento práctico de la recristalización se pierde aproximadamente el 50 % en peso de acuerdo a que se elimina impurezas presentes en el Policosanol, además que permite una mayor concentración del Policosanol puro.

El rendimiento global práctico permite identificar el mejor tratamiento a emplearse para el máximo aprovechamiento de la materia prima y la mejor obtención de resultados; estos se evidencian cuando se emplea heptano puro con un rendimiento de 6,76 %.

#### 4.1.1.2.7. Rendimiento teórico

$$\text{Rendimiento teórico} = Pdm. \text{ Saponificación} * Pm \text{ NaOH} \quad \text{Ec. 11-4}$$

$$\text{Rendimiento teórico} = 0.02427 * 40$$

$$\text{Rendimiento teórico} = 0.9708 \text{ Kg}$$

#### 4.1.1.2.8. Porcentaje de rendimiento

$$\text{Porcentaje de rendimiento} = \frac{V.Prático}{V.Teórico} * 100 \quad \text{Ec. 12-4}$$

$$\text{Porcentaje de rendimiento} = \frac{0.0099}{0.9708} * 100$$

$$\text{Porcentaje de rendimiento} = 1.02 \%$$

**Tabla 9-4:** Análisis de porcentaje de rendimientos del proceso en obtención de Policosanol

Tratamiento	Rendimiento teórico (Kg)	Rendimiento práctico (Kg)	Rendimiento (%)
T1E1	0.9708	0.0099	1.02
T1E2		0.0077	0.79
T2E1		0.0026	0.27
T2E2		0.0024	0.25
T3E1		0.0032	0.33
T3E2		0.0031	0.32

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.2. Análisis estadístico de resultados mediante el método ANOVA

##### 4.1.2.1. Análisis del porcentaje de rendimiento en el proceso de obtención de Policosanol

**Tabla 10-4:** Análisis estadístico del porcentaje de rendimiento de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol

Factor de verificación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	Probabilidad del valor
Modelo.	5.06	5	1.01	16.51	0.0001
Tipo de Solvente	4.91	2	2.46	40.05	<0.0001
velocidad de agitación	0.01	1	0.01	0.12	0.7309
Tipo de Solvente*velocidad de agitación	0.14	2	0.07	1.17	0.3447
Error	0.74	12	0.06	---	---
Total	5.8	17	---	---	---

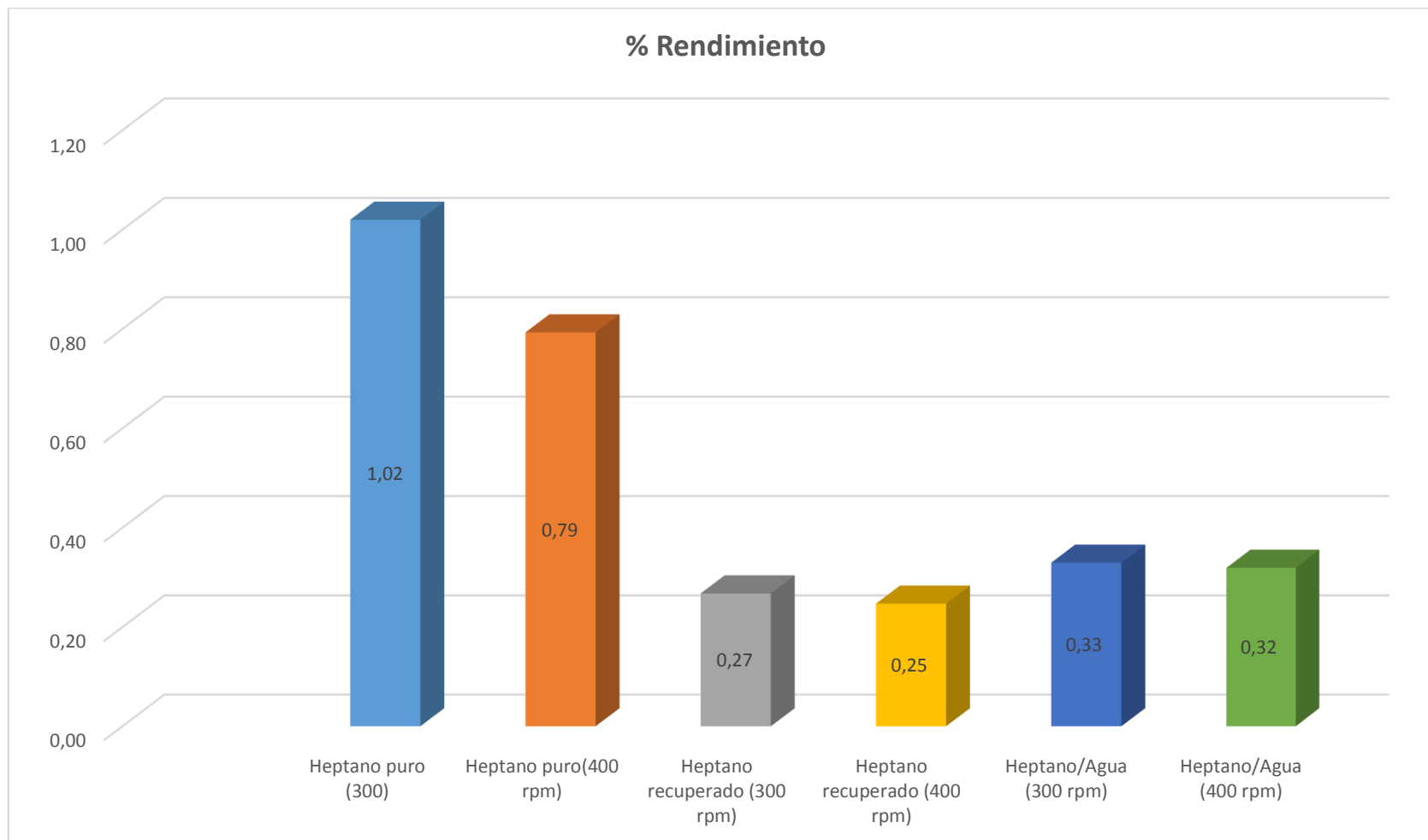
Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

El análisis estadístico que se muestra en la tabla 10-4 y en el gráfico 1-4; las muestras reportan diferencias estadísticas entre medias ( $P < 0.01$ ), al realizar la extracción con heptano puro a 300 rpm, se obtuvo respuestas iguales a 1.02 %, disminuye a 0,79 % con respecto a heptano puro a 400 rpm.

Las respuestas al extraer con heptano/agua a 300 rpm, se obtuvo medias iguales a 0.33 %, disminuye a 0.32 % mediante heptano/agua a 400 rpm.

Las medias en la extracción con heptano recuperado a 300 rpm; fueron iguales a 0.27 %, disminuye a 0.25 % con heptano recuperado a 400 rpm.

Mediante el análisis, la mejor respuesta se obtiene al adicionar heptano puro a 300 rpm, se logró que se tenga mayor porcentaje de rendimiento en el proceso de obtención del Policosanol.



**Gráfico 1-4:** Resultados obtenidos del porcentaje de rendimiento de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación, para obtención de Policosanol.

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

### 4.1.3. Análisis de las propiedades físicas del Policosanol

#### 4.1.3.1. Índice de saponificación

**Tabla 11-4:** Análisis estadístico del índice de saponificación de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol.

Factor de verificación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	Probabilidad del valor
Modelo.	919.84	5	183.97	526.41	<0.0001
Tipo de Solvente	919.84	2	459.92	1316.02	<0.0001
velocidad de agitación	0	1	0	0	>0.9999
Tipo de Solvente*velocidad.	0	2	0	0	>0.9999
Error	4.19	12	0.35	---	---
Total	924.03	17	---	---	---

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

El análisis estadístico que se muestra en la tabla 11-4 y en el gráfico 2-4; presentó diferencias significativas entre medias ( $P < 0.01$ ), siendo influyente el tipo de solvente al extraer Policosanol.

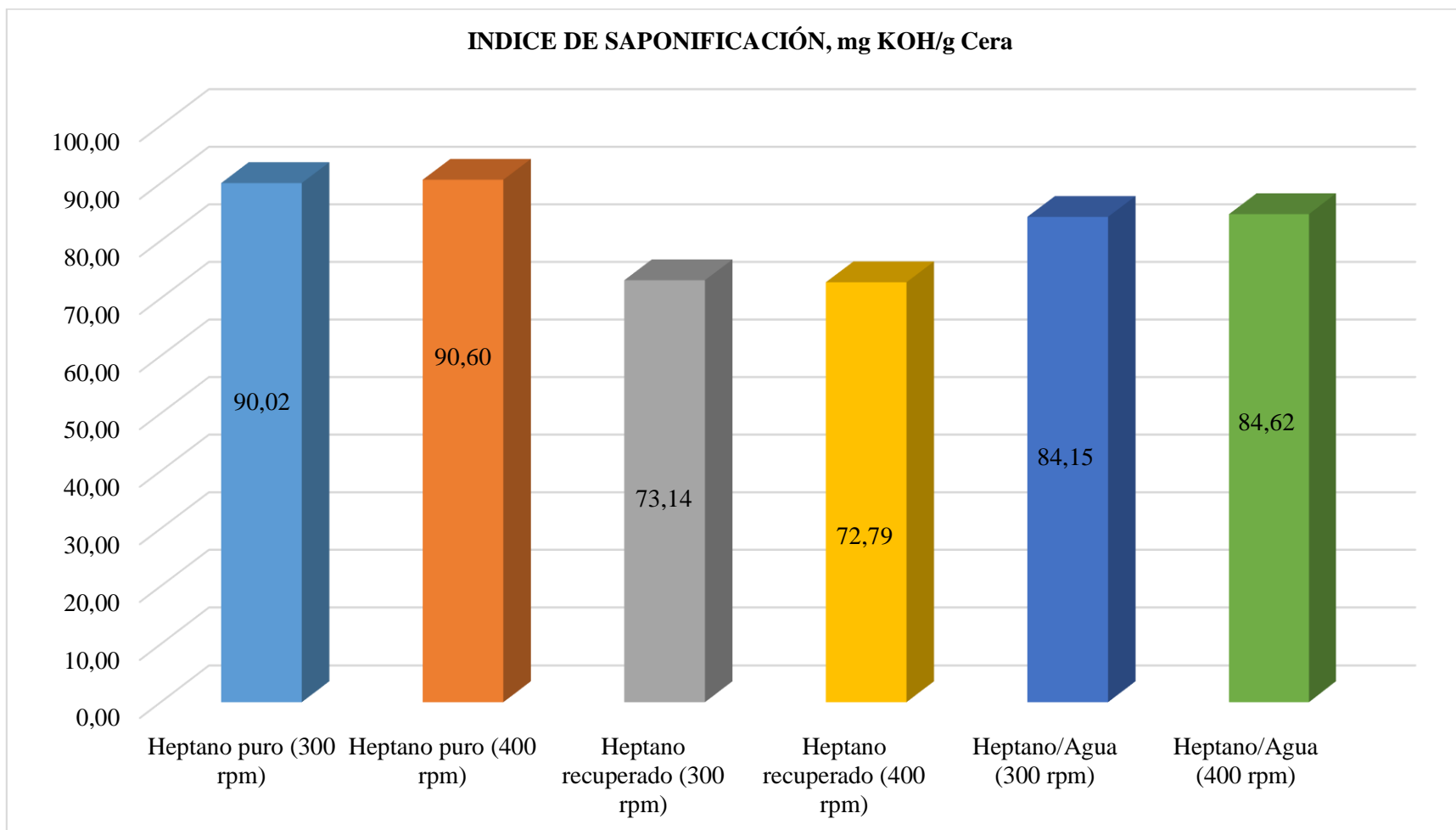
Al realizar la extracción con heptano puro, a 400 rpm con valor de 90.60 mg KOH/g Cera, disminuye a 90,02 mg KOH/g Cera a 300 rpm.

En la extracción con heptano/agua a 400 rpm, el valor es de 84.62 mg KOH/g Cera, disminuye a 84,15 mg KOH/g Cera a 300 rpm.

La respuesta más baja se obtuvo al trabajar con heptano recuperado a 300 rpm; con valor de 73.14 mg KOH/g Cera, disminuye a 72.79 mg KOH/g Cera a 400 rpm.

De acuerdo a las medias se interpreta que la velocidad de agitación si influye en el índice de saponificación de la cera para la obtención de Policosanol, mientras que el tipo de solvente es el que determina los valores de esta característica física.





**Gráfico 2-4:** Resultados obtenidos del índice de saponificación de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación, para obtención de Policosanol.

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.3.2. Punto de fusión

**Tabla 12-4:** Análisis estadístico del punto de fusión de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol.

<b>Factor de verificación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Fisher</b>	<b>Probabilidad del valor</b>
Modelo.	12	5	2.4	16.51	0.0001
Tipo de Solvente	12	2	6	40.05	<0.0001
velocidad de agitación	0	1	0	0.12	0.7309
Tipo de Solvente*velocidad.	0	2	0	1.17	0.3447
Error	0	12	0	---	---
Total	12	17	---	---	---

**Realizado por:** PROAÑO, Ricardo. 2019.

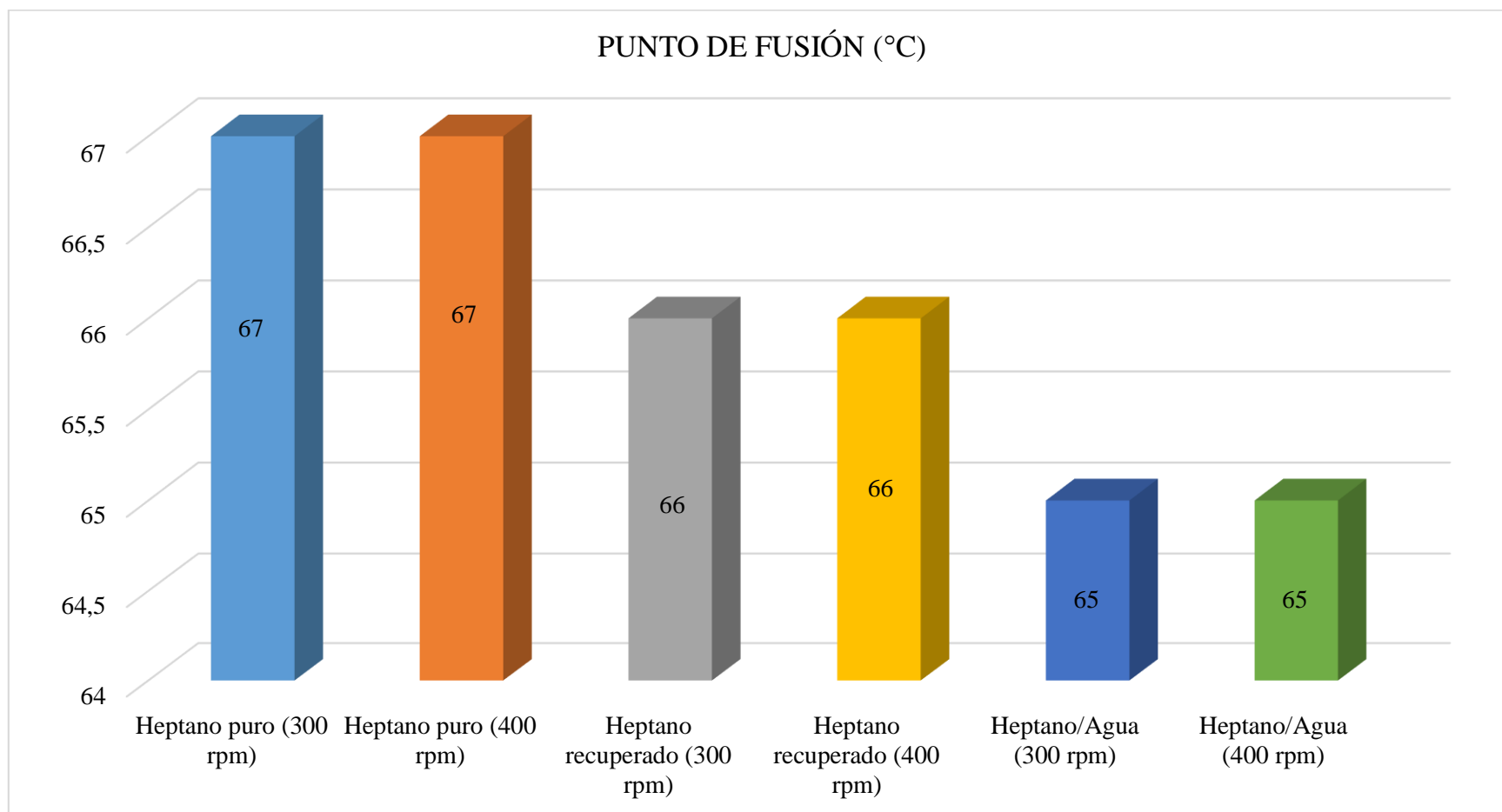
El análisis estadístico que se muestra en la tabla 12-4 y en el gráfico 3-4; reportó que los valores de probabilidad fueron menores a 0.01 (valores significativos).

Al trabajar con heptano puro, a 300 y 400 rpm, los valores son iguales a 67 °C.

En la extracción con heptano/agua a 300 y 400 rpm, se alcanza valores iguales a 66 °C.

Los valores son iguales a 65 °C, en la extracción con heptano recuperado a 300 y 400 rpm.

Al realizar la extracción del Policosanol con heptano puro, se obtiene mejores resultados a la prueba punto de fusión del producto terminado



**Gráfico 3-4:** Resultados obtenidos del punto de fusión de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación, para obtención de Policosanol.

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.3.3. Cromatografía de gases

**Tabla 13-4:** Análisis estadístico de la cromatografía de gases de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol

<b>Factor de verificación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Fisher</b>	<b>Probabilidad del valor</b>
Modelo.	545.2	5	109.04	50326.51	<0.0001
Tipo de Solvente	446.7	2	223.35	103085.61	<0.0001
velocidad de agitación	78.38	1	78.38	36173.17	<0.0001
Tipo de Solvente*velocidad.	20.12	2	10.06	4644.09	<0.0001
Error	0.03	12	2.20E-03	---	---
Total	545.23	17	---	---	---

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2018.

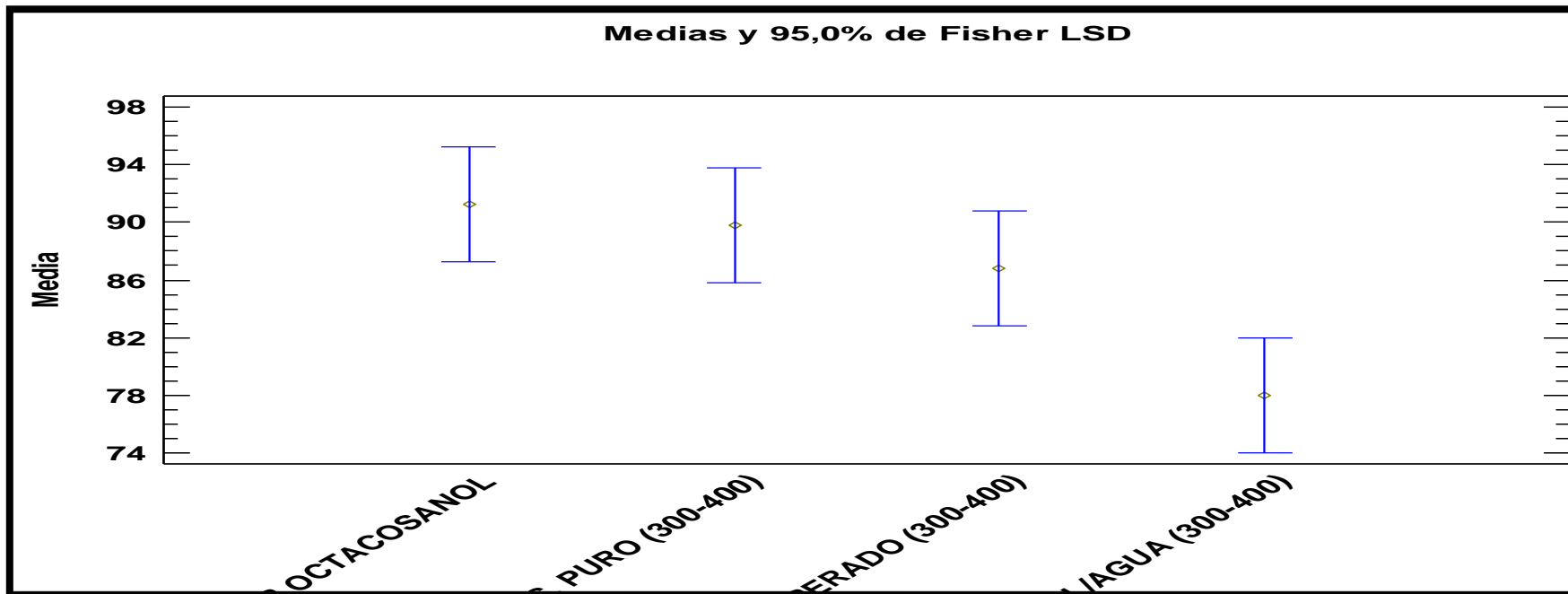
El análisis estadístico que se muestra en la tabla 13-4 y en el gráfico 4-4; para la cromatografía de gases del Policosanol; se obtuvo el valor de la pureza de cada muestra comparada con el estándar en el cromatógrafo de gases con respecto al contenido de octacosanol, se reportó diferencias estadísticas ( $P < 0.01^*$ ), el valor de pureza del estándar es de 91.21 %.

A continuación, se obtuvo valores iguales a 89.75 % con la aplicación de heptano puro a 300 y 400 rpm.

El tratamiento con heptano recuperado a 300 y 400 rpm tiene valor igual a 86.84 %.

La respuesta más baja se calculó al extraer con Heptano/Agua a 300 y 400 rpm, con valor igual a 78.02 %.

Los tratamientos con homogeneidad respecto al espectro del estándar en determinación de la presencia de la pureza; son las muestras tratadas con heptano/agua a 300-400 rpm y heptano puro a 300-400 rpm; se comprobó mediante prueba de múltiples rangos (ver anexo 1).



Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SOL/AGUA (300-400)	2	78,021	X
S. RECUPERADO (300-400)	2	86,837	X
S. PURO (300-400)	2	89,7505	X
ESTANDAR OCTACOSANOL	2	91,206	X

**Gráfico 4-4:** Resultados obtenidos de la cromatografía de capa gases de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación para obtención de Policosanol.

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.4. Análisis de las propiedades químicas del Policosanol

##### 4.1.4.1. Presencia del grupo funcional hidroxilo

**Tabla 14-4:** Análisis estadístico del grupo funcional hidroxilo de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol.

Factor de verificación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	Probabilidad del valor
Modelo.	489039.37	5	97807.87	671.96	<0.0001
Tipo de Solvente	283362.85	2	141681.43	973.38	<0.0001
velocidad de agitación	92359.72	1	92359.72	6.35E+02	<0.0001
Tipo de Solvente*velocidad.	113316.79	2	56658.4	389.26	<0.0001
Error	1746.66	12	145.56	---	---
Total	490786.03	17	---	---	---

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

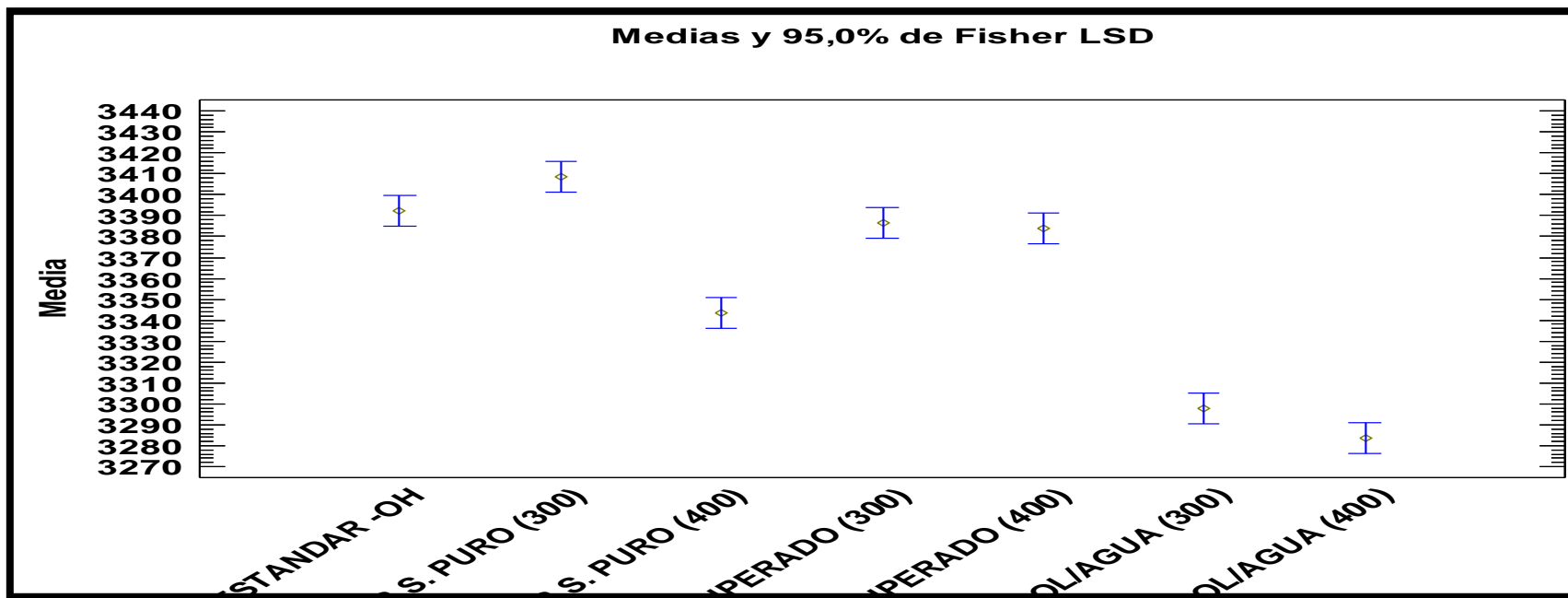
El análisis estadístico que se muestra en la tabla 14-4 y en el gráfico 5-4; la presencia del grupo funcional hidroxilo en el Policosanol, se comparó el espectro del Ateromixol PPG-20 (medicamento comercial) y el Policosanol obtenido a escala de laboratorio, las medias reportaron diferencias altamente significativas ( $P < 0.01^*$ ), la muestra del estándar tiene valor igual a  $3392,17 \text{ cm}^{-1}$ .

El tratamiento con heptano recuperado a 300 rpm, reporta valores iguales a  $3386.42 \text{ cm}^{-1}$ ; disminuye a  $3383.97 \text{ cm}^{-1}$  a 400 rpm.

Al adicionar heptano puro a 300 rpm se obtuvo valores iguales a  $3408.45 \text{ cm}^{-1}$ , con la disminución de valores iguales a  $3343 \text{ cm}^{-1}$  a 400 rpm.

Al trabajar con heptano/agua a 300 rpm se obtuvo valores iguales a  $3297.67 \text{ cm}^{-1}$ , disminuye a  $283.73 \text{ cm}^{-1}$ , a 400 rpm.

El tratamiento con homogeneidad respecto al espectro del estándar en determinación de la presencia de grupo hidroxilo; son las muestras tratadas con heptano recuperado a 300 y 400 rpm; se comprobó mediante prueba de múltiples rangos (ver anexo 1).



Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
B.SOL/AGUA (400)	3	3283,73	X
B.SOL/AGUA (300)	3	3297,67	X
B.S. PURO (400)	3	3343,74	X
B.S. RECUPERADO (400)	3	3383,97	X
B.S. RECUPERADO (300)	3	3386,42	X
ESTANDAR -OH	3	3392,17	X
B.S. PURO (300)	3	3408,45	X

**Gráfico 5-4:** Resultados obtenidos a la evaluación de la presencia del grupo funcional hidroxilo determinado por espectrofotometría infrarroja de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación para obtención de Policosanol.

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.4.2. Presencia de alcanos

**Tabla 15-4:** Análisis estadístico de alcanos de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol.

<b>Factor de verificación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Fisher</b>	<b>Probabilidad del valor</b>
Modelo.	0.01	5	1.40E-03	4.4862E+15	<0.0001
Tipo de Solvente	2.50E-03	2	1.30E-03	sd	Sd
velocidad de agitación	5.00E-05	1	5.00E-05	sd	Sd
Tipo de Solvente*velocidad.	4.30E-03	2	2.20E-03	sd	Sd
Error	0	12	0	---	---
Total	0.01	17	---	---	---

**Realizado por:** PROAÑO, Ricardo. 2019.

El análisis estadístico que se muestra en la tabla 15-4 y en el gráfico 6-4; las respuestas obtenidas a la presencia de alcanos no reportaron diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) entre medias, en el análisis de los espectros en la corrida infrarroja al comparar con el Ateromixol PPG-20. El espectro del estándar tiene valor igual a  $2935.13 \text{ cm}^{-1}$ .

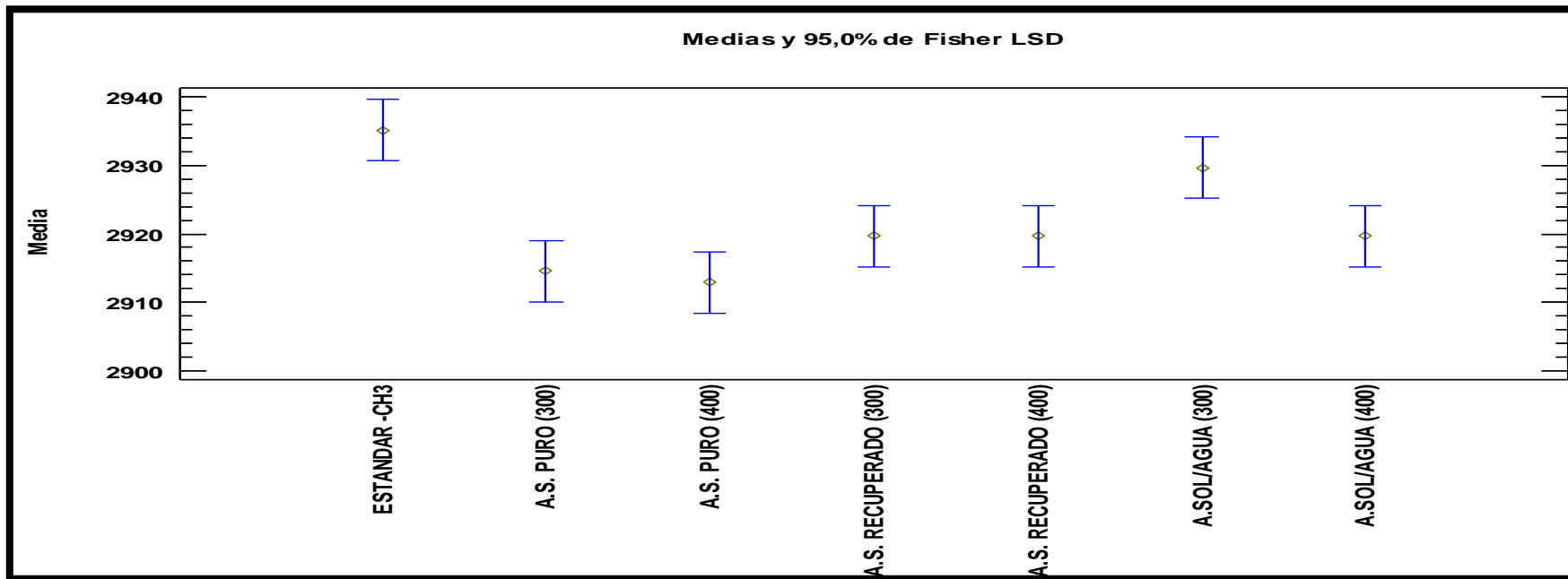
En la extracción heptano/agua a 300 rpm, se tiene valor igual a  $2929.66 \text{ cm}^{-1}$ , disminuye a  $2919.7 \text{ cm}^{-1}$  a 400 rpm.

Al trabajar con heptano recuperado a 300 y 400 rpm; se tiene valor igual a  $2919.7 \text{ cm}^{-1}$ .

En el tratamiento con heptano puro a 300 rpm, se tiene valor de  $2914.55 \text{ cm}^{-1}$ , que disminuye a  $2912.93 \text{ cm}^{-1}$  a 400 rpm.

El tratamiento con homogeneidad respecto al espectro del estándar en determinación de la presencia de alcanos; es la muestra tratada con heptano/agua a 300 rpm; se comprobó mediante prueba de múltiples rangos (ver anexo 1).





Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A.S. PURO (400)	3	2912,93	X
A.S. PURO (300)	3	2914,55	X
A.SOL/AGUA (400)	3	2919,7	X
A.S. RECUPERADO (400)	3	2919,7	X
A.S. RECUPERADO (300)	3	2919,7	X
A.SOL/AGUA (300)	3	2929,66	X
ESTANDAR -CH3	3	2935,13	X

**Gráfico 6-4:** Resultados obtenidos a la evaluación de la presencia de alcanos determinado por espectrofotometría infrarroja de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación para obtención de Policosanol.

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

#### 4.1.3.2.1. Presencia del grupo alquilo

**Tabla 16-4:** Análisis estadístico del grupo alquilo de acuerdo a la interacción entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación para la obtención de Policosanol.

<b>Factor de verificación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Fisher</b>	<b>Probabilidad del valor</b>
Modelo.	4.5	5	0.9	Sd	Sd
Tipo de Solvente	3	2	1.5	Sd	Sd
velocidad de agitación	0.5	1	0.5	Sd	Sd
Tipo de Solvente*velocidad.	1	2	0.5	Sd	Sd
Error	0	12	0	---	---
Total	4.5	17	---	---	---

**Realizado por:** PROAÑO, Ricardo. 2019.

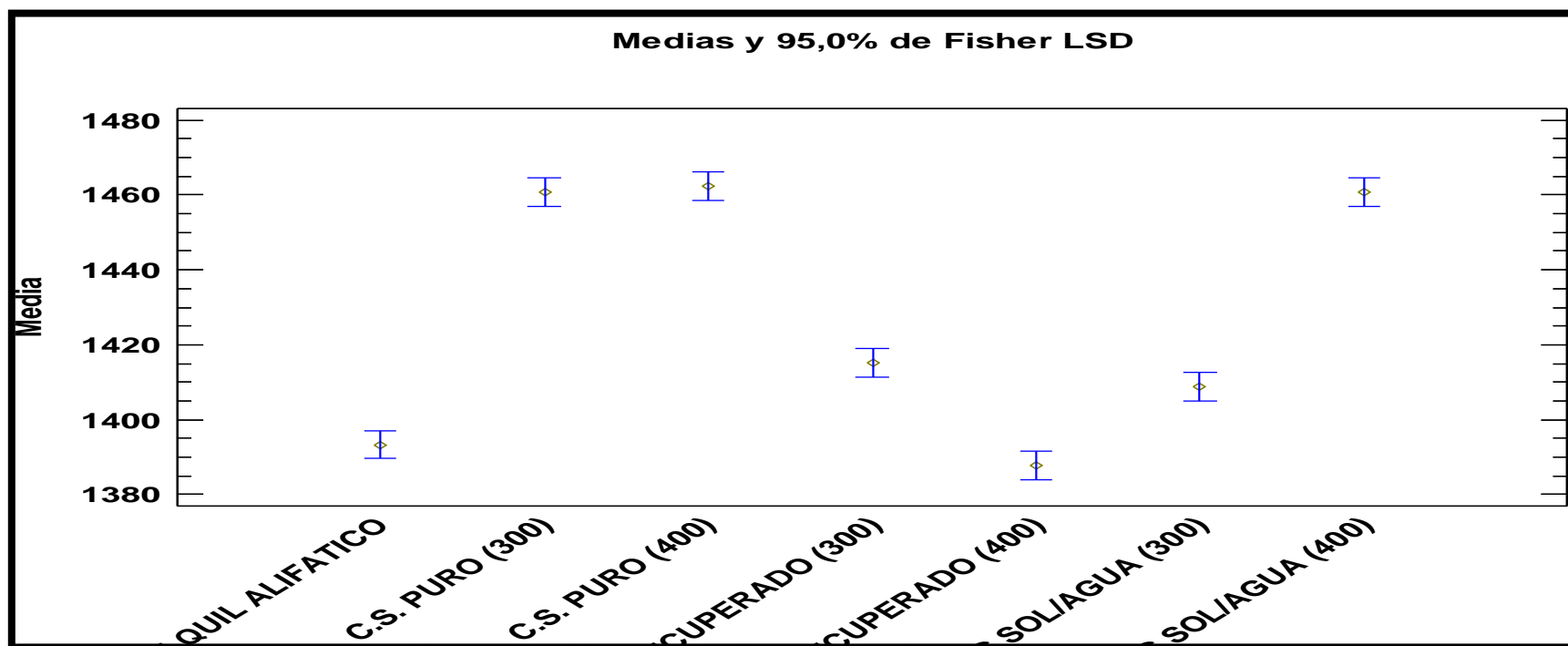
El análisis estadístico que se muestra en la tabla 16-4 y en el gráfico 7-4; las respuestas obtenidas a la presencia del grupo funcional alquilo alifático no reportó diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) entre medias, en el análisis de los espectros en la corrida infrarroja al comparar con el Ateromixol PPG-20. El espectro del estándar tiene valor igual a  $1393.32 \text{ cm}^{-1}$ .

En la extracción heptano recupera a 400 rpm, se tiene valor igual a  $1387.76 \text{ cm}^{-1}$ , aumenta a  $1415.28 \text{ cm}^{-1}$  a 300 rpm.

Al trabajar con heptano/agua a 300 rpm; se tiene valor igual a  $1408.75 \text{ cm}^{-1}$ , aumenta a  $1460.81 \text{ cm}^{-1}$  a 400 rpm.

En el tratamiento con heptano puro a 300 rpm, se tiene valor de  $1460.81 \text{ cm}^{-1}$ , que aumenta a  $1462.42 \text{ cm}^{-1}$  a 400 rpm.

El tratamiento con homogeneidad respecto al espectro del estándar en determinación de la presencia de grupo funcional alquilo alifático; es la muestra tratada con heptano recuperado a 400 rpm; se comprobó mediante prueba de múltiples rangos (ver anexo 1)



Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C.S. RECUPERADO (400)	3	1387,76	X
ESTANDAR ALQUIL ALIFATICO	3	1393,32	X
C.SOL/AGUA (300)	3	1408,75	X
C.S. RECUPERADO (300)	3	1415,18	X
C.SOL/AGUA (400)	3	1460,81	X
C.S. PURO (300)	3	1460,81	X
C.S. PURO (400)	3	1462,42	X

**Gráfico 7-4:** Resultados obtenidos a la evaluación de la presencia del grupo funcional alquilo alifático determinado por espectrofotometría infrarroja de acuerdo a la interacción entre: tipo de solvente y velocidad de agitación para obtención de Policosanol.

Realizado por: PROAÑO, Ricardo. 2019.

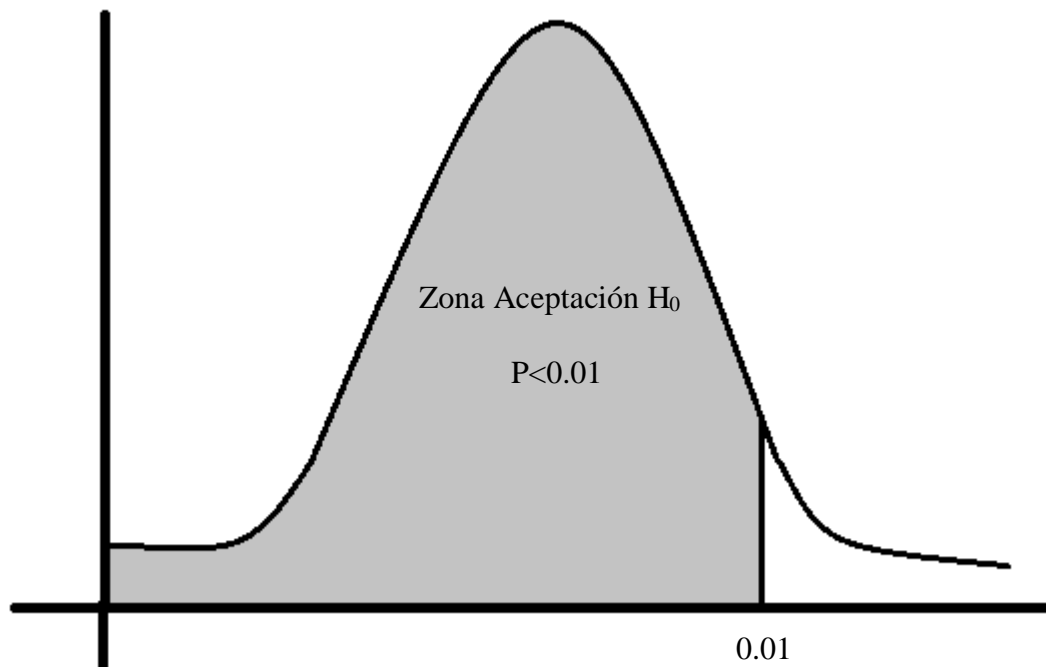
## 4.2. Comprobación de hipótesis

### 4.2.1. Hipótesis general

H<sub>0</sub>: La cachaza y el bagazo generados en la industria panelera contienen Policosanol recuperable

H<sub>a</sub>: La cachaza generada en la industria panelera contienen Policosanol recuperable

Pruebas de normalidad							
Solvente	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	Gf	Sig.	Estadístico	Gf	Sig.	
OH	1.00	.317	6	.060	.733	6	.013
	2.00	.300	6	.098	.753	6	.021
	3.00	.218	6	.200*	.882	6	.278
Grupo alquilo alifático	2.00	.319	6	.056	.683	6	.004



Se niega la hipótesis nula y se acepta la alternativa, la cachaza que es generada en la industria panelera contiene Policosanol recuperable, como resultado de que el valor de probabilidad es mayor o igual a 0.01.

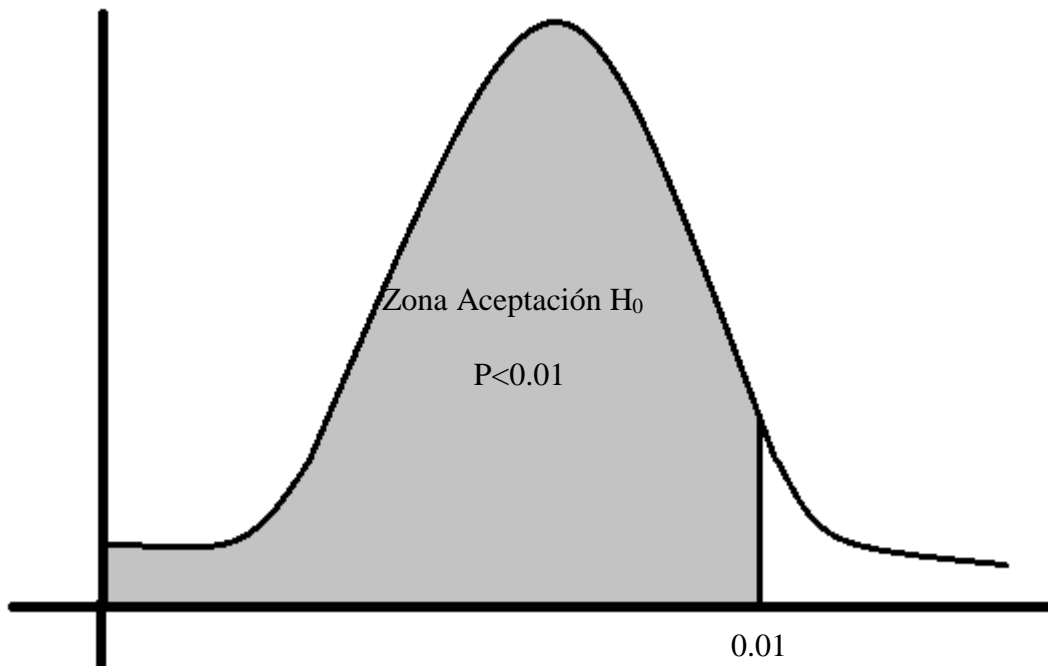
#### 4.2.2. Hipótesis específicas

##### 4.2.2.1. Hipótesis específica 1

Ho: El rendimiento del proceso de extracción será mayor de acuerdo a la pureza del solvente empleado

Ha: El rendimiento del proceso de extracción no será mayor de acuerdo a la pureza del solvente empleado

Pruebas de normalidad							
Solvente	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Rendimiento	1.00	.228	6	.200*	.927	6	.00559
	2.00	.298	6	.104	.869	6	.0223
	3.00	.172	6	.200*	.982	6	.0959



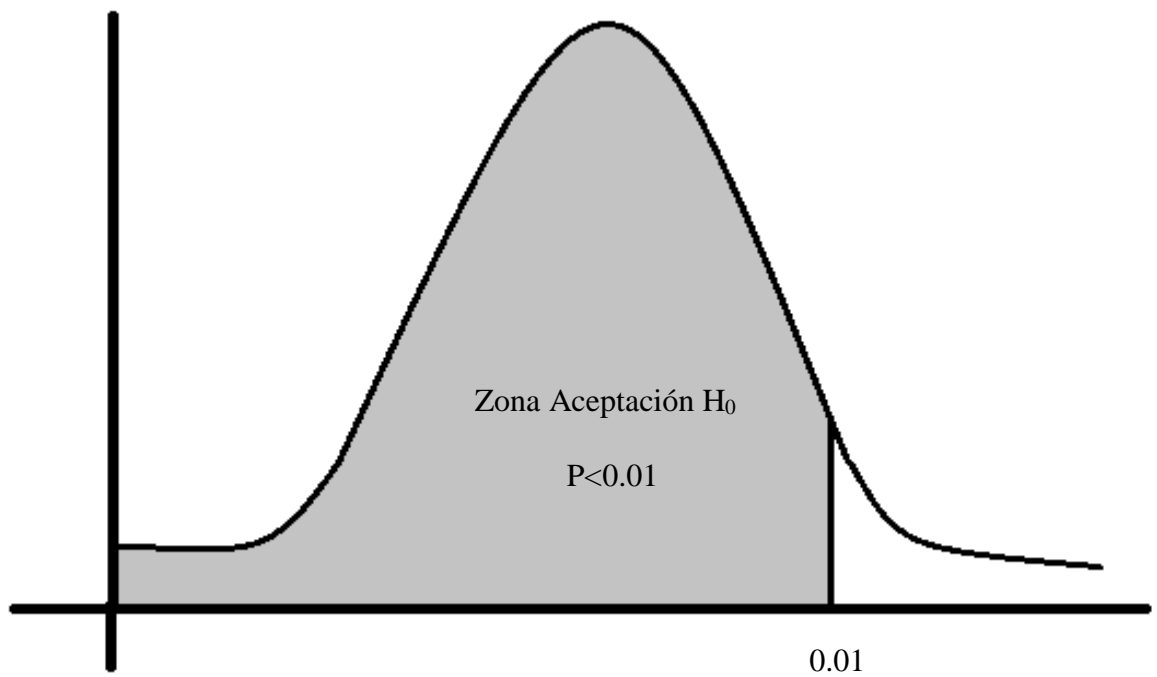
Se acepta la hipótesis nula, el rendimiento del proceso de extracción será mayor de acuerdo a la pureza del solvente empleado, como resultado de que el valor de probabilidad es menor a 0.01.

#### 4.2.2.2. Hipótesis específica 2

Ho: La pureza del Policosanol variará de acuerdo al tipo de solvente empleado

Ha: La pureza del Policosanol no variara de acuerdo al tipo de solvente empleado

Pruebas de normalidad							
Solvente	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.	
Cromatografía de gases	1.00	.274	6	.179	.815	6	.0080
	2.00	.258	6	.200*	.826	6	.099
	3.00	.295	6	.110	.798	6	.056
Índice de Saponificación	1.00	.319	6	.056	.683	6	.004
	2.00	.319	6	.056	.683	6	.004
	3.00	.319	6	.056	.683	6	.004



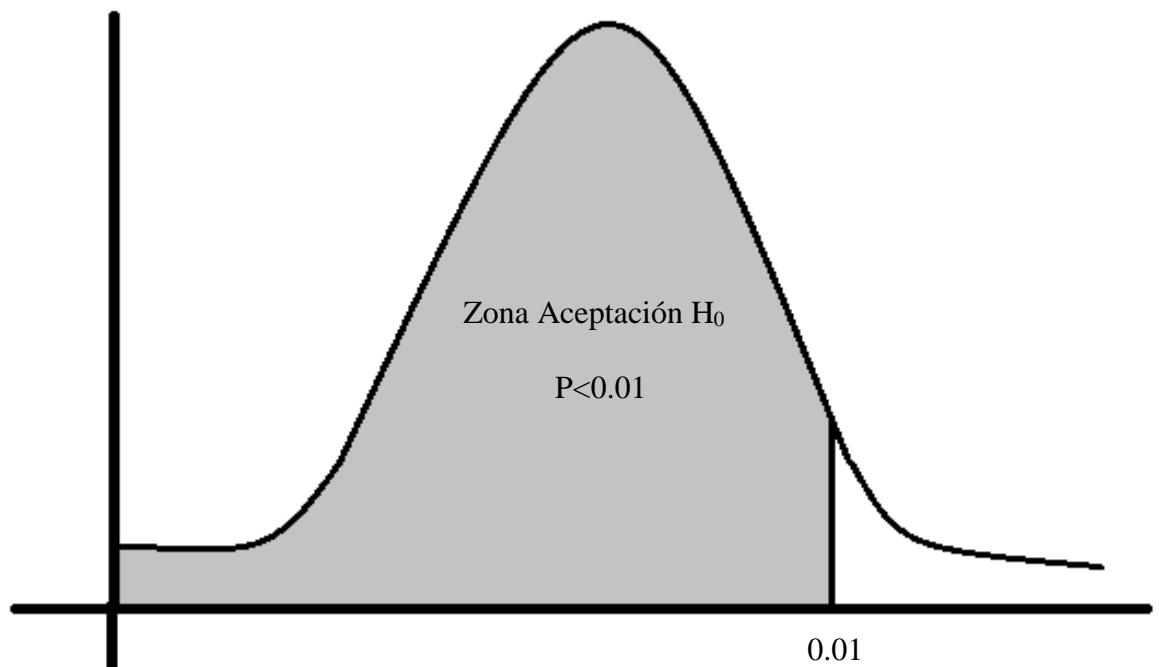
Se acepta la hipótesis nula, la pureza del Policosanol varía de acuerdo al tipo de solvente empleado, como resultado de que el valor de probabilidad es menor a 0.01.

#### 4.2.2.3. Hipótesis específica 3

Ho: Los grupos funcionales que se obtengan serán comparables con los grupos funcionales del medicamento Ateromixol/PPG-20

Ha: Los grupos funcionales que se obtengan no serán comparables con los grupos funcionales del medicamento Ateromixol/PPG-20

Pruebas de normalidad							
Solvente	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Grupo hidroxilo	2.00	.319	6	.056	.683	6	.004
Alcanos	2.00	.319	6	.056	.683	6	.001
Grupo alquilo alifáticos	2.00	.319	6	.056	.683	6	.003



Se acepta la hipótesis nula, los grupos funcionales que se detectan serán comparables con los grupos funcionales del medicamento Ateromixol/PPG-20, como resultado de que el valor de probabilidad es menor a 0.01.

### 4.3. Discusión de resultados

Para determinar la calidad del Policosanol obtenido, se evaluaron distintas características del Policosanol, y se realizó la comparación con el Ateromixol PPG-20.

La primera variable que se analizó fue el rendimiento mediante el análisis del balance de masa en cada operación para la obtención de Policosanol, esto consistió en el análisis de la cantidad de producto obtenido en relación a la cantidad de materia prima y sustancias que se adicionan en cada operación unitaria, con la comparación entre distintos tipos de solventes para la extracción y diferentes velocidades de agitación para el proceso de saponificación, las medias reportaron diferencias estadísticas; esto estuvo asociado a la incidencia que tiene el solvente empleado en la recuperación de Policosanol.

El mejor resultado se obtuvo cuando se adicionó heptano recuperado con un porcentaje de rendimiento de 1.02 % como se muestra en la tabla 9-4; con lo que por cada kilogramo de cachaza y de solventes aplicados se recuperará 0.0102 Kg de Policosanol, con la comparación con los resultados que reporta (Cabrera, 2018, pp. 45) quien obtuvo un rendimiento de 1.5 % cuando extrajo Policosanol con heptano puro de los residuos generados en la industria azucarera; (Lara, 2017, p. 50) reportó un rendimiento medio de 0.65 % cuando recuperó subproductos generados en la industria azucarera y los extrajo con heptano puro.

El rendimiento mayor que se reporta en la investigación tiene relación directa con el origen del residuo recuperado; en la industria panelera “Tarqui” los procesos para producir panela son artesanales, en las investigaciones citadas en el párrafo anterior se recuperan los desechos producidos en la industria azucarera, donde se aprovecha al máximo la materia prima; lo que da como resultado un menor rendimiento en la obtención de Policosanol a partir de los residuos.

Con estos resultados, se puede inferir que la cachaza tiene alto contenido de alcoholes que forman el Policosanol. Además es viable extraer el Policosanol con heptano, el autor (Almazán, 2012, pp. 30-32), indica que el incremento del rendimiento en el proceso de extracción de la cera de caña depende directamente del solvente empleado, el cual debe ser selectivo, de baja viscosidad para que pueda circular libremente. La cantidad de compuesto a extraer depende fundamentalmente de la polaridad del disolvente elegido, así como también de la solubilidad entre el compuesto y solvente.

Para comprobar las características del producto obtenido, se evalúa el índice de saponificación y el punto de fusión de las muestras, de acuerdo a lo establecido en la norma NTE INEN 0040:1973



y norma NTE INEN-ISO 6321:2013 respectivamente; para ambas pruebas se reportó diferencias estadísticas altamente significativas ( $P < 0.01$ ), con lo que se comprobó la correlación existente entre el tipo de solvente y la velocidad de agitación en la saponificación.

El índice de saponificación es mayor cuando se obtiene el Policosanol con heptano puro en los dos ensayos que se estudió en la investigación, con medias iguales a 90.34 mg KOH/g Cera como se muestra en el gráfico 2-4, estos resultados comparados con los que reporta Lara, E. (2017) que obtuvo valores iguales a 127.03 mg KOH/g Cera y con los resultados obtenidos por García, A. (2016) que obtuvo valores iguales a 98 mg KOH/g Cera.

El punto de fusión mayor se reportó cuando se obtuvo el Policosanol con heptano puro en los dos ensayos realizados, con medias iguales a 67 °C como se muestra el grafico 3-4, comparadas con los resultados reportados por Lara, E. (2017) que obtuvo valores iguales a 70.4 °C y García, A. (2016), obtuvo valores iguales a 73.7 °C; para el punto de fusión se reporta valores menores, lo que se debe a la calidad de la materia prima de la cual se obtiene el Policosanol.

(FOSS, 2014, pp. 1-2) propone: “Puesto que el punto de fusión es una característica propia de las sustancias puras, la determinación de éste permite la identificación del producto. Por otra parte, la presencia de impurezas rebaja el punto de fusión, esto puede servir como indicativo del grado de pureza de una sustancia de naturaleza conocida.”

Se optó por el análisis de la pureza mediante cromatografía de gases, ya que ésta permite cuantificar los componentes presentes en las muestras de Policosanol, datos que ayudan a analizar de manera más aproximada las características del producto obtenido en la investigación.

La evaluación de pureza del Policosanol se realizó mediante cromatografía de gases de las muestras y se comparó con la cromatografía del estándar (Ateromixol PPG-20), el mayor grado de pureza se obtuvo al utilizar heptano puro, con medias igual a 89,75 % como se muestra en la figura 4-4, comparado con lo que reporta Lara, E. (2017) que obtuvo valores iguales a 90.03 % y los reportados por Delange, D. (2008), que obtuvo valores iguales a 70.02 % de pureza.

El análisis de la pureza se basa en la presencia de tres tipos de alcoholes que son característicos en el Policosanol; esto son el hexacosanol, octacosanol y triacontanol; el más representativo entre éstos es el octacosanol, por lo que, en base al contenido de este alcohol se determina la pureza del Policosanol; mientras más alto sea el contenido de octacosanol la pureza es mayor.

La pureza del estándar reportó valores iguales a 91.20 % como se indica en el gráfico 4-4; lo que indica que el Policosanol obtenido tiene valores de pureza similares al del estándar, se afirma que se conservan las características normales de los alcoholes que se encuentran en los residuos recuperados de la caña de azúcar y que el uso de la cachaza de la industria panelera es viable para la obtención de Policosanol.

Para determinar los grupos funcionales presentes en el producto obtenido, se realizó un barrido infrarrojo de las muestras con respecto al estándar (Ateromixol PPG-20), como primer punto se evaluó el contenido del grupo funcional hidroxilo, que es el componente principal del Policosanol (conjunto de alcoholes de alto peso molecular); este grupo funcional es el de mayor importancia en la evaluación del Policosanol.

El valor obtenido del grupo hidroxilo en el estándar es igual a  $3392.17\text{ cm}^{-1}$ ; la obtención de Policosanol con solvente recuperado presenta un valor igual a  $3386.42\text{ cm}^{-1}$  como se muestra en la figura 5-4; este resultado fue el más próximo al del estándar con respecto a los diferentes procesos de obtención de Policosanol analizados en la investigación.

La evaluación de las muestras indicó una tendencia significativa entre datos, se verificó que el tipo de solvente utilizado en la extracción influye directamente en la presencia de grupos hidroxilos en el producto final, las mejores respuestas se reportan cuando el Policosanol se extrae con heptano recuperado, con una diferencia entre las medias igual a  $5.75\text{ cm}^{-1}$  con respecto al estándar.

Esta diferencia permite abstraer que el Policosanol obtenido tiene como grupo principal el hidroxilo que es la principal característica de este producto, estos datos comparados con lo que reporta (González, 2011, p. 1), que obtuvo una diferencia entre las medias de  $6\text{ cm}^{-1}$ , con la extracción del Policosanol de la industria azucarera, y con los resultados reportados por (Lara, 2017, p. 43), que obtuvo una diferencia de medias de  $6.27\text{ cm}^{-1}$  al extraer Policosanol de los residuos de la industria azucarera con heptano puro.

Estas respuestas son inferiores de acuerdo a las medias que se reporta en esta investigación, el grupo funcional hidroxilo presente en el Policosanol obtenido tiene características similares al estándar, con esto se interpreta que los residuos de la industria panelera tienen un contenido mayor de alcoholes que serán extraídos como producto final.

Otras vibraciones de los espectros IR importantes que presenta el Ateromixol PPG-20, corresponden a alcanos y grupos alquilo, característica natural del Policosanol, en las dos pruebas

no se reportaron diferencias estadísticas entre sus medias, con valores de 5.47 en alcanos y 5.56 en grupos alquilo con respecto al estándar, se argumenta que es representativo el tipo de solvente empleado en la extracción para la verificación de grupos funcionales. Alcanos estuvieron presentes en todos los tratamientos de la investigación, ya que los picos en el corrido infrarrojo reportaron medias dentro de  $2990 - 2850 \text{ cm}^{-1}$ . El grupo alquilo alifático únicamente estuvo presente en las muestras en las que se realizó la extracción con heptano puro, con picos dentro de  $1475 - 1440 \text{ cm}^{-1}$ .

## CONCLUSIONES

- Es posible aprovechar el residuo cachaza de las industrias productoras de panela, para la obtención de Policosanol.
- El mayor porcentaje de rendimiento se obtuvo con heptano puro a con un valor igual a 1.02 %; por cada kilogramo de cachaza en el mejor tratamiento se obtiene 10.20 gramos de Policosanol.
- El menor rendimiento se reportó cuando se adiciona heptano recuperado, con valores iguales a 0.25 %.
- El análisis de pureza del Policosanol mediante la cromatografía de gases con respecto al Ateromixol PPG-20, prueba resultados favorables con valores de pureza igual a 90.52 %, cuando se extrajo el Policosanol con heptano puro.
- La espectrofotometría infrarroja permite comparar el Ateromixol PPG-20 y el Policosanol a nivel de laboratorio, se observan vibraciones similares en el grupo hidroxilo cuando se extrajo Policosanol con heptano recuperado con una diferencia de medias igual a  $5.72 \text{ cm}^{-1}$ .

## **RECOMENDACIONES**

- Obtener Policosanol únicamente con la cachaza generada en la industria panelera.
- Investigar metodologías para aprovechar el bagazo de caña de azúcar para obtener el Policosanol.
- Implementar este tipo de investigaciones en las diferentes industrias paneleras del Ecuador; los resultados obtenidos demuestran que la obtención de Policosanol tiene un mayor rendimiento por las características de los residuos.
- Adquirir las columnas cromatográficas específicas para alcoholes como la CARBOWAX 20M y HP-20M, para el laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

## BIBLIOGRAFÍA

- Almazán**, “*La energía y los biocombustibles de segunda generación*”. Segunda ed. Minas Gerais : Itabuja, 2012.
- Benvenut**, *Relação de índices espectrais de vegetação com a produtividade da cana-de-açúcar e atributos edáficos Dissertação (mestrado)*. 1 ed. Brasília: Universidad Estatal de Campiñas, 2005.
- Castillo, R. D.**, Subproductos y derivados de la industria azucarera (ponencia). *República Dominicana: Ciencia y sociedad*, 2012.
- FOSS**, <https://www.fossanalytics.com>. [Enlínea] Availableat: <https://www.fossanalytics.com/es-mx/industry-solution/products/soxtec-systems/>[Último acceso: 26 Septiembre 2018].
- García**, *Cera de cachaza. La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar*. Segunda ed. La Habana: Científico-Técnico, 2016.
- Gnanaral**, *Applications of Sugarcane Wax and it's products*. Cuarta ed. Broklyn: Journal of Chem Tech, 2012.
- Gonzáles**, Determinación de policosanol y sus productos de degradación por cromatografía gaseosa. *CENIC*, I(1), 2011. pp. 11-12.
- Gouni-Berthold, I.**, Clinical pharmacology and therapeutic significance of a new lipid-lowering agent.. *American Heart Journal*, 2014.p. 15.
- Herryman**, “*La Industria de Derivados del Bagazo en Cuba Características, Nivel de Desarrollo y Perspectivas*”. primera ed. La Habana: ICIDCA, 2005.
- INEN 0040**, Determinación del índice de saponificación de grasas y aceites comestibles . 1973.p. 6.
- INEN 6321**, *Grasas y aceites comestibles*. Segunda ed. Quito: SN, 2013.

**Lara**, OBTENCIÓN DE POLICOSANOL A PARTIR DE LA CACHAZA DE CAÑA DE AZÚCAR. *DSPACE CENTRAL*, I(1), 2017, pp. 50-51.

**Mirkin**, *Efficacy and tolerability of policosanol in hypercholesterolemic postmenopausal women*. Primera ed. New Jersey: Clin Pharm Res, 2001.

**Molina V**, Comparative study of policosanol and grape seed extract on platelet aggregation in rats.. *CENIC Cien Biol*, 2011, pp. 1, 3-6.

**Pérez**, *Tenencia de la tierra e industria azucarera*. Primera ed. México D.F.: Porrúa, 2007.

**Revelo**, Extracción de la cera del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) mediante tratamiento de explosión de vapor y tratamiento de combinación de solventes heptano/hexano/agua.. *Universidad Nacional de Colombia*, Volumen I, 2011, p. 127.

**Reyes**, *Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación*. ISSN ed. La Habana: SN, 2017.

**Rivera, A.y.**, *cagnaazucar.blogspot.com*. [Enlínea] Available at: [cagnaazucar.blogspot.com/2014/06/composicion-quimica-de-la-cachaza.html](http://cagnaazucar.blogspot.com/2014/06/composicion-quimica-de-la-cachaza.html)

**Rosenson, R.**, *Statins: Actions, side effects and administration*. *Wolters Kluwer*, 2016. p. 15.

**Seebaluck**, *Bioenergy for Sustainable Development and Global Competitiveness: the case of Sugar Cane in Southern*. Primera ed. Congo: Cane Resources Network, 2008.

**Subirós**, *El cultivo de la caña de azúcar*. Primera ed. Costa Rica: EUNED, 2008.



## ANEXOS

**Anexo A.** Prueba de rangos múltiples, homogeneidad de las distintas pruebas realizadas al Policosanol.

### a) Prueba de rangos múltiples, homogeneidad para la variable pureza

#### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
SOL/AGUA (300-400)	2	78,021	X
S. RECUPERADO (300-400)	2	86,837	X
S. PURO (300-400)	2	89,7505	X
ESTANDAR OCTACOSANOL	2	91,206	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
ESTANDAR OCTACOSANOL - S. PURO (300-400)		1,4555	7,95904
ESTANDAR OCTACOSANOL - S. RECUPERADO (300-400)		4,369	7,95904
ESTANDAR OCTACOSANOL - SOL/AGUA (300-400)	*	13,185	7,95904
S. PURO (300-400) - S. RECUPERADO (300-400)		2,9135	7,95904
S. PURO (300-400) - SOL/AGUA (300-400)	*	11,7295	7,95904
S. RECUPERADO (300-400) - SOL/AGUA (300-400)	*	8,816	7,95904

\* indica una diferencia significativa.

#### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.



## b) Prueba de rangos múltiples, homogeneidad para la variable presencia de grupos hidroxilos

### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SOL/AGUA 400	3	3283,73	X
SOL/AGUA 300	3	3297,67	X
S. PURO 400	3	3343,74	X
S. RECUPERADO 400	3	3383,97	X
S. RECUPERADO 300	3	3386,42	X
ESTANDAR OH	3	3392,17	X
S. PURO 300	3	3408,45	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ESTANDAR OH - S. PURO 300	*	-16,28	14,7346
ESTANDAR OH - S. PURO 400	*	48,43	14,7346
ESTANDAR OH - S. RECUPERADO 300		5,75	14,7346
ESTANDAR OH - S. RECUPERADO 400		8,19667	14,7346
ESTANDAR OH - SOL/AGUA 300	*	94,5033	14,7346
ESTANDAR OH - SOL/AGUA 400	*	108,443	14,7346
S. PURO 300 - S. PURO 400	*	64,71	14,7346
S. PURO 300 - S. RECUPERADO 300	*	22,03	14,7346
S. PURO 300 - S. RECUPERADO 400	*	24,4767	14,7346
S. PURO 300 - SOL/AGUA 300	*	110,783	14,7346
S. PURO 300 - SOL/AGUA 400	*	124,723	14,7346
S. PURO 400 - S. RECUPERADO 300	*	-42,68	14,7346
S. PURO 400 - S. RECUPERADO 400	*	-40,2333	14,7346
S. PURO 400 - SOL/AGUA 300	*	46,0733	14,7346
S. PURO 400 - SOL/AGUA 400	*	60,0133	14,7346
S. RECUPERADO 300 - S. RECUPERADO 400		2,44667	14,7346
S. RECUPERADO 300 - SOL/AGUA 300	*	88,7533	14,7346
S. RECUPERADO 300 - SOL/AGUA 400	*	102,693	14,7346
S. RECUPERADO 400 - SOL/AGUA 300	*	86,3067	14,7346
S. RECUPERADO 400 - SOL/AGUA 400	*	100,247	14,7346
SOL/AGUA 300 - SOL/AGUA 400		13,94	14,7346

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 17 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

### c) Prueba de rangos múltiples, homogeneidad para la variable en la presencia de alcanos

#### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S. PURO 400	3	2912,93	X
S. PURO 300	3	2914,55	X
SOL/AGUA 400	3	2919,7	X
S. RECUPERADO 400	3	2919,7	X
S. RECUPERADO 300	3	2919,7	X
SOL/AGUA 300	3	2929,66	X
ESTANDAR CH3	3	2935,13	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ESTANDAR CH3 - S. PURO 300	*	20,5767	8,98624
ESTANDAR CH3 - S. PURO 400	*	22,2033	8,98624
ESTANDAR CH3 - S. RECUPERADO 300	*	15,43	8,98624
ESTANDAR CH3 - S. RECUPERADO 400	*	15,43	8,98624
ESTANDAR CH3 - SOL/AGUA 300		5,47	8,98624
ESTANDAR CH3 - SOL/AGUA 400	*	15,43	8,98624
S. PURO 300 - S. PURO 400		1,62667	8,98624
S. PURO 300 - S. RECUPERADO 300		-5,14667	8,98624
S. PURO 300 - S. RECUPERADO 400		-5,14667	8,98624
S. PURO 300 - SOL/AGUA 300	*	-15,1067	8,98624
S. PURO 300 - SOL/AGUA 400		-5,14667	8,98624
S. PURO 400 - S. RECUPERADO 300		-6,77333	8,98624
S. PURO 400 - S. RECUPERADO 400		-6,77333	8,98624
S. PURO 400 - SOL/AGUA 300	*	-16,7333	8,98624
S. PURO 400 - SOL/AGUA 400		-6,77333	8,98624
S. RECUPERADO 300 - S. RECUPERADO 400		0	8,98624
S. RECUPERADO 300 - SOL/AGUA 300	*	-9,96	8,98624
S. RECUPERADO 300 - SOL/AGUA 400		0	8,98624
S. RECUPERADO 400 - SOL/AGUA 300	*	-9,96	8,98624
S. RECUPERADO 400 - SOL/AGUA 400		0	8,98624
SOL/AGUA 300 - SOL/AGUA 400	*	9,96	8,98624

\* indica una diferencia significativa.

#### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 10 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

## d) Prueba de rangos múltiples, homogeneidad para la variable presencia de grupos alquilo

### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
S. RECUPERADO 400	3	1387,76	X
ESTANDAR CH3	3	1393,32	X
SOL/AGUA 300	3	1408,75	X
S. RECUPERADO 300	3	1415,18	X
SOL/AGUA 400	3	1460,81	X
S. PURO 300	3	1460,81	X
S. PURO 400	3	1462,42	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ESTANDAR CH3 - S. PURO 300	*	-67,49	7,49161
ESTANDAR CH3 - S. PURO 400	*	-69,0967	7,49161
ESTANDAR CH3 - S. RECUPERADO 300	*	-21,8567	7,49161
ESTANDAR CH3 - S. RECUPERADO 400		5,56	7,49161
ESTANDAR CH3 - SOL/AGUA 300	*	-15,43	7,49161
ESTANDAR CH3 - SOL/AGUA 400	*	-67,49	7,49161
S. PURO 300 - S. PURO 400		-1,60667	7,49161
S. PURO 300 - S. RECUPERADO 300	*	45,6333	7,49161
S. PURO 300 - S. RECUPERADO 400	*	73,05	7,49161
S. PURO 300 - SOL/AGUA 300	*	52,06	7,49161
S. PURO 300 - SOL/AGUA 400		0	7,49161
S. PURO 400 - S. RECUPERADO 300	*	47,24	7,49161
S. PURO 400 - S. RECUPERADO 400	*	74,6567	7,49161
S. PURO 400 - SOL/AGUA 300	*	53,6667	7,49161
S. PURO 400 - SOL/AGUA 400		1,60667	7,49161
S. RECUPERADO 300 - S. RECUPERADO 400	*	27,4167	7,49161
S. RECUPERADO 300 - SOL/AGUA 300		6,42667	7,49161
S. RECUPERADO 300 - SOL/AGUA 400	*	-45,6333	7,49161
S. RECUPERADO 400 - SOL/AGUA 300	*	-20,99	7,49161
S. RECUPERADO 400 - SOL/AGUA 400	*	-73,05	7,49161
SOL/AGUA 300 - SOL/AGUA 400	*	-52,06	7,49161

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 16 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Anexo B.** Recopilación fotográfica del trabajo experimental de la producción de policosanol

A)



B)



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE CIENCIAS LAB. DE QUIMICA ANALITICA PROAÑO RICARDO	<b>OBTENCIÓN DE POLICOSANOL</b>		
A) Recolección de bagazo B) Recolección de cachaza	<input checked="" type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			1	A4	14/11/2018

C)



D)



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>OBTENCIÓN DE POLICOSANOL</b>		
C) Secado de cachaza D) Triturado de la cachaza	<input checked="" type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS  LAB. DE QUIMICA  ANALITICA  PROAÑO RICARDO	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			2	A4	14/11/2018

E)

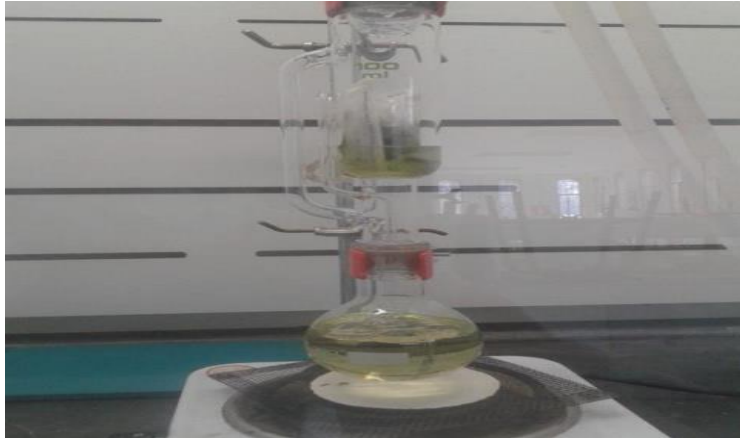


F)



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>OBTENCIÓN DE POLICOSANOL</b>		
E) Extracción de la cera F) Saponificación de la cera	<input checked="" type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS  LAB. DE QUIMICA  ANALITICA  PROAÑO RICARDO	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			4	A4	14/11/2018

G)



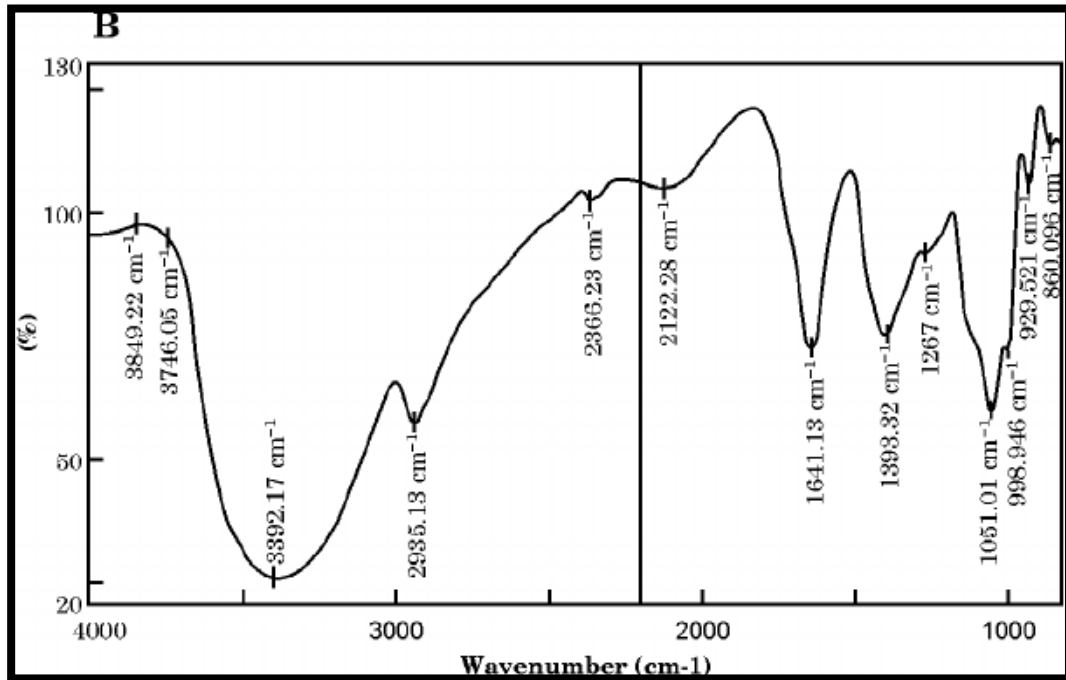
H)



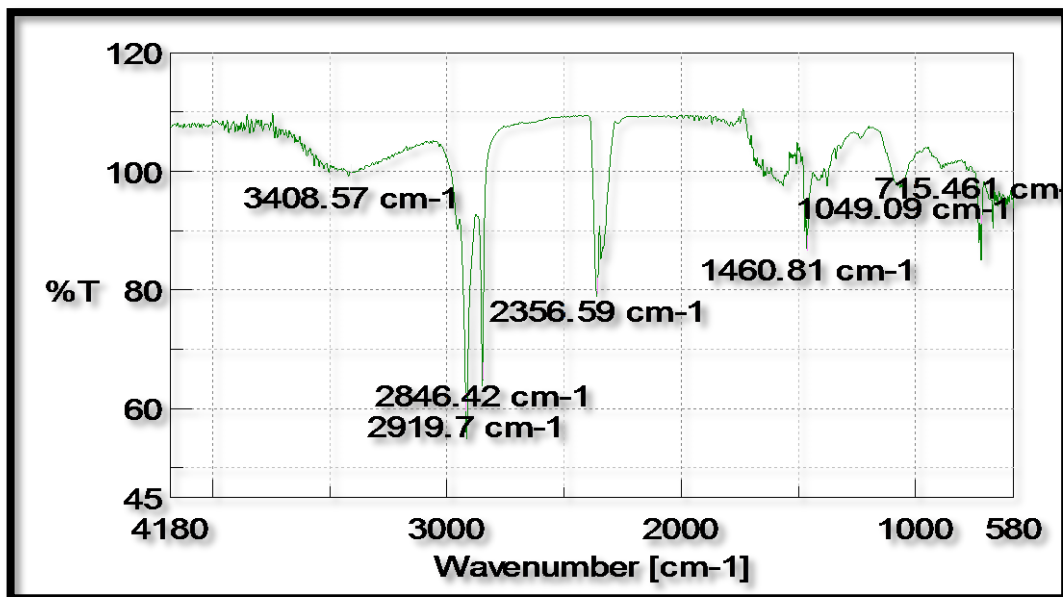
<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>OBTENCIÓN DE POLICOSANOL</b>		
G) Extracción de Policosanol H) Policosanol	<input checked="" type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS  LAB. DE QUIMICA  ANALITICA  PROAÑO RICARDO	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			4	A4	14/11/2018

Anexo C. Espectros obtenidos del corrido en el espectrofotómetro infrarrojo de los distintos métodos de extracción aplicados en la investigación

a) ESPECTRO ESTANDAR

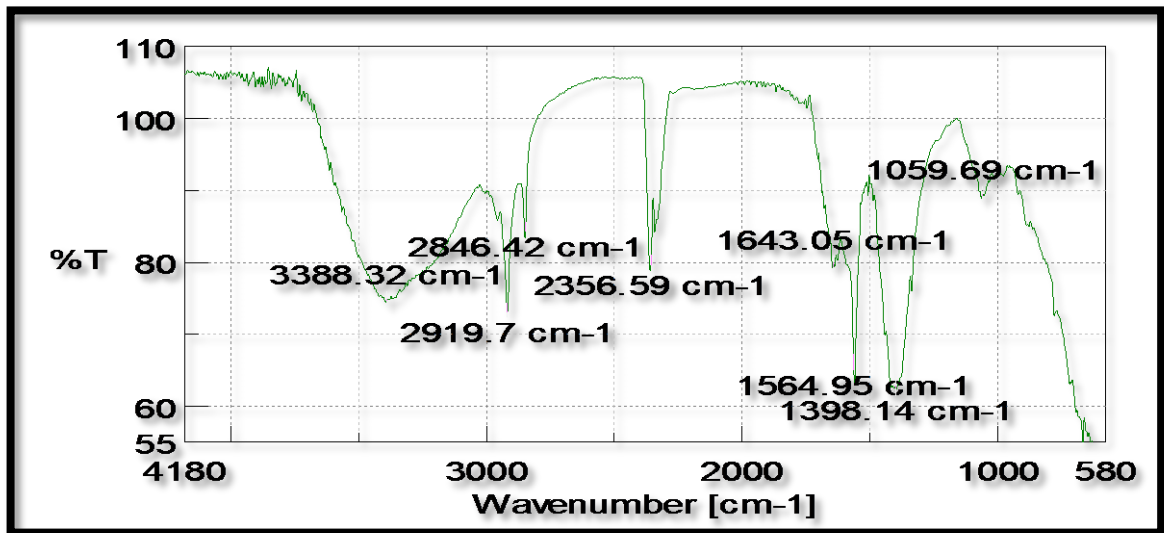


b) ESPECTRO MUESTRA (HEPTANO PURO)

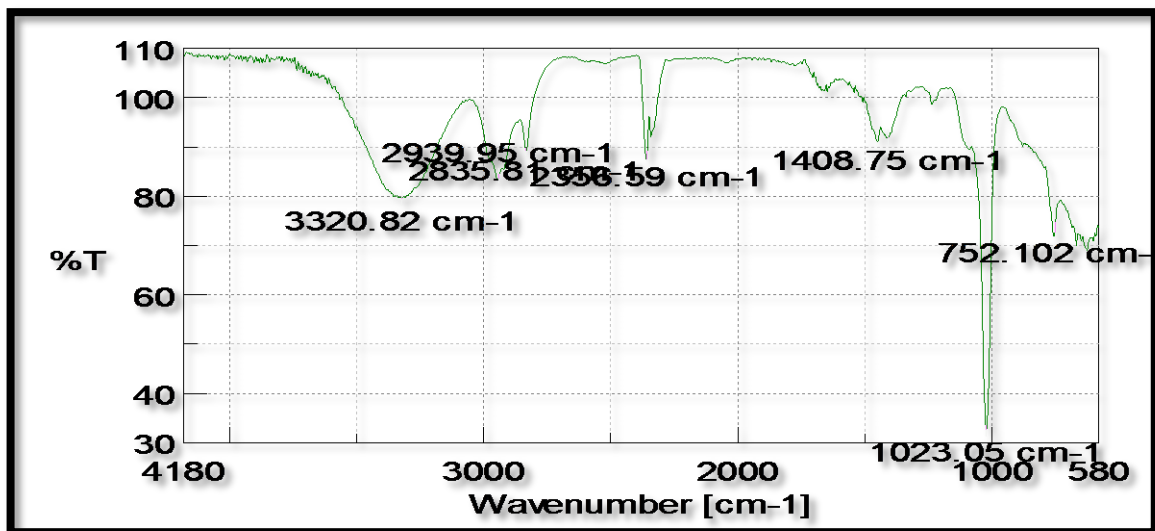




c) ESPECTRO MUESTRA (HEPTANO RECUPERADO)



d) ESPECTRO MUESTRA (90% HEPTANO / 10% AGUA)



**Anexo D.** Resultados obtenidos a la prueba de cromatografía de gases de los distintos métodos de extracción aplicados en la investigación

**a) Cromatografía de gases de muestra Policosanol Estándar**

Area Percent Report

Data Path : D:\MassHunter\GCMS\11\methods\policosanol.m  
Date File : policosanol estandar.D  
Acq On : 28 Jan 19 14:35  
Operator :  
Sample :  
Misc :  
ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

IntegrationParameters : autoint1e  
Integrator : ChemStation

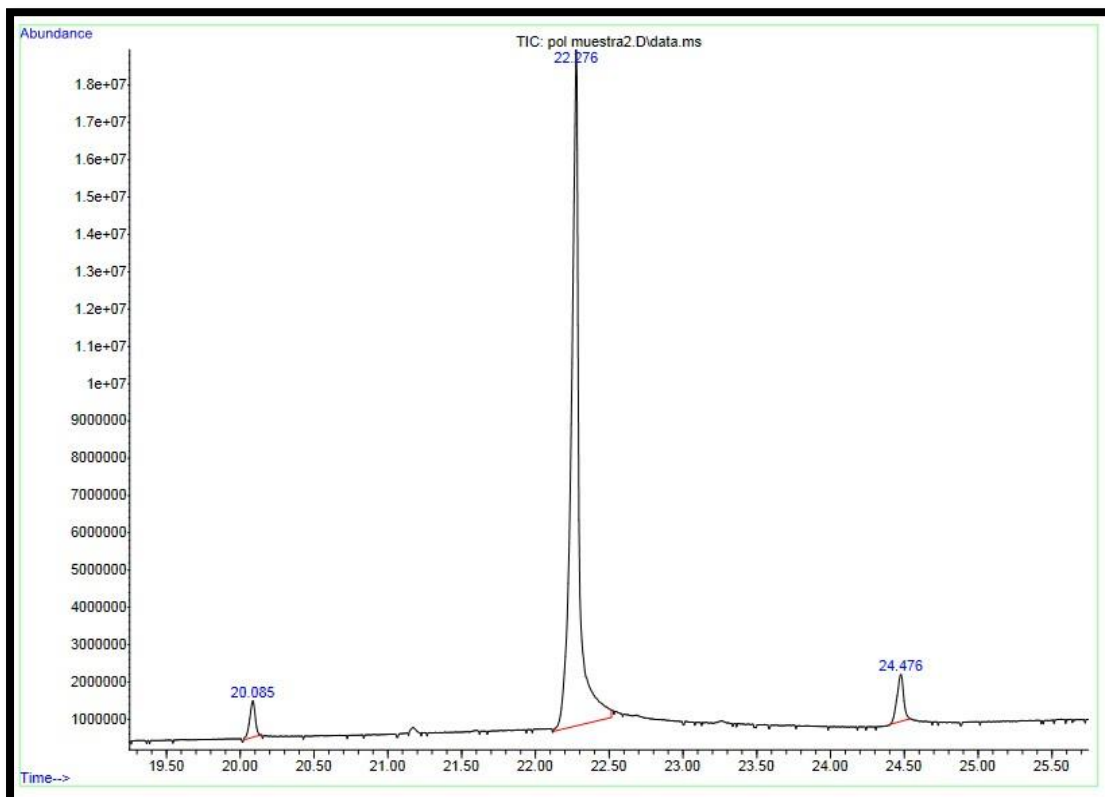
Method : D:\MassHunter\GCMS\11\methods\policosanolq.M  
Title : policosanol cal 280417

Signal : TIC : policosanol estandar.D\data.ms

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	20.085	2113	2122	2131	M	981999	25562226	3.82%	3.49%
2	22.276	2431	2454	2490	M	18205576	669044331	100.00%	91.206%
3	24.476	2776	2788	2796	M5	1266320	38949767	5.82%	5.31%

Sum of corrected area: 733556324

policosanolq.M Friday February 01 14:12:58



## b) Cromatografía de gases muestra solvente puro

Area Percent Report

Data Path : D:\MassHunter\GCMS\1\methods\policosanol.mt  
Date File : pol\_muestra5.D  
Acq On : 28 Jan 19 14:58  
Operator :  
Sample :  
Misc :  
ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

IntegrationParameters : autoint1.e  
Integrator : ChemStation

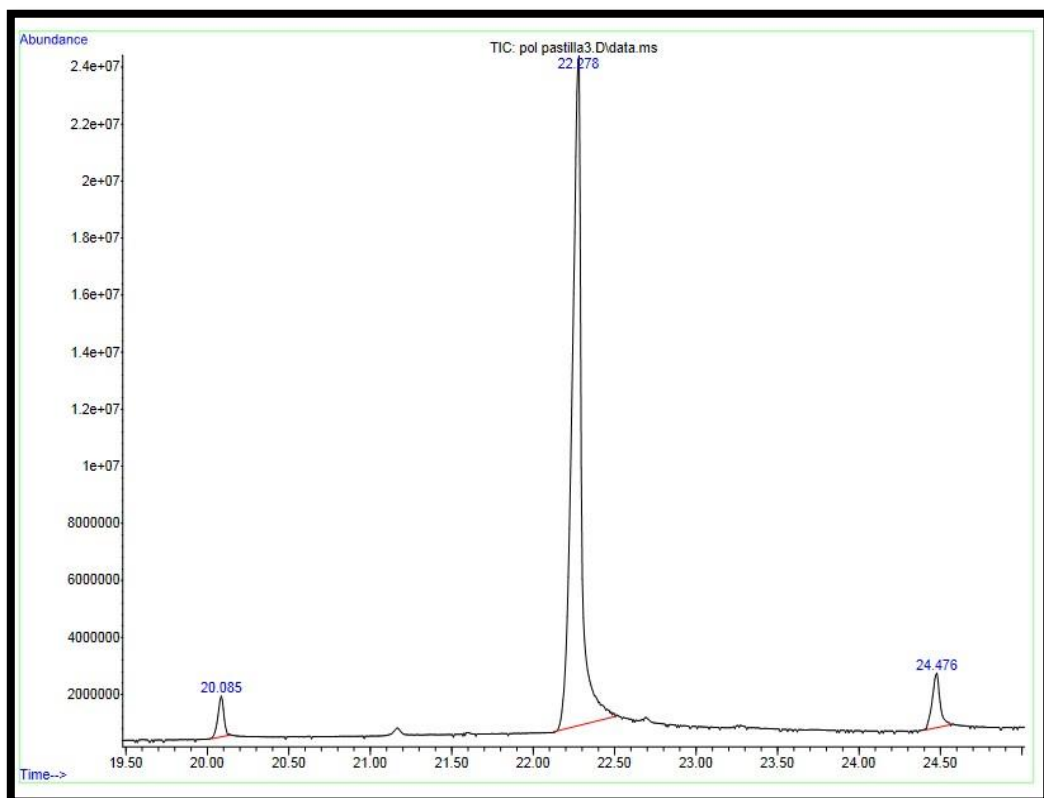
Method : D:\MassHunter\GCMS\1\methods\policosanol.q.M  
Title : policosanol\_cal 280417

Signal : TIC : pol\_muestra5.D\data.ms

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	20.085	2113	2122	2130	M2	1430535	35648293	3.78%	3.40%
2	22.278	2431	2455	2488	M	24116455	949527002	100.00%	90.520%
3	24.476	2777	2788	2800	M	1934309	63783021	6.70%	6.08%

Sum of corrected area: 1048958316

policosanol.q.M Friday February 01 14:25:38 2019



### c) Cromatografía de gases muestra solvente recuperado

Area Percent Report

Data Path : D:\MassHunter\GCMS\11\methods\policosanol.mt  
Date File : pol muestra6.D  
Acq On : 28 Jan 19 15:18  
Operator :  
Sample : 0.08  
Vial :  
ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

IntegrationParameters : autoint1.e  
Integrator : ChemStation

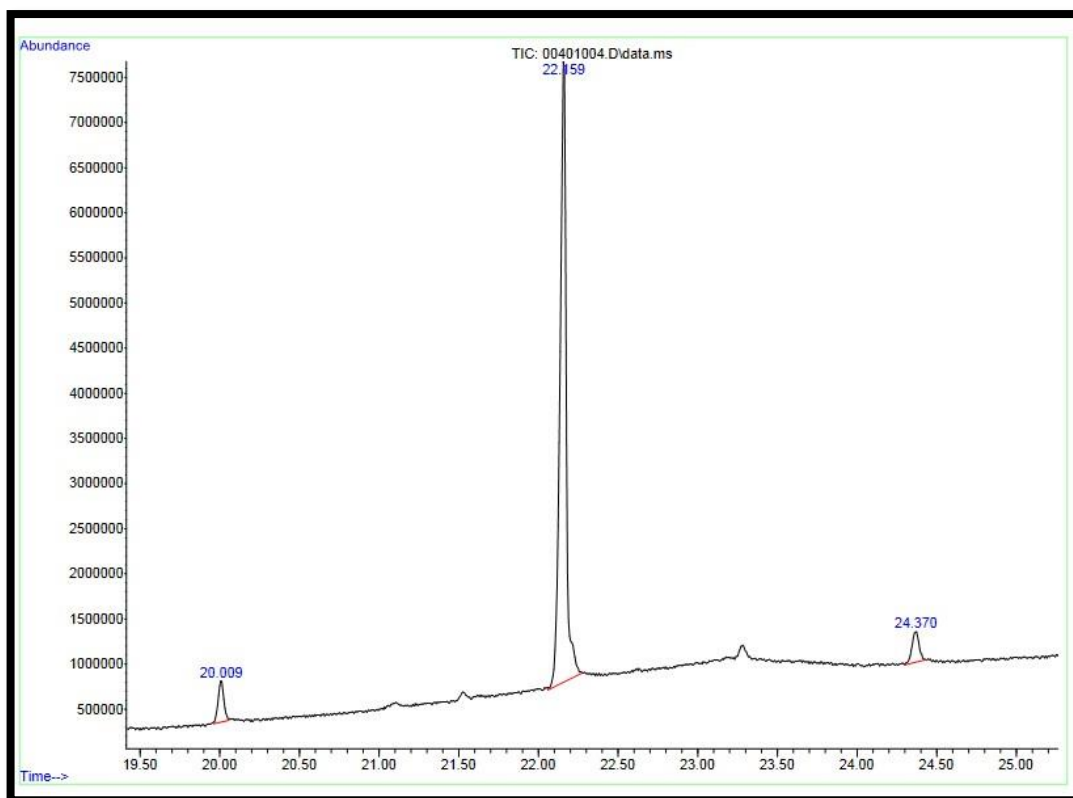
Method : D:\MassHunter\GCMS\11\methods\policosanol.q.M  
Title : policosanol\_cal 280417

Signal : TIC : pol muestra6.D\data.ms

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	20.009	2103	2110	2118	M8	460425	11813136	6.42%	5.714%
2	22.159	2421	2436	2454	M	6969802	183957401	100.00%	88.981%
3	24.370	2761	2772	2781	M9	340945	10967245	5.96%	5.305%

Sum of corrected areas : 206737782.00

policosanol.q.M Friday February 01 14:42:08 2019



#### d) Cromatografía de gases muestra solvente / agua.

Area Percent Report

Data Path : D:\MassHunter\GCMS\1\methods\policosanol.m  
Date File : pol\_muestra3.D  
Acq On : 28 Jan 1 15:40  
Operator :  
Sample : 0.06  
Misc :  
ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

IntegrationParameters : autoint1.e  
Integrator : ChemStation

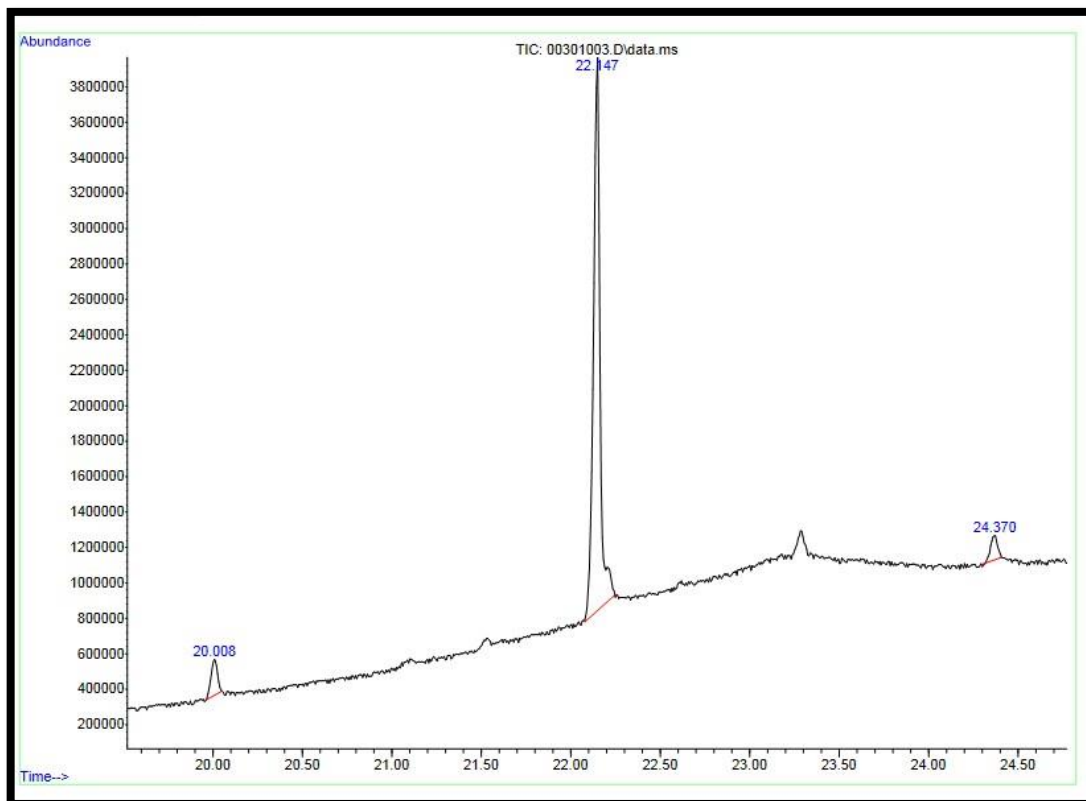
Method : D:\MassHunter\GCMS\1\methods\policosanolq.M  
Title : policosanol\_cal 280417

Signal : TIC : pol\_muestra3.D\data.ms

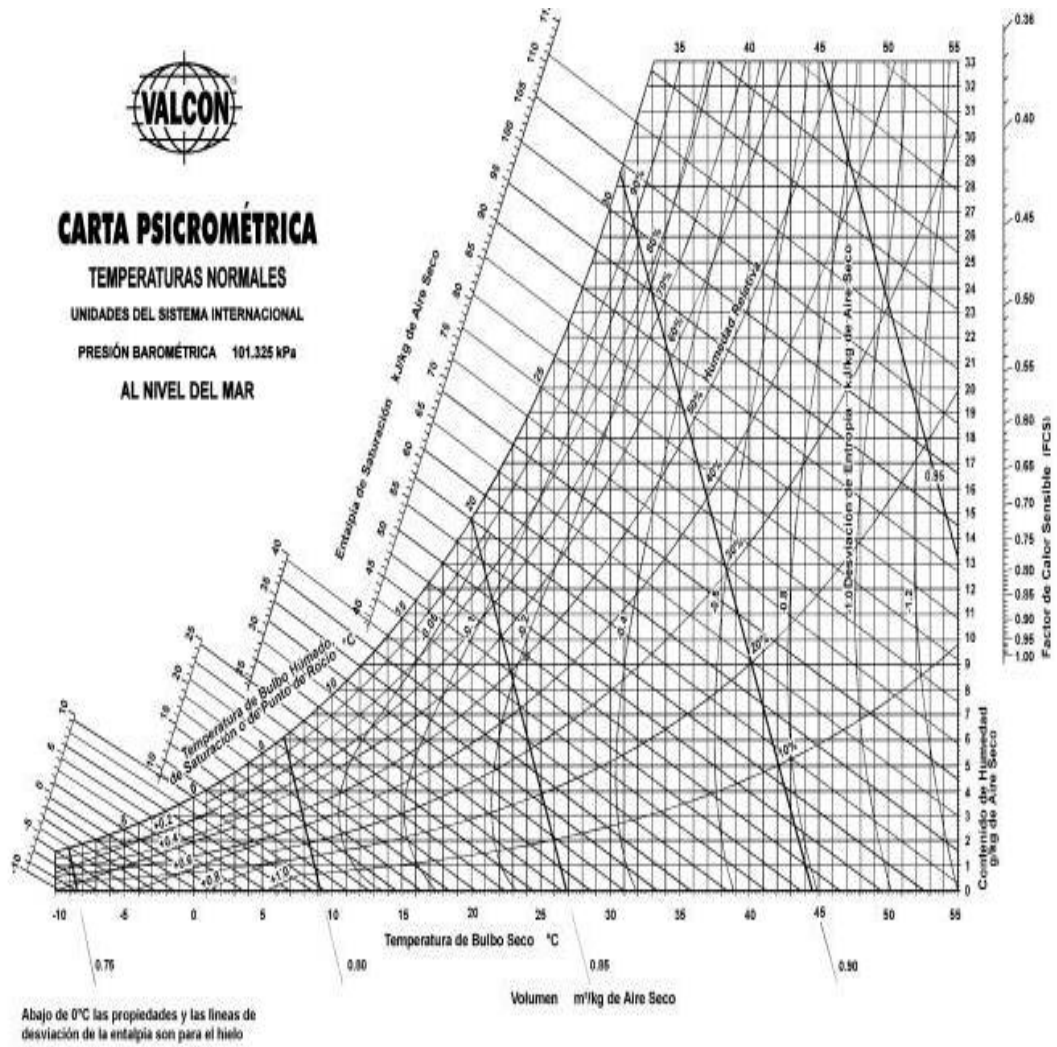
peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	20.008	2103	2110	2116	M7	202125	5028423	6.31%	5.695%
2	22.147	2424	2435	2450	M3	3166727	79681390	100.00%	90.247%
3	24.370	2761	2761	2777	M7	139239	3583229	4.50%	4.058%

Sum of corrected areas : 88293042

policosanolq.M Friday February 01 15:02:41 2019



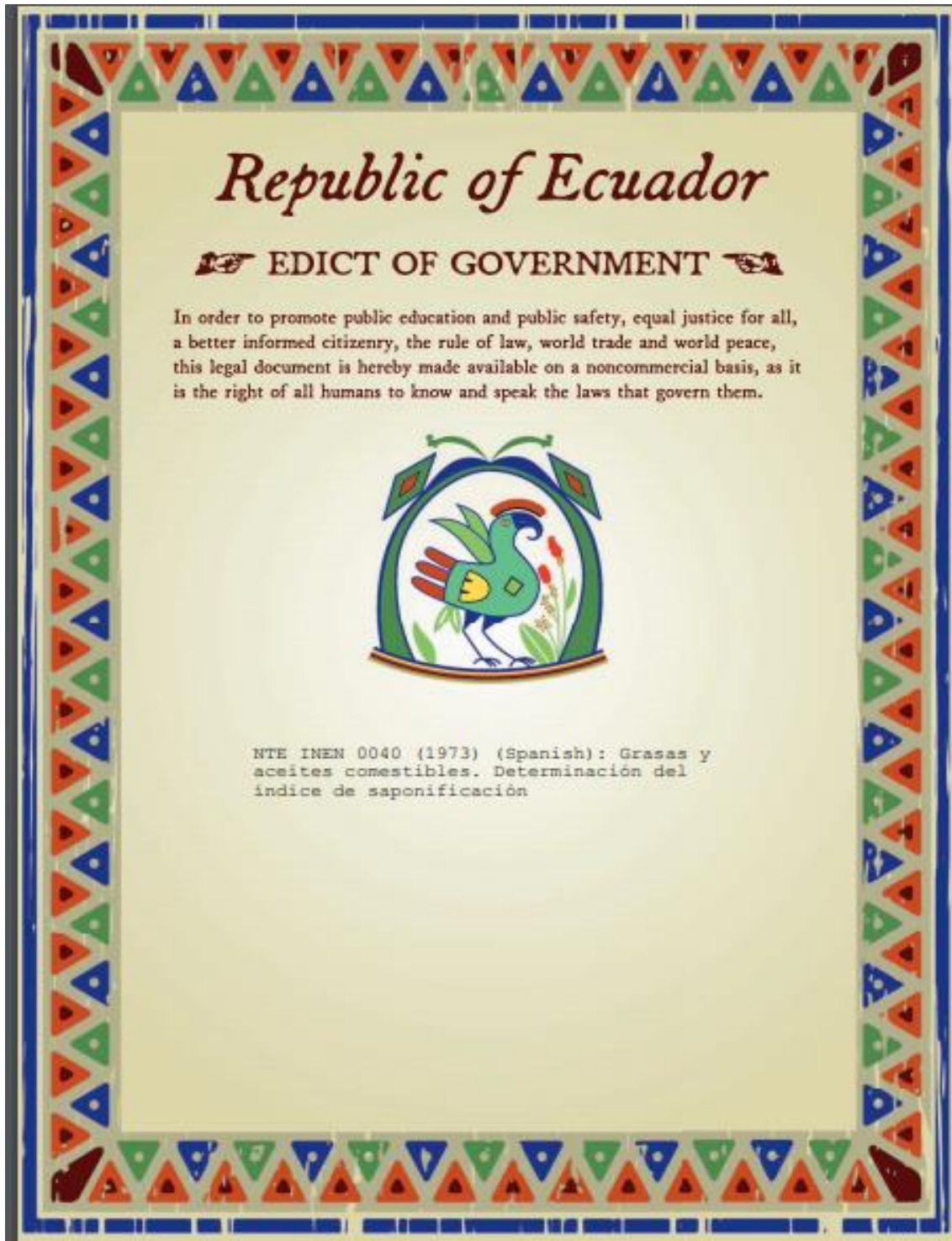
Anexo E. Tabla Psicrométrica para la determinación de la humedad del aire en el secador



Abajo de 0°C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpía son para el hielo

Figura 13.11 - Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101.325 kPa (al nivel del mar). Las unidades están en el sistema internacional (SI).

**Anexo F.** Norma INEN 0040 para la determinación del índice de saponificación de grasas y aceites comestibles



**Anexo G.** Norma INEN 6321:2013 para la determinación del punto de fusión en tubos capilares de aceites y grasas de origen animal y vegetal



---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO 6321:2013**

---

NÚMERO DE REFERENCIA ISO 6321:2002 (E)

**ACEITES Y GRASAS DE ORIGEN ANIMAL Y VEGETAL.  
DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE FUSIÓN EN TUBOS  
CAPILARES ABIERTOS. (IDT)**

**Primera Edición**

ANIMAL AND VEGETABLE FATS AND OILS — DETERMINATION OF MELTING POINT IN OPEN CAPILLARY TUBES  
(SLIP POINT)

First Edition

---

DESCRIPTORES: Grasas y aceites animales y vegetales, determinación punto de fusión, tubos capilares abiertos  
ICS: 07.200.10